

Scharek Ferenc<sup>1</sup>

## NÉMET KATONAI LÉGHAJÓK ALKALMAZÁSA A BALKÁNI FRONTON AZ OSZTRÁK-MAGYAR MONARCHIA TERÜLETÉN LÉTESÍTETT BÁZISRÓL<sup>2</sup>

*A Nagy Háború második évében, a Bulgáriában folyó harcok támogatása, valamint az Antant oldalán hadba lépett Románia bombázása érdekében, a német és a k.u.k. hadvezetés egy léghajó bázis létesítéséről döntött, amit 1915 októberében - novemberében fel is építettek Temesvár mellett Szent-András és Újbesenyő között. A léghajó kikötő és repülőtér közel kettő évig üzemelt. Folyamatosan állomásozott itt egy léghajó, de a szolgáltatásokat a bulgáriai Jambolban lévő közel azonos időben létesített bázis léghajói, valamint repülőgépek is igénybe vették. A bázis k.u.k.<sup>3</sup> parancsnoka a kiképzett léghajóvezető Poppe Kornél százados lett. A bázisról, az ott folyó tevékenységről a hazai szakirodalomban csak néhány soros utalás található. [1] Sem a budapesti, sem a bécsi hadtörténeti levéltárban nem maradtak fenn erre vonatkozó iratok. Németországi kiadványok, valamint a Poppe százados hagyatékában visszamaradt fotók segítségével kaphatunk képet hadtörténelmünk ezen epizódjáról.*

### **GERMAN MILITARY AIRSHIPS IN THE BALKAN THEATER OF WAR FLIES OUT OF THE HARBOR IN THE AUSTRO - HUNGARIAN EMPIRE**

*In the second year of the Great War, the German and the Austro-Hungarian Monarchy military headquarters decided to create an airship port to support the fighting in Bulgaria and bombing Romania for he entered to war in the side of Entente. The airship base by 1915 in October - November should be built in Timisoara while between Szentandrás and Újbesenyő. The airship port and airport close to two years of operation. There's always been an airship, but the airships stationed in Yambol, Bulgaria docked in. Some aircraft are stationed here. Kornel Poppe Austro-Hungarian Monarchy captain, who trained aeronaut was the commander of base. Neither Budapest or Vienna military history archives there were no relevant documents. German publications, as well as the legacy of Captain Poppe remaining photos to learn about this episode in our history*

1915 őszén a német hadsereg zeppelin bázist, Luftschiffhalle-t (léghajóhangárt) épített Újbesenyőn a község legelőjén. Poppe Kornél hagyatékában és a legtöbb ezzel foglalkozó Internetes oldalon is Szentandrás-ként szerepel, valószínűleg mert ott volt a kirakodó állomás. Újbesenyő Szentandrásról nyugatra a szomszéd település. A két község közötti legelőn épült meg a bázis. Újbesenyő honlapján egy mondatban említik a bázist, az is csak arról szól, hogy 1919-ben hozzá nem értő civil személyek megpróbálták lebontani a hangárt, ami összedőlt, sokan megsérültek, öten meghaltak. A német források szerint a bázis 1915. november és 1917. április között működött [2]. A hangár előre gyártott szerkezeti elemekből és anyagokból készült. Természetesen a bázishoz több hagyományos épület is tartozott, főleg barakkok. Az építkezés német tanácsadók jelenlétében a monarchia katonáinak bevonásával zajlott. De a fényképek tanúsága szerint hadifoglyok is részt vettek benne.

<sup>1</sup> Katonai Vizsgaközpont igazgató, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, scharek.ferenc@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Békési László ny. okl. mk. ezds; főiskolai tanár, NKE Katonai Repülő Tanszék, bekesi.laszlo@uni-nke.hu

<sup>3</sup> császári és királyi

A létesítményt kiszolgáló k. u. k. alakulat a Temesvári Katonai Kerület 2. tartalék léghajószá-  
zada hadrendi megnevezést kapta. A bázis fedőneve ADEBAR volt.



1. ábra A szentandrászi légikikötő madártávlatból

## AZ ÉPÍTKEZÉS



2. ábra. Vasúti rakodó a keskeny nyomtávú szárnyvonallal

Az építkezés egy vasúti rakodó és egy keskeny nyomtávú szárnyvonallal létrehozásával kezdődött. Ez elengedhetetlen feltétele volt az irdatlan mennyiségű anyag fogadásának és a tethelyre szállításának.

1915 szeptemberében néhány fabódét, kitűzött alapokat, gödröket látunk a fotókon, november végén viszont már leszállt az első léghajó. Ezt úgy tudták megvalósítani, hogy minden létesítményt egyszerre, egy mindenre kiterjedő terve alapján kezdtek el és építettek.



3. ábra A szeptember 21-ei állapot

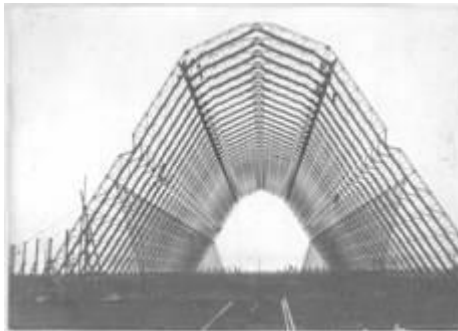




4. ábra Egy napi haladás

Mint Poppe írja egy 1938-ban a Magyar Szárnyakban megjelent írásában, illetve a Neumann könyv [2] is utal rá az itt épült hangár egy hordozható, ideiglenes típus volt. Természetesen a méretek figyelembe vételével kell ezt a hordozhatóságot értelmezni. Az alkatrészek a még szállítható méretűek, úgy kell összerakni őket, mint a lego elemeit.

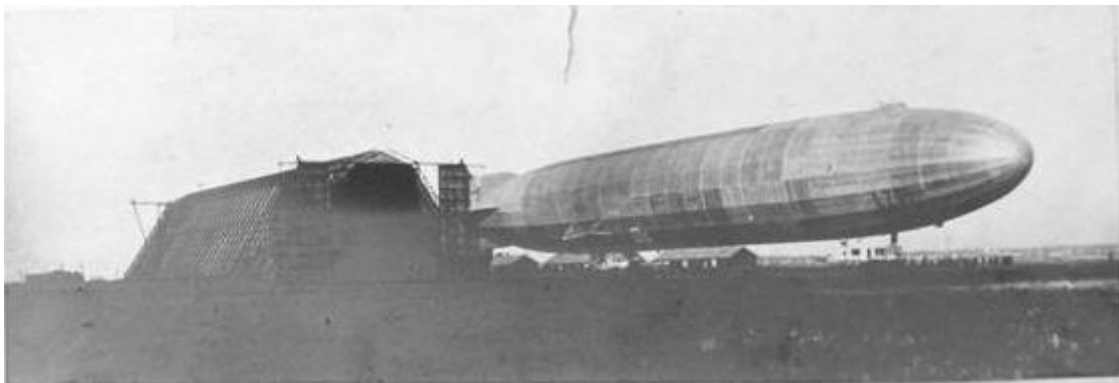




4–10. ábra Hatalmas iramban készülnek az épületek  
1915. november elejére minden kész



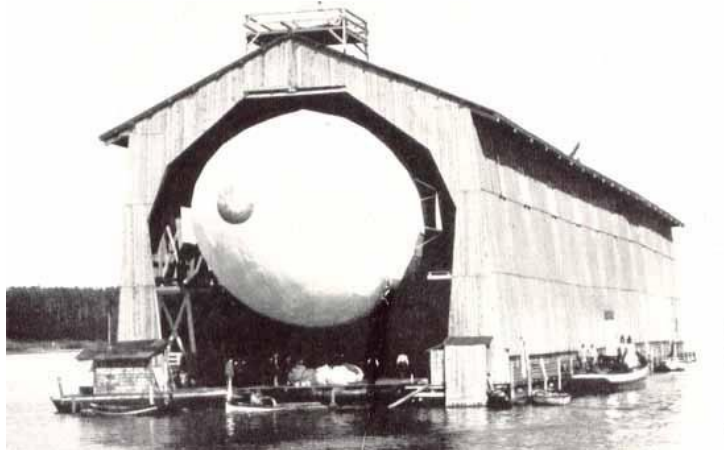
11. ábra 1915. november 7-én megérkezett az első léghajó



12. ábra Az LZ81-et kihozzák a hangárból

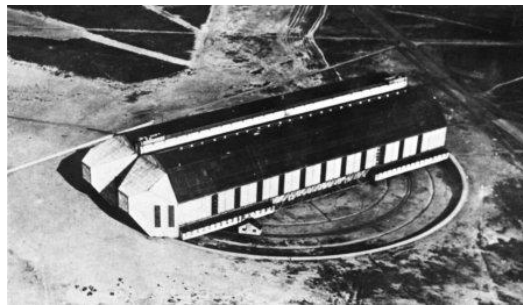
## A LÉGHAJÓKIKÖTŐ FELÉPÍTÉSE, RÉSEI

A léghajók hatalmas teste – amit a tömeg csökkentése érdekében a lehető legkönnyebb szerkezeti elemekből építettek fel – érzékeny volt a változó erejű és irányú szellőkésekre. Amikor a magasban együtt mozgott a levegővel és a működő motorok kormányozhatóvá tették ez nem volt annyira veszélyes. Viszont fel-, leszálláskor és különösen kikötött állapotban nagyon sebezhető volt. A korai Zeppelinek katasztrófái kellő tanulsággal szolgáltak erről. A megoldás a test méreteihez illő hangár lett, amiben a hajó védve volt. A legjobb a forgatható csarnok, amit az aktuális széljárásnak megfelelő irányba igazítva könnyen be lehetett állni a léghajóval a védett helyre, illetve ekkor az induláskor sem okozott gondot a szél. Már az első csarnok, melyben összeszerelték a korai Zeppelineket is ilyen volt. A Bodeni tavon épült. Részint mert máshol nem állt a gróf rendelkezésére ekkora sík terület, részint mert így biztonságosabban lehetett mozgatni a léghajót a hangárral együtt.



13. ábra Az első Zeppelin (LZ-1) felszállás előtt [1]

A szárazföldön bonyolult és drága lett volna ilyen építeni. Ezért csak a legnagyobb léghajóikötőkben készült hasonló. A Nagy Háború alatt az Északi tengeren felderítést végző léghajók zömében Nordholzról szálltak fel. Ott olyan forgatható hangár készült, amiben kettő monsterrum is elfért.



14. ábra Forgatható, két férőhelyes léghajócsarnok Nordholzban  
(Harry C. Redner gyűjteményéből Németország)

A léghajócsarnokok többségében még a háború előtt a rendszeres léghajóforgalom beindításakor, hagyományos anyagokból és technológiával készültek. Ezek némelyike még most is áll. Az I. világháború alatt gyorsan telepíthető hangárok létrehozása is szükségessé vált. A balkáni hadműveletek légi támogatása érdekében Temesvár mellett, Szentandrás és Újbese-nyő között és a bulgáriai Jamboli-ban is építettek ilyeneket. A Jamboli-béli azért érdekes számunkra, mert közel azonos időben készült a szentandrásival és írásos beszámoló is fennmaradt róla [5]. Valamint a két bázis együttműködött a léghajók kiszolgálásában. [1][2]

A német szakirodalomban külön fejezet foglalkozik a délkeleti irány eseményeivel, és itt is olvashatunk a kikötők felszereléséről. [2]





15. ábra A szentandrászi hangár  
(Jean-Pierre Lauwers gyűjteményéből Belgium)

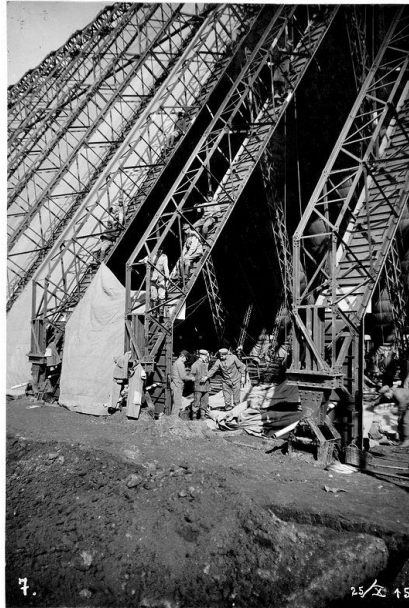
A bázis központi létesítménye a hangár, vagy, ahogy a németek mondják Luftschiffhalle. Ennek olyan méretűnek kell lenni, hogy elférjen benne a léghajó. Amint a korabeli fotón is szerepel a szentandrászi hossza 180 m, szélessége 34 m, magassága 28 m. Mind a két végén két-szárnyú tolóajtó volt.

Több változat létezett. A Jambol-beliről tudjuk, hogy az a VI.a típusú volt [5]. Annak a falai függőlegesek, fával volt borítva, üvegezett ablakokkal.



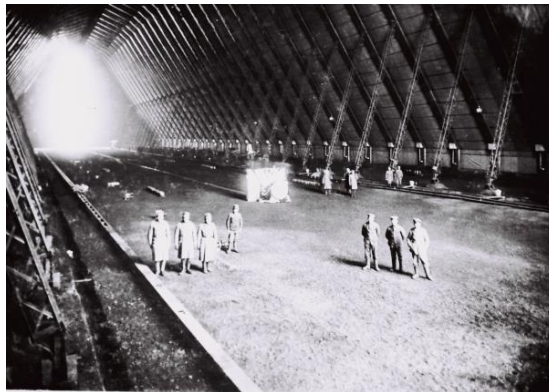
16. ábra Az LZ101 a jamboli hangárban  
(Jean-Pierre Lauwers gyűjteményéből Belgium)

A szentandrászi hangár esetében viszont az előre gyártott acélszerkezetet ponyvával fedték be.



17. ábra Felkerül a ponyvaborítás

Annak érdekében, hogy a hatalmas testet biztonságosan tudják mozgatni a hajó szélességében, két oldalt egy – egy sínt fektettek le, úgy, hogy a hangár előtt és mögött is túljérjen a hajó hosszán. Ezeken a síneken kötéلكocsik voltak rögzítve, melyekhez hozzáerősítették a hajót, amit ennek köszönhetően még erős szélben is biztonságosan tudtak ki- és bevontatni.



18. ábra Két oldalt a kötéلكocsik sínje

A léghajó bevetések legfontosabb feltétele a megbízhatóan előre jelzett időjárás volt. Ennek érdekében még a forgalmi léghajózás beindulásakor gróf Zeppelin kezdeményezésére kiépítettek egy a teljes Németországra, valamint az érintett országokra kiterjedő meteorológiai adatgyűjtő hálózatot. A világháború során ezt kiegészítették az összes léghajóbázison telepített megfigyelőállomásokkal, valamint a megszállt és szövetséges országok állomásaival.



19. ábra Meteorológiai sárkány-felelesztő pavilon Lindenbergben Berlin mellett  
(Harry C. Redner gyűjteményéből Németország)



20. ábra A Legnice-i léghajóbázis meteorológusai  
(Harry C. Redner gyűjteményéből Németország)

Valamennyi léghajóbázis rendelkezett kötött ballonnal is. Ennek kettős feladata volt. Részint mérték vele az időjárási adatokat, különösen a szél irányát különböző magasságokban, másrészt ködös, felhős időben felelesztették és ezzel jelezték a visszatérő léghajónak a kikötő helyét.



21. ábra A ballon előkészítése Szentandráson

A meteorológiai adatok fontosságát mutatja, hogy a minden út során készített útijelentés állandó rovata volt az előzetes adatok, a szél iránya és sebessége különböző magasságokon, valamint a saját megfigyelések.





# Fahrtbericht

Luftschiff: LZ 101

Befehl: \_\_\_\_\_

17te Fahrt seit der Abnahme  
„ „ „ „ Erbauung  
„ „ „ „ Kriegsfahrt Übungsfahrt  
Kafen Janbol  
von \_\_\_\_\_ aus  
4. November 1916  
am \_\_\_\_\_

Übungsfahrt

(Ausbildung Oberleutnant Seibt)

## Besatzung:

Kommandant: Oberleutnant Koroiber  
I. Offizier: Oberleutnant Seibt  
II. Offizier: Leutnant Walther  
Beobachter: \_\_\_\_\_  
Fahringenieur: Leutnant Wackernagel  
Höhensteurer: Obersteuermann Kriebel  
Seitensteurer: Untersiegmann Hasselbeck  
Funker: Unteroffizier Pries  
Mitfahrende: 1 Unteroffizier und 5 Mann vom Schiffspflegetrupp

Maschinisten: I. Untermaschinist Grundig  
II. Obermaschinist Schneider  
III. Untermaschinist Herold  
IV. Unteroffizier Wolf  
V. \_\_\_\_\_  
VI. \_\_\_\_\_  
Hilfsmaschinisten: Untermaschinist Hofmann  
Unteroffizier Köhne  
M. G. Schützen (Plattform) \_\_\_\_\_  
(Heck) \_\_\_\_\_  
(Gondeln) Untoffz. Schettler

Zusammen: 20 Personen.

## Nutzlast:

Besatzung 20 Personen ..... 1 500 kg  
Benzin für 16 Stunden ..... 3 200 „  
Öl für 16 Stunden ..... 240 „  
Wasserballast ..... 3 000 „  
Abwurfmunition ..... „  
M.G. mit Munition ..... 300 „  
Reserve-Kühlwasser ..... 300 „  
Ausrüstungs- und Res.-Teile ..... 150 „  
Korb und Winde Fallschirme ..... 150 „  
Freier Auftrieb ..... 400 „  
Zusatzbelastung (Tau, Regen, Schnee) ..... „  
Nutzlast ..... 15 350 kg

Reduzierte Nutzlast: 12 450 kg  
(760 mm, ± 0%, 0,1 s, 60 pCt. rf., 100 pCt. Füllung)

~~Abwurfmunition bestand aus:~~

Sprengbomben: \_\_\_\_\_  
Brandbomben: \_\_\_\_\_  
Stck. à \_\_\_\_\_ kg  
Stck. à \_\_\_\_\_ kg  
„ „ „ „  
„ „ „ „  
„ „ „ „

Beschaffenheit der Aussenhülle: stumpf  
Beschaffenheit der Zellen: gut  
Bei Abfahrt: B = 755 mm,  $t_i = 9,4^\circ$ ,  $t_g = 9,6^\circ$ ,  
 $s = 0,1022$ , rf. = 72 %, 97,5 % Füllung.

## Wetter:

Windmessung: Boden NW. 2 m, 100 m \_\_\_\_\_, 250 m \_\_\_\_\_, 500 m \_\_\_\_\_, 1000 m \_\_\_\_\_,  
1500 m \_\_\_\_\_, 2000 m \_\_\_\_\_, 2500 m \_\_\_\_\_, 3000 m \_\_\_\_\_, 3500 m \_\_\_\_\_, 4000 m \_\_\_\_\_

### Letzter Wetterbericht:

Leif über der nördl. Nordsee und engl. Kanal, dann über den Schwarzen Meer, Austäufer nach Westen bis in die Linie Budapest-Teheran vor Fisch Monastir vorstoßend.

### Eigene Beobachtung:

Bei Abfahrt bewölkt, oben stetige NW. Winde, zuletzt Aufbruch der Wolkendecke und Sonnenbestrahlung

22. ábra Az LZ101 1916. november 4-ei felderítő bevetésének utijelentése [4]  
(Harry C. Redner gyűjteményéből Németország)



A bázis nagyteljesítményű rádióállomásokkal rendelkezett. Ezeken tartották a kapcsolatot a parancsnoksággal, ami részint a hadszíntéri parancsnokságot, részint a Szárazföldi Haderők Parancsnokságát jelentette, és természetesen a bevetésen lévő léghajóval is.



23. ábra A szentandrászi bázis híradó központja



24. ábra Antenna árboc Szentandráson

A léghajózás másik problémás területe az időjárás mellett, a navigáció volt. A bevetésekre általában éjjel került sor, újhold idején. A légvédelem tevékenységének kikerülése érdekében a felhők felett, között repültek. Gyakran volt köd, alacsony felhőzet. Mindezek sok bizonytalanságot idéztek elő a léghajó személyzetében a helymeghatározást illetően.

Támogatásként létrehoztak egy iránymérő állomásokból álló hálózatot. Ezek az állomások minden léghajóbázis állandó részét képezték, de sok más erre alkalmas helyre is telepítették őket. Esetünkben Szentandráson és Jambolon kívül Szófiában, Burgaszban, Konstantinápolyban is volt ilyen.

A hajó meghatározott időnként leadott egy „A” betűt az adóján ezek az állomások megmérték az adás irányát 2-3-4 eredmény összegzéséből megkapták a hajó helyzetét, ezt közölték a parancsnokkal. Erre a célra Telefunken rendszerű iránymérőket használtak.



25. ábra Az iránymérő antennája



26. ábra Az iránymérő vevőberendezése

Mindezeket a berendezéseket, de az épületek világítását is egy kis erőmű látta el árammal.



27. ábra Áramfejlesztő a léghajóbázison



28. ábra A villanyvilágítással ellátott legénységi körlet

Természetesen ahhoz, hogy a léghajó, vagy a ballon felemelkedjen hidrogén gázra volt szükség. A bevetések során a manőverek, a kidobott bombák, kilőtt lőszer, elhasznált üzemanyag súlyának kiegyenlítése miatt jelentős volt a gázvesztés, amit pótolni kellett.

Erre a célra egy viszonylag egyszerű eljárást alkalmaztak, ami a ballonszázadoknál is már bevált [3]. A gázgenerátor két egységből állt, egy gázfejlesztő és egy gáztisztító kocsiból. Vegyszerként szilícium dioxidot és nátronlúgot használtak. A fejlesztőben a nátronlúg vizes oldatának hőmérséklete elérte a 90–100 fokot. Miután az oldat elkészült bizonyos mennyiségű vízhez adagolták a szilícium dioxidot. Amikor a vegyi folyamat során a hidrogén gáz fejlődött, azt egy csőrendszeren át a tisztító egységbe vezették, amit vízpermettel hűtöttek. A gázt a tisztítás után közvetlenül egy feltöltő csővel a léggömbbe vagy egy léggömbszerű konténerbe (Füllsacke) töltötték.



29. ábra Gázgyártás tábori viszonyok között [3]



30. ábra A léghajóbázis gázgyára építés közben. Jól látható, hogy két tábori berendezést helyeztek el benne, melyeket tartályokkal egészítettek ki

Mindezekon felül a létesítményhez több raktár és műhely is tartozott. A léghajók jelentős mennyiségű üzem és kenőanyagot, valamint lőszeret és különböző bombákat használtak el egy – egy bevetés során. Gyakran keletkeztek sérülések, lövedékek, repeszek találták el őket. Elromlott rajtuk valami. A szabály az volt, hogy a beérkezés után azonnal fel kellett tölteni, kivéve a bombákat, melyeket a feladat függvényében válogattak össze, ki kellett javítani, hogy készen álljon következő küldetésre. Valamint tartozott a bázishoz minden az állomány ellátásához szállásolásához szükséges létesítmény is.

A tisztek, valamint a léghajó állománya Temesváron laktak. Gépkocsival tették meg a mintegy 12–15 km utat.

A bázis személyzete három részből tevődött össze. A nagyobb létszámot a k.u.k. katonák adták. Mintegy 300 főből állt ez a kötelék. Ők végezték a bázis fenntartásával, őrzésével, valamint az összes nem a léghajó üzemeltetésével kapcsolatos feladatot. Ennek a résznek volt a parancsnoka Hauptmann Poppe. A második rész a német technikai század. Ők készítették fel, javították a léghajókat. A harmadik pedig az éppen a bázison tartózkodó léghajó személyzete. Nekik a hadszíntéri parancsnok volt az előljárójuk. Ez utóbbi két csoporttal Poppénak együttműködési feladata volt. A hajó mozgatásával, le és felszállásával kapcsolatban minden felelősség a hajó parancsnokáé volt. Viszont szüksége volt a k.u.k. katonák közreműködésére, mivel a hajótest megtartásához 150–200 fő kellett.

## A BÁZISON ÁLLOMÁSOZÓ, ILLETVE ITT MEGPIHENŐ LÉGHAJÓK ÉS AZ ÁLTALUK VÉGREHAJTOTT FELADATOK

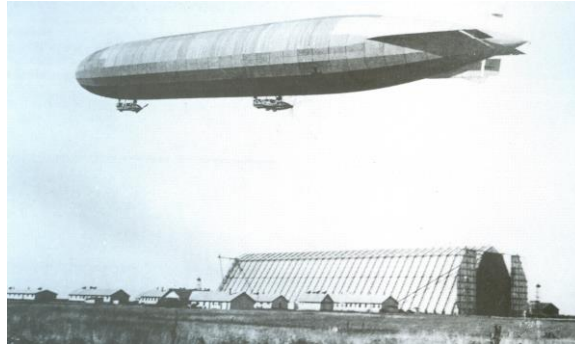
A léghajókat a hadrendi számuk szerint említem. Mindegyiknek volt gyártási sorozatszámja is, de a kettő között szándékosan nem volt összefüggés. Ez okoz némi bonyodalmat, de ma már mindegyiket lehet azonosítani. Az LZ a szárazföldi haderőhöz tartozó zeppelin léghajók, az SL pedig a Schütte-Lanz féle léghajók neve.

### LZ85

Nem ez volt az első hajó, amely használta a bázist. Az LZ81 harcászati számú zeppelin 1915.



november 7-én érkezett Szentendrásra és hosszú ideig itt is maradt, aztán egy konstrukciós hiba miatt visszarendelték és átépítették. A felújítás után újból ez a bázis lett a szolgálati helye és egy innen indított támadás során érte a vég. Tekintettel arra, hogy a második itt tartózkodása volt a mozgalmasabb sorrendben akkor írom le a vele kapcsolatos adatokat.



31. ábra Az LZ 85 Szentendrás felett  
(Jean-Pierre Lauwers gyűjteményéből Belgium)

A léghajó személyzete 6 támadást hajtott végre és ezek alkalmával összesen 14.200 kg bombát dobtak le. A célpontok 1915. 10. 12. Düneburg (Litvánia), 1915. 10. 14. Minszk (Belorusszia), 1915. 10. 22. Riga. Szaloniki három ízben. Szalonikiben semmisült meg. Ennek a három Szaloniki-i útnak a kiindulópontja volt Szentendrás/Újbesenyő.

Az alábbi információk a Jean Walton<sup>4</sup>-tól származnak, aki Nagy-Britanniában él és ennek a léghajónak a sorsát kutatja már 10 éve.

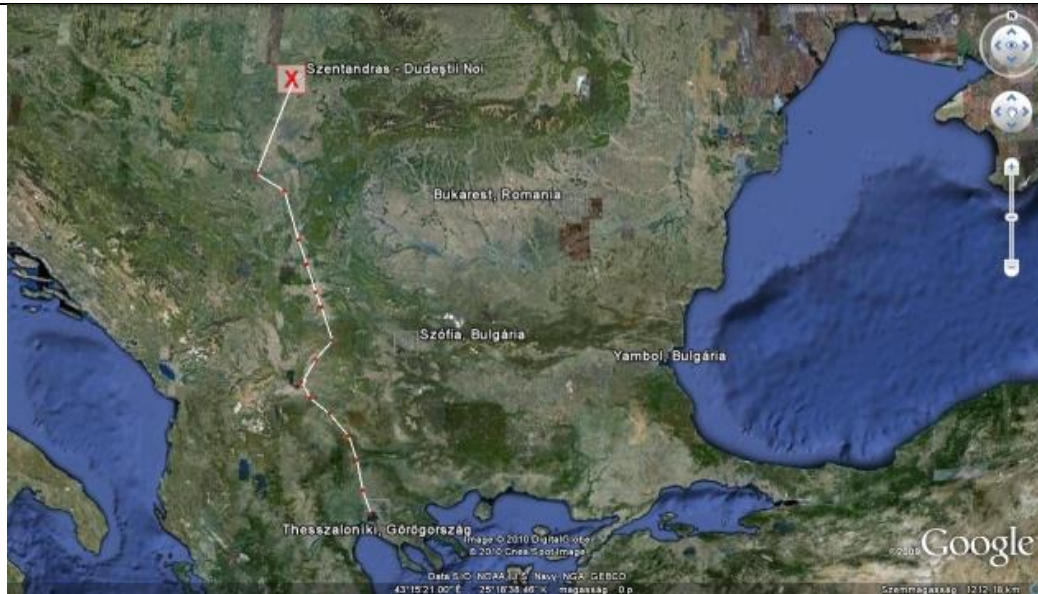
Az LZ85 - Potsdamban, Németország épült - az első próbarepülést 1915/09/12-én tette. Az LZ85 parancsnoka Hauptmann Scherzer – egy fiatal lelkes tiszt lett, aki korábban a Sachsen Zeppelinén Oroszország ellen tevékenykedett. (A Sachsen volt az a hajó, amelyik 1913. 10. 9-én Zeppelin gróf parancsnoksága alatt 9 óra alatt repült el Bécsbe Baden Oos-ból. A háború kitöréséig 419 utat tett szerte Európában. A háborúban több támadást hajtott végre előbb a nyugati, majd a keleti fronton pl. Antwerpen és Varsó ellen is. Később iskolahajó lett a Hadi-tengerészetnél.)

Miután áttelepült Allenstein bázisra, részt vett az első támadásban Dünaburg ellen 1915/10/12-én és 3522 kg bombát dobott le. A 1915/10/14-én Minszket támadta 1766 kg bombával. 1915/10/22-én látták az LZ85-t Riga felett, 1766 kg bombával.

Az LZ85 1916/01/27-én került át az újonnan épített léghajókikötőbe Magyarország déli részén Temesvár mellé.

A 1916/01/31-én Scherzer parancsnok megkezdte az első bombázó útját Szalonikibe 2 tonna bombát rakodott be. A hegység hatalmas turbulenciát okozott, ami rendkívül veszélyes egy ilyen gyenge szerkezetű járműnek. Miközben Szaloniki kikötője fölött kioldotta a bombákat jelentős anyagi kárt okozott, beleértve a Bank of Szaloniki épületét, amely kigyulladt.

<sup>4</sup> Személyes közlés még kiadatlan eredményből



32. ábra A távolság 673 km a hegyek között szerencsés esetben is legalább 18 óra oda-vissza

Scherzer parancsnok a második támadás előkészítésének során 1916/3/17-én, úgy döntött hogy Bulgáriában, Szófiában fog üzemanyagot utántölteni, és így csak ahhoz elegendő mennyiséget kell vinnie, amennyi elég Szaloniki eléréséhez, és aztán Szófiáig. De ezt a támadást súlyosan hátráltatta az időjárás. A sűrű felhők arra kényszerítették az LZ85-t, hogy alacsonyan repüljön és ez lehetővé tette a légvédelmi ágyuknak, hogy eltalálják a Zeppelint srappnel-lel. Az LZ85 hidrogént vesztett és bár Scherzer a léghajót visszavitte Szófiába, nem volt elég hidrogénje, hogy a teljes útját megtegye vissza Temesvárra. Leszerelt 2 motort, valamint hátrahagyta a legénység néhány tagját, ami lehetővé tette a számára elegendő felhajtóerő elérését a vissza úthoz. A legénység Szófiában visszamaradt része és a motorok hamarosan megérkeztek Temesvárra vonattal.

1916. május 5-én, az időjárás kedvezőre fordult, így megkísérelhettek egy újabb támadást Szaloniki ellen. A hajó erős légvédelmi tűz fölött repült Szaloniki kikötőjéhez, a Szövetségesek már óvatosak voltak. Az első találatot egy 12 fontos fegyver érte el a HMS Agamemnon hadihajóról, majd a TB18 torpedónaszád is megrongálta. Minden erőfeszítése ellenére sem tudta visszavinni a Zeppelint a német vonalak mögé. Az LZ85 elbukdácsolt az ingoványos mocsarakig a Vardar folyó torkolatánál. A teljes 12 fős személyzet túlélte a kényszerleszállást, és, hogy ne kerüljenek az ellenség kezébe információk a Zeppelinről azonnal lánggyújtották a hajót. Annak ellenére, hogy megpróbáltak elrejtőzni és elmenekülni, hamarosan elfogta őket a francia lovasság.

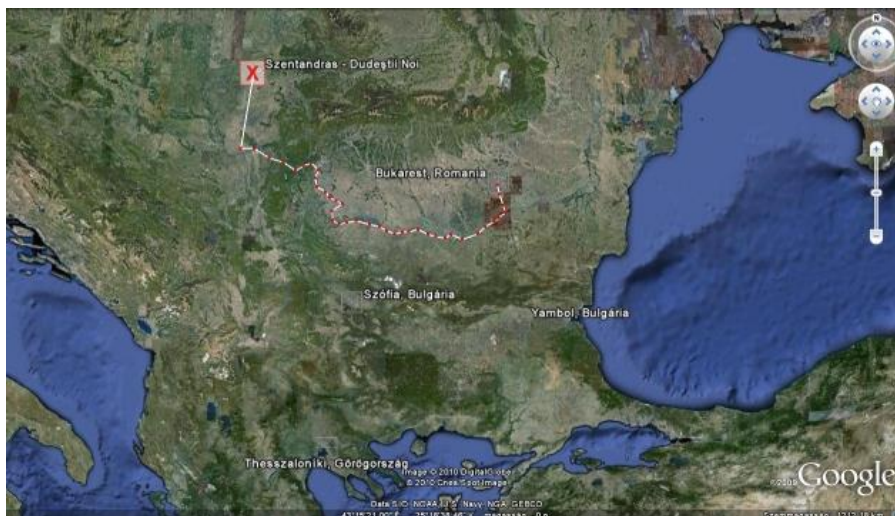


33. ábra Oblt Nippe, Hptm. Scherzer és a bázishoz tartozó egyik német tiszt még Szentandráson

## LZ86

A léghajó 7 támadást hajtott végre Kelet és Dél Európában ezek alatt összesen 14.800 kg bombát dobott le.

1915. 11. 6-án és 1916. 2. 5-én sikeres támadást hajtottak végre Dünaburg ellen. Először 3500 kg, majd 1600 kg bombát dobtak le 2600 m magasból, a légvédelem pár helyen megrongálta. 1916. február vége és április között négy sikeres támadás következett Minszk–Molodeczno és Rezekne (80 km északra Dünaburgtól) vasútállomás, Daugavpils és Molodeczno (60 km északnyugatra Minszk-től) útvonalon, 1916. 5. 3-án a Minszk–Molodeczno útvonalon. Drezdában 1916. májusban átalakították „q” típusra. 1916. június/júliusban a keleti fronton volt, majd 1916. 8. 24-én áttelepült a dél-keleti frontra, Szentandrásra, ahonnan romániai célokat kellett támadnia.



34. ábra Szentandrás-Bukarest bevetés útvonala



A távolság 710 km, ugyanis a hegyek és a tájékozódás miatt a Duna fölött repültek. A repülési idő oda-vissza legalább 19–20 óra.

1916. 9. 4-én sikeres támadást hajtottak végre Bukarest és Ploesti olajfinomítói ellen. A visszatérés után, Szentendránál a leszállási manővernél a léghajó irányíthatatlanná vált, és elpusztult. A személyzetből kilencen meghaltak, akik közül öt főt a temesvári temetőben helyeztek végső nyugalomba.



35. ábra Hauptmann Wolff az LZ 86 parancsnoka  
(Harry C. Redner gyűjteményéből Németország)



36. ábra Kép a temesvári hősök temetőjéből  
(Harry C. Redner gyűjteményéből Németország)

## LZ81

Elkészülte, 1915. 10. 7. után 1915. 11. 2.–1916. 1. 19. között a déli fontra vezényelték, a frissen épített szentendrasi LuftschiFFhalle-ba. Egy diplomáciai küldetéssel kezdte a pályafutását 1915. 11. 09-én Szófiába vitt magas rangú delegációt, Johann Albrecht von Mecklenburg her-



ceget a német Császár különleges megbízottját, aki I. Ferdinánd bolgár cárral folytatott tárgyalásokat. A találkozó után a herceg az LZ81 fedélzetén tért vissza Szentandrásra.



Hauptmann Jacobi.

*Kommandant des Luftschiffes „LZ 81“*

37. ábra Hauptmann Felix Jacobi az LZ81 parancsnoka



38. ábra Az LZ81 személyzete

(Harry C. Redner gyűjteményéből Németország)

Új fejlesztésű 240 LE-s motorokkal szerelték fel, de ezek még nem voltak teljesen megbízhatóak, ami sok gondot okozott a személyzetnek. 1915. 12. 31-én támadást kíséreltek meg Szaloniki ellen, de a gyenge motorok miatt vissza kellett fordulniuk.

Miközben 1915.11.2-a és 1916.01.19. között Szentandrason állomásozott, többször megkísérelt eljutni Szalonikiig, de a motorproblémák visszafordulásra kényszerítették. Hauptmann Felix Jacobi a háború kezdetétől léghajón szolgált. Beosztott tiszt volt az LZ72 (LZ42)-n, parancsnoka volt az LZ16 (Z IV) és az LZ22 (Z VII) iskolahajóknak, valamint az LZ34 (LZ34), LZ42 (LZ42) léghajóknak, melyekkel sok bevetésen vett részt. Valószínűleg addigi eredményei miatt választották őt a nagy fontosságú diplomáciai küldetés hajóparancsnokának.

Miután visszarendelték Szentandrásról 1916. 2. 22-én Düsseldorfban volt az LZ81. 1916. február és május között a nyugati fronton teljesítettek szolgálatot. 1916. 3. 30-án támadta Londont, 1916. 4. 25-én sikeres támadást hajtott végre Etanles ellen. Ekkor légvédelmi találat miatt súlyosan farok nehéz lett a hajó, egy motorja leállt, ennek ellenére visszatért a bázisára. A feb-

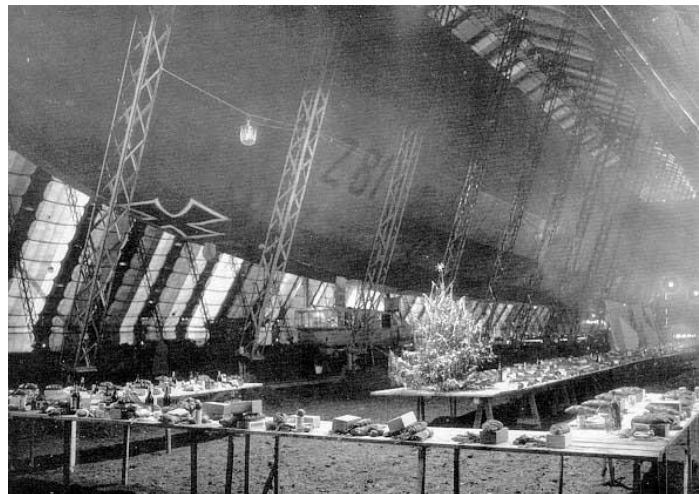
ruár-májusi időszakban két bevetésről légsavartengely törés miatt vissza kellett fordulnia.

1916. június- július során Drezdában átépítették a „q” típusnak megfelelően. Az LZ86 pusztulása után, valószínűleg az átépítés befejeztével, újból Szentandrásra küldték.

1916. 9. 24/25-én sikeres támadást hajtott végre Bukarest ellen, melyet másnap, 1916. 9. 26/27-én megismételtek. A bombák ledobása után, a támadás alatt kapott találatok előidézte gázvesztesség miatt kényszerleszállást hajtottak végre Gorna Ryahavica (Tarnovó mellett) közelében Bulgáriában, nem messze a német hadszíntéri parancsnokságtól. A hajó nem szenvedett végzetes sérülést, de mivel ezen a távoli helyen nem volt mód a javításra, szétszedték és elszállították az alkatrészeket. Ezeken az utakon Poppe százados is részt vett, és a léghajó kényszerleszállása során megsebesült. Bal karja sérülhetett, legalábbis az olasz frontról küldött levelében arról ír, hogy a bal karját különleges gyakorlatokkal erősíti.

Az első, sikeres útról részletes beszámolót lehet olvasni a Z181 Bukarest ellen című könyvben, amit a hajó első tisztje írt, nyilvánvaló propaganda céljából. Fordításban a [www.scharekf.hu](http://www.scharekf.hu) oldalon található. (A Z181 lajstromjel nem létezett, elég átlátszó a kódösítés).

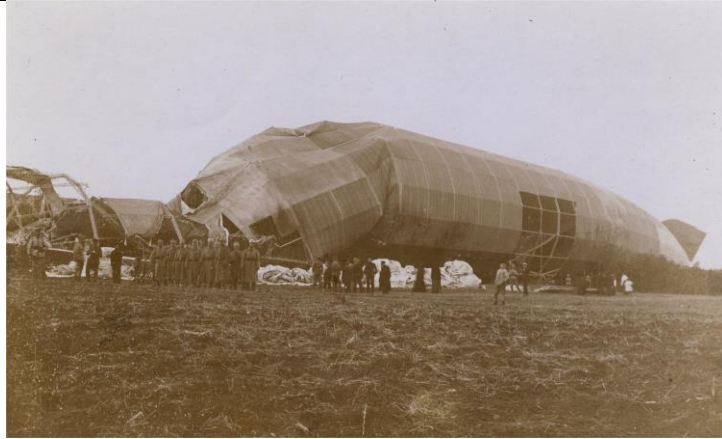
August von Mackensen tábornok a hadszíntér parancsnoka kitüntette Poppét a 2. osztályú vaskereszttel a támadásokban való részvételéért.



39. ábra Az LZ81 a karácsonyi díszben lévő hangárban  
(Jean-Pierre Lauwers gyűjteményéből Belgium)

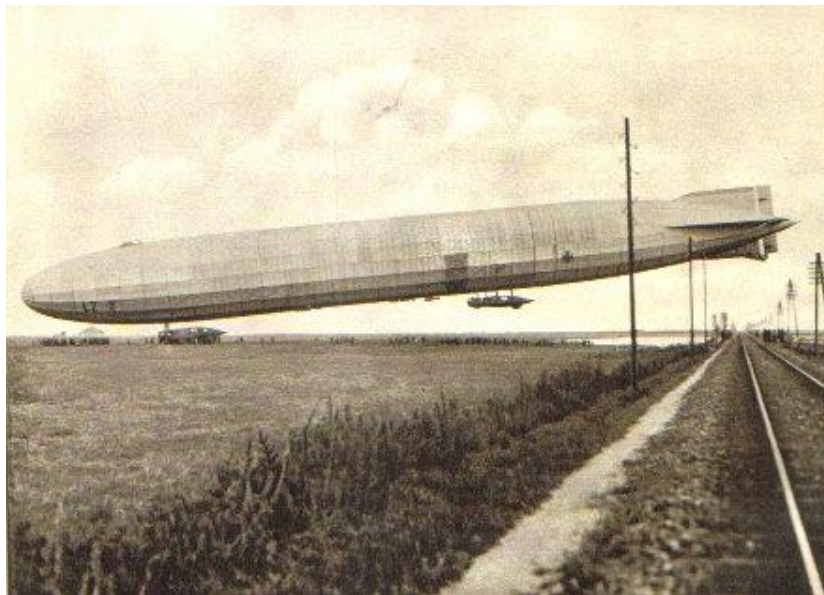


40. ábra A hajó magasságmérőjének grafikonja az utolsó út adataival



41. ábra A sérült hajó szétszedése közben

## LZ 97



42. ábra Az LZ97 megérkezik a bázisra  
(Jean-Pierre Lauwers gyűjteményéből Belgium)

Ez a hajó követte az LZ 81-t Szentandrason és ez volt egyben az utolsó is, mivel 1917 tavaszán a német Szárazföldi haderő felhagyott a léghajókkal végrehajtott támadásokkal és visszarendelte és szétszerelte a megmaradtakat.

Az LZ97 1916.04.04-én jött ki a gyárból.

1916. április 25-én Londont támadta. A visszafelé vezető úton, Gent közelében két ellenséges repülőgéppel került szembe. A két gép egyikét a fedélzeti géppuskával kényszerleszállásra kényszerítik, a másikat a ballaszt kidobása általi felülemelkedéssel – 4520 méterre emelkedett – sikerült leráznia. Erről a „London 1914–17: The Zeppelin Menace” szerző: Ian Castle, Christa Hook könyv 55 – 56. oldalain olvashatunk, egymás mellé téve két kicsit eltérő beszámolót az LZ97 parancsnok helyettesétől Lampel főhadnagytól, valamint az angol pilótáktól (Captain A. T. Harris (később Arthur „Bombázó” Harris légi-marsall) és 2nd-Lt William Leefe Robinson).



1916. augusztus 23. ismét London támadása, 1500 kg bombát dobott le.

1916. szeptember 2-3. felszállás a londoni támadáshoz, 12 haditengerészeti léghajóval együtt (L 11, 13, 14, 16, 17, 21, 22, 23, 24, 30, 32, SL 8) és szárazföldi haderőnemtől az LZ90, LZ98 és SL11-el. Az LZ97-es támadása navigációs problémák (köd, pára) miatt eredménytelenül félbeszakadt. Összesen 16 egység indult bevetésre, ezredkötelékben.

1916. szeptember 22. Támadás Boulogne-sur-mer ellen, 1200 kg bombát dobott le.

1916. október 17.-1917. április: Bevetések a dél-keleti fronton, az alapbázis Szentandrás, október elején érkezett a bázisra.

1916. október 23–24. Támadás Bukarestre, 1500 kg bombát dobott le.

1916. október 24–25 Támadás Fetesi-re. (Cernavoda-tól nyugatra)

1916. november 1. Támadás Bukarestre.

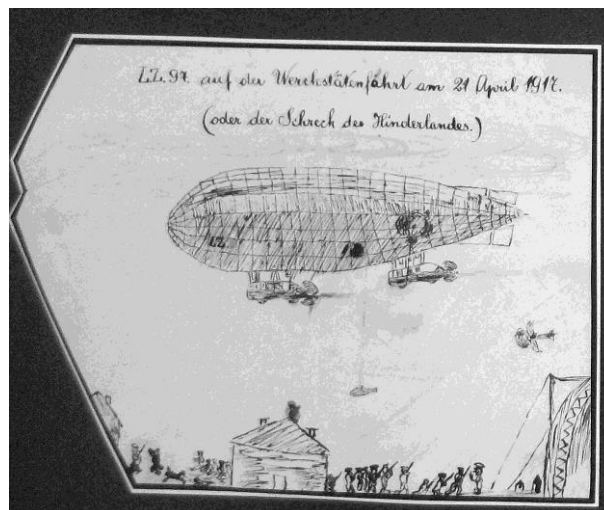
1917. január 22–23. Öt támadási kísérlet Valona, Tarent, Brindisi és Kishniev ellen.

Navigációs szempontból ezek az Olaszország elleni támadások csúcsteljesítménynek minősülnek, de az előnytelen időjárási körülmények (sűrű felhőzet) miatt végül is eredménytelenül zárultak. Poppe szolgálati lapján (ugyanis ő is részt vett ezekben) propaganda repülésként vannak nyilvántartva.

1917. április 21. A szárazföldi léghajózás beszüntetése miatt visszavezényelték Németországba.

A 4 bombázás során Szentandrásról kiindulva 5760 kg bombát dobott le.

1917. május 5. szolgálat alól felmentve és leszerelve.



43. ábra A hazainduláskor készült rajz. Jól látszik a leereszthető megfigyelő-gondola, amit ködben és felhős időben használtak

## SL10

Ez a hajó Shütte-Lanze gyártmány. Ezeket először favázzal készítették, azután áttértek az alumíniumra. Kölcsönösen másolták egymás fejlesztéseit a Zeppelin céggel. Állandó bázisa Jambolban volt, de időnként megjelent Szentandráson is.



1916. 5. 17-én hagyta el a gyárat. 1916. 6. 21-én érkezett meg Jambolba. 1916. 7. 2-án egy német tengeralattjáróval együttműködve elrepült Szevasztopolig. Ezt a felderítő utat nagyon fontosnak minősítette a török parancsnokság, ugyanis attól tartottak, hogy az orosz flotta megtámadja a krími partoknál tevékenykedő török hajókat. Ezért annak ellenére, hogy még csak délután 2 óra volt, nagyon meleg (30 °C) és erős szellőkések nehezítették a hajó kivontatását a hangárból Hauptmann von Wobeser parancsnok mégis nekivágott az útnak. A bajok tovább szaporodtak. Először a rádióadó transzformátora mondta fel a szolgálatot, majd az egyik hátsó motor olajszivattyúja (ezt kézi pumpálással üzemben tartották) romlott el, majd az egyik első motor teljesítménye esett vissza. A sok gond ellenére a legénység kitartott és megközelítette Szevasztopolt, az orosz flottának nyomát sem látták. Csak akkor döntött a kapitány a visszafordulásról, amikor viharos délkeleti szélről kapott jelentést. Ekkor már 22.30 volt. Mivel nem tudtak navigációs segítséget kérni reflektorral kerestek beazonosítható tárgyakat. Több hajóról lőttek rájuk. 02.15-kor 100 mérföldre jártak északnyugatra a Boszporusztól, amikor venni tudták a burgaszi irányadó jelét és annak segítségével reggel 8 óra körül visszaértek Jambolba. Ez mintegy 1500 km út 18 óra alatt, gyakorlatilag végig tenger felett.

1916. 7. 15-én felderítő úton volt a Fekete tenger déli partján Zonguldak-nál.

1916. 7. 15 és 20. között sikeres aknakutató úton volt.

1916. 7. 27-én nem tért vissza a Szevasztopol elleni támadó küldetésből. Ez a misszió szintén nagyon kellemetlen időjárási viszonyok között indult. Annak érdekében, hogy több bombát, üzemanyagot és ballasztot tudjanak vinni a 24 órára tervezett útra, a személyzetből 7 főt hátrahagytak. Így 16 fős legénységgel indult el a hajó. 28-án reggel 4 és 5 óra között a szokásos módon iránymérést kértek a konstantinápolyi török állomástól és ezzel nyomuk veszett. Amikor rendre nem jelentkeztek repülőgépekkel keresést kezdtek, de ez nem vezetett eredményre. A további vizsgálat megállapította, hogy az orosz újságok nem írnak semmit, tehát nem tudnak a támadásról. Egy bulgár rádió vett néhány szótöredéket, ami az erős széllel való küzdelemről, kifolyócső eltöréséről szolt. A "Corcovado" nevű görög tankhajó a Boszporusztól keletre alkatrészeket talált, majd szeptemberben 4-én a Várna melletti 24 cm-es bulgár parti üteg katonái megtalálták Dahl mérnök mentőmellényes holttestét. Később egy német tiszt, aki egy török torpedónaszádon utazott megtalálta az SL10 Nr20-as üzemanyagtartályát. Ezen erős erők hatását tapasztalták, de égésnyomokat nem, ebből következtettek arra, hogy valószínűleg egy hirtelen légörvény okozta a vesztét, ami a Fekete tenger felett gyakori. [4]





44. ábra Az SL10 Szentendrácson



45. ábra Az SL10 Konstantinápoly fölött. Képeslap  
(Harry C. Redner gyűjteményéből Németország)

## LZ 101

Ez a zeppelin szintén jamboli illetőségű, de amikor Románia ellen küldték a hegyek miatt Szentendrást is útba ejtette.



46.ábra Az LZ 101 Jambol felett  
(Jean-Pierre Lauwers gyűjteményéből Belgium)

1916. 6. 29-én készült el.

1916. augusztus és 1917. április között a déli fronton állomásozott, Jambolban.

1916. 8. 28/29 támadás Bukarest ellen, 1916. 9. 4/5 támadás Bukarest ellen, 1916. 9.14 támadás Bukarest és Ploesti ellen, 1916. 9. 25/26 támadás Bukarest ellen (Bukarestre három ízben 2000 kg bombát dobott le), 1916. 10. 5/6 támadás Ciulnita és Calarasi ellen (100 km-re keletre Bukaresttől), 1916. október végén támadás Fetesi (Cernavoda nyugat) ellen, 1916. 11. 13. javítás utáni ellenőrző út Konstantinápolyba. 1916. 12. 25/26 támadás Galati ellen, 1917 elején támadás Jassy, Odessa és Mytilene ellen. 1917. 3. 20/21 támadás Mudros ellen.

1917. 08. 31-én visszatért Németországba, mivel a Szárazföldi haderő léghajó alakulatait megszüntették. Jambolból Schneidemühlbe vezető 1800 km-es utat 25h 30min alatt, leszállás nélkül repülte be. 1917 szeptemberében szétbontották. [4]

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] vitéz MADARÁSZ László: A levegő meghódítása Bp. 1925. Világirodalom kiadás, 251–253. o.
- [2] NEUMANN, Georg Paul: Die Deutschen Luftstreitkräfte Im 1 Weltkrieg 1920, 343–374. o.
- [3] Vortrag über Entwicklung, Zweck und Tätigkeit der Ballonkompagnien im Felde Wien 1917. K.u.K. Luftschiffer Ersatztruppe, HM HIM Hadtörténelmi Levéltár perszonáliák 140. doboz
- [4] REDNER, Harry C.: Die Luftschiffwaffe des Heeres Die Geschichte der deutschen Heeresluftschiffahrt [www.luftschiiffharry.de](http://www.luftschiiffharry.de) (2013.02.06.)
- [5] MEIGNER-SCHARDT, WOLFGANG: Pioneer of Intercontinental Aviation by Chance. The History of Zeppelin Airship Type W, Zeppelin-Museum Friedrichshaven 1992. 37-41. o. <http://forum.boinaslava.net/showthread.php?8571-german-airship-base-in-jamboli> (2013.02.06.)

Bolgár Judit<sup>1</sup>

## VISELKEDESI KOCKÁZAT VESZÉLYHELYZETBEN<sup>2</sup> (folyamatban lévő kutatás elméleti háttére alapján)

### *Rezümé*

*A tanulmány egy a cikkben jelzett kutatás rövid elméleti és gyakorlati összefoglalóját tartalmazza. A kutatás 2012-13. évben folyik. Témája: a veszélyhelyzeti magatartással együttjáró pszichés kockázatok vizsgálata, tervezett outdoor-tréning szerű modellgyakorlatok segítségével.*

### **THE PSYCHIC RISKS OF DANGER SITUATIONS**

### *Resume*

*The study implies the summary of a research proceeding about 2012-2013 years. His topic the examination of the psychic risk of the danger situation in outdoor model practices.*

A TÁMOP-4.2.1. B-11/2/KMR-2011-0001 számú „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” című pályázat keretében, a „Civil-katonai partnerség” nevű szakmai alprogram részeként a „Viselkedés vészhelyzetben” nevű kiemelt kutatási terület keretében azokat a közszolgálati feladatokat ellátó állományt érintő pszichés kockázatokat vizsgáljuk, amelyek jelentős hatással lehetnek a feladat végrehajtás biztonságára.

A kritikus infrastruktúrák védelmének jelentőségét hangsúlyozza az európai kritikus infrastruktúrák azonosításáról és kijelöléséről, valamint védelmük javítása szükségességének értékeléséről szóló 2008/114/EK tanácsi irányelv (a továbbiakban: irányelv) is. Az irányelv kidolgozásának folyamatában a kritikus infrastruktúrákat érintő terrortámadások tekintetében megfogalmazódott az európai megelőzés, a felkészültség és a reagálást javításának szükségessége, illetőleg az, hogy elsőbbséget kell adni a terrorizmusból eredő veszélyekkel szembeni küzdelemnek. E megközelítés értelmében a kritikus infrastruktúrák védelmével kapcsolatban figyelembe kell venni az ember által okozott technológiai veszélyeket és a természeti katasztrófákat is.

Az irányelv 2. cikkének fogalom meghatározása szerint „kritikus infrastruktúra”: a tagállamokban található azon eszközök, rendszerek vagy ezek részei, amelyek elengedhetetlenek a létfontosságú társadalmi feladatok ellátásához, az egészségügyhöz, a biztonsághoz, az emberek gazdasági és szociális jólétéhez, valamint amelyek megzavarása vagy megsemmisítése e feladatok folyamatos ellátásának hiánya miatt jelentős következményekkel járna valamely tagállamban.

Kritikus infrastruktúra védelmével közvetlenül vagy közvetetten foglalkozó hivatásos és polgári állomány, elsősorban néhány, őrző-védő illetve megelőző feladatot ellátó foglalkozási

---

<sup>1</sup> prof. dr; Nemzeti Közszolgálati Egyetem Társadalomtudományi Tanszék, bolgar.judit@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Dunai Pál, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, dunai.pal@uni-nke.hu

csoportban tevékenykedők minden korábbi állapotot meghaladó pszichés terhelésnek vannak kitéve, s ebben kitüntetett figyelmet érdemelnek az előre nem, vagy csak roppant nehezen kalkulálható veszélyhelyzetek.

A rendvédelmi és a honvédelmi állomány körében jelentkező, őket terhelő váratlan, kiszámíthatatlan feladatok és kihívások rendkívülien megnövelik fizikai és pszichikai igénybevételüket. Ezek hatására pedig az arra hajlamos személyi állomány körében nagy valószínűséggel nő az előre nem látható egészségkárosodás és azok előfordulásának kockázata. Végül e körülmények meghatározhatják nemcsak az állomány túlélőképességét, hanem akár a veszélyhelyzetben, akár normál körülmények között jelentkező feladataik teljesítését is.

Az „állampolgári jogok országgyűlési biztosának jelentése az AJB-1940/2011. számú ügyben” c. dokumentumban a rendvédelmi és honvédelmi szervek hivatásos állományával kapcsolatban az alábbi megállapítások olvashatók:<sup>3</sup> „Máig sem vált általánossá az a felismerés, hogy az emberi egészségromlás, elsősorban a korai, un. idő előtti egészségromlás és halálozás szempontjából a krónikus stressz szerepe meghatározó. Míg az 1960-as években egészségi mutatóink jobbak voltak, mint Ausztriában, ma Magyarországon az érettségénél alacsonyabb végzettségű rétegekben minden második férfi nem éli meg a 65. évét, ez az arány Ausztriában és a magyar nők esetében is 80% felett van. A korai egészségromlás az életminőség nagyfokú romlásának csak végső mutatója. Genetikai okok nem magyarázhatják ezeket a riasztó jelenségeket. Saját, a magyar népesség körében végzett, igen széleskörű keresztmetszeti és követéses vizsgálatok szerint a közös normák, értékrend hiányának, az anómiás lelkiállapotnak, a rivalizálásnak, a bizalom hiányának, az ellenségességnek igen fontos kóroki szerepe van a krónikus stressz hátterében. A középkorú népesség egészségromlása közvetlenül összefügg a munkahelyi stresszel, a munkahelyi bizonytalansággal és rossz légkörrel.

A vizsgálatok eredményei alapján a fogyasztói értékrend, a külső aspirációk egyértelműen jelentős lelki és élettani veszélyeztető faktorok, míg az élet értelmébe vetett hit, a belső aspirációk, az adaptív megbirkózási módok komoly védelmet nyújtanak a társadalmi változások által okozott krónikus stresszel szemben”.

A korai egészségromlás az életminőség nagyfokú romlásának csak végső mutatója. Genetikai okok nem magyarázhatják ezeket a riasztó jelenségeket. Saját, a magyar népesség körében végzett, igen széleskörű keresztmetszeti és követéses vizsgálatok szerint a közös normák, értékrend hiányának, az anómiás lelkiállapotnak, a rivalizálásnak, a bizalom hiányának, az ellenségességnek igen fontos kóroki szerepe van a krónikus stressz hátterében. A középkorú népesség egészségromlása közvetlenül összefügg a munkahelyi stresszel, a munkahelyi bizonytalansággal és rossz légkörrel.

A többi között ezzel foglalkozik Urbán Nóra tanulmánya,<sup>4</sup> amelynek a bevezetőjében a prob-

---

<sup>3</sup> forrás: [www.obh.hu/allam/jelentes/201101940rtf](http://www.obh.hu/allam/jelentes/201101940rtf) (letöltés 2012. augusztus)

<sup>4</sup> Urbán Nóra: A fizikai teljesítőképesség szerepe a Hadtudományi szemle 2012 5. évf. 1-2 szám ([http://uni-nke.hu/downloads/kutatas/folyoiratok/hadtudomanyi\\_szemle/szamok/2012/2012\\_1/2012\\_1\\_a\\_l\\_t\\_urban\\_nora\\_280\\_287.pdf](http://uni-nke.hu/downloads/kutatas/folyoiratok/hadtudomanyi_szemle/szamok/2012/2012_1/2012_1_a_l_t_urban_nora_280_287.pdf))

léma jogosan sarkított megfogalmazása így hangzik: „... A műveleti területek kihívásainak, veszélyeinek komolyságát mutatják az Egyesült Államok hadseregében kialakuló feszültségek is. 2007-ben, 1980 óta, a legmagasabb arányú (80%-os) volt a hadsereg elhagyásának mértéke. A jövőbeli megtartással kapcsolatos problémák figyelmeztető jelei folyamatosak: öngyilkosság, poszttraumás stressz betegség (PTSD), drog- és alkoholfüggőség, válások, erőszak stb. számának növekedése a hadseregben. Az iraki és afganisztáni veteránok körében a PTSD előfordulási aránya 28%-os. A legfontosabb kérdés, ami megoldásra vár: Mit lehet tenni a katonák műveleti kapacitásának növelése érdekében ilyen komplex körülmények között, ugyanakkor ezzel párhuzamosan megvédeni őket a potenciális stresszoroktól?”

Urbán Nóra a stresszorok következő formáit emeli ki:

- pszichés jellegűek (emberek közti kapcsolatok, sikertelenségek, konfliktusok, frusztráció, stb.);
- fizikai stresszorok (erős rezgések, hanghatások, hőhatások, sebesülések, érzékszervi tompulás, stb.);
- szociális stresszorok (súlyos családi, szociális krízisek, nagy társadalmi változások, gazdasági krízisek).

Izsó Lajos részletesen feltárja, hogy egy-egy adott terület veszélyforrásainak kockázat-felméréséhez a szakmai kompetenciák együttműködése szükséges.<sup>5</sup> „Ennek érdekében – mondja – a megfelelő mélységig meg kell ismerni az adott munkahelyen használt kockázatelemzési módszereket és azon belül meg kell találni azokat a pontokat, amelyekben pszichológiai szemléletmód leginkább érvényesíthető.”

Részletesen leírja a téma alapfogalmait az alábbiak szerint:

**Veszélyforrás (hazard):** valamilyen konkrét meghatározott hatótényező, amely potenciálisan sérülést vagy halált okozhat, illetve ezek bekövetkezéséhez hozzájárulhat.

Egy elektromos körfűrész által hordozott veszélyforrások például az éles forgó penge, az elektromosság és a vágandó fából esetlegesen kirepülő kisebb darabok. Valamilyen vegyi anyag veszélyforrásai lehetnek például a következő meghatározott tulajdonságok: belélegezve mérgezést okoz vagy irritálja a bőrt. Egy terméknek lehetnek nyilvánvaló veszélyforrásai (pl. egy vadászfegyver esetén) és rejtett veszélyforrásai (pl. egy fűnyírónak a forgó kések miatt). Általában minél több veszélyforrása van egy munkaeszköznek vagy egy munkahelyzetnek, annál inkább veszélyesebbnek érzékeljük.

**Kockázat (risk):** annak a valószínűsége, hogy egy adott rendszer adott eleme egy rögzített időtartam alatt meghatározott módon károsodik. A munkabiztonság vonatkozásában ez annak a valószínűségét jelenti, hogy a dolgozóból, a munkaeszközből és a munka tárgyából, valamint az ezeket befoglaló környezetből álló Ember - Gép - Környezet rendszer valamelyik meghatározott alrendszere, illetve eleme a dolgozó és a munka eszköze/tárgya közötti interakció során megsérül. A kockázat mint valószínűség tehát nagyobb statisztikai minta alapján meghatározott számszerű érték, amelynek megadásakor mindig azt is meg kell adni, hogy (1) minek a károsodására, (2) milyen károsodásra és (3) milyen hosz-

---

<sup>5</sup> Forrás: [www.pszichoerdek.hu](http://www.pszichoerdek.hu) (pdf formátum)



szű időtartamra vonatkozik. A kockázatot munkabiztonsági vonatkozásban legtöbbször a dolgozó sérülése szempontjából értelmezzük. és beszélhetünk például annak a valószínűségéről, hogy egy adott elektromos fűrógéppel 1000 óra használat során a felhasználó keze megsérül, vagy hogy a dolgozó egy meghatározott típusú villamos hegesztő berendezés használata esetén 100 órán belül áramütést kap. Egyes esetekben indokolt lehet a kockázatot nem a dolgozó sérülésére, hanem a munka eszközének/tárgyának vagy a környezetnek a károsodására vonatkoztatni.

*Veszély (danger): adott veszélyforrás és az ahhoz tartozó kockázat kombinációjaként előálló olyan rendszer-állapot (a körülmények olyan együttese), amely bizonyos mértékig előre látható módon potenciálisan meghatározott károsodáshoz vezethet.”*

Elfogadva ezt az osztályozást a nyilvánvaló nehézségek ellenére is törekednünk kell arra, hogy hozzájáruljunk a vészhelyzetekben tanúsított viselkedések eredménye válaszreakcióira történő felkészítéshez bizonyos specifikus tréning gyakorlatok révén abban az esetben, ha a résztvevők kiválasztása nem véletlenszerű, hanem eleve feltételezi a pszichológiai alkalmaság szempontjait is.

A veszélyforrások és kockázatok gyakorisága feladatkörönként, szakmacsoportonként eltérő jellegű, így a pszichológián belül is nagy jelentősége van annak, hogy az alkalmazott tudományterületen dolgozó szakember milyen speciális ismeretek, tapasztalatok birtokában végzi tevékenységét. Ebben a vonatkozásban a specializálódás már nem csupán azt követeli meg, hogy például katonapszichológus foglalkozzék a harci repülők, gyalogsági alakulatok, vagy elektronikai hadviselésre képzettek nagyobb pszichikai traumáinak elkerülhetőségével, hanem lehetőleg olyanok, akiknek a szakmaorientáltságuk ezeknek a tevékenységeknek sajátos lélektani kérdéseiben is tájékozottak.

Témánk szempontjából fontos megállapításokat tartalmaz Csomós István tanulmánya<sup>6</sup>, amely egyebek között megállapítja:

A vizsgálatok részletes szakmai módszereit és annak tartalmát a rendvédelmi pszichológiai tevékenység szakmai protokollja tartalmazza. A pszichikai alkalmasságot személyiségtesztek, intelligencia- és figyelemtesztek, műszeres vizsgálatok, kompetencia alapú vizsgáló eljárások és az exploráció komplex értékelése alapján, valamint - ha a vizsgálat személy pszichikai állapota indokolja - kiegészítő vizsgálatok elvégzésével a vizsgálatot végző pszichológus minősíti. Jelentős érdeme a szakmai protokollnak, hogy kiemelt figyelmet fordít az úgynevezett kontra indikációs tényezőkre.

Pszichés egyensúly esetében: kizáró okot képeznek a különböző pszichés egyensúlyvesztések és funkciózavarok, pl. önkontroll hiánya, zavara, túlzott agresszivitásra (auto-heteroagresszió) utaló személyiségjegyek.

Devianciák hiánya esetében: kizáró okot képeznek a különböző devianciák, mint pl. bűncse-

---

<sup>6</sup> Részlet Csomós István tanulmányából (kézirat) készült a TÁMOP-4.2.1. B-11/2/KMR-2011-0001 számú „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” című pályázat keretében, a „Viselkedés vészhelyzetben” nevű kiemelt kutatási terület szerződése alapján

lekmények elkövetése, az alkoholizmus, a gyógyszerfüggőség, a kábítószer fogyasztás, az öngyilkossági kísérlet.

Intellektuális képességek valamint egyéb személyiségjegyek esetében: kizáró okot képeznek emocionális kontroll nem megfelelő szintje, felelősségtudat nem megfelelő szintje, pszichés terhelhetőség, stresszel való megküzdés (frusztrációs tolerancia) alacsony szintje.

A bemutatott tanulmányok eredetije –és még számos a témában megjelent szakirodalom is a gondos kiválasztás mellett fokozott figyelmet szentel az adott helyzetre történő lélektani felkészítésnek.

A felkészítés gyakori színtere a fegyveres testületek „különleges” feladatra (is) felkészített állománya esetében az úgynevezett „taktikai ház” típusú helyszín. Ez a helyszín outdoor tér-ing-szerű kereteket biztosít a veszélyhelyzet saját élmény szintű megélésének, és az ezzel járó pszichikai-pszichofiziológiai hatások vizsgálatának.

Az outdoor tréning során terheléses feladathelyzetben történik a különböző pszichés tényezők vizsgálata. Olyan szituációk kidolgozása célszerű, amelyek megfelelően előrejelzik a kritikus infrastruktúrák védelmében végrehajtandó bevetési feladatok várható pszichés terhelését. Ilyen helyzetek lehetnek a rendőri intézkedésnek aktívan ellenszegülő, támadó magatartású személyekkel szembeni intézkedések, melyek váratlanul alakulnak ki. A szituációs gyakorlatok értékelésénél az alábbi kompetencia követelmények teljesülése megbízhatóan előre jelezheti gyakorlati munkavégzés követelményeinek történő megfelelést.

Kutatásunk során egy napos outdoor tréninget terveztünk. A feladatok összeállításakor fokozottan figyelembe, amely elsősorban azokat a helyzeteket modellezi, amelyek nagyobb gyakorisággal fordul(hat)nak elő a feladat végrehajtása során.

A vizsgálati helyszín által biztosított lehetőségek figyelembe vételével 2012 őszén négy „vizsgálati” csoporttal az alábbi feladatokat végeztettük el:

- speciális lögyakorlatok, amelyek rövid idejű döntést igényelnek;
- intézkedési helyzetek, amelyek váratlan helyzetre történő reakciót modelleznek;
- taktikai házban végrehajtandó fegyveres feladat;
- veszélyes közlekedési helyzetet szimuláló gépjármű vezetési feladat.

A különböző gyakorlati feladatok „eredményeinek” rögzítése részben objektív, mérhető fiziológiai jellemzők (pl.: Pulzus folyamatos mérése) rögzítése, részben pszichológiai vizsgálati eljárások segítségével történik. A kapott kvalitatív és kvantitatív eredmények több szempontú statisztikai módszerrel történő elemzése adhat tájékoztatást azokról az egyén-és feladatfüggő pszichés terhelési mutatókról, amelyek figyelembe vétele elengedhetetlen a feladatra történő személy – kiválasztás és felkészítés során.



A vizsgáló eljárások az alábbi tényezők értékelhető változásáról adnak tájékoztatást:

	<b>Követelmény</b>
<b>Szakszerű mozdulatok és testi erő, intenzív munkavégzés</b>	A feladat végrehajtása során hosszabb időn keresztül az előírt felszerelésben stabil, magabiztos és összerendezett mozgással nagymértékű erőfeszítés kifejtése.
<b>Felfogóképesség, logikus gondolkodás, lényeglátás</b>	A kapott utasítások megértése és pontos alkalmazása.
	A feladatelemek közötti logikai összefüggések felismerése a feladat végrehajtása szempontjából fontos és lényegtelen információk és körülmények megkülönböztetése.
<b>Helyzetfelismerés és határozottság</b>	A váratlanul kialakult helyzetek helyes felismerése és értelmezése, magabiztos fellépés és cselekvés.
<b>Figyelem koncentráltóság és megosztás, körültekintés-elővigyázatosság és emlékezőképesség</b>	Fegyverhasználat közben hátrányos külső és belső hatások kizárása, szükséges ideig a megfelelő szinten tartott és megosztott figyelem a környezet eseményeinek folyamatos érzékelése és pontos felidézése, az ezeknek megfelelően alakított cselekvés.
	Körültekintően és elővigyázatosan végzett átvizsgálás közben a hátrányos külső és belső hatások kizárása, hosszan és állandó szinten tartott és megosztott a figyelem a környezet eseményeinek folyamatos érzékelése és azok pontosan felidézése és az ezeknek megfelelően alakított cselekvés.
<b>Irányíthatóság, együttműködés és rugalmasság</b>	A feladatot irányító utasításainak elfogadása és fegyelmezett követése, együttműködés a feladat végrehajtásában résztvevőkkel, alkalmazkodás a kialakult helyzethez.

<b>Kommunikációs készség (tömör fogalmazás és testbeszéd)</b>	Szakkifejezések rövid mondatokban, tömören a másik számára érthető megfogalmazása, a testbeszéd eszközeivel pontos jelzések továbbítása.
<b>Kockázat és felelősségvállalás</b>	Ésszerű kockázatvállalás bizonytalan körülmények között is, a személyes tevékenység fontosságának tudatossága, a feladat végrehajtása személyes áldozat árán is,
<b>Döntésképesség, önállóság</b>	A minimálisan szükséges idő felhasználását követően helyes döntés a szükséges kényszerítő eszköz alkalmazásáról és a szükséges rendőri intézkedés foganatosításáról.
	A minimálisan szükséges idő felhasználását követően helyes döntés a lőfegyver-használat szükségességéről.
	Átvizsgálás végrehajtása irányítás és ellenőrzés nélkül.
	Helyszínbiztosítás végrehajtása Irányítás és ellenőrzés nélkül.
<b>Monotónia-tűrés</b>	A feladatra való felkészülés végrehajtása a megfelelő figyelemmel, nyugodtsággal és kitartással.
<b>Stressz tűrőképesség</b>	A feladathoz, a személyekhez, vagy a körülményekhez köthető stresszhelyzetek elviselése, feszített munkatempó, fokozott elvárások és személyes feszültségek között is szélsőséges agresszió nélküli kiegyensúlyozott feladat ellátás.

Mind egyik feladat célja olyan extrém stressz terheléssel járó feladat megtapasztalása volt, a személyes megküzdési stratégiák megismerése az esetleges szükséges személyes korrekciók megtétele.

A modellfeladatokat kiképzett szakállomány vezetésével hajtják végre a résztvevők. Ezek során lehetőség van olyan megfigyelésre és vizsgálatra, amelyek segítségével értékelhető a személyes stressz igénybevétel illetve a személyes megküzdés, a pszichológiai immunrendszer jellemzői.

2012-es vizsgálataink tapasztalatainak feldolgozása folyamatban van, és ezek figyelembe vételével tervezzük 2013 első félévében összehasonlító vizsgálatokat 3-4 csoport bevonásával.



Foroozan Zare<sup>1</sup> – Dr. Árpád Veress<sup>2</sup> – Károly Beneda<sup>3</sup>

## SIMPLIFIED MATHEMATICAL MODEL FOR A SINGLE SPOOL AND NO BYPASS JET ENGINE<sup>45</sup>

### Abstract

A concentrated parameter distribution type mathematical model has been developed and implemented in MATLAB environment for modeling thermo dynamical cycles and characteristics of the single spool no bypass jet engines. The governing equations of the model are based on the real thermo dynamical processes, in which the mechanical efficiency, isentropic efficiencies, burning efficiency, pressure losses and the power reduction rate of the auxiliary systems were considered. Beside the material properties and geometrical data, the altitude, the flight speed, the total pressure ratio of the compressor, the turbine inlet total temperature and the air consumption are considered as the input parameters of the analysis. The outputs of the simulation are the overall efficiency, specific thrust and thrust specific fuel consumption together with the points of thermo dynamical cycle of the system in T-s diagram. The results of the analysis, as the specific thrust, thrust specific fuel consumption and the outlet total temperature of the turbine are compared with available operational data of the Tumansky R-29 type turbojet engine at sea level static condition.

### EGYTENGELYES ÉS EGYÁRAMÚ SUGÁRHAJTÓMŰ EGYSZERŰSÍTETT MATEMATIKAI MODELLJE

### Összefoglalás

Az ebben a publikációban dokumentált kutatási tevékenység célja egy koncentrált paraméter-eloszlású számítási eljárás kidolgozása és implementálása MATLAB környezetben egytengelyes és egyáramú gázturbinás sugárhajtóművek termodinamikai körfolyamatainak és jellemző karakterisztikáinak meghatározása érdekében. A valóságos áramlást modellező hőtani és energetikai folyamatok alapegyenletei a rendszer mechanikai hatásfokát, a kompresszor és a turbina izentropikus hatásfokát, a tüzelési hatásfokot, a nyomásvesztései tényezőket és a kiegészítő berendezések teljesítményfelvétel-hányadát foglalják magukba. A folyamatokban résztvevő anyagok tulajdonságai és a szükséges geometriai méretek mellett a magasság, a repülési sebesség, a kompresszor torlóponthi nyomásviszonya, a turbina belépő torlóponthi hőmérséklete és a hajtóműbe belépő levegő tömegárama került megadásra bemeneti feltételként. A számítás eredményei a termikus hatásfok, a propulziós hatásfok, a teljes hatásfok, a fajlagos tolóerő, a tolóerőre vonatkoztatott fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás és a termikus torlóponthi állapotjelzők a T-s diagramban ábrázolt körfolyamat minden pontjában. Az eredmények ellenőrzése céljából a MÍG-23-as vadászpilóta Tumansky R-29 típusú hajtóművének a szakirodalomban fellelhető specifikációi kerültek alkalmazásra. A számítási eredmények és

1 Foroozan Zare, PhD student, BME, Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles, z\_faroozan@yahoo.com

2 Dr. Árpád Veress, associate professor, BME, Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles, averess@rht.bme.hu

3 Károly Beneda, assistant lecturer, BME, Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles, beneda@rht.bme.hu

4 Publisher's reader: Lt. Colonel Laszlo Kavás (PhD), Associate Professor, National University of Public Service Technology Department of Military Aviation, kavas.laszlo@uni-nke.hu

5 Publisher's reader: Colonel Robert Szabolcsi (PhD), Professor, National University of Public Service Technology Department of Military Aviation, szabolcsi.robert@uni-nke.hu



a rendelkezésre álló adatok közül a fajlagos tolóerő-, a tolóerőre vonatkoztatott fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás- és a turbina utáni torlóponti hőmérséklet-értékek lettek egymással összehasonlítva tengerszinten és starthelyzetben.

## NOMENCLATURE

### Latin letters and abbreviations:

A	Inlet area of the engine [m]
a	Speed of sound [m/s]
$C_p$	Specific heat at constant pressure [J/kg/K]
$C_{p\_air\_mean}$	Mean ( $T_{03}$ - $T_{04}$ ) specific heat of air at constant pressure [J/kg/K]
$C_{p\_air\_T04}$	Real specific heat at constant pressure of air at $T_{04}$ [J/kg/K]
$C_{p\_com}$	Mean ( $T_{02}$ - $T_{03}$ ) specific heat of air at constant pressure [J/kg/K]
$C_v$	Specific heat at constant volume [J/kg/K]
com	compression
$d_1$	Inlet diameter of the engine [m]
$d_9$	Outlet diameter of the engine [m]
exp	expansion
f	Fuel to air ratio [-]
H	Altitude [m]
h	Specific enthalpy [J/kg]
$L_0$	Theoretical air mass required to burn 1 kg fuel perfectly
M	Mach number
$M_{air}$	Molar mass of the air [kg/kmol]
$\dot{m}_{air}$	Mass flow rate of air [kg/s]
$\dot{m}_{fuel}$	Mass flow rate of fuel [kg/s]
p	Pressure [Pa]
$p_a, p_0$	Ambient static pressure [Pa]
$Q_R$	Lower heating value of the fuel [MJ/kg]
R	Specific gas constant [J/kg/K]
$R_M$	Universal gas constant [J/kmol/K]
rd	Total pressure recovery factor in the intake duct (diffuser)
rtd	Pressure recovery factor in the turbine exhaust nozzle (in the afterburner liner)
s	Entropy [J/kg]
$s_0$	Reference entropy [J/kg/K]
T	Temperature [K] or Thrust [kN]
$T_0$	Ambient temperature [K]
TSFC	Thrust Specific Fuel Consumption [kg/kN/h]
v	Specific volume [ $m^3/kg$ ]
$V_{el0}$	Flight speed [m/s]



---

**Greek letters and abbreviations:**

$\rho$	Density [kg/m <sup>3</sup> ]
$\pi_C$	Total pressure ratio of the compressor
$\gamma$	Ratio of specific heats
$\zeta$	Power reduction rate for auxiliary systems
$\eta_d$	Diffuser efficiency
$r_{cc}$	Total pressure loss of combustion chamber
$\eta_b$	Burning efficiency
$\eta_m$	Mechanical efficiency
$\eta_{Prop}$	Propulsive efficiency
$\eta_{izC}$	Isentropic efficiency of compressor
$\eta_{izcT}$	Isentropic efficiency of turbine

## 1. INTRODUCTION

Nowadays, the only gas turbines have energetically and economical capability to be applied in the propulsion system of the commercial and military aircraft due to their high power density and low range factor<sup>6</sup> at high speed flight below Mach number 1. The other important feature of the gas turbines is the less sensitivity for fuel composition, and it makes them more suitable in case of limiting amount of fossil based fuels. Additionally, these engines have been used as highly reliable and safe power resources with less maintenance.

Although the augmentation of the three main factors as the compressor pressure ratio, the turbine inlet temperature and the component efficiencies can strongly contribute to increase the performance of the jet engine [1], the operation of gas turbines is strongly cost demanding due to the high fuel consumption. Due to this fact, the improvement of the overall efficiency of gas turbines is a key point in the research field of the propulsion systems and turbomachinery related sciences. Hence, as a first approach for analyzing and design the operation of jet engines, the developments and the validation of a simplified thermo dynamical model is indispensable to have.

Regarding the literature research of the present topic, three different articles are mentioned. Yarlagadda focused on performance analysis of a J85 turbojet engine with an inlet flow control mechanism to increase rpm for same thrust values by using 1-D non-linear unsteady equations [3]. Sforza presents a general jet engine cycle, which is discussed in the enthalpy–entropy plane, and the concept of an ideal jet engine cycle is introduced. Detailed analysis of the performance of various types of jet engines operating ideally under different flight conditions is presented. The turbine inlet temperature is treated as a parameter, and thrust and specific fuel consumption results are discussed. A conclusion of the effects of real engine operations on the ideal results is given

---

<sup>6</sup>The range factor, in this manner, is the ratio of the weight of the fuel and the engine to the engine net thrust decreased by the nacelle drag for a range and flight speed [9].

[10]. Sanjay deals with thermodynamic analysis of a basic gas turbine based gas-steam combined cycle. The article investigates the effect of variation of cycle parameters on rational efficiency and component-wise non-dimensionalised exergy destruction of the plant [11].

In the present study, a concentrated parameter distribution type method has been developed and implemented to analyze the main characteristics of a jet engine at sea level. The results of the simulations are compared with the available operational data of Tumansky R-29 type turbojet engine (see Figure 1.), which are found in [8].

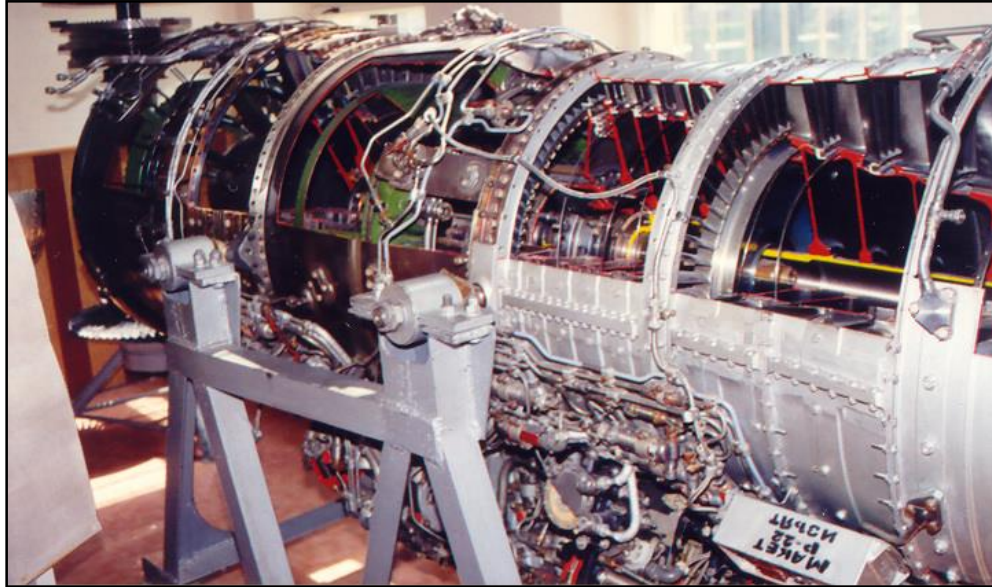


Figure 1. The opened real assembly of the Tumansky R-29 jet engine [12]

## 2. Governing Equations

As a first approach, steady thermo dynamical equations are used for calculating and plotting real cycle of the engine processes in T-s diagram. The turbine is divided by 8 main cross sections, which are the followings:

<b>Sections</b>	<b>Locations</b>
0	Free stream (ambient condition)
1	Engine intake
2	Compressor inlet
3	Compressor outlet
4	Turbine inlet
5	Turbine outlet
6	Exit of afterburner liner
9	Nozzle exit (convergent nozzle only)

The cross sections listed above are shown in Figure 2.



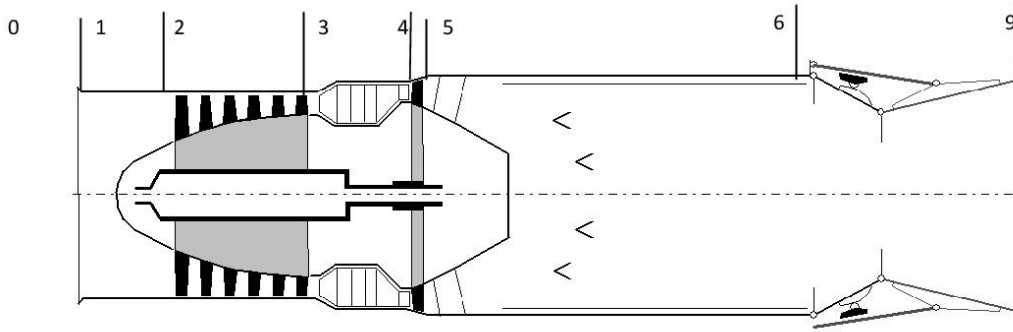


Figure 2. Sections of the turbojet engine for the analysis [7]

All the processes of the operational gas in the jet engine are frictional and so irreversible. Thus isentropic efficiencies of compressor, turbine and nozzle were applied beside the pressure loss in the intake and combustion chamber. The burning efficiency was also considered. With respect to Figure 2, the flow enters into gas turbine over section (0-2). The compressor delivers the air between section 2 and 3. The combustion processes develops from stage 3 to 4. The turbine is located among section 4 and 5. A non-operational afterburner is found between points 5 and 6. The last but not least part of the engine is the exhaust nozzle, which is located between sections 6 and 9 and only converging non-variable geometry nozzle has been considered in the present study.

The important components of aero-engine such as turbojet are the air intakes. The ambient air is coming into the duct where the flow is accelerated from free stream if the engine does not move. The compressor then increases both temperature ( $T$ ) and pressure ( $p$ ) of the gas. Work input is required to achieve the pressure ratio and the associated temperature rise depends on the efficiency level. After the air is compressed in the compressor, the fuel is added to the air and burned continuously in the combustion chamber to raise the exit gas temperature of fuel mixture from 1100 to 2600 °C approximately, depending on the engine level technology. The total pressure loss is developed in the diffuser and the combustor due to the flow losses as friction, collision and separation. Then the hot, high-pressure gas expands through the turbine where work is extracted to produce shaft power, which drives the compressor and auxiliary systems. Both the pressure and temperature are decreased. The exhaust pressure at the turbine is typically twice that of ambient [1]. Downstream of turbine the gas goes through the exhaust nozzle. The propelling nozzle is convergent that accelerated the flow to produce the high velocity jet to provide the thrust. According to the given data of the engine, the relevant different processes of the engine cycle can be calculated separately as follows.

### 2.1 Intake (0-2)

The ambient temperature and pressure values were taken from the standard atmosphere tables found in [1]. The intake total temperature can be calculated based on the equation (1).

$$T_{01} = T_0 \left( 1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right) \quad (1)$$



The total outlet pressure of the inlet diffuser can be expressed as follows:

$$p_{01} = p_0 \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (2)$$

The intake velocity can be determined by an iteration cycle (from (5)-(8), until  $V_{el1}=V_{el1\_new}$ ), in which the first approximation is done by using ambient total parameters and incoming mass flow:

$$\rho_{01} = \frac{p_{01}}{(RT_{01})} = \rho_1 \quad (3)$$

$$V_{el1} = \frac{\dot{m}_{air}}{\rho_1 A} = \frac{4\dot{m}_{air}}{\rho_1 d_1^2 \pi} = V_{el1} \quad (4)$$

The static inlet temperature, pressure and density are derived by equations (5)-(7).

$$T_1 = T_{01} - \frac{V_{el1}^2}{(2C_p)} \quad (5)$$

$$p_1 = p_{01} \left(\frac{T_1}{T_{01}}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (6)$$

$$\rho_1 = \frac{p_1}{(RT_1)} \quad (7)$$

The velocity from the continuity equation at section 1 is determined by equation (8).

$$V_{el1\_new} = \frac{\dot{m}_{air}}{\rho_1 A}. \text{ (If } V_{el1\_new} = V_{el1} \rightarrow \text{ok, else } V_{el1} \neq V_{el1\_new} \text{ and go to eq. (5))} \quad (8)$$

Due to the changing of static temperature of the intake, the sonic speed is calculated as follows:

$$a_1 = \sqrt{\gamma RT_1} \quad (9)$$

The local Mach number within the intake duct is:

$$M_1 = \frac{V_{el1}}{a_1} \quad (10)$$

The phenomenon in the intake can be approached by a constant total temperature process and the total pressure is determined by the pressure recovery factor of the intake:

$$p_{02} = p_{01} r_d, \quad (11)$$

however, the diffuser efficiency  $\eta_d$  can be expressed and calculated from the following equation:

$$p_{02} = p_1 \left(1 + \eta_d \frac{\gamma-1}{2} M_1^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (12)$$

The specific volume of the air at the inlet and outlet section of the intake is given by the ideal gas law.

$$v_0 = \frac{(RT_0)}{p_0} \quad (13)$$

$$v_{02} = \frac{(RT_{02})}{p_{02}} \quad (14)$$

The outlet entropy of the intake can be determined by using equation (15):



$$s_{02} = C_v \ln \frac{T_{02}}{T_0} + R \ln \frac{v_{02}}{v_0} + s_0, \quad (15)$$

where  $s_0$  is the reference entropy.

## 2.2 Compressor (2-3)

The work needed for compression of the air before entering into the burner (combustion chamber) and it is provided by the compressor. The outlet total pressure of the compressor is calculated by the knowledge of the total pressure ratio of the compressor and the outlet total pressure of the intake:

$$p_{03} = \pi_c p_{02} \quad (16)$$

The outlet total temperature of the compressor can be calculated by knowing the isentropic efficiency  $\eta_{izC}$  (see equation (18)). The specific volume of the air in the outlet of the compressor is determined by equation 19.

$$T_{03s} = T_{02} \left( \frac{p_{03}}{p_{02}} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (17)$$

$$T_{03} = \frac{T_{03s} - T_{02}}{\eta_{izC}} + T_{02} \quad (18)$$

$$v_{03} = \frac{(RT_{03})}{p_{03}} \quad (19)$$

The entropy variation is calculated by equation (20).

$$s_{03} = C_v \ln \frac{T_{03}}{T_{02}} + R \ln \frac{v_{03}}{v_{02}} + s_{02} \quad (20)$$

## 2.3 Combustion Chamber (3-4)

The stagnation pressure at the outlet of combustion chamber, state (4), is less than its value at the inlet, at state (3), because of real flow assumption. Thus, the outlet pressure of the combustion chamber is expressed as follows:

$$p_{04} = r_{cc} p_{03} \quad (21)$$

The fuel to air ratio is calculated by taking into consideration the efficiency of burners  $\eta_b$  (see equation (22)) in the function of combustion chamber and turbine inlet total temperature. The specific heat ( $C_p$ ) of the air depends on its temperature [6]. Considering a temperature interval between 679.6 K and 1364 K in the combustion chamber, a temperature dependent mean value of the specific heat was considered as  $C_{p\_air\_mean}$  and used in the calculation.

$$f = \frac{C_{p\_air\_mean}(T_{03} - T_{04})}{(1+L_0)(C_{p\_gas}T_{04}) - (L_0 C_{p\_air\_T04}T_{04}) - (QR\eta_b)} \quad (22)$$

The  $C_{p\_air\_T04}$  is the real specific heat of the air at turbine inlet total temperature and at constant pressure. The mass flow rate of the fuel comes from equation (23).

$$\dot{m}_{fuel} = f \dot{m}_{air} \quad (23)$$



The specific volume of the gas mixture at the outlet of the combustion chamber is calculated by (24).

$$v_{04} = \frac{(R_{\text{gas}}T_{04})}{p_{04}} \quad (24)$$

The entropy of the burner is determined by equation (25).

$$s_{04} = C_{V\text{gas}} \ln \frac{T_{04}}{T_{03}} + R_{\text{gas}} \ln \frac{v_{04}}{v_{03}} + s_{03} \quad (25)$$

#### 2.4 Turbine (4-5)

The gas flows through the turbine that provides shaft power input to the compressor besides the existing mechanical losses and energy content for auxiliary systems. By using the energy balance of the spool, the temperature at the section 5 is as follows:

$$T_{05} = T_{04} - \frac{C_{P\text{com}}(T_{03} - T_{02})}{(1+f)C_{P\text{gas}}\eta_m\zeta} \quad (26)$$

The isentropic total temperature at the turbine outlet can be determined by (27).

$$T_{05s} = T_{04} - \frac{T_{04} - T_{05}}{\eta_{izT}} \quad (27)$$

The outlet total pressure of the turbine is calculated as follows:

$$p_{05} = \frac{p_{04}}{(T_{04}/T_{05s})^{\frac{\gamma_{\text{gas}}}{\gamma_{\text{gas}}-1}}} \quad (28)$$

The specific volume of the gases at the turbine outlet is given by the ideal gas law:

$$v_{05} = \frac{(R_{\text{gas}}T_{05})}{p_{05}} \quad (29)$$

The outlet entropy of the turbine is defined by (30):

$$s_{05} = C_{V\text{gas}} \ln \frac{T_{05}}{T_{04}} + R_{\text{gas}} \ln \frac{v_{05}}{v_{04}} + s_{04} \quad (30)$$

#### 2.5 Afterburner (5-6)

The total pressure at the outlet of the afterburner will be less than its value at the inlet due to the pressure losses and it is considered by the given pressure recovery factor (rtd) as the following:

$$p_{06} = p_{05} \text{rtd} \quad (31)$$

The total temperature is supposed to be constant in the afterburner duct:

$$T_{06} = T_{05} \quad (32)$$

The specific volume of the gas mixture in the afterburner is then computed by (33).

$$v_{06} = \frac{(R_{\text{gas}}T_{06})}{p_{06}} \quad (33)$$

The outlet entropy of the afterburner is determined by (34).



$$s_{06} = C_{v\text{gas}} \ln \frac{T_{06}}{T_{05}} + R_{\text{gas}} \ln \frac{V_{06}}{V_{05}} + s_{05} \quad (34)$$

## 2.6 Convergent Exhaust Nozzle (6-9)

The thermodynamic process develops in the convergent nozzle is found in Figure 3. By knowing the inlet conditions of the nozzle ( $p_{06}$ ,  $T_{06}$ ) and its isentropic efficiency, it is possible to determine whether the converging nozzle is choked or unchoked. Additionally to this information, one can calculate the pressure, temperature and velocity at the exit of the exhaust nozzle. If the ambient pressure is higher than the critical pressure, the nozzle flow is unchoked, therefore the exhaust pressure of the exit is equal to the ambient pressure. At the other case, when the critical pressure is above the ambient pressure, the nozzle flow is choked, and then the exhaust pressure of the nozzle is equal to the critical pressure  $p_c$ .

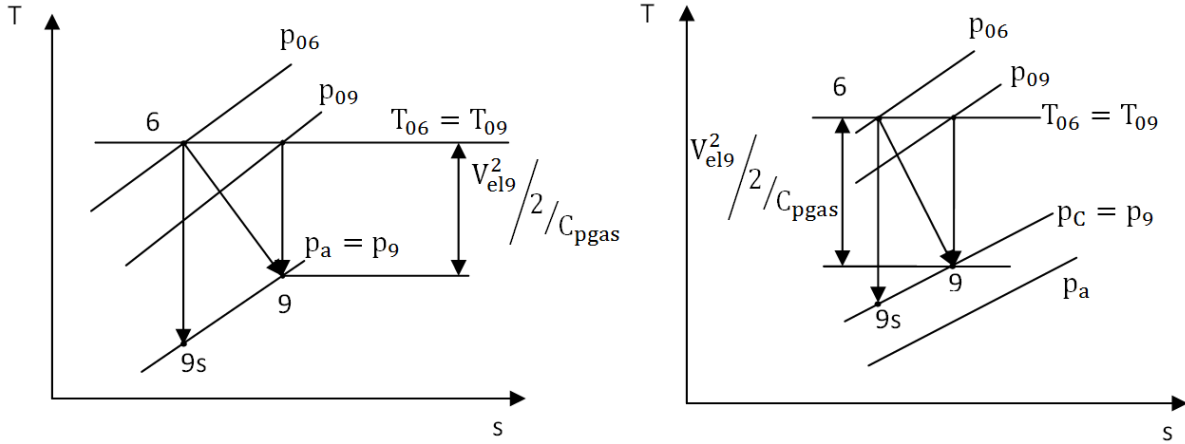


Figure 3. Nozzle flow with losses for unchoked (left hand side) and for choked (right hand side) flow conditions

The critical pressure can be calculated from the relation below (35).

$$p_c = p_{06} \left(1 - \frac{1}{\eta_n} \left(\frac{\gamma_{\text{gas}} - 1}{\gamma_{\text{gas}} + 1}\right)\right)^{\frac{\gamma_{\text{gas}}}{\gamma_{\text{gas}} - 1}} \quad (35)$$

If  $p_c < p_0$  then the nozzle is unchoked,  $p_9 = p_0$ , and the exhaust velocity of the nozzle is determined by equation (36).

$$V_{el9} = \sqrt{2 C_{p\text{gas}} T_{06} \eta_n \left(1 - \left(\frac{p_0}{p_{06}}\right)^{\frac{\gamma_{\text{gas}} - 1}{\gamma_{\text{gas}}}}\right)} \quad (36)$$

In equation (38), the nozzle outlet static temperature is determined by the available nozzle efficiency  $\eta_n$  and isentropic static temperature of the nozzle  $T_{9s}$ , which comes from equation (37).

$$T_{9s} = T_{06} \left(\frac{p_0}{p_{06}}\right)^{\frac{\gamma_{\text{gas}} - 1}{\gamma_{\text{gas}}}} \quad (37)$$

$$T_9 = T_{06} - \eta_n (T_{06} - T_{9s}) \quad (38)$$



While the critical pressure is higher than the ambient pressure, then the nozzle is choked. Thus, the outlet static pressure is determined by equation (35). The outlet static temperature is calculated as follows:

$$T_C = T_{06} \left( \frac{2}{(\gamma_{\text{gas}} + 1)} \right) = T_9 \quad (39)$$

The exhaust velocity of the choked nozzle comes from the following relation:

$$V_{el9} = \sqrt{\gamma_{\text{gas}} R_{\text{gas}} T_9} \quad (40)$$

The specific volume and entropy is determined by the equations (41) and (42), respectively.

$$v_9 = \frac{(R_{\text{gas}} T_9)}{p_9} \quad (41)$$

$$S_9 = C_{v\text{gas}} \ln \frac{T_9}{T_{06}} + R \ln \frac{v_9}{v_{06}} + S_{06} \quad (42)$$

### 3. Engine Performance Parameters

The performance of an aircraft engine may be rated by its ability to provide the necessary thrust force in propelling an aircraft efficiently. The engine performance parameters are identified as:

#### *Thrust*

The thrust is expressed in equation (43) in which  $A_9$  is the nozzle outlet area.

$$T = \dot{m}_{\text{air}} ((1 + f)V_{el9} - V_{el0}) + A_9(p_9 - p_0) \quad (43)$$

#### *Thrust specific fuel consumption*

Changing the mass flow rate of air has an effect on the specific fuel consumption (SFC) and thrust. The TSFC is given by (44).

$$\text{TSFC} = \frac{\dot{m}_{\text{fuel}}}{T} \quad (44)$$

#### *Thermal Efficiency*

Thermal efficiency is the ratio of all useful power imparted to engine airflow and the energy contained in the fuel burning:

$$\eta_{\text{th}} = \frac{TV_{el0} + 0.5\dot{m}_{\text{air}}(1+f)(V_{el9} - V_{el0})^2}{\eta_b \dot{m}_{\text{fuel}} Q_R} \quad (45)$$

#### *Propulsion and Burning Efficiency*

Propulsive efficiency (denoted by  $\eta_{\text{Prop}}$ ) is the ratio of the thrust power and the power imparted to engine airflow.

$$\eta_{\text{Prop}} = \frac{TV_{el0}}{TV_{el0} + 0.5\dot{m}_{\text{air}}(1+f)(V_{el9} - V_{el0})^2} \quad (46)$$



The burning efficiency is denoted by  $\eta_b$  and it can be considered by equation (49).

$$\eta_b = \frac{\eta_b \dot{m}_{fuel} Q_R}{\dot{m}_{fuel} Q_R} \quad (47)$$

#### Overall Efficiency

The overall efficiency is the ratio of useful power and the energy supplied by the fuel (51) and it is the product of the propulsive, the thermal and the burning efficiency. The useful power is the power available for thrust generation.

$$\eta_O = \eta_b \eta_{th} \eta_{Prop} \quad (48)$$

$$\eta_O = \frac{TV_{elo}}{\dot{m}_{fuel} Q_R} \quad (49)$$

#### 4. Comparison of the Results with Available Data

The aim of this part of the article is to check how close the results of the present method are to the reality. Generally, it is hard to find out any complex information about thermo dynamical characteristics and performance data of a jet engine due to confidentially issues. However, some of them for example about the Tumansky R-29 jet engine are available in the literature [8]. The data used for the simulation are presented in Table 1.

<b>Tumansky R-29 turbojet engine</b>	<b>aircraft: MiG-23</b>
Maximal thrust	$T_{max.} = 81.4 \text{ kN}$
Maximal turbine inlet temperature	$T_{04,max.} = 1091 \text{ }^\circ\text{C}$
Maximal turbine outlet temperature	$T_{05,max.} = 840 \text{ }^\circ\text{C}$
TSFC	$TSFC = 0.0968 \text{ kg}\cdot\text{N}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$
Compressor total pressure ratio	$\pi_C = 13$
Maximal air mass flow rate	$\dot{m}_{air} = 110 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$
Inlet diameter	$d_1 = 846 \text{ mm}$

Table 1: Operational data of Tumansky R-29 turbojet engine [8]

The input data for the analysis is found in Table 2. The data can be divided into four main groups: environmental conditions and reference values, material properties and constants, geometry and operational data of the engine and finally the useful power reduction coefficients.



Environmental conditions and reference values	Material Properties and constants	Geometry and operational data of the engine	Power reduction coefficients
$s_0=1000 \frac{J}{kgK}$	$M_{air}=28.97 \text{ kg/kmol}$	$\pi_c=13$	$\eta_n=0.95$
$p_0=101325 \text{ Pa}$	$L_0=14.72$	$T_{04}=1364 \text{ K}$	$\eta_{izT}=0.88, \eta_{izC}=0.84$
$T_0=293.15 \text{ K}$	$\gamma_{gas}=1.33, \gamma_{air}=1.4$	$m_{air}=110 \frac{kg}{s}$	$\eta_b=0.93$
$V_{e10}=0 \frac{m}{s}$	$R_{gas}=282.8 \frac{J}{kgK}, R_{air}=282.8 \frac{J}{kgK}$	$d_1=0.846 \text{ m}$	$\eta_m=0.98$
$H=0 \text{ m}$	$Q_R=42.8 \frac{MJ}{kg}$	$d_9=0.8 \text{ m}$	$r_{cc}=0.95$
	$R_M=8314 \frac{J}{kmolK}$	$A_9=d_9^2 \pi / 4$	$\zeta=0.92$
	$C_{pcom}=1030 \text{ J/kg/K}$ $C_{p\_air\_mean}=1141 \text{ J/kg/K}$ $C_{p\_air\_T04}=1196 \text{ J/kg/K}$		$rd=0.98, rtd=0.96$

Table 2: Input data of the simulation

Based on the previously mentioned input data, the developed Matlab code calculates the points of the T-s thermo dynamical cycle of the engine, together with thrust, thrust specific fuel consumption and overall efficiency. Considering the available data only the maximum thrust (T),

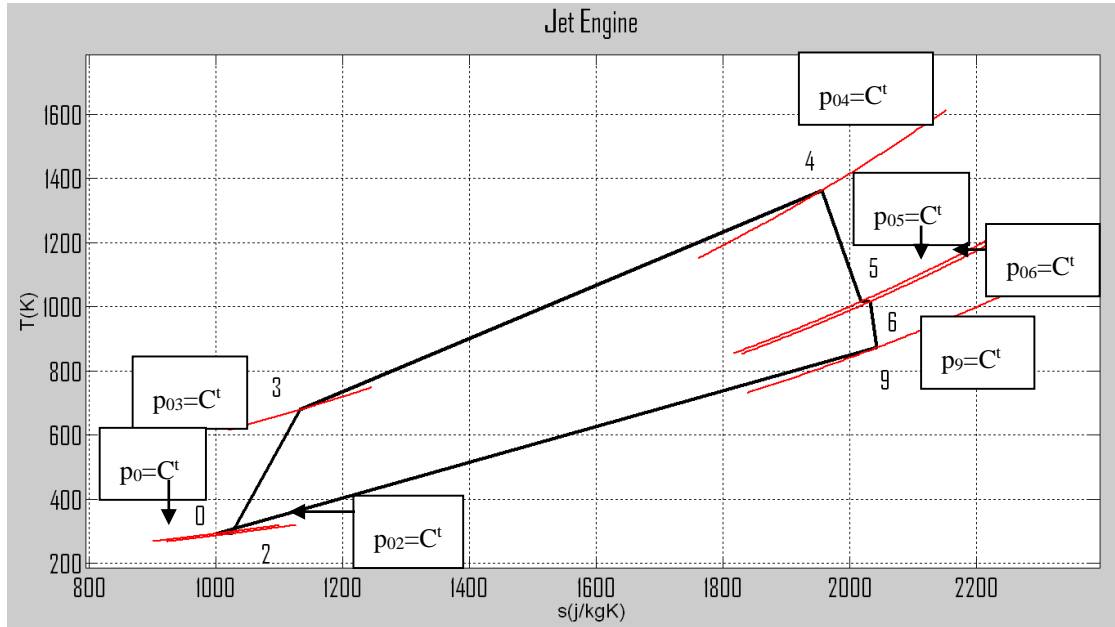


Figure 4. T-s diagram of the Tumansky R-29 turbojet engine

thrust specific fuel consumption (TSFC) and maximum outlet turbine temperature ( $T_{05}$ ) has been used to check directly how far the calculated results of analysis from the data from the specification. The simulation resulted in a maximum thrust (T) of 85.5 kN, a maximum turbine





outlet temperature of 1000 K and a thrust specific fuel consumption (TSFC) of 0.096 kg/N/h. The reference values for this engine are 81.4 kN for maximum thrust, 1113.15 K for the maximum turbine outlet temperature, and 0.0968 kg/N/h for the specific fuel consumption. The relative error for the simulated thrust was 5 %, for the maximum turbine outlet temperature was 10.2 % and for the thrust specific fuel consumption was 0.86%.

The real thermo dynamical cycle of the engine in T-s diagram is plotted in Figure 4.

In order to improve the accuracy of the simulation, the temperature dependence of specific heat should be considered in each segment of the analysis. Moreover, considering the material properties and amounts of each component of the gas mixture, it can also improve the accuracy of the analysis.

Additionally, in order to have more detailed information about the thermo dynamical, fluid dynamics and heat transfer process of the jet engine not only for understanding the physical behavior of different components, but able to design and develop the expected characteristics, more sophisticated calculation method has been implemented and used as the next step of the present research.

## CONCLUSIONS

A concentrated parameter distribution type model of the thermo dynamical cycle of a single spool no bypass jet engine has been worked out and implemented in Matlab environment.

Mechanical efficiency, power rate for auxiliary systems, isentropic efficiencies, burning efficiency and pressure losses were considered in the governing equations of the model according to the real thermo dynamical processes.

The input parameters of the gas turbine program are the material properties of the operational fluids, geometrical data of the engine, altitude, flight speed, total pressure ratio of the compressor, total inlet turbine temperature and mass flow rate of the air, meanwhile the points of the thermo dynamical cycle, performances and the efficiencies of the jet engine were determined.

The results of the simulation were compared and checked with the available data in open literature regarding the Tumansky R-29 turbojet engine. Although the simulation results show less than or equal 10.2 percent difference between the simulated and the available real data, more different types of engine and detailed thermo dynamical and numerical analyses would be necessary for testing the theory and the correct operation of the mathematical model.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The work reported in the paper has been developed in the framework of the project „Talent care and cultivation in the scientific workshops of BME" project. This project is supported by the grant TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0009.



---

## REFERENCES

- [1] H. I. H. Saravanamutto, G. F.C. Rogers, H. Cohen, P. V. Strazinsky: Gas Turbine Theory, 6th ed., Pearson Education Limited, ISBN: 978-0-13-222437-6, 2009
- [2] Sources: The Engine Handbook, Directorate of Propulsion, Headquarters Air Force Logistics Command, Wright-Patterson AFB, Ohio, 1991 and manufacturers' literature, url.: <http://www.aircraftenginedesign.com/TableB3.html> (11. 03. 2013)
- [3] S. Yarlagadda: Performance Analysis of J85 Turbojet Engine Matching Thrust with Reduced Inlet Pressure to the Compressor, MSc thesis in Mechanical Engineering, University of Toledo, College of Engineering, 2010 (url: <http://etd.ohiolink.edu/send-pdf.cgi/Yarlagadda%20Santosh.pdf?toledo1271367584> (11. 03. 2013))
- [4] Gy. Bicsák – A. Hornyák – Á. Veress: Numerical Simulation of Combustion Processes in a Gas Turbine, ICNPAA 2012 World Congress: 9th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences, July 10, 2012 – July 14, 2012, American Institute of Physics, Conference Proceedings, Vol. 1493, pp. 140-148; doi:<http://dx.doi.org/10.1063/1.4765482>, [http://proceedings.aip.org/resource/2/apcpcs/1493/1/140\\_1?isAuthorized=no](http://proceedings.aip.org/resource/2/apcpcs/1493/1/140_1?isAuthorized=no), 2012
- [5] A. F. El-Sayed: Aircraft Propulsion and Gas Turbine, CRC Press, Zagazing University, Zagazing, Egypt, ISBN: 0849391962, 2008
- [6] I. Sánta: GÁZTURBINÁS REPÜLŐGÉP HAJTÓMŰVEK, Budapest, BME, Repülőgépek és Hajók Tanszék, Tanszéki jegyzet, 2007
- [7] Joachim Kurzke, <http://www.gasturb.de/> (11.03.2013.)
- [8] <http://www.leteckemotory.cz/motory/r-29/> (08.03.2013.)
- [9] C. Soares: Gas Turbine: A Handbook of Air, Land, and Sea Applications, Elsevier Academic Publication Press, ISBN-978-0-7506-7969-5, 2007
- [10] P. M. Sforza: Idealized Cycle Analysis of Jet Propulsion Engines, Elsevier, Chapter 3, Theory of Aerospace Propulsion, pages 55-126, 2012 (url.: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781856179126000037>, (11.03.2013))
- [11] Sanjay: Investigation of effect of variation of cycle parameters on thermodynamic performance of gas-steam combined cycle, Elsevier, Energy, Volume 36, Issue 1, Pages 157–167, 2011
- [12] [http://www.leteckemotory.cz/motory/r-29b/r-29b-300\\_rez.jpg](http://www.leteckemotory.cz/motory/r-29b/r-29b-300_rez.jpg) (11.03.2013.)

Papp István<sup>1</sup>

## PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰ TÍPUSOK JELLEMZÉSE<sup>2</sup>

*A pilóta nélküli légi járművek alkalmazása az 1960-as években kezdődött, robbanásszerű fejlődésük pedig az 1990-es évekre tehető, ami elsősorban a katonai alkalmazás elterjedésének köszönhető. A pilóta nélküli repülőgépek mérete jelen pillanatban a néhány kilogrammostól (ilyen például a Magyar Honvédség által Afganisztánban alkalmazni tervezett SOFAR) a tíz tonnásig (RQ-4 Global Hawk) terjed. A közeli jövőben várható néhány grammos, sőt, rovarméretű eszközök rendszeresítése is. Ezek közül számos eszköz – kisebb átalakítással – fedélzeti fegyverek hordozására is alkalmassá tehető, de ekkor a neve is megváltozik és pilótanélküli harci repülőként (UCAV<sup>3</sup>) említi a szakirodalom.*

### UNMANNED AIR VEHICLES

*The use of unmanned air vehicles began in the 1960's with the explosive growth in the 1990's can be made, especially in the area of military applications. Size of the unmanned aircraft currently from a few kilogram (such as the Hungarian Army in Afghanistan intended to apply SOFAR), to the ten ton (RQ-4 Global Hawk) cover. In the near future a few grams, and even insect-sized devices and bringing them too. Lower conversion can also be used to carry weapons, and their name on unmanned combat air vehicles (UCAV).*

## BEVEZETÉS

A fegyveres erők alapvetően olyan feladatok végrehajtására alkalmazzák a pilóta nélküli eszközöket, ahol:

- a feladat túl veszélyes, a pilóta vezette légi jármű elvesztésének kockázata meghaladja az elfogadható szintet;
- a repülési feladat a pilóta (pilóták) fiziológiájából nem kivitelezhető, pl.: 24+ óra időtartamú felderítő repülés;
- a feladat nem igényel pilóta vezette légi járművet, pl.: szárazföldi alegységek harcászati felderítése.

A biztonságon kívül jelentős érv az UAV<sup>4</sup> alkalmazása mellett, hogy számottevően alacsonyabb üzemeltetési, utánpótlási, fejlesztési és képzési költségekkel tartható rendszerben, mint a pilóta vezette eszközök [1].

A nemzetközi szakirodalomban az UAV-k hatótávolság, tömeg és repülési magasság szerint kerülnek kategorizálásra.

<sup>1</sup> okl. mk. főhadnagy, tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, papp.istvan@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Szilvassy László okl. mk. alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, szilvassyl.laszlo@uni-nke.hu

<sup>3</sup> UCAV – Unmanned Combat Aerial Vehicle – Felfegyverzett pilóta nélküli légi jármű

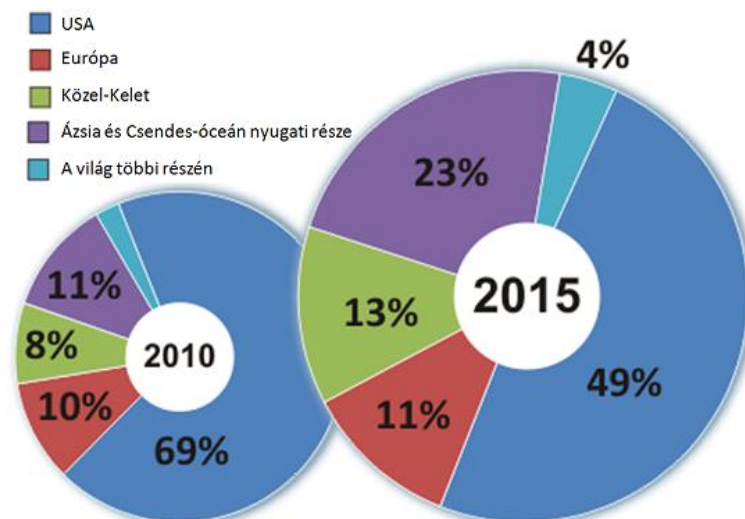
<sup>4</sup> UAV – Unmanned Aerial Vehicle – Pilóta nélküli légi jármű

Össztömeg szerinti osztályozás	Kategória	Felhasználás	Üzemelési magasság	Ható-sugár	Példa
I osztály (<150 kg)	MICRO <2 kg	Taktikai, biztonsági (kézi indítás)	200 láb AGL <sup>5</sup>	5 km	Black Widow
	MINI 2-20 kg Black	Taktikai, alegység szintű felhasználás (kézi indítás)	3000 láb AGL	25 km	Scan Eagle, Skylark, Raven, DH3, Aladin, Strix
	SMALL > 20 kg	Taktikai (indító rendszer)	5000 láb AGL	50 km	Luna, Hermes 90
II osztály (150-600 kg)	TACTICAL	Taktikai	10 000 láb AGL	200 km	Sperwer,
III osztály (>600 kg)	MALE <sup>6</sup>	Műveleti, hadszíntéri	45 000 láb MSL <sup>7</sup>	100 km	Predator A és B, Heron, Heron TP, Hermes 900
	Strike/Combat	Stratégiai, nemzeti	65 000 láb	-	
	HALE <sup>8</sup>	Stratégiai, nemzeti	65 000 láb	110 km	Global Hawk

1. táblázat Az UAV-k NATO JAPCC<sup>9</sup> szerinti osztályozása [1]

A pilóta nélküli légitáncművek rendszerbe foglalása/rendszerezése előtt ki kell térni a rendszerben lévő eszközök földrészenkénti eloszlására.

Az 1. ábrán látható az UAV-k globális beszerzése, régiónkénti felosztásban. Az ábrán látható, hogy 2010-ben százalékos megoszlásban az eszközök arányát régiónként, illetve 2015-ben milyen megoszlás várható.



1. ábra Pilóta nélküli légitáncművek százalékos megoszlása a világban

A következő fejezetben néhány légitáncmű típus került kiválasztásra, a teljesség igénye nélkül. Az UAV-eket a NATO JAPCC szerinti osztályozás alapján mutatom be.

<sup>5</sup> AGL – Distance Above Ground Level – Távolság a talajszint felett

<sup>6</sup> MALE- Medium Altitude Long Endurance - Közepes magasságú hosszú élettartamú

<sup>7</sup> MSL – Mean Sea level – Közepes tengerszint

<sup>8</sup> HALE – High Altitude Long Endurance – Nagy magasságú nagy hatótávolságú

<sup>9</sup> JAPCC – Joint Air Power Competence Centre



## PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK OSZTÁLYOZÁSA

### Hosszú élettartamú, nagy hatótávolságú pilóta nélküli repülőgépek

Ezen csoport legjellemzőbb „tagjai” a Northrop Grumman Global Hawk, nagy magasságban, hosszú élettartamú UAV-ja és a General Atomics Predator, közepes magasságú, hosszú élettartamú légi járművek (2. és 3. ábra).

Mindkét repülő hagyományos sárkányszerkezet konfigurációval rendelkezik. A hajtómű mindkét típuson hátra került, a Global Hawk esetében a gázturbina a törzs felső részén, a Predator B esetében pedig a légsavarral együtt a törzs végén kapott elhelyezést. Mindkét típus vízszintes és függőleges vezérsík felületeket kapott, a jobb aerodinamikai stabilitás érdekében.

Ezen UAV-k feladata a nagy hatótávolságú felderítés, valamint műveleti hadszíntéren, harcászati alkalmazás. A hasznos teher kialakítása fontos követelmény, mert a repülőgépeknek esetenként 24 órás működési intervallumot is ki kell bírniuk.

A hasznos teherről részletesebben a következő fejezetben lesz szó.



2. ábra [3]



3. ábra [4]

	<b>Northrop Grumman Global Hawk (block 20)</b>	<b>General Atomics Predator</b>
Szárnyfesztávolság	39,9 m	20 m
Hossz	14,5 m	10,6 m
MTOM <sup>10</sup>	14628 kg	4536 kg
Max. élettartam	35 óra	32 óra
Max magasság	19800 m	12000 m
Hasznos teher	1360 kg	230 kg
Mindkét típus stabilizált, nagy felbontású infravörös valamint optikai kamerákkal és szintetikus apertúrájú radarral van felszerelve.		

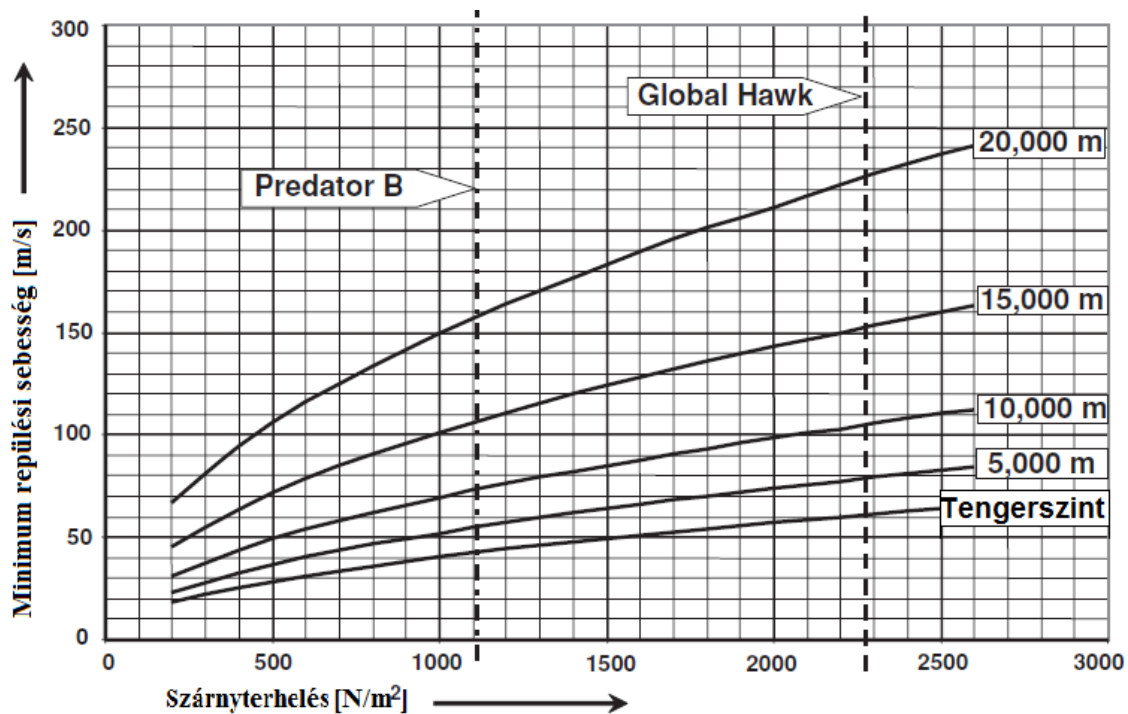
2. táblázat Hosszú élettartamú, nagy hatótávolságú légi járművek ([2] a 46. oldalon)

A huzamosabb ideig tartó feladatok esetében, a repülőgép hasznos terhe mellett számolni kell az üzemanyag tömegével is, ami (ebben az esetben) elsődleges meghatározója a hasznos tömeg számításának. Az üzemanyag a szárnyakban kap elhelyezést. A hosszabb repülési időhöz nagyobb mennyiségű üzemanyag szükséges, ami növeli a repülő tömegét, a nagyobb tömeg mozgatásához erősebb – az esetek többségében – nagyobb hajtómű szükséges, aminek a fogyasztása is nagyobb, vagyis több üzemanyagra van szüksége ugyanazon repülési idő eléréséhez. Ez egy

<sup>10</sup> MTOM – Maximum Take Off Landing – Maximális felszálló tömeg

ördögi kör [2].

A 4. ábrán látható, hogyan alakul a szárnyak terhelése a repülési sebesség növekedésével a Global Hawk, valamint a „Predator B” UAV-k esetében.



4. ábra A szárnyak terhelésének alakulása a repülési sebesség függvényében ([2] 29. oldalon)

Ezért elengedhetetlen, az üzemanyag tömegének egy olyan minimális szintre csökkentése, amely esetében is biztosított legyen a maximális hatótávolság.

A tervezés minden repülőgép esetében kompromisszumokkal jár, mivel számos tényező sorakozik fel egymással szemben. A sárkányszerkezet tervezésénél három fő szempontot kell figyelembe venni:

- az aerodinamikai ellenállást a lehető legalacsonyabbra csökkenteni;
- a már gyakorlatban bevált legújabb szerkezeti technológiák alkalmazása;
- egy megbízható erőforrás (hajtómű) beépítése, amely képes a megfelelő szintű teljesítmény leadására, tömege kicsi, valamint üzemanyag takarékos.

### Nagy hatótávolságú pilóta nélküli rendszerek

Az eredeti „Predator A” konstrukció megépítésének az volt a célja, hogy nagy hatótávolságú felderítő feladatokat hajtson végre. A „Predator A” nem rendelkezett fegyverzettel, így hamar nyilvánvalóvá vált, hogy az UAV a felderítésen kívül további harc feladatok ellátására nem volt alkalmas. Egy azonnali beavatkozás végrehajtásához kellett kifejleszteni a „Predator B” típust. Ez a repülő annyiban különbözött elődjétől, hogy két darab Hellfire rakétát kapott.



5. ábra [5]



6. ábra [6]

	<b>General Atomics Predator B</b>	<b>Reaper</b>
Szárnyméret	20 m	20 m
AUM	4536 kg	5090 kg
Utazó sebesség	230 kt	260 kt
Fegyverzet	2 db Hellfire rakéta	4 db Hellfire rakéta

3. táblázat Felfegyverzett, közepes magasságú, hosszú élettartamú UAV-k ([2] 54. oldalon) [5][6]

Műveletek sora mutatta a fejlesztés sikerét, Irakban és Pakisztánban egyaránt. Ezután létrehoztak egy olyan típust (Reaper néven), amelyen már négy darab Hellfire rakéta függesztésére és indítására alkalmas (6. ábra).

A Hellfire rakéta kínálta fegyverzeti megoldást, a merevszárnyú pilóta nélküli repülőgépekre tervezték ezen belül is a közepes-, valamint a nagy hatótávolságú, hosszú élettartamú rendszerekre. A fejlesztés jelenleg is folyik a forgószárnyas UAV-k átalakítására. A projekt neve Boeing/Frontier Systems Hummingbird. Az Egyesült Államok Különleges Műveleti Parancsnoksága (SOCOM<sup>11</sup>) azt tervezte, hogy 2012-től felügyeleti és harci alkalmazás céljából beszerzésre kerül 20 darab Hummingbird rendszer, nem kevesebb, mint 30 órás folyamatos működési idővel.

### **Közepes hatótávolságú taktikai, pilótanélküli repülőgépek**

Számos különböző működő és fejlesztés alatt álló merevszárnyú és forgószárnyas konfiguráció van jelenleg a világ minden táján, és ezen rendszerek nagy része elsősorban felderítő és tűzérési tűztámogató ellenőrzési feladatokat látnak el. A merevszárnyú repülőgépek ebben a kategóriában általában már kerek futóművel szállnak fel és le futópályákon vagy felszállópályákon, néha levezető-vezetékek segítségével történik a leszállás, ezzel is csökkentve a horizontális repülési távolságot.

Kivételt képez a Ranger típus (9. ábra), amelynél lehetőség van a földi rámpás felszállásra. Ezek a függőleges fel- és leszállásra alkalmas (VTOL<sup>12</sup>) légi jármű típusokhoz sorolható, melyek műveletei közé tartozik, az aknák felderítése és megsemmisítése. Megkülönböztetünk közepes hatótávolságú harcászati rendszereket, valamint közepes magasságú nagy élettartamú rendszereket.

<sup>11</sup> SOCOM – Special Operations Command – Különleges Műveleti Parancsnokság

<sup>12</sup> VTOL – Vertical Take-off and Landing – Főggőlegesen fel- és leszállásra alkalmas légi jármű

## Merev szárnyú, pilótanélküli repülőgépek

A kategória jellemző típusai:

- Hunter RQ-5A UAV (Malat and Northrop Grumman, USA);
- Seeker II UAV (Denel Aerospace Systems, South Africa);
- Ranger UAV (RUAG Aerospace, Switzerland);
- Shadow 600 UAV (AAI Corp., USA).



7. ábra [7]



8. ábra [8]

	<b>IAI Malat – Hunter Heavy Tactical</b>	<b>Denel Aerospace – Seeker II.</b>
Teljes tömeg	885 kg	275 kg
Erőforrás	2 x 50 kW	38 kW
Sebesség	200 km/h	220 km/h
Hatósugár	250 km	250 km
Repülési élettartam	21 óra	10 óra
Hasznos teher	100 kg	50 kg
Egyéb	nagy felbontású infravörös valamint optikai kamera; szintetikus apertúrájú radar; NBC monitor	nagy felbontású infravörös valamint optikai kamera; elektronikai felderítés

4. táblázat Közepes-hatótávolságú UAV típusok: Hunter és Seeker II ([2] 56. oldalon)

A Hunter, a fejlesztések során egy második motort kapott, amely a repülőgép elején nyert elhelyezést. Ezért a korábban, az orrban elhelyezett infravörös érzékelő és az optikai kamera rendszerek a forgatható toronyba kerültek.

Bár a „Hunter A” modellt még mindig széles körben használják a közepes hatótávolságú szerepe miatt, fejlődését jól mutatják a B és E modellek légi jármű tartóssági és magassági képességeik. Az A, B és C modellek összehasonlítása látható az 5. táblázatban.

<b>Hunter modell</b>	<b>Teljes tömeg (kg)</b>	<b>Szárnyfesz-táv (m)</b>	<b>Szárnyterhelés (N/m)</b>	<b>Hatótávolság (óra)</b>	<b>Utazósebesség (km/h)</b>	<b>Repülési magasság (m)</b>
RQ5A	727	8,84	807	12	202	4600
MQ5B	816	10,44	767	15	222	6100
MQ5C	998	16,6	590	30	222	7620

5. táblázat A Hunter UAV fejlődése, típusai ([2] 56. oldalon)



A légi jármű működési hatótávolságát azonban nem terjesztették ki. Ezen UAV-k utazó sebességük és a kommunikációs rendszerük viszonylag lassú. Az utóbbi továbbra is 125 vagy 200 km. A csapásmérő képesség terén azonban bővült a C modell, így már képes rakétákat és egyéb konténereket (pl. felderítő) szállítani a szárnyalatti tartókon.

A 9. és a 10. ábrán a merev szárnyú UAV-k másik két tagja látható:



9. ábra [9]



10. ábra [10]

	<b>RUAG Ranger</b>	<b>AAI Shadow 600</b>
Teljes tömeg	285 kg	266 kg
Erőforrás	31,5 kW	39 kW
Sebesség	240 km/h	190 km/h
Hatósugár	180 km	200 km
Repülési élettartam	9 óra	14 óra
Hasznos teher	45 kg	41 kg
Egyéb	Infravörös valamint optikai kamera; szintetikus apertúrájú radar; lézeres célmegjelölő	Infravörös valamint optikai kamera

6. táblázat Közepes-hatótávolságú UAV típusok: Ranger és a Shadow ([2] 56. oldalon)

### **VTOL (Forgószárnyas) pilótanélküli repülőgépek**

A VTOL UAV rendszerek komolyabb fejlesztésére az utóbbi néhány évben került sor. Ez azért lehetséges, mert a VTOL rendszerek a közepes- valamint a kis hatótávolságú tartományban működnek és a különösen közeli hatótávolságú műveletekre alkalmazhatóak leghatékonyabban. Talán ez az oka annak, hogy sokkal kevesebb tapasztalattal rendelkeznek a forgószárnyas technológia terén, mint a merev szárnyú repülőek esetében. Jelentőségüket a következő néhány típus jól szemlélteti.

- a Northrop Grumman-Firescout;
- a Schiebel Camcopter, ami kifejezetten egy olyan repülőgép, mint egy UAV.
- a Textron-Bell Sea Eagle, dönthető forgószárnyas repülő, amely egy olyan UAV, ami katonai és polgári utasszállító repülőgép technológia felhasználásával tervezték meg. A légi jármű üzemeltetését és továbbfejlesztését felfüggesztették;
- a pekingi Seagull – a koaxiális forgószárnyakkal felszerelt helikopter, amely egy kicsit nagyobb, mint a Camcopter.

A közepes hatótávolságú kategóriát a 11; 12; 13. és a 14. ábrán látható típusok képviselik. Ha összevetjük a légi járművek adatait, érdekes összehasonlítást kapunk.



11. ábra [11]



12. ábra [12]

	<b>Northrop Grumman Firescout</b>	<b>Schiebel Camcopter S100</b>
Teljes tömeg	1432 kg	200 kg
Forgószárny átmérő	8,36 m	3,39 m
Erőforrás	315 kW	30 kW
Sebesség	220 km/h	220 km/h
Hatósugár	275 km	150 km
Repülési élettartam	6 óra	6 óra
Hasznos teher	273 kg	50 kg
Egyéb	Infravörös valamint optikai kamera; lézeres célmegjelölő; akna érzékelő rendszer	Infravörös valamint optikai kamera; szintetikus apertúrájú radar

7. táblázat Közepes hatótávolságú VTOL UAV rendszerek: a Firescout és a Camcopter [2]. 57. oldalon)



13. ábra [13]



14. ábra [14]

	<b>Beijing Seagull</b>	<b>Bell Aerosystems Sea Eagle</b>
Teljes tömeg	300 kg	1023 kg
Forgószárny átmérő	5 m	2,90 m
Erőforrás	45 kW	480 kW
Sebesség	100 km/h	400 km/h
Hatósugár	-	200 km
Repülési élettartam	4 óra	8 óra
Hasznos teher	70kg	230kg

8. táblázat Közepes hatótávolságú VTOL UAV rendszerek: a Seagull és a Sea Eagle ([2] 58. oldalon)

A 9. táblázatban a közepes hatótávolságú merev- és forgószárnyas UAV-k technikai adatai láthatóak összesítve.



	Közepes hatótávolságú merevszárnyas UAV				Közepes hatótávolságú forgószárnyas UAV			
	Hunter RQ-5A	Seeker II	Ranger	Shadow	Fire-scout	Sea-gull	Cam-copter	Sea Eagle
Teljes tömeg (kg)	885	275	285	266	1432	300	200	1023
Szárnyfesztáv (m) Forgószárny átmérő (m)	10,5	7,0	5,71	6,83	8,36	5,0	3,39	3,1 2x2,9
Szárny felület (m <sup>2</sup> ) Sárkány felület (m <sup>2</sup> )	14,28	7,7	8,5	4,5	54,89	19,6	9,03	13,21
Szárnyfesztáv terhelés (N/m) Sárkány terhelés (N/m <sup>2</sup> )	827	385	472	382	256	150	217	3240 760
Szárnyterhelés (N/m) Forgószárny lapát terhelés (N/m)	608	350	317	580	-	-	-	-
Beépített erőforrás (kW)	2 x 50	38	31,5	39	315	45	30	480
Erő terhelés (N/kW)	87	71	85,6	66,9	44,6	65,4	65,4	20,9
Utazó sebesség (km/h)	202	220	240	190	220	100?	220	400
Repülési időtartam (óra)	21	10	9	14	6	4	6	8
Hatósugár (km)	250	-	180	200	275	-	150	200

9. táblázat A közepes hatótávolságú merev- és forgószárnyas UAV-k technikai összesített adatai ([2] 58. oldalon)

A 9. táblázatban látható, hogy a Firescout és a Sea Eagle esetében a beépített erőforrás teljesítménye jelentősen nagyobb, a többi, a táblázatban szereplő típushoz képest. Ez azért van, mert mindkét UAV gázturbinás hajtóművet kapott, amelyeknek nagyobb a teljesítményük és ezáltal a tömegük is.

A dönthető forgószárnyas Sea Eagle, valamint a Seagull kivételével, minden típus esetében hasonló az utazósebesség, mintegy 200 km/óra. A Sea Eagle utazósebessége kétszerese a többi eszközhöz képest, ahogy az várható ilyen teljesítmény mellett. A tényleges sebességét a Seagull-nak nem erősítették meg, de lehet, hogy lassabb, mint a többi légi jármű, hiszen ez az egyetlen típus, amely úgy van kialakítva, hogy egy pilóta befogadására alkalmas legyen, így kevésbé kompakt és nagyobb a légellenállása, mint a többi UAV-nek.

Érdekes adat az is, hogy a Ranger kivételével Minden HTOL repülőgép nagyobb repülési élettartammal rendelkezik, mint a VTOL UAV-k. Ennek az oka üzemanyag felhasználás hatékonyságban keresendő, mivel más-más műveleti szerepkört töltenek be. A hatósugár terén is eltérések mutatkoznak, ennek egyik oka a hírközlési berendezések hatótávolsága.

### Kis hatótávolságú/Harctéri pilótánélküli repülőgépek

Ezek a pilóta nélküli repülőgép rendszerek számos katonai, félkatonai és polgári alkalmazási szerepkört töltenek be. A tervezés során a legnagyobb kihívást az jelenti, hogy az eszközöknek alacsony magasságon, gyors válaszidőt kell produkálniuk.

Alacsony magasságon végrehajtott katonai műveletnél, általában ellenséges terület fölött, követelmény, hogy a rendszer (és persze a légi jármű is) továbbra is védett legyen az ellenséges támadásokkal szemben. Alapvető követelmény a kis hatótávolságú/harctéri pilóta nélküli rendszerek tervezésénél a teljes mozgathatóság (mobilitás).

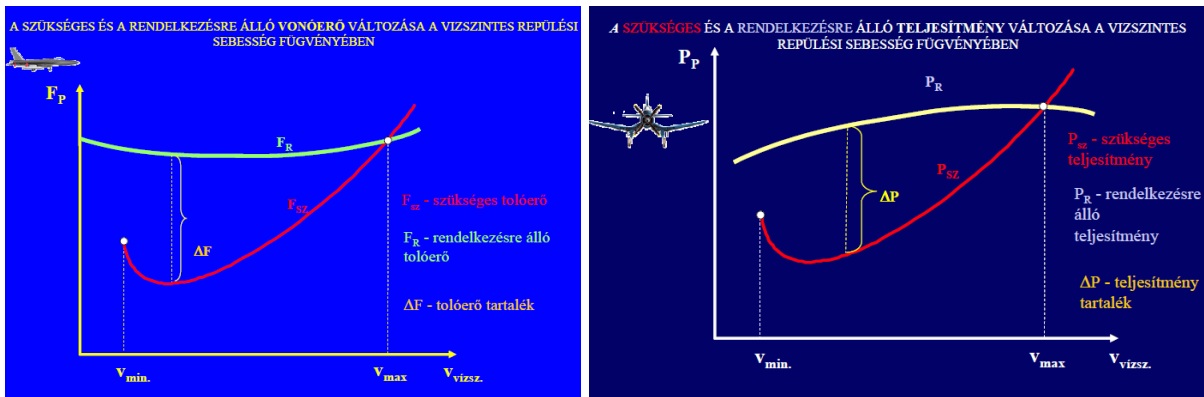
Ez a mobilitás magában foglalja a földi vezérlő állomásokat (GCS), valamint a létesítmény a légi jármű indító és karbantartó/helyreállító létesítményeket és eszközöket. Ezek a repülőgépek gyakran nagyon korlátozott területeken és „vad terepen” hajtanak végre műveleteket, ahol az esetek többségében nem zúzalékos futópálya vagy felszállópálya áll rendelkezésükre.

Ellentétben a pilóta nélküli MAV és a NAV légi jármű rendszerekben, a kézi indításhoz túl nehezek, ezért célszerű a két kategóriát további két alkategóriára bontani:

- nem VTOL;
- VTOL képességekkel rendelkező.

### Nem-VTOL pilóta nélküli légi jármű rendszerek

Az előzőekben már említettem, hogy a pilóta nélküli repülőgépek tervezésekor kompromisszumokat kell kötni a felszállás és a repülési teljesítmény között egyaránt. A Pènaud-diagramok jól szemléltetik a merev- és forgószárnyas repülőeszközök tolóerő/teljesítmény és a rendelkezésre álló tolóerő illetve teljesítmény görbéinek alakulását, a vízszintes repülési sebesség függvényében A 15. ábrán láthatjuk ezen összefüggéseket.



15. ábra Pènaud-diagramok: a szükséges és a rendelkezésre álló vonóerő/teljesítmény alakulása a vízszintes repülési sebesség függvényében [15]

A harctéren nincs lehetősége a repülőgépnek kifutópályán történő gyorsításra. A "felszálló pálya", a UAV rendszer részét kell hogy képezze. Ezt úgy oldják meg, hogy egy szállítójármű tetejére rögzítik a repülőgépet, amely mentén a légi jármű eléri a repülési sebességet és felszáll. Abban az esetben, ha túl hosszú a rámpa, amelyen a repülőgép gyorsít, akkor a szállító járművel nehézkes a közlekedés, viszont ha túl rövid, akkor hirtelen gyorsításra van szükség. Ezen tényezők nagyban befolyásolják szállításukat.

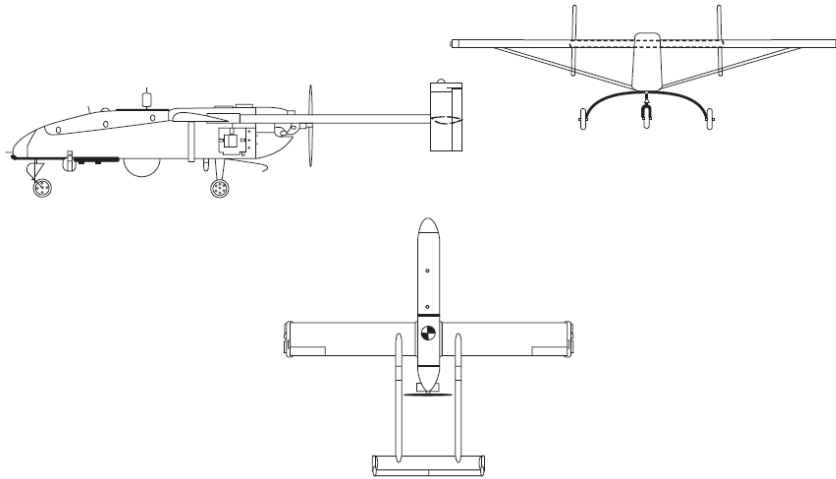
Tehát a minimális repülési sebességet csökkenteni kell, hogy a repülőgép a rámpa végét biztonságosan elhagyhassa. Ez megköveteli a szárny felületének növelését, ebben az esetben nő a légi jármű tömege és ezzel együtt a tüzelőanyag fogyasztás is, utazó sebességnél.

A felszállás csak a megoldandó probléma egyik, része. Ha már az eszköz felemelkedett és végrehajtotta a kitzűzött feladatot le is kell hozni a földre, hogy újra felhasználhassuk. Mivel nincs megfelelő futópálya, amin a leszállhatna az eszköz és az sem valószínű, hogy arra a rámpára szálljon le (amiről indították). Általában két alternatív megoldást alkalmaznak. Leggyakrabban egy ejtőernyőt szerelnek a repülőre, vagy egy légzsákokat szerelnek az eszköz alá, ame-

lyek enyhítik a UAV földbe csapódását, így csökkentik a berendezések meghibásodásának lehetőségét. Ezen eszközök működésére a sárkányszerkezeten átalakításokat kell elvégezni, ami tovább növeli tömegüket és a nem utolsó sorban a költségeket is.

A nem-VTOL rendszereket az IAI Pioneer, BAE Systems Phoenix, a kisebb QinetiQ/Cranfield Observer és a Boeing/Insitu Scan Eagle UAV rendszerek képviselik.

Az IAI Pioneer a legnépszerűbb a közepes és kis hatótávolságú UAV rendszer, amely a 16. ábrán látható.



16. ábra A Pioneer háromnézetű rajza ([2] 60. oldalon)

Ugyanúgy, mint a közép-hatótávolságú repülőgépek esetében, a kompakt géptörzs itt is lehetőséget kínál az alternatív rakomány és az elektronika befogadására az orrészben. A hajtómű és a légcsavar a géptörzs hátsó részén helyezkedik el. Az ejtőernyő az üzemanyagtartály felett, a repülőgép tömegközéppontjában kapott elhelyezést. A fő problémát, a repülőgép tervezésében az elegendő merevség elérése, valamint a nyíró (csavaró) irányú feszültségek és függőleges rezgések minimalizálása volt.



17. ábra [16]



18. ábra [17]



	<b>Qinetiq/Cranfield Observer</b>	<b>BAE Systems Phoenix</b>
Teljes tömeg	36 kg	177 kg
Fesztávolság	2,42 m	5,5 m
Szárny terület	1,73 m <sup>2</sup>	3,48 m <sup>2</sup>
Erőforrás	5,25 kW	19 kW
Szárnyterhelés	184 N/m <sup>2</sup>	500 N/m <sup>2</sup>
min rep. sebesség	110 km/h	126 km/h
Utazó sebesség	125 km/h	158 km/h
Hatósugár	25 km	50 km
Repülési élettartam	2 óra	4 óra

10. táblázat Kis hatótávolságú UAV rendszerek: az Observer és a Phoenix ([2] 61. oldalon)

A 17. valamint a 18. ábrán a kis hatótávolságú Observer, Phoenix és az Insitu pilóta nélküli rendszerek, a 9. táblázatban pedig jellemzői láthatóak. A Phoenix rendszer 1990-ben kezdte meg működését a brit hadseregben, egy hosszabb fejlesztési fázist követően. A rendszer fővállalkozója a GEC Avionics volt, aki a hangsúlyt a repülőgép hasznos terhelhetőségére és a UAV törzsalatti tartójára fektette. Feltehetően ez volt az oka annak, hogy nagyobb erőforrást kapott. A rendszer különböző felderítési feladatokat látott el a Balkánon és a II. öbölháborúban, de már kivonásra került.



19. ábra [18]

<b>Boeing/Insitu Scan Eagle</b>	
Teljes tömeg	18 kg
Fesztávolság	3,1 m
Szárny terület	0,62 m <sup>2</sup>
Erőforrás	1,1 kW
Maximum sebesség	120 km/h
Utazó sebesség	90 km/h
Repülési élettartam	15 óra
Cserélhető kiegészítő berendezések	Optikai és infravörös kamera, mini szintetikus apertúrájú radar

11. táblázat Boeing/Insitu scan eagle kis hatótávolságú pilóta nélküli légi jármű ([2] 61. oldalon)

Az Observer egyszerűbb és robusztus sárkányszerkezetű, amely tervezésével az volt a cél, hogy javítsák a térbeli stabilitást és elősegítsék a légörvényképződés, amennyire csak lehetséges. Az

Observer 3 miniatűr kamerával van felszerelve, amelyek biztosítják a képi lefedettséget, minden tengely irányában, így csökkentve az operátor munkaterhelését.

A Scan Eagle rendszer egy ún. sky-hook indítórendszer használatát igényli, amely további speciális felszerelés beszerzését vonja maga után. A rendszert sikeresen bevezették több ország szárazföldi és haditengerészeti csapatainál, többek között az Egyesült Államokban, Ausztráliában, Kanadában és a Szingapúrban. A rendszer több mint 200 000 üzemórát repült az első öt évében, amely során nagy számú (harci) tapasztalatra tett szert.

### *VTOL repülőgép rendszerek*

Az 1960-as Gyrodyne Dash rendszer bukását követően a közeli hatótávolságú VTOL UAV rendszerek fejlődése elhanyagolódott.

Két kivétel van: az ML Aviation Sprite rendszer (20. ábra) amelyet 1980-ban fejlesztettek ki és a Yamaha R Max (21. ábra), amelyet 1997-ben. Ez a két típus ezen osztálynak a fő példái. Hozzáteszem egészen különböző alkalmazásokban.

Az EADS Scorpio 30 egyike a számos, még fejlesztés alatt álló VTOL rendszereknek. Bár kevés információ van róla, de ugyanakkor jelent meg, mint a Yamaha R Max.

### **ML Aviation Sprite**

A Sprite rendszert a kezdetektől fogva úgy tervezték, hogy megfeleljen a polgári és katonai tervezési és légi alkalmassági követelményeknek. A repülőgép földi irányító rendszerrel rendelkezik. Két, egymástól független erőforrással, valamint üzemanyag ellátó rendszerrel szerelték fel. A kommunikáció a földi irányító rendszer és a repülőgép között két párhuzamos, egymástól távoli frekvenciasávon működő frekvenciasávban üzemel. A fedélzeti adó-vevő berendezés automatikusan választ, a jobb jelszint alapján és azon kommunikál az irányítóval. Kompakt méretei lehetővé teszik, hogy a földi irányító járművel szállítsák.



20. ábra [19]

<b>ML Aviation Sprite és a szállító / irányító járműve</b>	
Teljes tömeg	36 kg
Fesztávolság (forgószárny)	1,6 m
Erőforrás	2 x 5,25 kW
Maximum sebesség	126 km/h
Repülési élettartam	3 óra

12. táblázat ML Aviation Sprite kis hatótávolságú VTOL UAV ([2] 62. oldalon) [19]

A Sprite számos cserélhető hasznos teherrel szerelhető fel, többek között:

- színes TV kamera;
- hőkamera;
- ABV monitor;
- lézeres célmegjelölő;
- 1 vagy (feladattól függően) 2 db 500W-os, a forgószárny tengely által meghajtott generátor(ok).

A 20. ábrán látható Sprite légi járművet úgy tervezték, hogy semleges aerodinamikai stabilitással, valamint az automatikus repülésirányító rendszerre támaszkodva pozitív térbeli stabilitással rendelkezzen.

### Yamaha R Max

A típust kifejezetten növényvédelmi permetezési feladatok végrehajtására tervezték. Teljes tömegéről nincs adat, annyi viszont ismert, hogy egy 3,13 m forgószárny átmérővel, valamint egy 15,4 kW-os erőforrással rendelkezik. A hasznos terhelése 23,4 kg. Az R Max egy jövedelmező piaci részt talált a repülőgép kifejlesztésével, több mint 1500 db működik világszerte.



21. ábra Yamaha R Max [20]

## Kis hatótávolságú rendszerek összehasonlítása

A 13. táblázatban összesítettem a kis hatótávolságú UAV-eket (bele értve a HTOL<sup>13</sup> és VTOL rendszereket), a rendelkezésre álló műszaki adatokat alapján.

UAV típus	Pioneer	Phoenix	Observer	Scan Eagle	Spirite A	Spirite B	YamahaR Max
Teljes tömeg (kg)	203	209	36	18	36	36	-
Szárnyfesztáv (m) Forgószárny átmérő (m)	5,11	5,5	2,42	3,10	1,60	1,60	3,11
Szárny terület (m <sup>2</sup> ) forgószárny terület (m <sup>2</sup> )	3,05	3,48	1,73	0,62	0,2	0,2	-
Szárnyfesztáv terhelés (N/m) Sárkány terhelés (N/m <sup>2</sup> )	390	373	146	57	176	176	121
Szárnyterhelés (N/m <sup>2</sup> ) Forgószárny lapát terhelés (N/m <sup>2</sup> )	653	589	204	285	1766	1766	-
Beépített erőforrás (kW)	20	19	5,25	1,1	2x5,25	2x5,25	15,4
Erő terhelés (N/kW)	100	108	67,3	160	67,3**	67,3**	59,9
Maximum sebesség (km/h)	158	158	130	120	126	216*	-
Maximális hatósugár eléréséhez szükséges sebesség (km/h)	150*	-	85*	-	108	153*	-
Maximális élettartameléréséhez szükséges sebesség (km/h)	130*	-	72*	-	72	100*	-
*Becsült érték		**Mindkét erőforrás esetén					

13. táblázat Kis hatótávolságú pilóta nélküli légi járművek technikai adatai ([2] 64. oldalon)

## ÖSSZEZÉS

Az elmúlt évtizedben lefolytatott fegyveres küzdelmekben – a mai modern hadviselésben – mind nagyobb szerepet kapnak az ember nélküli haditechnikai eszközök, legyenek azok szárazföldi-, vízi,-víz alatti- vagy légi alkalmazásra kifejlesztve [21].

Az UAV alkalmazási lehetősége széles skálán mozog. Vannak olyan funkciók, amelyekkel már hadműveleti területen sikeresen vizsgáltak, mint például az optikai felderítés és a felderítési adatok eljuttatása az adatfeldolgozó központba és a végrehajtó katonákhoz. Mások még tesztelési fázisban vannak, de hamarosan ezek is éles helyzetben alkalmazásra kerülnek.

<sup>13</sup> HTOL – Horizontal Take-Off and Landing – Vízszintes fel-és leszállásra képes légi jármű

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] HALÁSZNÉ dr. Tóth Alexandra – SOMOSI Vilmos – PONGRÁCZ Gábor - Esettanulmány a pilóta nélküli légitársaságok jövőbeni alkalmazása tükrében, Repüléstudományi Közlemények, Repüléstudományi Konferencia 2012, Különszám. XXIV. évfolyam, 2012. 2. szám, url: [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2012\\_cikkek/49\\_Halaszne\\_Toht\\_A-Somosi\\_V-Pongracz\\_G.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2012_cikkek/49_Halaszne_Toht_A-Somosi_V-Pongracz_G.pdf) (2012.12.13)
- [2] Reg AUSTIN – Unmanned Aircraft Systems, UAVS Design, Development and Deployment, Aerospace Series, Wiley Kiadó, 2010 (pp. 45-64)
- [3] Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk kép, url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Northrop\\_Grumman\\_RQ-4\\_Global\\_Hawk](http://en.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_RQ-4_Global_Hawk) (2013.01.14)
- [4] GA-ASI furthers Predator radar development kép, url: <http://www.xairforces.net/newsd.asp?newsid=1102&newst=9#.UTckndYXKSo> (2013.01.14)
- [5] Inmagine, The world's stock photo library kép. url: <http://www.inmagine.com/unw889/u17758369-photo> (2013.01.18)
- [6] The World's Deadliest Drone: MQ-9 REAPER kép, url: <http://twistedstifter.com/2010/05/worlds-deadliest-drone-mq-9-reaper/> (2013.01.18)
- [7] Russian Unmanned Vehicle System Association kép. url: [http://en.ruvsa.com/catalog/bird\\_eye\\_650/](http://en.ruvsa.com/catalog/bird_eye_650/) (2013.01.20)
- [8] Russian Unmanned Vehicle System Association kép. url: [http://en.ruvsa.com/catalog/seeker\\_ii/](http://en.ruvsa.com/catalog/seeker_ii/) (2013.01.20)
- [9] ADS 95 Ranger kép. url: <http://www.lw.admin.ch/inter-net/luftwaffe/en/home/dokumentation/assets/aircraft/ads95.html> (2013.01.22)
- [10] Russian Unmanned Vehicle System Association kép. url: [http://en.ruvsa.com/catalog/shadow\\_600/](http://en.ruvsa.com/catalog/shadow_600/) (2013.01.22)
- [11] sUAS News kép. Url: <http://www.suasnews.com/2011/11/9991/navy-to-arm-northrop-grumman-built-fire-scout-unmanned-helicopter/> (2013.01.25)
- [12] Volz Camcopter® S-100 kép. url: [http://www.volz-servos.com/en/news/article\\_01.php](http://www.volz-servos.com/en/news/article_01.php) (2013.01.25, 09:39)
- [13] Chinese Defense Today kép. url: <http://www.sinodefence.com/airforce/uav/vtuav.asp> (letöltési idő: 2013.01.27)
- [14] Top 10 concept design aircraft kép. url: <http://goshycab.com/2010/09/01/top-10-concept-design-aircrafts/asp> (2013.01.27)
- [15] Dr. BÉKÉSI László nyá. okl. mk. ezredes – Repülélmélet. Multimédiás jegyzet. Szolnok, 2005
- [16] Energetic Qinetiq Observer uav kép. url: <http://www.flightglobal.com/news/articles/energetic-qinetiq-207665/> (2013.02.03)
- [17] UAV Products Page, Phoenix uav kép. url: [http://defense-update.com/newscast/0308/news/news230308\\_pheonix.htm](http://defense-update.com/newscast/0308/news/news230308_pheonix.htm) (2013.02.03)
- [18] Queensland Government Appoint Insitu Pacific for UAS Trials kép. url: <http://www.unmannedsystemstechnology.com/2012/06/queensland-government-appoint-insitu-pacific-for-uas-trials/> (2013.02.04)
- [19] Remote Inspection of Overhead Power Lines ML Aviation Sprite uav kép. url: [http://pages.bangor.ac.uk/~ees064/ci\\_grp/ripl\\_web.htm](http://pages.bangor.ac.uk/~ees064/ci_grp/ripl_web.htm) (2013.02.07)  
Detail – News Releases | YAMAHA MOTOR, Yamaha R-Max kép. url: <http://www.yamaha-motor.co.jp/global/news/2002/02/06/sky.html> (2013.02.08)
- [20] PALIK Mátyás A harcászati pilótánélküli repülő eszközök képességei, Repüléstudományi Közlemények XVIII. (CD) pp. 23-28. Paper 11



Schmidt Petra<sup>1</sup>

## NÖVEKVŐ TERMÉSZETI FESZÜLTSEGEK, KATASZTRÓFAKOCKÁZATOK A DÉL-DUNÁNTÚLON, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL AZ ŐS-DRÁVA MINTATERÜLETRE<sup>2</sup>

*A globális éghajlatváltozás önmagában nem katasztrófa, ütemgyorsulása révén gerjesztett katasztrófális eredmény, mely kísérőjelenségei rendkívüli, egyre agresszívebb természeti csapásokat eredményeznek és melyekben a víz, egyre inkább központi tényező. Különösen igaz ez a Kárpát-medencére, mely sajátos éghajlati adottságai révén speciális helyzetben tudhatja magát. Hazánkban a Dél-Dunántúlon, főként a Mecsektől délre eső területeken egyfajta „mediterránosodás” figyelhető meg, mely csak tovább fokozza az medence által gerjesztett természeti kockázatok kialakulásának lehetőségét. Az Ős-Dráva program keretén belül, számos különböző aspektusú kutatás és fejlesztés folyik a mintaterületen, ám véleményem szerint mindközül az időjárási extrémításokra felkészülő, klímaérzékenység növelő koncepciók támogatása kell, hogy prioritást élvezzen, hiszen a természet egyetlen csapásával felülírhat évek óta folyó rekonstrukciós tevékenységeket, semmisíthet meg több milliárdos beruházásokat, ha azok elkészülte nem alkalmazkodik a jövő klimatikus szcenárióihoz.*

### **GROWING TENSIONS IN NATURAL DISASTER RISKS IN SOUTH TRANSDANUBIA, SPECIAL REGARD TO ANCIENT DRÁVA REGION**

*Global climate change alone is not a disaster, but a disastrous result induced by rate acceleration, and the accompanying phenomena result in more aggressive natural disasters in which water becomes the central factor. This is especially true of the Carpathian Basin, which due to its specific climatic conditions has a special position. In Hungary, in South-Transdanubia, especially in the areas south of the Mecsek Hills, the intensification of Mediterranean features is observed, which increases the possibility of developing natural hazards created by the Basin. Within the framework of Ancient Dráva Program a number of different researches and development is going on, but in our opinion, the support of concepts preparing for the weather extremities and increasing climate sensitivity should be prioritized, since nature can overwrite several years of reconstruction activities, destroy more billion in investments with only one stroke, if they do not adapt to the future climate scenario.*

## BEVEZETŐ

Tény, hogy eddig is előfordultak a Dél-Dunántúlon kisebb-nagyobb természeti katasztrófák, már-már az elviselhetetlenség határait súroló hőmérsékleti csúcsok, ár-belvizek, aszályos évek, de tagadhatatlanul valami az utóbbi időben megváltozott, és azóta is folyamatosan változik. Természeti jelenségek tekintetében exponenciálisan nő az előfordulás gyakoriság, az intenzitás, és a mérték.

Mindennél fontosabb, hogy a várható hatások ismeretében, bármi nemű területfejlesztési tervet csak nagy elővigyázatossággal és mindenekelőtt a klimatikus tényezők változásának figyelembevétele mellett szabad csak engedélyezni, megkezdeni.

---

<sup>1</sup> doktorandusz hallgató, Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földtudományok Doktori Iskola  
<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Padányi József, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, padanyi.jozsef@uni-nke.hu



Előadásomban a ma ismert forgatókönyvek eredményeire alapozva, röviden bemutatom a Dél-dunántúli régió, azon belül is az Ős-Dráva mintaterületre várható éghajlati módosulásokat, a természeti katasztrófák, elsősorban szélsőséges vízháztartási események gyarodásának valószínűségét.

## DÉL-DUNÁNTÚL KATASZTRÓFAVESZÉLYEZTETETTSÉGE

Katasztrófa-előfordulás tekintetében, a Dél-Dunántúlra egyaránt jellemzőek az ár- és belvizek, a mérsékelt aszályos időszakok, a kisebb földrengések, a szélsőségesen extrém időjárási események/hőmérsékletek, orkán erejű szélviharok okozta természeti katasztrófák, (Pl. 2013. március 15.), tűz általi események, valamint a veszélyhelyzeti szintet elérő akár közúti, vasúti, ritkán ipari balesetek kialakulása.

A klímaváltozás, a talajmozgások a régióban (itt elsősorban földcsuszamlásokról, talajerózióról, partfalomlásról beszélhetünk), a veszélyes ipari tevékenységek balesetei, a rendkívüli időjárási viszonyok, életünket végigkísérő jelenségek, melyekről nem szabad megfeledkezni. Már pedig a jövő scénáriók bizonyítottan a természeti jelenségek, súlyosabb esetekben katasztrófák gyakoriságnövekedését vetítik elénk.

A katasztrófa fogalma minden embernek mást jelent, hiszen katasztrófa lehet egy régiót, országot, (akár országok határain túlnyúló) több nemzetet sújtó világméretű természeti, esetleg civilizációs csapás, de katasztrófa egy család számára szerettük elvesztése, egy nemzetnek a gazdasági válság is. Köztudott, hogy az ember, mint egyén sokszor nem tud különbséget tenni a tragédia és a katasztrófa fogalma között. Bármit is jelentsen e fogalom, kötelességünk a katasztrófák ellen védekezni, megelőzni, elhárítani azokat; az ebből adódó kárelhárítási folyamatokat lehetőség szerint megoldani, valamint a lakosságot minden esetben értesíteni, tájékoztatni, kellőképpen felkészíteni az esetleges, vagy a már bekövetkezett katasztrófa kezelésére, az alkalmazkodásra, a katasztrófák következtében akár pszichológiai háttértámogatással. Nincs ez másként a Dél-Dunántúlon sem.

Ahhoz azonban, hogy a lakosság felkészülhessen, a felkészítők specifikusan tudjanak dolgozni, elengedhetetlenül szükséges, hogy tudatában legyenek, milyen veszélyeztető hatások fenyegetik most és a jövőben a térséget, hiszen a klímaváltozás ütemgyorsulása, olyan következményekkel (eddig ismeretlen mértékű és fajtájú természeti katasztrófákkal) állít majd szembe minket, melyek megelőzése, kezelése, elhárítása minden eddiginél nagyobb erőfeszítést, nemzetek közötti összefogást igényel. Esetünkben különösképpen a horvát-magyar kapcsolat erősítésével kell számolnunk.

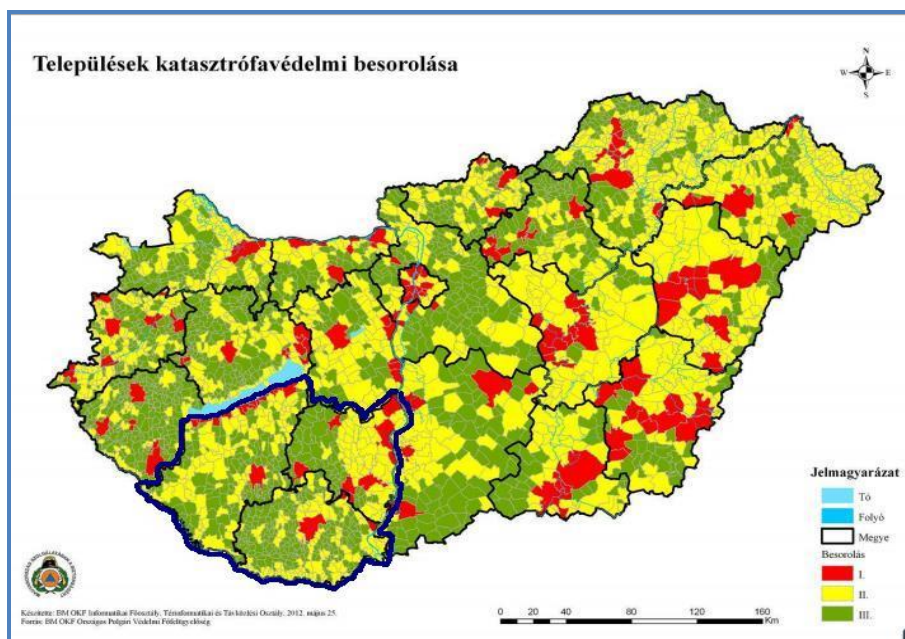
A Dél-dunántúli térség csak úgy, mint hazánk egész területe természetföldrajzi értelemben „mérsékelt veszélyességű” a természeti jelenségek által keletkező veszélyek, katasztrófák tekintetében. Civilizációs katasztrófák szempontjából a legnagyobb figyelmet a veszélyes anyagok szállítására, tárolására, a vasúti-közúti balesetekre, a gondatlan tűzokozásra, illetve a természeti környezetbe való emberi beavatkozások következményeire kell fordítani. Természeti viszonylatban a régió legfőbb katasztrófáinak az ár-illetve belvizes valamint az aszályos jelenségeket, továbbá a szélsőséges időjárási eseményeket tekintjük.

Nem hagyhatók figyelmen kívül az ország határain kívül keletkező, de nemzethatárokat nem

ismerő, globális vagy regionális hatásokat okozó katasztrófák sem. Ilyen globális környezeti probléma a korábban említett klímaváltozás is, mely előrejelíti, hogy legkésőbb 2030-ra a természeti katasztrófák viszonylatában mind előfordulásban, mind intenzitásában mindenképpen jelentős növekedés lesz tapasztalható.

Hogyan mérhető fel egy térség vagy város veszélyeztetettsége? Katasztrófavédelmi szempontból a 61/2012. (XII. 11.) BM rendelet szól a települések katasztrófavédelmi besorolásáról, mely nagyban hozzájárul a térség katasztrófafenyegetettségének felméréséhez. Mint ismeretes a Dél-Dunántúli térséget három megye alkotja, nevezetesen Tolna, Somogy és Baranya.

A 2012-es eredmények alapján a régió (három megyéje) 655 településéből 27 elsőfokú, 235 másodfokú és 393 harmadfokú osztályi besorolást kapott<sup>3</sup> (lásd 1. ábra). Jó hír, hogy ezzel az eredménnyel alulmarad az országos átlaggal szemben, (mely elsősorban a felső küszöbértékű üzemek hiányának köszönhető, valamint a paksi atomerőműtől való távolságból ered) ám rossz hír, hogy e besorolások elsősorban a civilizációs veszélyekre, kockázatokra térnek ki. Ugyan felméri a terület természeti kockázatait is, ám a besorolási eredményeken a fokozottan árvízveszélyes Dráva térségben még sincs kirívóan magas besorolású térség.



1. ábra A települések katasztrófavédelmi besorolása (2012)

## A DÉL-DUNÁNTÚL, AZON BELÜL A DRÁVA RÉSZVÍZGYŰJTŐ ÉGHAJLATI VÁLTOZÁSAI, KLÍMAÉRZÉKENYSÉGE

Magyarország éghajlatát az óceáni, a mediterrán és kontinentális klíma együttesen határozza meg, ezek a Kárpát-medence domborzati hatásaival együtt igen változékony éghajlatot eredményeznek.

<sup>3</sup> Bővebb információ a települések katasztrófavédelmi besorolásáról a [http://www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=kozigazgatas\\_felkeszites\\_vb\\_telepules\\_pvbesorolas](http://www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=kozigazgatas_felkeszites_vb_telepules_pvbesorolas) weboldalon olvasható.

Hazánk területi adottságai, természeti állapota, társadalmi megoszlása ennek következtében igen differenciált. Következésképpen a magyarországi régiók, kistérségek, vagy a természetes nagy-és középtájak, valamint az egyes termőhelyek, de az azokon termelt növények klímaváltozásra való érzékenysége, sérülékenysége, így ezzel együtt annak kockázati tényezője is eltérő. Ennek fényében nem meglepő, hogy míg a régió nyugati országrészhez közeli területein mérsékeltén hűvös, nedves, a középső és északi területeken, (megközelítőleg a Balaton vonaláig) mérsékeltén meleg, mérsékeltén csapadékos, addig a déli, elsősorban a Dráva vízgyűjtőjéhez tartozó területeken meleg és nedves éghajlat uralkodik.

„A részvízgyűjtőn a magyarországi átlagot kissé meghaladó a borultság. A felhőzet évi átlaga 58-64 % közé esik, a borultság mértéke Ny-ról K felé haladva csökken. A nagyobb borultsággal összhangban az évi napsütéses órák száma kissé alacsonyabb az országos átlagnál, 1850-1950 óra, a legnyugatibb területeken ennél kicsit kevesebb, 1800–1850 óra. Az évi középhőmérséklet 10–11°C közötti, kelet felé emelkedik. A terület nyugati felén az évi közepes hőingás 20,5–21,5 °C, a csapadék évi mennyisége 700-900 mm. A terület keleti felén a hőmérséklet évi közepes ingása 21,0–22,0 °C, a csapadék évi mennyisége 600–800 mm. Az uralkodó szélirány az É-i, de a völgyek É-D-i tagoltsága miatt jellemzőek a D-i szelek is.” [1]

A vizsgált terület típuskatasztrófái az ár-belvizek, aszályos jelenségek, valamint időjárási szélsőségek, melyekben elsősorban a hidrológiai, hidrometeorológiai események dominálnak.

Nem meglepő, hogy a legsúlyosabb és leggyakoribb katasztrófa okozója az ár és belvízi elöntésért felelős víztöbblet, de az aszály jelenség is legalább ilyen erőteljes és ilyen gyakran előforduló veszélyforrás. Ezen természeti események a listavezetők a Dél-Dunántúlon de tágabb értelemben Magyarországon is, előfordulási gyakoriságukat, az okozott kárt és áldozatok számát tekintve. Az utóbbi 20 évben mind a Dunán, mind a Dráván a korábbiakhoz képest, rendszeresebbé váltak a jelentős árvizek, sőt jellemző volt a korábbiaknál magasabban tetőző vízállás kialakulása.

Ennek fényében érthető, hogy a régió természeti kockázatok tekintetében a szélsőséges víz-háztartási jelenségeiről „híres”. E hírnév kialakulásához nagyban hozzájárul árvízi eseményeivel a Duna, illetve a Dráva folyó. Jelen cikkemben az utóbbi eseményeivel, régióra és annak veszélyeztetettségére gyakorolt hatásaival, majd az éghajlati módosulások következtében várható scenárióival, specifikumaival foglalkozom.

A Dráva magyarországi szakasza és annak vízgyűjtő területe természetföldrajzi értelemben, az utóbbi időben a szokottabbnál nagyobb figyelmet kapott. Ennek egyik oka az Uniós nyomás a vízbázis-védelmi előírásai révén, de a figyelem középpontjába került már a folyó árvizei, extrém hőmérsékleti értékei, természeti kincsei, de nem utolsó szempont szerint határválasztó szerepe miatt is.

Gyakran hangoztatják is a különböző kutatások alkalmával a már szinte közhelynek tűnő ám önmagában nagy prioritást rejtő mondatot, mely szerint „A Dráva nem elválaszt, hanem összeköt”.

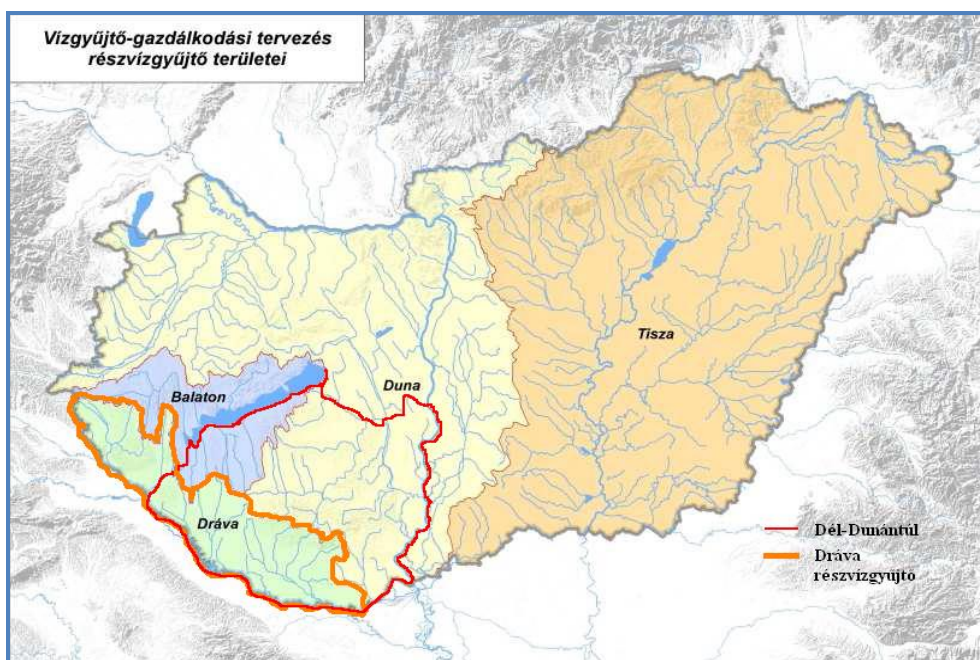
A fent említett Európai Unió jogi szabályzója, a (2000/60/EK) Víz Keretirányelv indította el a Dráva vízgyűjtőjén, az Ős-Dráva mintaterületen folytatott kutatások nagy részét, az irányelv célja, hogy 2015-ig a felszíni és felszín alatti víztestek kielégítő állapotba kerüljenek.



Átfogja a víztisztaságra, a vízminőségre, valamint a vízbiztonságra való törekvéseket is, tehát a szélsőséges vízháztartási események, ha jobban tetszik, hidrológiai eredetű természeti katasztrófák kiküszöbölésének, prevenciójának feladatait is. Általános céljai között írottan szerepel az árvizek, és aszályok vizek állapotára gyakorolt kedvezőtlen hatásainak mérséklése.

A Keretirányelv tartalmaz négy úgynevezett részvízgyűjtő-gazdálkodási tervet, mely a Duna közvetlen vízgyűjtőjén kívül foglalkozik a Tisza, a Dráva és a Balaton részvízgyűjtő tervével.

„A Dráva- részvízgyűjtő terület nagysága 8431,4 km<sup>2</sup> (a Dráva hazai vízgyűjtő területe a Murával), melyen összesen 90 víztest (85 vízfolyás és 7 tó) található (lásd 2. ábra). A vízgyűjtő, a Zalai dombvidéken, belső-Somogyban, a Mecsek területén és a Tolna-Baranyai dombvidéken fekszik.” [2]



2. ábra A Dráva részvízgyűjtő Dél-Dunántúli területe (2012)

## KLIMATIKUS SZCENÁRIÓK ÉS AZ ŐS-DRÁVA PROGRAM AMBIVALENS KAPCSOLATA

A globális éghajlatváltozás nem új keletű jelenség, ám annak ütemgyorsulása már komoly kockázatokat hordoz magában. Emberöltökbén, akár évtizedekben tapasztalható változásokat eredményez melyek következményei minden eddiginél nagyobb erőfeszítéseket, technikai felkészültséget, anyagi ráfordítást igényelnek.

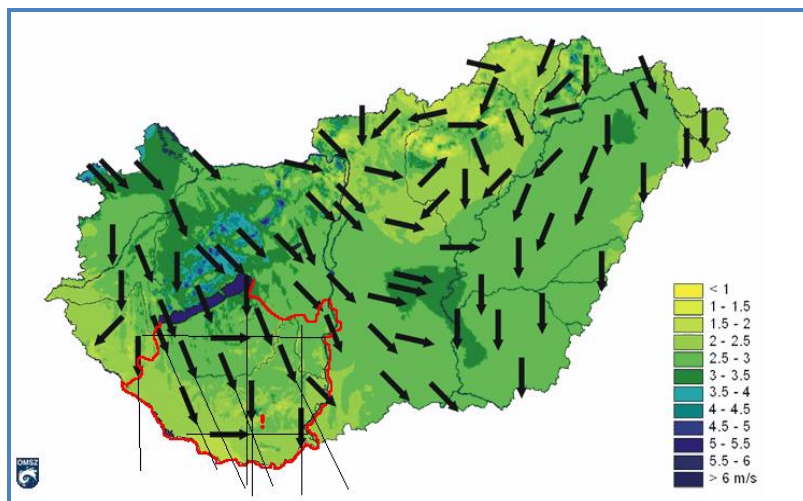
A napjainkban tapasztalható felmelegedés hatására, az éghajlati rendszer elemei közötti kölcsönhatások jelentősen megváltozhatnak. Egyes folyamatok gyengülhetnek, míg mások drasztikusan felerősödhetnek. [3]

A régióban várhatóan az északnyugati szelek egyre gyakrabban fordulnak déliesre, ezek pedig a csapadékos óceáni levegő helyett száraz mediterrán, irgalmatlan viharokkal „dúsított” szubtrópusi meleget hoznak, az amúgy is egyre inkább elmediterránosodó területre. Gyakrabban



alakulnak majd ki szupercellák az égen és ennek következtében egyre több és nagyobb felhőtölcsérrel (tubával), valamint tornádókkal is találkozhatunk.

A Kárpát-medencében elfoglalt helye alapján, épp e medence jellegből adódóan a Dél-Dunántúlon a többféle éghajlat, egymást befolyásoló hatásaiból adódóan a szélirányok folyamatosan és gyorsan változnak majd, mert a különböző légáramlatok sokszor nem egy irányba futnak így össze ütközésükkor légköri zavar keletkezik, egymás hatását módosítják (lásd 3. ábra). A 2013. március közepi hóvihárban mért 90-100 km/h-s szélökésekkkel is gyakrabban találkozhatunk.



3. ábra Magyarország széltérképe (2012)

Hőmérsékletében hosszú távon fokozatos felmelegedés, a nyári csapadék mennyiségének csökkenése, térben és időben történő egyenlőtlen eloszlása várható.

A jelenleginél is fokozottabban kell számolnunk a hőmérsékleti anomáliákkal. Nyáron a hirtelen és drasztikusan megemelkedő, néhol a 40 °C-ot is hosszan megközelítő vagy meghaladó csúcserkékek, addig télen a hirtelen szélsőségesen lecsökkenő –20 °C-os vagy azt meghaladó fagyok okoznak majd gondot. Rendkívül sok esetben találhatjuk már ma is szembe magunkat olyan helyzetekkel, amikor pár nap alatt csaknem 20–30, esetenként akár 40 °C-os hőmérsékletemelkedés vagy csökkenés tapasztalható. Ez a jövőben sem változik.

A természeti jelenségek, drasztikusabb esetben katasztrófák mind előfordulásban, mind intenzitásban, mind kiterjedésükben egyre növekvő tendenciát mutatnak majd. Elsősorban a vízzel összefüggő, azaz hidrológiai jelenségekkel kell számolnunk, de a meteorológiai értékekben is érezhető változások következnek be. A rendkívüli téli csapadékmennyiség előrevetíti a téli ár, azaz a kora tavaszi árvizek éves valószínűségét, valamint a nyári hónapok aszályos mivoltát, következményként néhol földmozgást, földcsuszamlást eredményezve.

A káros vízbőség és vízhiány kezelésének technológiai adottságai, lehetőségei, már régóta rendelkezésre állnak. A probléma az, hogy az egyes beavatkozások térben és időben kevésbé koordináltak és sokszor nem mentesek a gazdasági, politikai érdekektől. Azonban, a meteorológiai elemek variabilitása rákényszeríti az embert, hogy a környezetünk (klíma) érzékenységet, határait minél mélyrehatóbban megismerjük, ezen ismeretekhez alkalmazkodva, a várható hatásokra felkészüljön, alkalmazkodjon. [4]



A fent említett jövőbeli események bekövetkezési valószínűsége 2030-ra szinte 100%-os, bizonytalansági indexe rendkívül kicsi. Épp ezért lenne rendkívül fontos, hogy a Dráva vízgyűjtőjén folytatott fejlesztések, mindenekelőtt az éghajlatváltozás ütemgyorsulása által gerjesztett hatások és lehetséges következmények figyelembevétele mellett kezdődhessenek, hiszen a természet egyetlen csapásával felülírhat évek óta folyó rekonstrukciós tevékenységeket, semmisíthet meg több milliárdos beruházásokat, melyek akár súlyosbíthatják is az adott katasztrófát.

A legnagyobb fejlesztéssel, beruházással bíró program a térségben az úgynevezett Ős-Dráva Program<sup>4</sup>, melynek megalkotásának fő okaként a természeti környezet és a társadalmi-politikai folyamatok kedvezőtlen irányú változását jelöli meg, melyek a térség általános gazdasági hanyatlásához vezettek. A térség népessége elszegényedett, a munkalehetőségek leszűkültek, az erőforráskészletek lecsökkentek.

„Mindeközben a Dráva folyó jelenleg szinte hasznosítatlanul folyik át a térségen, számos lehetőséget rejt magában, a térség egyik legjelentősebb erőforrása lehetne. A Dráva menti térséget ősi állapotában mocsarak, vizes területek jellemezték, ma azonban a Dráva fenéksüllyedése miatt a terület kiszáradása, a gazdálkodás ellehetetlenülése a fő probléma. A természeti értékek fenntartásához és a megfelelő mezőgazdasági tevékenységhez vízpótlásra van szükség. A fentiek ismeretében alakult ki a program alapkonceptiója, mely szerint a térség problémáit a vízgazdálkodási rendszer átalakítására alapozva kell megoldani, a hajdanán vízzel megfelelően ellátott terület számára ismét biztosítani kell az optimális és állandó vízszükségletet. Ez a gondolat ihlette a program nevét is, mintegy utalva az egykori kedvező állapot visszaállítására. A program alapállása az, hogy e komplex probléma-halmaz megoldása csak komplex, a problémák minden területére kiterjedő beavatkozás-sorozattal lehetséges.” olvasható a Dráva részvízgyűjtő gazdálkodási tervben.

Kérdezem én, hogyan lehetséges egy komplex, minden területre kiterjedő beavatkozás-sorozatot véghezvinni „csupán” egy-egy hatástanulmány eredményeire alapozva és miért nem kerül említésre a térségben rövid időn belül bekövetkező éghajlati változás, valamint annak természeti jelenségekben mérhető következményei?

Fontos kérdés továbbá, hogy a különböző fejlesztések, projektek hogyan és milyen mértékben befolyásolhatják egymás hatásait, illetve milyen kockázatot jelenthetnek együttesen a későbbiekre nézve?

E projekt célja a térség fellendítése, a természeti környezet helyreállítása, az erőforrások leghatékonyabb kihasználása, az ott élők életkörülményeinek minél magasabb szintű biztosítása mégis eddigi eredményeit tekintve katasztrófamegelőző szerepében paradox.

Az Ős-Dráva projekt pozitívuma, hogy a vízbiztonság kérdésében foglalkozik az árvízi jelenségek részterületeivel, a vízháztartással, érintőlegesen az aszályos területekkel, a vízminőséggel ám ez önmagában a sokat hangoztatott komplexitás tekintetében kevés.

A program mindenképpen a meglévő hidrológus szakemberek mellé, meteorológus és katasztrófavédelmi támogatást igényel, az optimális, hosszú távú és időtálló eredmény elérése érde-

---

<sup>4</sup> Az Ős-Dráva programról bővebb információ olvasható a [www.osdrava.hu](http://www.osdrava.hu) weboldalon.

kében. A klímaváltozás hatásaira való felkészülés, nem nélkülözheti az ár-belvízvédelem újragondolását, a megváltozott szélsőséges időjáráshoz való alkalmazkodást, a fejlettebb technológiák alkalmazását és a hosszú távú védekezési stratégia megteremtését.

## INNOVÁCIÓ ÉS A KATASZTRÓFAVÉDELEMI FELADATOK

A katasztrófavédelem szerepe a tévhitekkel ellentétben nem csak az esemény bekövetkezése után jelentős. A tervezési szinten komoly kutatásokat, fejlesztéseket, technikai bővítéseket folytató védelmi szerv preventív időszakai munkája jelentősen meghaladja a beavatkozás és/vagy helyreállítás időszakai tevékenységeit. A megelőzés a legnehezebb ám legköltséghatékonyabb feladat, tekintve a későbbi helyreállítási, mentesítési költségeket.

A katasztrófavédelem célja az állampolgárok élet, anyagi és kulturális javainak védelme, az életfeltételek biztosítása minden körülmények között. Ők az elsődleges mentési, mentesítési közeg katasztrófa idején, legyen szó természeti vagy akár civilizációs eredetű eseményről. Ennek okán szinte kihagyhatatlanok egy-egy nagyobb beruházás, természetátalakító fejlesztés, főként árvízvédelmi szempontból kiemelten veszélyeztetett területek rekultivációs folyamataiból. Pedig sokszor a két fél (projektvezetés és katasztrófavédelem) egymásnak hasznos adatokkal, kutatásokkal rendelkezik, mely adott esetben már a kezdeti stádiumában módosíthatja, akár javíthatja a fejlesztéseket vagy másik oldalról éppen segítheti a katasztrófavédelem munkáját.

Eddigi tudomásom szerint még nem kerültek beépítésre az Ős-Dráva Programba a katasztrófavédelmi rendszer, a Dravis pályázat keretein belül létrejött „Dráva menti komplex katasztrófavédelmi információs rendszer” eredményei. Megalkotásának célja volt a térség katasztrófaveszélyeztetettségének felmérése, az eredmények térinformatikai segítséggel történő gyors feldolgozása, mely nagyban hozzájárul a gyors reagálás, döntés, beavatkozás eredményességéhez.

„A rendszer főbb funkciói: A Dráva határfolyó menti tűz-és katasztrófavédelmi együttműködés (közlekedésbiztonság, vízszennyezés, árvízi védekezés, vízturizmus biztonságának növelése, lakosságvédelem, kitelepítés-kimenekítés tervezés, vegyi-ipari balesetek, biológiai havaria elleni védekezés, természetvédelmi területek védelme, gázmérők) biztonságának biztosítása a térségben.” [5]

A Dravis projekt, mely már sorban a 3. továbbfejlesztésnél jár, rendelkezik még egy el nem hanyagolható eredménnyel. Rendkívüli, kölcsönösen jó viszonyt ápol a horvát katasztrófavédelemmel, mely további kapcsolódási pontokkal szolgálhat a Dráva folyót érintő eredményes projektmegvalósítás szempontjából.

Az Ős-Dráva program keretén belül számos különböző aspektusú kutatás és fejlesztés folyik a mintaterületen, ám véleményem szerint mindközül az időjárási extrémításokra felkészülő, klímaérzékenység növelő koncepciók támogatása kell, hogy prioritást élvezzen, mely a katasztrófavédelemmel mindenképpen szoros kapcsolattartást igényel.

Mindennél fontosabb feladatunk most, alkalmazkodni a megváltozott körülményekhez. A tudomány lehetővé tette számunkra, hogy feltérképezhessük, modellezhessük a várható jövőt, megteremtette a következménycsökkentés lehetőségeit, eszközeit, azonban a megvalósítás még várat magára. Lépéselőnyre tettünk szert a klímaváltozás ütemével szemben. Láthatóvá váltak a jövő Dél-Dunántúlt, azon belül is a Dráva részvízgyűjtőt veszélyeztető környezeti problémái, egyúttal megmutatkoztak a szükséges intézkedések. A projekt alkotóknak továbbra is szorosan, szorosabban együtt kell működni hazánk kutatóival, katasztrófavédelmi szakembereivel, részt kell vennie a nemzetközi klímakonferenciákon illetve ezen eredményekre hivatkozva jogot kell formálnia a megelőzéshez szükséges állami támogatásra.

### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] Vízyűjtő-gazdálkodási Terv, Dráva részvízgyűjtő  
[http://www.vizeink.hu/files/Reszvizgyujto\\_VGT\\_Drava.pdf](http://www.vizeink.hu/files/Reszvizgyujto_VGT_Drava.pdf), 7.oldal (2012. 10.29.)
- [2] Vízyűjtő-gazdálkodási Terv, Dráva részvízgyűjtő  
[http://www.vizeink.hu/files/Reszvizgyujto\\_VGT\\_Drava.pdf](http://www.vizeink.hu/files/Reszvizgyujto_VGT_Drava.pdf), 7.oldal (2012. 10.29.)
- [3] Schmidt Petra: A globális problémák katasztrófavédelmi aspektusai: Alkalmazkodás az extrém időjárási anomáliákhoz, avagy egy újszerű katasztrófavédelmi koncepció az ár-belvíz, illetve aszály jelenségek kezelésében, a Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság Katasztrófavédelmi Tudományos Tanácsának különdíjas pályamunkája 2011. 10. oldal  
<http://www.vedelem.hu/letoltes/tanulmany/tan394.pdf> (2013. 03. 01.)
- [4] Gayer József – Molnár Péter: A Nemzeti Aszálystratégia előkészítése című mű egy bekezdéséből átszerkesztve [http://hidrologia.hu/vandorgyules/30/dolgozatok/gayer\\_jozsef.html](http://hidrologia.hu/vandorgyules/30/dolgozatok/gayer_jozsef.html) ( 2012.11.01.)
- [5] Heizler György tű. ezredes, igazgató, Somogy megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság, Kaposvár  
[http://www.vedelem.hu/files/UserFiles/File/konf2010/nk\\_hajduszoboszlo/hatarmenti.pdf](http://www.vedelem.hu/files/UserFiles/File/konf2010/nk_hajduszoboszlo/hatarmenti.pdf) (2013. 02. 23.)

### **ÁBRAJEGYZÉK**

1. ábra Települések katasztrófavédelmi besorolása. Készítette: Szarka Zsolt tű. alezredes főosztályvezető-helyettes: Tájékoztató a települések katasztrófavédelmi osztályba sorolásának helyzetéről, tapasztalatairól PDF, Budapest, 2012. május 31.  
[http://www.katasztrofavedelem.hu/letoltes/filedb/hirek/1137/pv\\_foferrt\\_terkepek.pdf](http://www.katasztrofavedelem.hu/letoltes/filedb/hirek/1137/pv_foferrt_terkepek.pdf) Szerkesztette: Schmidt Petra, (2013. 03. 14.)
2. ábra Magyarország részvízgyűjtő területei, a Víz Keretirányelv hazai megvalósítása, Vízyűjtő - Gazdálkodási Terv 3. oldal, Készítette: a Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság, 2010. április  
[http://www.vizeink.hu/files/Reszvizgyujto\\_VGT\\_Drava.pdf](http://www.vizeink.hu/files/Reszvizgyujto_VGT_Drava.pdf) (2012.10.29. Szerkesztette: Schmidt Petra)
3. ábra Magyarország széltérképe. Készítette az Országos Meteorológiai Szolgálat, szerkesztette: Schmidt Petra [http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/altalanos\\_eghajlati\\_jellemzes/szel/](http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/) (2013. 03.01.)

Kovács Zoltán<sup>1</sup>

## REPÜLŐTEREK ROBBANTÁSOK ELLENI VÉDELMEINEK TECHNIKAI LEHETŐSÉGEI<sup>2</sup>

*Az aszimmetrikus hadviselés, vagy elterjedtebb nevén: a terrorizmus, egyik fegyvere a „háziagos készítésű”, azaz improvizált robbanóeszköz (IED).<sup>3</sup> Az ilyen eszközök előállítására egyszerű (az internetes világhálón is található lehet számos készítési útmutatót), olcsó (a mindennapi életben használt eszközökből, vegyszerekből, stb. is előállíthatók), a közvetlen hatásuk pedig ugyan főleg harcászati szinten az áldozatok nagy számában jelentkezik, azonban az alkalmazásukkal együtt járó médiakampány, közérdeklődés és elrettentés miatt akár stratégiai hatással is rendelkezhetnek. Napjainkra a robbantásos cselekmények szinte mindennapossá váltak, ha hazánkban nem is történnek, azonban a médiában rendszeresen szerepelnek ilyen események. Az ellenük való hatékony védekezés vagy még inkább a lehetséges megelőzés, az arra történő felkészülés pedig mindannyiunk érdeke.*

### **TECHNICAL SOLUTIONS OF PREVENTING AIRFIELDS AGAINST BLAST ATTACKS**

*One of the most popular weapons of the asymmetric warfare or so we call: terrorism, are the homemade or improvised explosive devices (IED). It is very easy and cheap to make these devices, manuals are available in Internet, and the components can be purchased in shops. IED's tactical effect emerges in the large number of victims, but due to the media, public interest and deterrence, they might have strategic effects. By present days, terrorists' actions became common, and however in our country these are not happen, but blasts are every-day news in media. Effective protection or even more the prevention, and training to handle these events are the all of us interest.*

A 20. század második felétől elterjedtebbé váló ún. „aszimmetrikus hadviselés” semmilyen szabályt és megkülönböztetést nem ismer, nem azokkal az eszközökkel és nem azok ellen a célpontok ellen vívják, ami ellen, amikor, ahol, ahogy, amivel „normális” esetben egy korábbi háborút. Legtöbb esetben a gyengébb fél egy nagyhatalommal vagy szövetséggel szemben állva jelöli ki a támadásának helyszínét, időpontját, célpontját és módszerét.

### **Improvizált robbanószerkezetek**

A terrorizmus alapvető jellemzői közé sorolhatjuk az erőszak alkalmazását vagy azzal történő fenyegetést; a célirányos viselkedést; a pszichés hatás kiváltásának szándékát és a szimbolikus jelentőségű célpontok kiválasztását. A fentiek elérése érdekében a terrorizmus alapvetően alkalmazott „fegyvereinek” tekinthetjük az emberölést, emberrablást és túszejtést, az improvizált robbanóeszközöket (IED) és akár az atom, biológiai, vegyi (ABV) fegyverek alkalmazásának lehetőségét.

Az improvizált robbanóeszközök polgári és katonai vonatkozású célpontjai mindig szimbolikus jelentőségűek, vagy valamilyen szempontból kulcsfontosságúak. Ilyenek lehetnek:

- fontos kormányzati, katonai, gazdasági, vallási pozíciót ellátó személyek;

<sup>1</sup> okl. mk. alezredes, egyetemi docens, NKE HHK, kovacs.zoltan@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. dr. Lukács László, egyetemi tanár, NKE HHK, lukacs.laszlo@uni-nke.hu

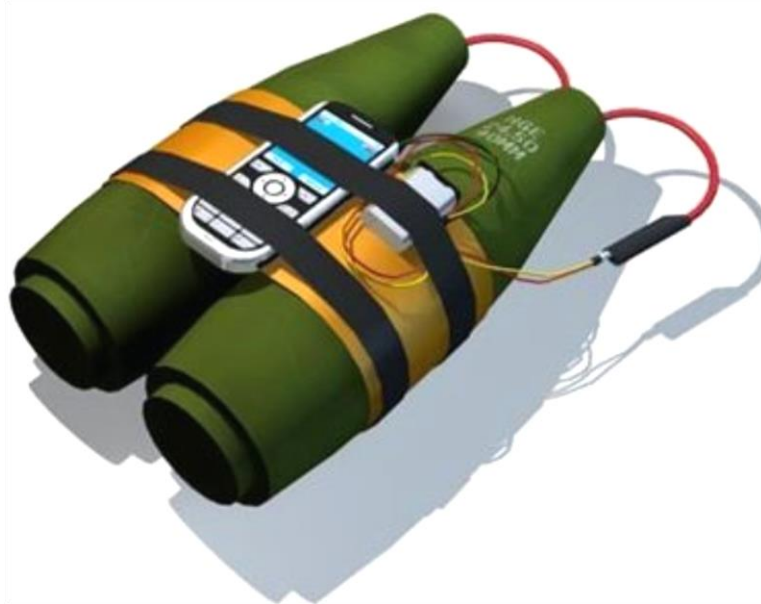
<sup>3</sup> Az angol Improvised Explosive Device kifejezésből rövidítve: IED



- épületek (állami, kormányzati, katonai létesítmények, középületek, stb.);
- rendezvények helyszínei (piac, sportcsarnok, kiállítás, átadónapség);
- közművek elemei (elektromos hálózat, víz-, gáz-közműhálózat);
- közlekedési csomópontok, létesítmények (alagút, híd, kikötő, vasút- és közúthálózat, metró és a repülőterek).

A robbantásos cselekmények fő célja a félelem- és zavarkeltésen túl a nyilvánosság, a kiemelt jelentőségű célpontok ellen elkövetett robbantásos események pedig mindig nagy közérdeklődést kapnak, a média kitüntetett figyelmet szentel a történeteknek.

Az improvizált robbanóeszközök olyan „házilagosan készített”, tehát nem üzemi körülmények között gyártott, előállított eszközök, amelyek a pusztító hatásukat a robbanás hatóerejével, az egészségre ártalmas vegyi, biológiai anyagokkal, pirotechnikai eszközökkel, vagy gyújtóhatású anyagok segítségével érik el. Az IED szerkezeti felépítése általában kezdetleges kialakítású, de csak a készítőjének kreativitása és a rendelkezésére álló (vagy beszerezhető) anyagok, alkotórészek mennyisége és technológiai színvonala határoolja be az eszköz bonyolultságát és korszerűségét.<sup>4</sup>



1. ábra Egy „korszerű” IED elvi felépítése [1]

Az eszköz mérete a gyufásdoboznyitól akár a teherautó nagyságúig is terjedhet, függően a rombolni vagy megsemmisíteni kívánt célponttól és az elérendő hatástól. Egyetlen konkrét személy likvidálásához elegendő lehet egy „levélbomba” is, egy épület vagy komolyabb létesítmény elleni pusztítóbb merénylet pedig akár többtonnás robbanótöltet szükséges. Statisztikus célpontok ellen (pl. katonai tábor, repülőtéri létesítmény stb.), amikor nagyobb tömegű robbanóanyag szükséges a romboláshoz, valamilyen járműre szerelt, elrejtett IED-t alkalmaznak (VBIED)<sup>5</sup>, és igyekeznek vele a lehető legideálisabb közelségbe kerülni vagy bejuttatni

<sup>4</sup> Az alkalmazott robbanóanyagokkal kapcsolatban bővebben lásd: Lukács László: Bombafenyegetés – a robbanóanyagok története. – In.: Repüléstudományi Közlemények 2012/2. szám, 409-430. o.

<sup>5</sup> Az angol Vehicle Born IED kifejezésből rövidítve: VBIED

azt a célként kiválasztott objektum területére.

Előfordulhat olyan eset is, amikor mindössze pár grammnyi detonációra képes anyag is elegendő a pusztításhoz (pl. egy repülőgép), amit sokszor egészen különleges módon képesek rejtteni és próbálnak feljuttatni a gép fedélzetére.<sup>6</sup>



2. ábra Cipő talpába rejtett robbanószerkezet [2]

Az ilyen merényletek megelőzése céljából az utóbbi években speciális óvintézkedéseket vezettek be, alapos és mindenre kiterjedő vizsgálat, ellenőrzés után lehet csak az utasoknak felszállni a gépre. (Egyes repülőtereken pl. ezért kell levonnunk még a vastagtalpú cipőt is). A legszigorúbb ellenőrzést is ki lehet azonban játszani: a szilárd halmazállapotú robbanóanyag helyett folyékony vagy képlékeny elegyeket pl. mellimplantátumként beültetve,<sup>7</sup> vagy más módon az emberi bőr alá helyezve az könnyebben felcsempészhető a fedélzetre. Ha ez olyan anyag, amely még nitrogént sem tartalmaz, – melynek jelenlétét a legtöbb szkener és a bombakereső kutyák is érzékelik – akkor még kisebb a felfedezés veszélye.

### Improvizált robbanószerkezetek elleni védelem

A robbantásos cselekmények elleni védekezés, a létesítmények, objektumok és a katonai erők, valamint a polgári lakosság védelmének és biztonságának kérdése gyökeres felülvizsgálatra szorult a 2001. szeptemberi eseményeket követően. Az improvizált robbanószerkezetek elleni védelem (C-IED)<sup>8</sup> komplex rendszert alkot, amelynek három fő eleme a terrorhálózat gyengítése, megbontása; a robbanószerkezet semlegesítése; valamint a védelemben résztvevő személyi állomány felkészítése a feladatokra. A sikeres és eredményes védelem közös alapját pedig

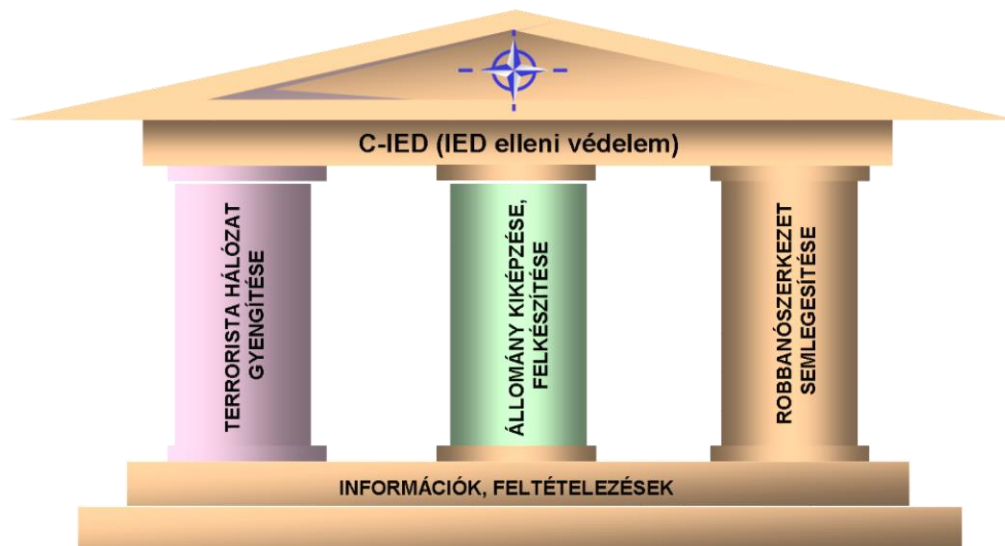
<sup>6</sup> Bővebben lásd: Lukács László: A polgári repülés bombafenyegetettsége. – In.: „Repüléstudományi Konferencia 2011” – Végetért a MiG-korszak című konferencia kiadványa, 2011. Online Különszám

<sup>7</sup> Bővebben lásd: Daruka Norbert: Terroristák és taktikák, avagy védekezz, ha tudsz. – In.: Repüléstudományi Közlemények 2012/2. szám, 33-41. o.

<sup>8</sup> Az angol Counter-Improvised Explosive Device kifejezésből rövidítve: C-IED

a mennyiségileg és minőségileg is megfelelő információk, valamint ezeken az információkon alapuló előrejelzések, feltételezések és tapasztalatok képezik (lásd 3. ábra).

Két nagy területen kellett minél gyorsabban és hatékonyabban felvenni a harcot az improvizált robbanóeszközökkel: az egyik a robbanóeszközök elhelyezésének és elműködtetésének megelőzése, megakadályozása, a másik pedig – ha az előbbi mégsem jár sikerrel – a személyi veszteségek és a keletkező anyagi károk mérséklése.



3. ábra A C-IED pillérei [3]

A robbantásos cselekmény lehetséges megelőzésével kapcsolatosan nagyon fontos szerep hárul a hírszerzésre, felderítésre (akár nemzetközi szinten!), hiszen a megszerzett információk alapján leszünk képesek a terroristák szándékának, képességeinek elemzésére, a kapcsolataik behatárolására, vagy akár a megépíteni tervezett IED szerkezetének valószínűsítésére. Ezek a feltételezések egyben azt is lehetővé tehetik, hogy a konkrét támadást – a célpontot, és/vagy a cselekmény időpontját – előre jelezzük, és felkészüljünk a megfelelő rendszabályokkal, tevékenységekkel a védekezésre.

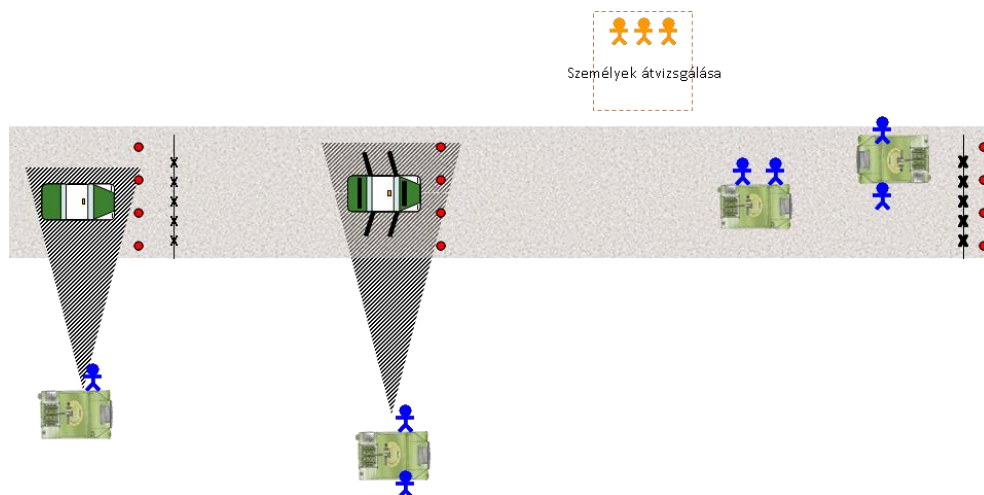
Az IED repülőtérré történő bejuttatásának akadályozását és a robbantás véghezvitelét már a repülőtér területének megközelítésekor meg kell kezdeni. Minél távolabb célszerű például kialakítani a gépjárművek számára fenntartott parkolóhelyet, ezzel csökkentve annak a lehetőségét, hogy mozgó járműben elrejtett öngyilkos IED-t használjanak, illetve a parkolóban álló járműben elrejtett robbanóeszközt indítsák a megfelelő pillanatban. A polgári repülőterek esetén lehetőleg a földfelszín alatti parkolók kialakítását is teljesen mellőzni kell.

### Védelmet biztosító technikai megoldások

A létesítmény védelmi rendszerét védelmi zónákra kell osztani, az egyes zónákban a megfelelő rendszabályokat és technikai eszközöket használva a kockázatosnak ítélt járműveket, személyeket kiszűrni. Az objektum közelében és a megközelítésre szolgáló területen már a külső védelmi zónában – ez lehet például a járműforgalom részére és a parkolás céljából fenntartott terület – is aktív felderítést és kockázatelemzést kell végezni, melyet a belső zónában – ez kizárólag gyalogos mozgást biztosító terület – is folytatni kell. Ezt a feladatot különböző optikai

és elektrotechnikai eszközökkel (videokamera, infravörös érzékelő, szenzor) a legegyszerűbb végrehajtani, melyektől az információk a megfigyelőközpontba jutnak, ahol elemzik és értékelik azokat, próbálják kiszűrni a gyanús személyeket, járműveket és tevékenységet.

Az elektronikus felderítési rendszert ki lehet egészíteni járőrözéssel, közvetlen megfigyeléssel, illetve az objektum jelentőségétől függően, a járművek tényleges fizikai átvizsgálásával már a külső védelmi zónába történő behajtáskor. Az átvizsgáláshoz megfelelően kialakított ún. ellenőrző-áteresztő pontot (EÁP) kell működtetni, ahol a meghatározott eljárási rend szerint át lehet vizsgálni a járművet és a benne tartózkodókat egyaránt.



4. ábra Ellenőrző-áteresztő pont és működtetése [4]

Az ellenőrző pont megközelítésének szabályozására alkalmazni kell a megfelelő forgalomlassító berendezéseket, amelyekkel kontrollálható a járművek sebessége, mozgása. Ilyen berendezések lehetnek a közlekedési folyosóban elhelyezett „fekvőrendőrök“, a különböző típusú drótzárak, tüskés útzárak, a pályaszerkezetből kiemelkedő oszlopok, a sorompók, illetve elsősorban a katonai létesítmények esetében a HESCO bástyák.<sup>9</sup>

A fentebb említett eszközök a gépjárművek mozgásának kontrollálására szolgálnak, azonban nem szabad elfelejtkezni a személyek ellenőrzésének, valamint a robbanószerkezet észlelésének, felfedésének fontosságáról sem! A robbanóanyagok vizuális észlelésére alkalmazhatók a különböző röntgenberendezések, melyekkel a csomagokat és az utasokat is át lehet vizsgálni, az utasok ellenőrzésére szolgálnak a milliméteres hullámhosszúságon működő szkennerek, amelyek a ruházaton is „átlátnak”. A gázkromatográfiás berendezések pedig a levegőből vett „szagmintával” képesek a csomagok (esetlegesen a személyek) ellenőrzésére.

A repülőtéri épületek, építmények megfelelő kialakítása, megerősítése szintén fontos feladat, hiszen a nagyobb épületek és létesítmények ellen a VBIED alkalmazása a legvalószínűbb, mivel gyalogosan csak korlátozott nagyságú és hatékonyságú IED juttatható be az objektumba „észrevétlenül”. A védelmet növelő technikai megoldásoknak a hirtelen fellépő megnöve-

<sup>9</sup> Bővebben lásd: Szabó Sándor, Tóth Rudolf: Gondolatok a HESCO bástyák alkalmazási lehetőségeiről I. Műszaki Katonai Közlöny XIX.:(1-4.) pp. 253-278. (2010) és Szabó Sándor, Tóth Rudolf: Gondolatok a HESCO bástyák alkalmazási lehetőségeiről II. Műszaki Katonai Közlöny XX.:(1-4) pp. 97-118. (2011)



kedett nyomás kompenzálására, a keletkező repesz- és üvegszilánk hatásainak csökkentésére, és nem utolsósorban az épületszerkezet összeomlásának megelőzésére kell koncentrálniuk.

Az újonnan épített létesítmények, épületek szerkezetét, falazatát lehetőleg úgy kell kialakítani, hogy a robbanás hatásainak minél nagyobb mértékben ellenálljon. Erre a célra alkalmazhatók például a falszerkezetben elhelyezett hossz- és keresztirányú merevítők (lásd pl. 5. ábra), vagy a falszerkezet védelmét és megerősítését szolgáló speciális védőburkolat, amely a robbanás bekövetkezése esetén csökkenti a falat érő túlnyomást és részben elnyeli a keletkező lökéshullámokat. A falszerkezet mellett különösen fontos a tartó (váz-) szerkezet megerősítése. Az általánosan használt vasbeton tartóoszlopok ellenálló képessége növelhető például a szén-szálalás műanyagok használatával, amely a merev szerkezetet a fellépő erőhatásokkal szemben sokkal rugalmasabbá teszi.



5. ábra Merevítővel megerősített falszerkezet [5]

A katonai rendeltetésű ideiglenes épületek védelmére szolgálhatnak a rugalmas, a lökéshullámnak és a keletkező nyomásnak ellenálló, az erőhatásokat csillapító, blokkokból készített falszerkezetek.



6. ábra Blokkos falszerkezet [5]



Az épületek többsége kiterjedt üvegfelülettel rendelkezik, ezek megfelelő védelme is fontos, hiszen a keletkező szilánkok, repeszek súlyos sérüléseket képesek okozni. Az üvegfelületek megerősítése is többféle módszerrel történhet. Az egyik leghatékonyabb a többrétegű üvegfelület alkalmazása, amelynek PVB-gyanta alapanyaga az eredeti tulajdonságok megtartása mellett erősebbé, hajlékonyabbá teszi a nyílászárót amellet, hogy a javítja a hőszigetelést és a káros sugárzás kiszűrését. Hasznos megoldás lehet az üvegfelület fóliázása is, mely során a belső és a külső felületre poliészter alapú fóliaréteget rögzítenek, amely az ablaküveg törésekor összefogja azt, és nem engedi az üvegszilánkokat, repeszeket szétszóródni.<sup>10</sup> Az üvegfelület erősítésére alkalmazható az üveglapok drótrácsozása, amely szintén megakadályozza az üveg berobbanását, szilánkok keletkezését.



7. ábra Speciális üvegfelület a robbanás előtt és után [5]

Az épületek védelme mellett nem szabad elfeledkeznünk a létesítmény „külső” védelmét biztosító kerítés, valamint a bejáratok megfelelő kialakításáról sem.

A Kabulban települt ISAF Parancsnokságot például már több esetben is érte robbantásos támadás, legutóbb 2011. augusztusban, amikor a bejáratától 15 méterre történt a detonáció. A VBIED által okozott károk az alábbi ábrán is jól láthatók.

<sup>10</sup> Bővebben lásd: Balogh Zsuzsanna: Repülőtéri épületek védelme terrorista robbantások ellen. – In.: Repüléstudományi Közlemények 2009/Különszám, Online kiadvány



8. ábra ISAF Parancsnokság bejárata a robbanás után [5]

A robbanás olyan erejű volt, hogy két darab, egyenként 1 tonnás, forgalomterelő elemként elhelyezett kőtömböt egyszerűen „átdobott” a bázis kerítésén!



6. ábra Az egyik forgalomterelő kőtömb [5]

Az ISAF Parancsnokság védelmét a robbantást követően újjászervezték, új külső védelmi rendszer került kialakításra, amelynek épített elemei többek között a már említett, a keletkező erőhatásokat csillapító blokkokból kialakított külső kerítés, őrtornyok.



7. ábra Blokkos kerítésszerkezet [5]

A gyakran alkalmazott drótkerítés sem a bejutást nem nehezíti meg, sem pedig a robbanás hatásai elleni nem nyújt védelmet, az elemekből épített – akár 7 méter magas! – kerítés azonban a fentiekén kívül a belátást, az orvlövészek támadását is hatékonyan gátolja.

Az építéstechnikai megoldásokon túl az eljárások rendjét is felülvizsgálták. A biztonsági távolság megtartása érdekében egy szélesebb biztonsági zónát kellett létrehozni a létesítmény körül; folyamatosan figyelés mellett használni kell különböző útakadályokat, jármű lassítókat; az átvizsgálás során szét kell választani a személyeket a járművüktől, amelynek ellenőrzése két fázisban történjen – előbb távolról, majd közlelről – úgy, hogy ez a művelet sor a lehető legrövidebb időt vegye igénybe.



8. ábra ISAF Parancsnokság új kerítése őrtoronnyal [5]



Az őrzés-védelem terén is a blokkos elemeket alkalmazták, a különböző őrtornyok, figyelők kiépítése során. Kísérletekkel bizonyították, hogy az ilyen elemekből épített szerkezetek sikeresen ellenállnak akár 220 kg, közvetlen közelben detonáló robbanóanyag hatásainak is.



9. ábra Blokkokból épített őrtorony [5]

Összegezve a fentieket megállapíthatjuk, hogy az IED alkalmazása, a szerkezeti felépítése, működtetése és elhelyezése mindig a kiválasztott célpont függvénye. A szerkezetek készítéséhez felhasznált anyagok köre igen széles. A jól szervezett és megfelelő finansziális háttérrel, szakismerettel rendelkező elkövetők képesek korszerű, technikailag igen fejlett robbanószerkezet készítésére, míg a kezdetleges szerkezetű eszközöket elsősorban az „önszerveződő” csoportok, személyek használják.

A C-IED, mint feladatrendszer, az improvizált robbanóeszközök elleni védelem teljes spektrumát felöleli. A robbanószerkezet semlegesítése főleg harcászati szintű feladatokban teljeseedik ki, magába foglalva mindazon eljárásokat, korszerű eszközöket és módszereket, amelyekkel az IED felfedhető, robbanása megakadályozható, vagy pedig elműködése esetén a keletkező károk és veszteségek minimalizálhatók. Külön kell választani a stacioner és a mozgó célpontok IED védelmének kérdését, hiszen az előbbi a speciális eljárások bevezetése mellett igényli a különleges építéstechnológiai módszerek alkalmazását is.

***TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”***

***„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”***

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] Internet: <http://www.creativecrash.com/marketplace/3d-models/weapons-armor/c/explosive-device-ied> (2012.06.21.)
- [2] Internet: [https://www.jieddo.dod.mil/content/docs/20120116\\_JIEDDOC-IEDStrategicPlan\\_MEDprint.pdf](https://www.jieddo.dod.mil/content/docs/20120116_JIEDDOC-IEDStrategicPlan_MEDprint.pdf) (2012.06.21.)
- [3] Allied Joint Doctrine For Countering – Improvised Explosive Devices AJP-3.15 (A), NATO Standardization Agency (NSA), March 2011.
- [4] Sz. n.: ÖMLT C-IED Course PPT bemutatója, 2007.11.28.
- [5] Sz.n.: Designing for Blast. – NATO MILENG COE PPT bemutató, 2012.04.18.
- [6] LUKÁCS László: Bombafenyegetés – a robbanóanyagok története. – In.: Repüléstudományi Közlemények 2012/2. szám, 409-430. o.
- [7] LUKÁCS László: A polgári repülés bombafenyegetettsége. – In.: „Repüléstudományi Konferencia 2011” – Végetért a MiG-korszak című konferencia kiadványa, 2011. Online Különszám
- [8] DARUKA Norbert: Terroristák és taktikák, avagy védekezz, ha tudsz. – In.: Repüléstudományi Közlemények 2012/2. szám, 33-41. o.
- [9] SZABÓ Sándor, TÓTH Rudolf: Gondolatok a HESCO bástyák alkalmazási lehetőségeiről I. Műszaki Katonai Közlöny XIX.:(1-4.) pp. 253-278. (2010)
- [10] SZABÓ Sándor, Tóth Rudolf: Gondolatok a HESCO bástyák alkalmazási lehetőségeiről II. Műszaki Katonai Közlöny XX.:(1-4) pp. 97-118. (2011)
- [11] BALOGH Zsuzsanna: Repülőtéri épületek védelme terrorista robbantások ellen, [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009\\_cikkek/Balogh\\_Zsuzsanna.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009_cikkek/Balogh_Zsuzsanna.pdf) (2012. 02. 29.)
- [12] STANAG 2294 C-IED (EDITION 1) - Counter Improvised Explosive Device (C-IED) Training Standard, Military Committee Joint Standardization Board (MCJSB), 2009 – 18 p.
- [13] Joint Publication 3-15.1 Counter-Improvised Explosive Device Operations, 2012.
- [14] Joint Operational Guideline for C-IED Activities, NATO, 2008.
- [15] Dismounted C-IED Smart-Book, Version 1.0 Dated 08 November 2011, Joint IED Defeat Organization (JIEDDO) Joint Center of Excellence (JCOE) – 79 p.



Szabó Sándor<sup>1</sup> – Tóth Rudolf<sup>2</sup>

## REPÜLŐTEREK KIALAKÍTÁSA, LÉTESÍTMÉNYEINEK KRITIKUS ELEMEI, VÉDELMIK LEHETSÉGES MŰSZAKI MEGOLDÁSAI<sup>3</sup>

*Napjaink legdinamikusabban fejlődő közlekedési ágazata a légi közlekedés. Fejlődése szorosan összefügg olyan távlati bizonytalansági tényezőkkel, mint a nemzetközi politikai és gazdasági helyzet, az egyes országok gazdasági, közlekedési és biztonságpolitikája, valamint a repülés területén bekövetkező technikai fejlődés. Napjaink biztonsági kihívásait, valamint a kritikus infrastruktúrák lehetséges sérüléseit és következményeit vizsgálva, a szakértők megállapították, hogy a terrortámadásokat leggyakrabban a légiközlekedés területén hajtják végre és ezért, a repülőtereket az alágazat kritikus infrastruktúra elemeinek kell tekinteni.<sup>4</sup> A szerzők – a teljesség igénye nélkül – bemutatják a repülőterek létesítményeinek, műtárgyainak egy lehetséges csoportosítását, ismertetik, hogy ezek közül, melyek tekinthetők kritikus elemnek, továbbá áttekintik azokat a műszaki megoldásokat, amelyekkel a kritikus elemek védelme növelhető.*

### **AIRPORTS DEVELOPMENT, CRITICAL COMPONENTS OF THEIR FACILITIES AND POSSIBLE TECHNICAL SOLUTIONS OF DEFENSE**

*Today's fastest growing traffic sector is the aviation transport. The development of aviation transport is closely linked to long-term uncertainties such as international political and economic situation of each country's economic, transportation and security policy, and the technical developments. Examining the consequences of today's security challenges and the potential damage of critical infrastructure the experts concluded that, the most of the terrorist attacks carried out in the field of aviation, therefore the airports should be considered as the sub-sector of critical infrastructure. The authors in this article – without the claim of the completeness – present the establishments and the important objects of airports, determining the possible critical infrastructure of airports and review the technical solutions to protect these critical elements.*

## A REPÜLŐTEREK ALAPRENDELTEZÉSE, LÉTESÍTÉSÉNEK ÉS KIALAKÍTÁSÁNAK SZEMPONTJAI, KÖVETELMÉNYEI

A közlekedés mindennapi életünk meghatározó részévé vált, ma már elképzelhetetlen az élet-színvonal növekedés és a gazdaságfejlődés korszerű közlekedési rendszerek és infrastruktúrák nélkül. A közlekedési rendszerek közlekedési hálózatokból, azok kiszolgáló létesítményeiből, illetve a közlekedésben részt vevők lakóhelyéhez vagy telephelyéhez való eljutást segítő létesítményekből állnak. A közlekedési tudomány a különböző közlekedési fajtákat közlekedési alágazatokba sorolja. Ennek megfelelően megkülönböztetünk közúti közlekedési, légi közleke-

1 Prof. dr. (CSc), egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Művelési Támogató Tansz., szabó.sandor@nke-uni.hu

2 Dr. (PhD), egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Művelési Támogató Tanszék, toth.rudolf@nke-uni.hu

3 Lektorálta: Dr. Kovács Zoltán mk. alezredes (PhD) egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Művelési Támogató Tanszék, kovacs.zoltan@nke-uni.hu

4 A repülőterek a „Létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről szóló 2012. évi CLXVI. Törvény”, 1. számú melléklete szerint, a közlekedési ágazat légiközlekedés alágazatába sorolandó. Forrás: [http://www.complex.hu/kzldat/t1200166.htm/t1200166\\_4.htm#kagy10](http://www.complex.hu/kzldat/t1200166.htm/t1200166_4.htm#kagy10) 2013.03.04.

*dési, vasúti közlekedési és vízi közlekedési alágazatokat.*<sup>5</sup> A közlekedés fejlődésének fontos jellemzője a sebesség és az útvonalak egyre nagyobb sűrűsége. A globalizáció kiteljesedésével megnőtt az igény a forgalom és a közlekedési sebesség növelésére. Ebben kiemelt szerepe van a légiközlekedésnek, amely napjainkban a legdinamikusabban fejlődő közlekedési alágazat.

**A légiközlekedés** repülőterek (légikikötők) között vagy repülőterek és leszállásra alkalmas pályák (területek) között valósul meg, döntően nagytávolságra, valamint személy- és áru (anyag, eszköz stb.) szállításra alkalmas közlekedési forma. A légi közlekedéssel nagytávolságok rövid idő alatt legyőzhetők, de ennek költségei és környezeti kárai a közlekedési ágazaton belül a többi alágazathoz képest magasabbak. Ennek ellenére a légiközlekedési hálózat rohamosan fejlődik, egyre korszerűbb légi járművekkel és modern repülőterek által biztosított kiszolgálási rendszerekkel valósul meg napjaink légiközlekedése. A légirányítás fejlesztését és kiszélesítését, valamint a légifolyosók és légikikötők összekötését úgy hajtják végre, hogy minimalizálják a légi balesetek valószínűségét, továbbá a hatékonyabbá teszik a légi járatok és a repülőterek kihasználtságát.

### **A repülőterek fogalma, alaprendeltetése, stratégiai és gazdasági szerepe**

A repülőterek fogalmára és alaprendeltetésére a szakirodalom eltérő meghatározást ad, attól függően, hogy polgári vagy katonai rendeltetésű repülőterekről van szó.

#### ***A polgári repülőtér fogalma és alaprendeltetése***

Repülőtér (légikikötő) fogalma: szárazföldön, vagy vízben kijelölt terület (beleértve valamilyeni épületet, felszerelést és berendezést is), amely egészben vagy részben légi járművek indulására és érkezésére, valamint felszíni mozgására szolgál.[1]

A polgári repülőterek alaprendeltetése: Biztosítani a különböző típusú, fajtájú és kategóriájú polgári légi járművek fogadásának, indításának, karbantartásának, tárolásának, javításának és ismételt feladatra történő felkészítésének feltételeit. Rendelkezzen a személy- és áruforgalom zavartalan lebonyolításához, a különböző repülési funkciók és feladatok ellátásához szükséges létesítményekkel, a leszálló, jelző és irányítóberendezésekkel, felelős azok működőképességéért, a repülőtér rendjéért, biztonságos üzemeltetéséért, továbbá külső és belső védelméért.[3]

#### ***A katonai repülőtér fogalma és alaprendeltetése***

Repülőtér fogalma: repülőgépek, helikopterek és más légi járművek elhelyezésére, kiszolgálására, fel- és leszállására alkalmas és az ehhez szükséges építményekkel, berendezésekkel ellátott terület.[2]

A katonai repülőterek alaprendeltetése: Biztosítani a különböző típusú, fajtájú és kategóriájú katonai légi járművek fogadásának, indításának, karbantartásának, tárolásának, javításának és ismételt feladatra történő felkészítésének feltételeit. Rendelkeznie kell a különböző repülési feladatok ellátásához a légi járművek földi kiszolgálásához, javításához szükséges anyagokkal, technikai eszközökkel, erőforrásokkal, rakéta-, lőszer- és robbanóanyagokkal, valamint ezek elhelyezési,

---

<sup>5</sup> Napjainkban a közlekedési ágon belül egy új terület a „csővezetékes szállítás” kezd kialakulni. Gyors fejlődése révén a jövőben, a közlekedési rendszereken belül, meghatározó szerepet fog betölteni.

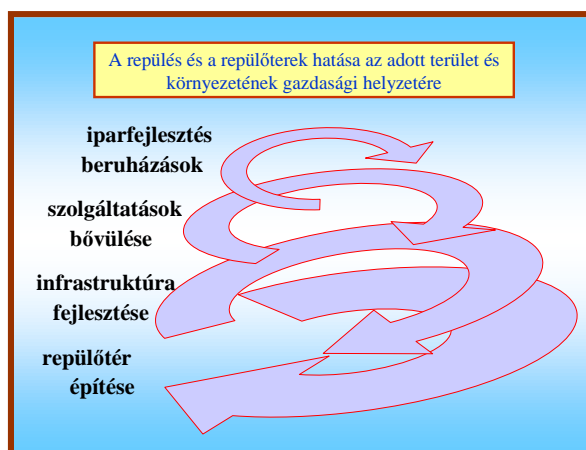
működési és tárolási feltételeivel. Biztosítsa a kiszolgáló és üzemeltető állomány kiképzési, felkészülési, pihenési, valamint élet- és munkakörülményeit. Rendelkezzen a fenti feladatok ellátásához, a biztonságos működéshez szükséges létesítményekkel, leszálló, jelző és irányító berendezésekkel, a repülőtér rendjét, külső és belső védelmét szolgáló technikai rendszerekkel.[3]

### ***A repülés és a repülőterek stratégiai és gazdasági szerepe***

A repülőtereknek fontos stratégiai szerepük van egy ország életében. Kihat a gazdaság fejlődésére, szükség van rá a katonai védelem, a hadiipar területén, de befolyásolja a környezetében lévő területek infrastruktúrájának fejlesztését és az ott lakók foglalkoztatási és szociális helyzetét. A repülés és a repülőterek stratégiai szerepe az alábbiakban foglalható össze:

- nincs modern gazdaság és ipar légitözlekedés – a hozzátartozó hálózatok, légitikötők, infrastruktúrák, szolgáltatások stb. – és korszerű repülőgépgyártás nélkül. A repülés területén alkalmazott csúcstechnológia az ipar fejlődésének katalizátora;
- egy ország gazdasági fejlődését nagyban befolyásolja a területén működő légitözlekedés hatékonysága, nemzetközi szerepe. (pl.: 1 millió utas szállítását közvetlenül 1100 ember, közvetve további 4500 ember végzi. Ezáltal komoly „munkahelyteremtő” szerepe van.) [9];
- a légi úton történő „utas- és áruszállítás” fejlettsége, hatékonysága, pozitívan befolyásolja egy adott ország kereskedelmét, a termelés fejlesztését, ezáltal hozzájárul az adott ország GDP növekedéséhez. Ez fordítva is igaz, mert a GDP 1%-os növekedésével a légitözlekedés 2%-os fejlődése érhető el [9];
- a légitözlekedés a közlekedési rendszer szerves része, dinamikus fejlődésével a közlekedési ág meghatározó területévé vált. Ezt bizonyítja az is, hogy az EU-ban 30 nagy, 60 közepes és 200 regionális repülőtér a régió fejlődését katalizálja;
- a korszerű katonai repülés a hadiipar húzó ága, pozitív hatást gyakorol a polgári repülés fejlesztésére. A katonai repülőterek pedig munkalehetőséget biztosítanak a környező települések lakosainak és növelik a környezet védelmi szintjét, az emberek biztonságérzetét.

A repülés és a repülőterek gazdasági hatását és annak területeit szemlélteti az 1. ábra. [9]



1. ábra A repülés és a repülőterek gazdasági hatása és annak területei<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Az eredeti ábra [9] pontosításra került, és jelenlegi formájában megtalálható: Dr. Tóth Rudolf: „Repülőtér karbantartás” c. tantárgy, (tantárgykód: FTZNEBK 414956) I. tárgykör 1. téma, előadás, 25. dia.

Az ábra jól szemlélteti, hogy egy repülőtér létesítése, (megépítése) a repülőtér környező településeinek életére pozitív gazdasági hatást gyakorol. Az építéssel egy időben megkezdődik az adott terület infrastruktúrájának fejlesztése, valamint az üzemeltetés és fejlesztés során bővül a szolgáltatás területe és egyre nagyobb az igény a környező beszállítások iránt. A terület közlekedési rendszerének fejlődése pedig maga után vonja az ipar fejlesztését, a beruházások számának növekedését.

### **A repülőterek csoportosításának, létesítésének és kialakításának szempontjai, követelményei**

A gyakorlatban a repülőtereket több féle szempontrendszer szerint lehet csoportosítani, attól függően, hogy mi a csoportosítás célja, mit akarunk vele elérni, vagy bizonyítani.

#### *Repülőterek csoportosításának szempontjai*

A repülőterek csoportosításnak egy lehetséges szempontrendszere a következő:

- repülőterek felszíni elhelyezkedés szerinti csoportosítása (pl.: *vízi, szárazföldi*, ezen belül, *sziget, félsziget* stb.);
- repülőterek csoportosítása minőségük és tulajdonjoguk alapján (pl.: *nemzetközi, nemzeti, egyéb minősítésű*, valamint *állami, magán, társasági* stb. tulajdonú.);
- repülőterek működésének időszakai, vagy a működés jellege szerinti csoportosítása (pl.: *állandó, időszakos*, vagy *tartalék*, valamint, *folyamatos, szakaszos* és *szükség szerinti* stb. működésűek.);
- repülőterek rendeltetés szerinti csoportosítása (pl.: *polgári, katonai, sport, ipari* stb.);
- repülőterek csoportosítása nemzetközileg elfogadott osztályozási rendszer szerint (pl.: polgári *repülőtereket műveleti* és a *repülőgépek geometriai jellemzői* alapján, a katonai repülőtereket pedig a *fel- és leszálló pályáinak és guruló útjainak technikai jellemzői*, valamint a *NATO követelmények* alapján);
- repülőterek fel- és leszálló pályáinak, guruló útjainak kialakítása szerinti csoportosítás (pl.: *burkolat nélküli, szilárd burkolatú*, valamint *szükséghelyzeti autópálya* stb. repülőterek). [3]

A 2. és a 3. ábrákon a szükséghelyzeti autópálya és a burkolat nélküli repülőterek láthatók.



2. ábra A-10 repülőgépek gurulnak a németországi A29-es autópályán [4]



3. ábra Légi felvétel a szegedi repülőtérről [5]

### ***Repülőterek létesítésének, kialakításának szempontja, követelményei***

A repülőterek kapcsolatot teremtenek a föld és a légtér között. Ez a kapcsolat számos elemből áll. A polgári repülőterek esetén a nyilvánosság által legismertebb elem a forgalmi bázis. A forgalmi bázis tengelyében a forgalmi épület áll, a közúti oldalán városi kapcsolattal és a parkolóval, a repülőtéri oldalán pedig a repülőgépek álláshelyeivel, kiszolgáló- és megközelítési berendezéseivel. A katonai repülőterek alaprendeltetésükből adódóan más kialakítással és felépítéssel rendelkeznek. Ugyanakkor a polgári és a katonai repülésre egyaránt igaz, hogy a fejlődés, ezen belül a repülőterek létesítése és kialakítása, szorosan összefügg olyan tényezőkkel, amelyeket ha figyelmen kívül hagyunk a megvalósítás során, negatív következményei is lehetnek. Ezek a tényezők (szempontok) az alábbiakban foglalhatók szerint foglalhatók össze.

#### **A repülőterek létesítésének, kialakításának szempontjai**

- a létesítés *politikai támogatásának* szempontjai;
- a létesítés *közlekedés- és foglalkoztatáspolitikai* szempontjai;
- a hazai és a nemzetközi *gazdasági helyzet és környezet* szempontjai;
- a tervezett létesítési helyszín *infrastrukturális helyzete*, szempontjai;
- a tervezett létesítési helyszín *zaj, környezet és természetvédelmi* szempontjai;
- a tervezett létesítési helyszín *földrajzi és meteorológiai* szempontjai;
- az ország *védelmi és katonai stratégiai* szempontjai;
- a légi *járművek változó struktúrájával és technikai fejlettségével* kapcsolatos szempontok.

#### **A repülőterek létesítésének, kialakításának követelményei**

Egy repülőtér tervezését és létesítését komoly felmérő, elemző és értékelő munka előzi meg. Ennek során a szakemberek figyelembe veszik és mérlegelik azokat a gazdasági, szociális, infrastrukturális, környezetvédelmi stb. szempontokat és követelményeket, amelyeket a megépítendő légi bázisnak működése során ki kell elégítenie és a feltételeknek meg kell felelnie. Ezek a követelmények alapvetően négy csoportba – *általános, tervezési, kivitelezési és üzemeltetési* – soroljuk. Ezek közül a repülőterek létesítésnek és kialakításának csak az általános követelményeit foglaljuk össze az alábbiak szerint: [3]

- a repülőterek létesítésének, kialakításának vagy fejlesztésének célja, hogy feleljen meg az ország közlekedési és védelempolitikai elképzelésének, legyen politikai és kormányzati támogatottsága;



- legyen összhangban az ország gazdaságának teherbíró képességével, illeszkedjen a hazai és nemzetközi gazdaságfejlesztési koncepciókhoz;
- a kiválasztott helyszínen rendelkezzen a repülőtér kialakításához és működtetéséhez szükséges infrastruktúrával, legyen könnyen megközelíthető és bekapcsolható a helyi, valamint az országos közlekedési hálózatba;
- a létesítés helyszínét úgy kell megválasztani, hogy az feleljen meg, mind földrajzi, (domborzat, talajszilárdság, természetes vizek jelenléte stb.), mind meteorológiai (uralkodó szélirány, rendkívüli időjárás stb.) szempontból a biztonságos üzemeltetés feltételeinek;
- a repülőterek helyét úgy kell megválasztani, hogy a földrajzi környezet is segítse elő a repülőtér biztonságának és védelmének hatékony megvalósítását, kialakítását [8];
- fontos követelmény, hogy a repülőterek telepítése, üzemeltetése során ne sérüljenek a társadalmi- és környezetvédelmi szempontok, a repülőterek által okozott káros környezetterhelések ne idézzenek elő az élővilágban negatív, visszafordíthatatlan folyamatokat [8];
- a repülőtereket úgy kell kialakítani, hogy azok a légi járművek technikai fejlődését követni tudják, folyamatos fejlesztéssel legyenek képesek azokat kiszolgálni;
- a katonai repülőterek kialakítása és üzemeltetése során a hazai védelmi követelmények és katonai stratégiák mellett figyelembe kell venni a szövetségi elvárásokat és igényeket is;
- a polgári repülőterek forgalmi bázisa akkor helyes elrendezésű, ha telepítése, elrendezése, típusa és technológiai rendje harmonikusan illeszkedik a térség és a repülőtér pályarendszerébe, hogy az utasok számára a földről a légi közlekedésre való átváltás törsmentes legyen.

A 4. és az 5. ábrák egyértelműen bizonyítják, hogy a repülőterek környezetének helyes megválasztása nem csak az emberek lakókörnyezetének nyugalma, hanem a repülésbiztonság szempontjából is fontos.



4. ábra Szent-Martin, Julianna hercegnő nemzetközi repülőtér forgalma[6]



5. ábra Egy repülőgép és egy madár raj találkozása leszállás közben[7]

A fentiekből látható, hogy a repülőterek létesítését és kialakítását sok tényező befolyásolja, melyek közül kiemelkedik a repülőtér alaprendeltetése, mert ez befolyásolja annak felépítését, létesítményeinek és építményeinek fajtáit és elhelyezkedését. A következő fejezetben áttekintjük a repülőterek létesítményeinek fajtáit, alapvető feladatait és csoportosítási szempontjait.

## A repülőterek felépítése, létesítményeinek csoportosítása, a kritikus elemeinek fogalma, fajtái a működőképesség szemszögéből

Az első repülőeszközök valójában nem igényeltek repülőtérrel, elég volt egy viszonylag nagyobb méretű síkterület, amelyről a gépek fel tudtak emelkedni és rövid repülés után le tudtak szállni. A motoros repülés kezdetén a repülőtérrel a fel- és leszállópályák jelentették. Ma már a repülőtérrel önálló infrastruktúrával rendelkeznek, közvetlen úthálózattal kötődnek a környező településekhez és közvetlenül kapcsolódnak az ország energiaellátó rendszereihez. A repülőtérrel folyamatosan követték a repülés és a légi közlekedés fejlődését, biztosítva ezzel az utasok kiszolgálását, a repülés irányításának és földi kiszolgálásának hatékony és biztonságos végrehajtását. Napjaink polgári és katonai repülőterein különböző rendeltetésű építmények, létesítmények, műtárgyak és berendezések találhatók. Minden létesítménynek, műtárgynak meg van a maga feladata, funkciója és a repülőtérrel belül, annak különböző részein, területein található.

### A repülőtérrel felépítése, létesítményeinek csoportosítási szempontrendszere

A gyakorlatban a repülőtérrel fajtáját, típusát az határozza meg, hogy mi a repülőtérrel alaprendelése, a létesítés célja. Természetesen, ez alapvetően befolyásolja, szinte meghatározza, hogy milyen legyen a repülőtérrel kialakítása, milyen létesítményekkel rendelkezzen és azok hol helyezhetők el. Ezt szabványok, szigorú hazai és nemzetközi előírások rögzítik. A fentiekén kívül egy repülőtérrel kialakítása még függ a terület adottságaitól, földrajzi elhelyezkedésétől, valamint a repülőtérrel igénybevevő (használó) légyjárművek méreteitől és technikai színvonalától. A kialakítás egy lehetséges változatát mutatja a 6. ábra.

### A repülőtérrel felépítésének és a létesítmények elhelyezésének egy lehetséges formája

Bankok repülőtérrel elvi kialakítását, felépítését és alapvető létesítményeinek elhelyezkedését mutatja az alábbi ábra.



6. ábra Bankok repülőtérrel elvi kialakítása, felépítése<sup>7</sup> [10]

<sup>7</sup> Szerkesztette: Dr. Szabó Sándor a <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/th/7/7b/Map-SBIA1.jpeg> alapján. 2013. 02. 16.

Az ábrából látható, hogy az utasok beléptetését, kiszolgálását, a repülőtér működését biztosító szolgáltatások, a légi járművek és technikai eszközök javítását ellátó szervezetek elhelyezését szolgáló épületek, valamint a repülőgépek fogadásának és ismételt feladatra történő előkészítésének területei fizikailag és funkcionálisan is jól elkülöníthetők. A repülőtereken belül annak területe különböző működési zónákra (területekre) van felosztva az alábbiak szerint:

Polgári repülőterek esetén az alábbi működési zónákat különböztetjük meg:

- *mozgási terület* (movement area), egy repülőtérnek a légi járművek fel- és leszállására, valamint gurulására használandó része, amely a munkaterületet és a forgalmi előteret foglalja magába;
- *forgalmi előtér* (apron), a szárazföldi repülőtérnek egy olyan kijelölt területe, amely az utasok, posta, vagy teheráru küldemények be- és kirakodására, valamint a légi járművek üzemanyaggal történő feltöltésére, parkolásra vagy karbantartására szolgál;
- *munkaterület* (manoeuvring area), egy repülőtérnek a légi járművek fel és leszállására, valamint gurulására használt része a forgalmi előterek kivételével;
- *műszaki előtér* (technical apron), egy repülőtéren a légi járművek karbantartására kijelölt terület.<sup>8</sup> [11]

Katonai repülőterek olyan önálló bázisok, amelyek rendelkeznek a folyamatos működéshez szükséges objektumokkal és erőforrásokkal. Két fő működési zónából állnak, a „felszálló mezőből” és a „munkaterületből”. A katonai repülőtereknek nem része a repülő szervezet.

- *A felszálló mezőn helyezkednek el* a mesterséges borítású vagy füves fel- és leszállópályák a biztonsági sávokkal, a guruló utak, a repülőgépek állóhelyei, a műszaki kiszolgálóhelyek, a start-harcálláspont, valamint a repüléseket kiszolgáló rádió- és fénytechnikai eszközök;
- *a munkaterületen helyezkednek el* azok az épületek, építmények és berendezések, amelyek a repülések vezetéséhez, a hajózó és kiszolgáló állomány felkészítéséhez és pihentetéséhez, a harci technika karbantartásához, kiszolgálásához és javításához, a tüzelőanyag, a fegyverzet, a pusztító eszközök, a repülő-műszaki és más anyagok tárolásához, valamint a személyi állomány, a repülő és a harci technikai eszközök védelméhez szükségesek. [2][12]

A fentiekből látható, hogy az eltérő rendeltetésű, fajtájú, repülőterek létesítményei, építményei és műtárgyai különböző szempontok szerint csoportosíthatók. A következő alfejezetben a csoportosítás egy lehetséges szempontrendszerét mutatjuk be.

#### ***A repülőtéri létesítmények csoportosításának lehetséges szempontrendszere***

- feladat és funkció szerinti szempontok;
- elhelyezkedésük és telepítésük szerinti szempontok;
- építésük és műszaki kialakításukkal kapcsolatos szempontok;
- veszélyeztetettségükkel és védelmükkel összefüggő szempontok;

---

<sup>8</sup> Ezek a meghatározások megtalálhatók az ICAO ANNEX 14/I, Repülőterek: Repülőterek tervezése és üzemeltetése I. kötet, 2004. július 9. módosítás, 4. kiadásának 1.1 alfejezetében.

- működésükhöz szükséges, energiaellátással kapcsolatos szempontok;
- működési költségek és ráfordítási szempontok;
- más, egyéb szempontok stb.

A gyakorlatban legelterjedtebb a „feladat és funkció” szempontok szerinti csoportosítás, ezért a terület további vizsgálatához mi is ezt fogjuk alkalmazni.

### **A repülőtéri létesítmények „feladat és funkció” szerinti csoportosítása, kritikus elemeinek fogalma, fajtái a működőképesség szemszögéből**

A polgári és a katonai repülőterek kialakítását, létesítményeinek alaprendeltetését, elhelyezkedését, valamint „*feladat és funkció*” szerinti csoportosítási lehetőségét vizsgálva, megállapítható, hogy léteznek olyan létesítmények, amelyek csak a polgári, vagy csak a katonai repülőterekre jellemzőek. De több olyan is van, amelyek ha eltérő formában és módon kerültek kivitelezésre, minden repülőtéren megtalálhatók. Ezek a létesítmények elsősorban a repülési feladatok biztonságos végrehajtását, a repülések kiszolgálását és a repülőterek védelmét szolgálják.

#### ***A repülőtéri létesítmények „feladat és funkció” szerinti csoportosítása***

A csoportosítás során a repülőtéri létesítmények alaprendeltetéséből kell kiindulni, függetlenül attól, hogy a repülőtér melyik működési zónájában található. Ezek figyelembe vételével mindazon létesítmények, épületek és műtárgyak, amelyek a katonai és a polgári repülőtereken egyaránt megtalálhatók az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- *légi járművek fel- és leszállását, a földi mozgását biztosító építmények és műtárgyak (fel- és leszállópályák a biztonsági sávokkal, kényszerleszálló pályák, a guruló utak, vízvezető műtárgyak stb.);*
- *a légi járművek repülési feladatra történő felkészítésének és műszaki kiszolgálásának műtárgyai, berendezései (a repülőgépek állóhelyei, hajtóművező hely, üzemanyag tárolók, repülési kiszolgálási zónák az üzemanyagtöltő kutakkal, oxigén és sűrített levegő töltőállomásokkal, elektromos csatlakozókkal stb.);*
- *a légi járművek védett elhelyezéséhez és üzemképességük biztosításához, a repülések műszaki támogatásához szükséges létesítmények, bázisok, műtárgyak (hangárok, hajtóművező helyek, légi járművek javító bázisai, speciális gépjárművek, technikai eszközök, műszerek javító és hitelesítő műhelyei, laboratóriumok, oxigén és akkumulátortöltő állomások, szerszám és anyagraktárak stb.);*
- *a repülések és a légi járművek földi mozgásának irányítását szolgáló létesítmények, híradó és informatikai rendszerek, berendezések (repülésirányító tornyok, irányító és felvezető technikai eszközök, berendezések, jelek, jelzések, adóházak, átjátszó állomások stb.);*
- *a légi járművek biztonságos fel- és leszállását, gurulását szolgáló létesítmények, híradó, fénytechnikai és leszállító rendszerek, berendezések, (lokátor, rádió és meteorológiai állomások, közeli és távoli adók, a repülőgépek túlfutását megakadályozó berendezések, bevezető, leszállító és guruló utak fényrendszerei stb.);*
- *a repülőterek tűzvédelméhez, működtetéséhez, és a működtetési feltételek biztosításához szükséges közművek, energiaellátó rendszerek, bázisok, létesítmények, építmények (tűzoltóbázisok, technikai eszközök javító bázisai és telephelyei, üzemanyag kutak és tárolók, raktárak, hulladék tárolók, oktatási, sport és pihentetési, elhelyezési és ellátási,*



valamint szolgálati létesítmények, épületek, berendezések stb.);

- *a repülőtér külső és belső biztonságával, védelmével kapcsolatos létesítmények, műtárgyak, rendszerek és berendezések, (kerítés, mozgást akadályozó műtárgyak, beléptetési- és mozgást ellenőrző rendszerek, szolgálati helyek és épületek stb.).*

A fentieken túl, léteznek olyan repülőtéri létesítmények, építmények és műtárgyak, amelyek elsősorban a polgári repülőtereken vagy a katonai repülőtereken találhatók. Az alábbiakban ezeknek egy lehetséges csoportosítása látható.

#### Polgári repülőterek esetén:

- *utasforgalmi és kiszolgálói létesítmények, építmények (terminálok, személy- és csomagellenőrző, valamint szolgálati objektumok, közlekedő, összekötő, továbbá kereskedelmi létesítmények, várótermek stb.);*
- *a légi és földi (közúti, vasúti) áruszállítással kapcsolatos létesítmények, műtárgyak (raktárak, iparvágányok, belső szállítási úthálózat, vám, csomagoló és átrakó állomások stb.).*

#### Katonai repülőterek speciális létesítményei:

- *a kiképzési és harcfelelőkhöz szükséges lőszer, fegyverzet, tisztító eszközök tárolását, védelmét és karbantartását szolgáló létesítmények, épületek, műtárgyak (lőszer- és bombaraktárak, rakétatárolók, fegyverraktárak, védművek, kerítések, őreépületek, mozgást akadályozó műtárgyak stb.);*
- *a katonai és harcfelelők ellátásához, végrehajtásához szükséges irányító objektumok, bázisok (harcálláspontok, készenléti épületek, magassági állomás, lőterek, lődombok és célok, harcjárművek tárolóhelyei stb.);*
- *laktanyai elhelyezésben működő, vezetési és szakmai épületek, minősített kiképző és sportbázisok (parancsnoki, különböző minősített, (zárt) szakmai épületek, tantermek és kiképző blokkok, speciális sport és szakorvosi komplexumok stb.);*
- *a laktanyai elhelyezéshez tartozó létesítmények, épületek és szolgáltató bázisok (vezetői épületek, étkezdék, szállások, kulturális és sport objektumok, orvosi rendelők, technikai telephelyek, javítóműhelyek, anyag- és élelmiszerraktárak, hűtőházak, ügyeleti- és őrszobák, őrhelyek, kerítések, zsilipek stb.).*

A repülőterek kialakításának és környezetének kapcsolatát, valamint a biztonságos leszállást segítő fényrendszerek láthatók az 7. és 8. ábrákon.





7. ábra A Ferihegy II. repülőtér kialakítása és környezete a logisztikai központtal [13]



8. ábra A ferihegyi repülőtér leszálló pályája és fényrendszere[13]

A repülőtéri létesítmények fenti csoportosítása feladat és funkció szerint történt, ezért az egyes csoportok alaprendeltetése és jellemzői eltérőek. Ezek között léteznek olyanok, amelyek meghibásodása (sérülése), alapvetően befolyásolja a repülőtér üzemképességét vagy olyan környezeti hatásai vannak, amelyek súlyosan károsítják a repülőtér környezetének élővilágát és a települések életére is negatív hatással vannak. Nemzetközi repülőterek esetén ez hátrányosan befolyásolhatja az ország nemzetközi megítélését, gazdasági és társadalmi helyzetét is. A következő alfejezetben megvizsgáljuk, hogy hogyan értelmezhetők a repülőterek létesítményeinek kritikus elemei és ezek közül melyek sorolhatók ebbe a kategóriába.

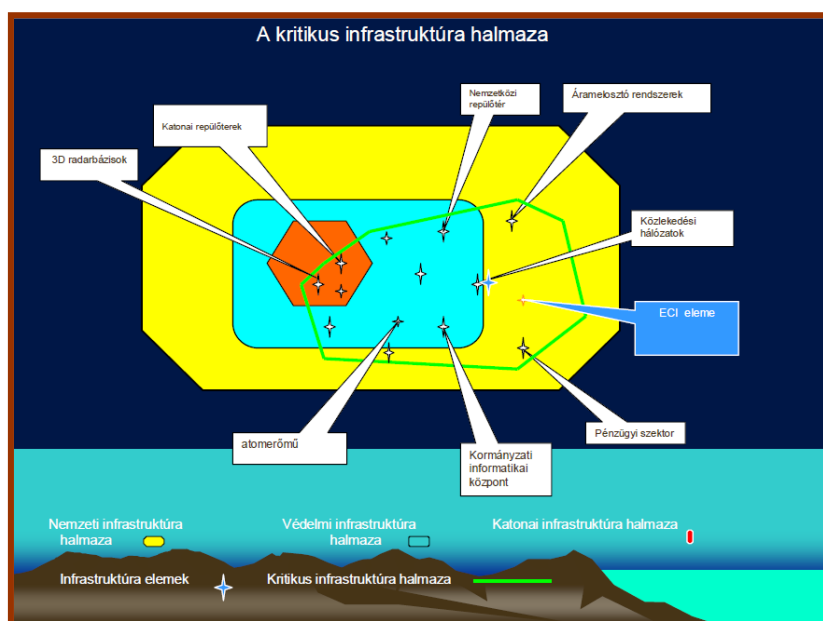
#### *A repülőtéri létesítmények kritikus elemeinek értelmezése, fogalmi meghatározása*

Az elmúlt években a védelmi szakemberek kiemelt figyelmet fordítottak a kritikus infrastruktúrák hazai értelmezése és védelme iránt, de az ezzel összefüggő jogszabályi alapok még hiányosak. Elkészült és megjelent a 2012. évi CLXVI. Törvény a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről (továbbiakban: törvény), de a végrehajtási rendelete még várat magára. [14] A repülőtéri létesítmények kritikus elemeinek vizsgálatánál a fenti törvény fogalmi meghatározásából indulunk ki. A törvény I fejezetének 1§ e), f) és g) pontja szerint:

- ***létfontosságú rendszerelem:*** a törvény 1–3. mellékletben meghatározott ágazatok valamelyikébe tartozó eszköz, létesítmény vagy rendszer olyan rendszereleme, amely elengedhetetlen a létfontosságú társadalmi feladatok ellátásához – így különösen az egészségügyhöz, a lakosság személy- és vagyónbiztonságához, a gazdasági és szociális közszolgáltatások biztosításához – és amelynek kiesése e feladatok folyamatos ellátásának hiánya miatt jelentős következményekkel járna;
- ***nemzeti létfontosságú rendszerelem:*** a törvény alapján kijelölt olyan létfontosságú rendszerelem, amelynek kiesése a létfontosságú társadalmi feladatok folyamatos ellátásának hiánya miatt jelentős hatása lenne Magyarországon;
- ***létfontosságú rendszerelem védelme:*** a létfontosságú rendszerelem funkciójának, folyamatos működésének és sértetlenségének biztosítását célzó, a fenyegetettség, a kockázat, a sebezhetőség enyhítésére vagy semlegesítésére irányuló valamennyi tevékenység.

A törvényi meghatározások alapján a létfontosságú rendszerek és létesítmények halmaza fel-

fogható olyan halmazok rendszereként, amelyben a halmazok elemei sérülnek vagy tönkremennek, különböző szintű negatív hatásokat fejthetnek ki környezetünk és életünk biztonságára. Ezen logika mentén belátható, hogy **hazánk repülőterei**, – amelyek a törvény 1. számú melléklete alapján a közlekedési ág, légiközlekedési alágazatába tartoznak – **a nemzeti létfontosságú rendszer elemei közé sorolhatók**, amennyiben működési zavarainak negatív hatásai nemzeti vagy nemzetközi szinten is jelentkeznek. A jövő feladata lesz, hogy a védelmi szakemberek eldöntsék, melyek azok a repülőterek, amelyeket a nemzeti létfontosságú rendszer-elemek közé kell sorolni és melyek azok, amelyeknek alacsonyabb védelmi szinttel kell rendelkeznie. A rendszerszemléletű megközelítés helyességét bizonyítja Dr Kovács Ferenc a „Repülőterek és légi irányítás a kritikus infrastruktúra részeként” című cikkének 1. számú ábrája, melyben a szerző bemutatja, hogy hol helyezkednek el a katonai repülőterek és milyen kapcsolat van a nemzeti, a védelmi és a katonai kritikus infrastruktúra elemeinek halmaza között. Ezt az összefüggést a 9. ábra szemlélteti.



9. ábra A nemzeti, a védelmi és a katonai infrastruktúra elemeinek halmaza és kapcsolata<sup>9</sup> [15]

A repülőtéri létesítmények kritikus elemeinek értelmezése és fogalmának meghatározása során célszerű ugyan ezt a logikai megközelítést alkalmazni. Ebből kiindulva egy repülőtér olyan létfontosságú rendszerelemnek tekinthető, amelynek megbízható működése függ a repülőtér üzemeltetéséhez és működtetéséhez szükséges rendszerek, létesítmények, építmények, műtárgyak, berendezések stb., működőképességétől, azok sérülése, kiesése, súlyos zavarokat okozhat a repülőtér működésében vagy olyan katasztrófákat idéz elő, amely már kilép a repülőtér keretei közül. Tehát, azokat a létesítményeket, építményeket, rendszereket, berendezéseket stb., amelyek ilyen következményeket idéznek elő, a repülőterek kritikus elemeinek lehet tekinteni. A repülőtéri létesítmények kritikus elemeinek fogalmi meghatározására az alábbi javaslatot tesszük:

***A repülőtéri létesítmények kritikus elemei közé azok a létesítményi elemek, bázisok, építmé-***

<sup>9</sup> A 2012. évi CLXVI. törvény, a „kritikus infrastruktúra rendszerek és elemek” megnevezés helyett „létfontosságú rendszerek és létesítmények” fogalmat használja, így a továbbiakban mi is ezt alkalmazzuk.

*nyek, műtárgyak, rendszerek, berendezések, technikai eszközök stb., sorolhatók, amelyek rendellenes működésük, sérülésük, üzemképtelenségük következtében a repülőterek működésében vagy azok létfontosságú rendszereinek megbízhatóságában olyan zavarok alakulnak ki, amelyek a repülőterek részbeni vagy teljes működő képtelenségét okozzák, vagy légi és környezeti katasztrófák kialakulását idézhetik elő.*

### **A repülőtéri létesítmények kritikus elemeinek fajtái a működőképesség szemszögéből**

A repülőtéri létesítmények védelmét és biztonságos működését a világon mindenhol kiemelten kezelik, ennek ellenére az utóbbi években a terrortámadások miatt, valamint emberi hibákból, mulasztásokból súlyos balesetek és katasztrófák történtek. A repülések biztonságának növelése érdekében elindult egy olyan folyamat, melynek része a repülőtéri létesítmények kritikus elemeinek felmérése, fajtáinak és veszélyeztetettségének megállapítása, védelmük és biztonságos működésük fokozása.

Ha a repülőterek létesítményeinek kritikus elemeit vizsgáljuk, a kritikus elemek által előidézett működési zavarok nagysága és súlyossága szerint megkülönböztetünk:

- elsődleges kritikus létesítményi elemeket;
- másodlagos kritikus létesítményi elemeket.

A repülőterek létesítményeinek elsődleges kritikus elemei közé soroljuk azokat, amelyek teljesen megbénítják a repülőtér működését vagy katasztrófákat idézhetnek elő.

Másodlagos kritikus elemek közé tartoznak azok, amelyek kisebb vagy nagyobb működési zavarokat idéznek elő, de alapvetően nem bénítják meg a repülőterek működését és nem okoznak katasztrófákat.

Tovább vizsgálva a repülőtéri létesítmények kritikus elemeinek fajtáit, megállapítható, hogy azok alapvetően három nagy működési terület köré csoportosíthatók. Ezek a következők:

- A repülési feladatok végrehajtását **közvetlenül biztosító** elemek csoportja:
  - a repülések során a légi járművek légi- és földi mozgásának irányítására szolgáló létesítmények, híradó- és informatikai rendszerek, berendezések;
  - a katonai repülések és harc feladatok ellátásához, végrehajtásához szükséges irányító objektumok, bázisok;
  - légi járművek fel- és leszállását és a földi mozgását biztosító építmények, műtárgyak;
  - a légi járművek biztonságos fel- és leszállását, földi mozgását (gurulását) biztosító (segítő) létesítmények, híradó-, fénytechnikai- és leszállító rendszerek, berendezések;
  - a légi járművek repülési feladatra történő felkészítésének és műszaki kiszolgálásának műtárgyai, berendezései.
- A repülési feladatok végrehajtását **közvetve biztosító** elemek csoportja:
  - a légi járművek védett elhelyezéséhez és üzemképességük biztosításához, a repülések műszaki támogatásához szükséges létesítmények, bázisok, műtárgyak;
  - utasforgalmi és kiszolgálói létesítmények, építmények;
  - a légi- és földi (közúti-, vasúti-) áruszállítással kapcsolatos létesítmények, műtárgyak;

- a katonai repülés kiképzési és harcfeladatokhoz szükséges lőszer, fegyverzet, pusztító eszközök tárolását, védelmét és karbantartását szolgáló létesítmények, épületek, műtárgyak.
- A repülőterek **védelmét, biztonságos működtetését és működőképességének fenn-tartását szolgáló** elemek csoportja:
  - a repülőterek tűzvédelméhez, működtetéséhez és a működtetési feltételek biztosításához szükséges közművek, energiaellátó rendszerek, bázisok, létesítmények, építmények;
  - a repülőtér külső- és belső biztonságával, védelmével kapcsolatos létesítmények, műtárgyak, rendszerek és berendezések;
  - laktanyai elhelyezésben működő vezetési- és szakmai épületek, minősített kiképző és sportbázisok;
  - a laktanyai elhelyezéshez tartozó létesítmények, épületek és szolgáltató bázisok.

A cikk terjedelme nem teszi lehetővé, hogy a különböző csoportokhoz tartozó, valamennyi kritikus repülőtéri létesítményi elem, (objektum, épület, műtárgy, rendszer stb.) veszélyeztettségét, lehetséges sérüléseit, azok negatív hatásait és lehetséges műszaki védelmüket bemutassuk, ezért ezek közül csak a legfontosabbakat emeljük ki.

## NÉHÁNY KRITIKUS REPÜLŐTÉRI LÉTESÍTMÉNY SÉRÜLÉSÉNEK, MŰKÖDÉSI ZAVARAINAK NEGATÍV HATÁSAI, VÉDELMI LEHETSÉGES MŰSZAKI MEGOLDÁSAI

Ahhoz hogy meghatározhassuk a repülőterek létesítményeinek kritikus elemeit, először csoportosítani kell őket a cikk 2. fejeztében bemutatott szempontok alapján, majd ezt követően minden elemet meg kell vizsgálni, hogy sérülésük vagy működési zavaruk milyen hatást gyakorol a repülés biztonságára és a repülőtér működőképességére. Ezt az elemzést és a kritikus repülőtéri létesítmények fajtáinak, típusainak meghatározását minden repülőtérre el kell végezni, mert ezek függenek a repülőterek rendeltetésétől, kialakításától, technikai és a biztonsági rendszereinek fejlettségétől, színvonalától. Ezt követően konkrétan meg lehet határozni azokat a kritikus létesítményi elemeket, amelyek működésének biztonságát vagy védelmi szintjét növelni kell. Az előző alfejezetben bemutattuk a kritikus repülőtéri létesítmények lehetséges fajtáit azok fontossága és alaprendeltetése szempontjából, az alábbi alfejezetben pedig röviden értékeljük ezen létesítmények sérüléseinek lehetséges negatív hatásait.

### **Fontosabb kritikus repülőtéri létesítmények sérüléseinek és működésének negatív hatásai**

A cikk előző alfejezetében leírtak alapján a kritikus repülőtéri létesítmények fajtái, rendeltetésüket és feladatukat tekintve, alapvetően három működési területre csoportosíthatók. Ezek közül, a cikk korlátozott terjedelme miatt, csak egy néhány, fontosabb kritikus elem sérülésének és működési zavarainak következményeit, negatív hatásait mutatjuk be a teljesség igénye nélkül.

## A repülési feladatok végrehajtását **közvetlenül biztosító** kritikus elemek csoportja

### ➤ **Le- és felszálló pályák, guruló utak**

A futópályák rendeltetése, hogy minőségükkel, teherbíró képességükkel és méreteikkel biztosítsák az adott repülőtéren a különböző típusú légi járművek biztonságos fogadását, felszállását, ezen belül az akadálymentes nekifutási utak és a biztonságos fel- és leszálló síkok kialakítását. A futópályák biztonságos működése nagyban függ *a kialakítás helyétől, tájolásától, a repülőtér és környezetének topográfiájától, időjárásától, valamint a repülőtér forgalmának nagyságától, összetételétől, továbbá a repülőtér működésével kapcsolatos környezetvédelmi szempontoktól és megfontolásoktól*. A guruló utaknak kell biztosítani a légi járművek, a kiszolgáló és mentő technikai eszközök zavartalan, gyors és szabályos mozgását, a futópályák, a repülőgépek állóhelyei, a műszaki kiszolgáló és tároló helyei között. A jól kialakított gurulóút-hálózat lehetővé teszi a repülőgépek számára a lehetséges legnagyobb sebességgel és a legkevesebb lassítási vagy gyorsítási ponttal történő folyamatos földi mozgást. A le- és felszálló pályák, valamint a guruló utak sérülése, alapvetően befolyásolja a repülőtér fogadó és működőképességét. A sérülések formájától és nagyságától függően a repülőgépek nem tudnak fel- és leszállni, a guruló utakon nem, vagy csak korlátozottan lehet mozgásokat végrehajtani. A repülőterek működőképességének rövidebb és hosszabb idejű megszűnése gazdasági károkat okozhat, a repülőtéren rekedt utasok miatt ellátási és elhelyezési problémákkal kell számolni, amely gyakran okoz szociális feszültségeket és nemzetközi bonyodalmakat. Katonai repülőterek esetén megnő a repülőterek katonai veszélyeztetettsége, a repülőgépek nem tudják végrehajtani harci feladataikat, amely hátrányosan befolyásolhatja a katonai műveleteket és a harctevékenységet. A repülőterek pályáinak és guruló útjainak sérüléseit előidézhetik természeti és civilizációs katasztrófák, közvetlen katonai vagy terrortámadások, esetleg tervezési és kivitelezési hibák vagy túlzott és nem rendeltetésszerű használat.

### ➤ **A polgári és a katonai repülőterek repülésirányító tornyai és harcálláspontjai**

Rendeltetésük, biztosítani a légiforgalmi irányító egységek elhelyezési, működési feltételeit, valamint feladataik ellátásához szükséges berendezések, irányítási rendszerek, elhelyezését és működőképességét. Innen történik a le- és felszállási engedélyek kiadása, a légi irányítás folyamatos végzése, valamint a légi járműveknek a futópályákon, guruló utakon történő mozgásának koordinálása. Az irányítótoronyok és harcálláspontok sérülése vagy működésképtelenné válása közvetlenül előidézhetnek légi és földi katasztrófákat, valamint az irányítási rendszerek leállításával a repülőtér indító- és fogadóképtelenné válik. A futópályákon és a guruló utakon a légi járművek irányítása megszűnhet, kaotikus helyzet alakulhat ki és ez által, légiközlekedési szempontból a repülőtér működőképessége megszűnik. Ennek gazdasági káraival a repülőtéren rekedt utasok ellátási, elhelyezési problémáival és nemzetközi kihatásaival ebben az esetben is számolni kell.

### ➤ **A fel- és leszállást segítő berendezések, híradó és fénytechnikai rendszerek**

A repülőgépek biztonságos felszállását és landolását segítő rendszerek, berendezések, (rádió és lokátor állomások, adóházak, fénytechnikai rendszerek stb.) feladata a légi járművek biztonságos le- és felszállásához folyamatos adat és információszolgáltatás a leszálló pályákról és a guruló utakról fénytechnikai jelzések adása, a repülőgépek túlfutásának megakadályozása, valamint az automatikus le- és felszállás feltételeinek a biztosítása. Amennyiben az ilyen



feladatokat ellátó berendezések működésképtelenné válnak vagy az általuk sugárzott adatokat ártó szándékkal megváltoztatják a légi járművek le- és felszállása nem lesz biztonságos, légi balesetekkel és katasztrófákkal kell számolni. Súlyos belesetek és katasztrófák alakulhatnak ki akkor is, ha a repülőgépek földi gurulása esetén nem működnek a túlfutást megakadályozó berendezések, valamint a futópályák és a guruló utak fénytechnikai rendszerei. Ilyen esetekben a repülőtereken további repülési feladatokat nem lehet végrehajtani mindaddig, amíg a rendszerek javítását el nem végzik. Tartós meghibásodás esetén számolni kell ennek gazdasági kárával, katasztrófák esetén azok szakmai és társadalmi hatásaival.

➤ ***A légi járművek repülési feladatra történő felkészítésének és műszaki kiszolgálásának műtárgyai, berendezései***

A légi járművek repülési feladatra történő felkészítéséhez szükséges műtárgyak, berendezések, (forgalmi előtér, állóhelyek, üzemanyag-töltő kutak, oxigén és sűrített levegőtöltők, elektromos csatlakozók stb.) feladata, hogy biztosítsák a repülőgépek szabad mozgását és parkolását, a felkészítéshez szükséges anyagok rendelkezésre állását, valamint a feladatok gyors végrehajtását. A kiszolgáló és töltő berendezések sérülései és meghibásodásai közvetlenül nem veszélyeztetik a repülés biztonságát, de az üzemanyag-töltő kutak és a különböző töltőállomások tűz és balesetveszélyessége miatt a repülőgépek súlyosan sérülhetnek. Továbbá a meghibásodások a repülőtéren torlódásokat idézhetnek elő, repülési feladatok maradhatnak el, amelyeknek gazdasági, szakmai és más egyéb jellegű következményei lehetnek.

A repülési feladatok végrehajtását **közvetve biztosító** kritikus elemek csoportja

➤ ***Hangárok, javítóbázisok***

A hangárok, javítóbázisok rendeltetése biztosítani a légi járművek fizikai védelmét, fedett helyen történő elhelyezését, tárolását, valamint a javítási és karbantartási feladatok végrehajtásának feltételrendszerét. Napjainkban a repülőgépek szerkezeti anyagai – az érzékeny elektronikai berendezések kivételével – olyanok, hogy különleges karbantartást nem igényelnek, ezért a gépek a szabad ég alatt is tárolhatók. Ezért a hangárok funkciója átalakult és jelenleg javítóbázisként működnek, repülőeszközök javítását végzik bennük. Sérülésük vagy működésképtelenné válásuk nincs közvetlen hatással a repülés biztonságára, de közvetve befolyásolhatják azt. Amennyiben a hangárok által biztosított javítási feltételek nem kielégítőek, az a javítási minőség romlásához vezethet, amely már okozhat légi meghibásodást, esetleg balesetet vagy katasztrófát. Továbbá, a javítások nem vagy késve történő elvégzése repülési feladatok elmaradását idézheti elő, amelyeknek lehetnek gazdasági és szakmai következményei. Amennyiben a hangárok és javítóbázisok sérülése következtében a repülőgépek is sérülnek, úgy súlyos anyagi károkkal kell számolni.

➤ ***Repülőterek forgalmi bázisai, terminálok***

Ezek olyan épületegyüttesek vagy épületkomplexumok, amelyek feladata, hogy biztosítsák a légi utasforgalom és a légi áruszállítás zavartalan lebonyolítását, az ehhez szükséges feltételek megteremtését, a végrehajtó állomány és a különböző szolgáltató egységek elhelyezését. A létesítmények sérülése vagy működésük felfüggesztése súlyos zavarokat okozhat a repülési és a szállítási feladatok végrehajtásában, melynek következtében gazdasági károkkal és a repülőtéren rekedt utasok ellátási, elhelyezési problémáival is számolni kell. Az épületek nagy kiterjedése és nyitottsága miatt nehéz megvalósítani a minden oldalú őrzés-védelmet, ezért sebezhetőségük egy ártó



szándékú támadás esetén viszonylag magas. A nagy utasforgalom, valamint a terület őrzésének hiányosságai miatt a támadáshoz szükséges robbanóanyagok, eszközök eljuttatása és elhelyezése a kiválasztott célpontoknál viszonylag könnyű, kicsi a lebukás veszélye. Az utasforgalmi épületek nyilvános helységeiben kis erejű robbantással is nagyfokú pánik érhető el, amely súlyos katasztrófához vezethet. Ennek lehetnek társadalmi és nemzetközi kihatásai is.

➤ **Lőszer-, bomba-, rakéta- és üzemanyagraktárak**

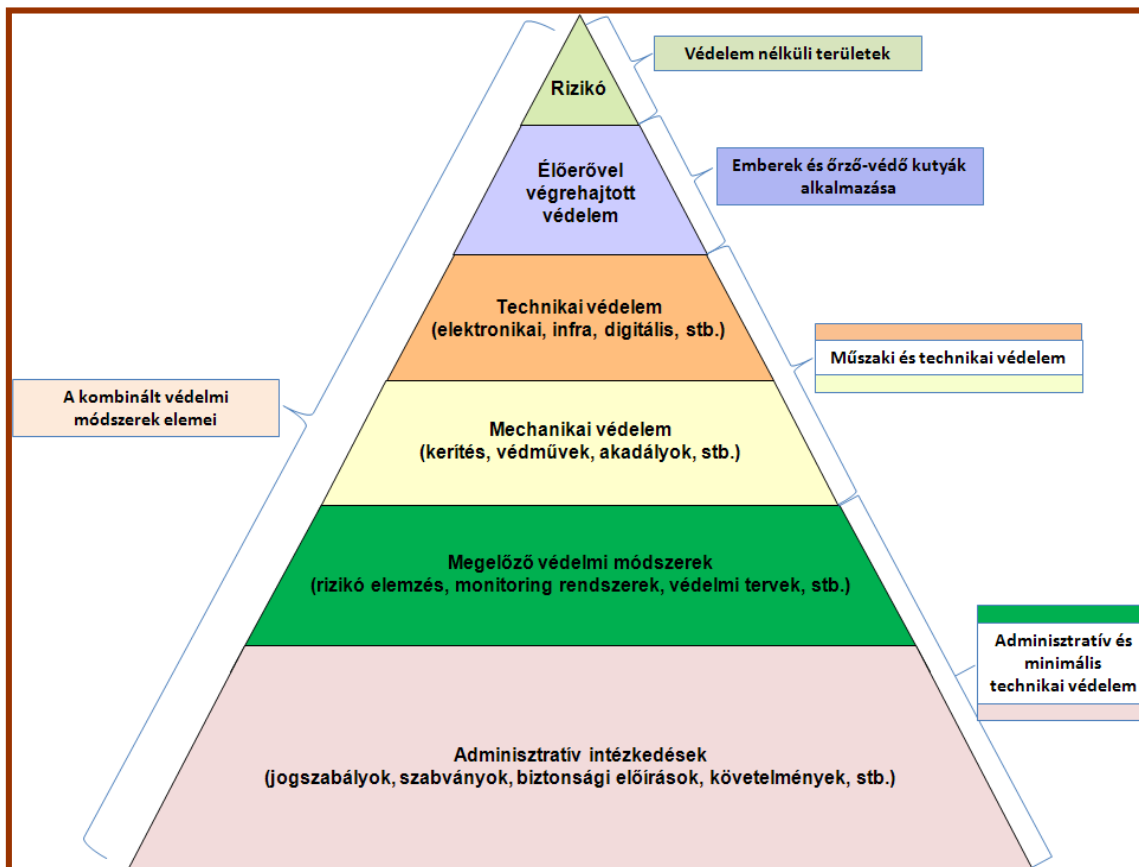
Ezek a raktárak a bennük tárolt anyagok veszélyessége miatt a *különösen veszélyes* repülőtéri létesítmények közé tartoznak. Alaprendeltetésük, hogy a kiképzési és a tényleges repülési feladatokhoz meghatározott időtartam alatt biztosítsák a szükséges mennyiségű, minőségű, lőszer- és robbanóanyagok, valamint hajtó- és kenőanyagok elhelyezését, tárolását és a felhasználás feltételeit. Sérülésük vagy rombolódásuk súlyos anyagi és környezeti károkkal jár. Nemcsak azért, mert anyaghiány esetén repülési feladatok maradhatnak el, hanem azért is, ha nem megfelelő a minőség vagy a raktárbázison bekövetkező tartálysérülések, robbanások miatt légi meghibásodásokkal és súlyos környezeti, valamint természetvédelmi károkkal lehet számolni. A polgári repülőterek általában a lakott területekhez közel helyezkednek el, gyakran előfordul, hogy közvetlenül nagy laksűrűségű környezetben működnek, ezért egy robbanás, vagy lakott területre zuhant repülőgépek hatalmas pusztítást okoznak, növelik a lakosság féltelmét, fokozzák a repülőtér működése elleni tiltakozást.

### **A kritikus repülőtéri létesítmények őrzésének, valamint műszaki és technikai védelmének legfontosabb módszerei, megoldási**

A biztonság mindig valamilyen fenyegetés vagy veszély megjelenése esetén felmerülő igény, amely végső soron személyek, objektumok, értékek stb., védelmét és biztonságos működését jelenti. Magyarországon jelenleg az objektumok és épületek védelme nem tartozik a legfontosabb követelmények közé, a jelenlegi jogszabályi hátterek legtöbb esetben csak építészeti előírásokat fogalmaznak meg. Nincsenek olyan általános előírások, jogszabályi követelmények, amelyek rögzítenék, hogy hogyan kell vagy lehet kialakítani a különböző létesítmények, épületek, rendszerek, berendezések stb., mechanikai, esetleg élőerős védelmét úgy, hogy azok nem csak biztosítják a védendő objektumok külső támadások vagy terrorrobbantások elleni védelmét, hanem annak szerves részét is képezik. A kritikus repülőtéri létesítmények őrzésének és védelmének megvalósítása az alábbi módszerekkel történhet:

- Élőerőre alapozott védelmi módszer (Általánosan elfogadott módszer, de költséges és nem lehet minden területen és esetben alkalmazni.)
- Műszaki és technikai megoldásokra alapozott módszer (Napjainkban kezd elterjedni, gyakran az élőerős módszer kiváltására használják. Beruházási költsége viszonylag magas, de közép és hosszútávon megtérül. Körültekintő tervezéssel és kialakítással alkalmazása hatékony és megbízható.)
- Integrált védelmi módszer (Ez a védelmi módszer kombináltan alkalmazza valamennyi védelmi módszert és megoldást. Alkalmos repülőterek vagy nagy multinacionális vállalatok komplex védelmének kialakítására. A gyakorlatban nem minden esetben alkalmazzák minden szegmensét, ezáltal nem építik ki teljes körűen az adott objektum, létesítmény integrált védelmét.)

Az integrált védelmi módszer elemeit, a védelem nélküli terület rizikóját, valamint ezek egymásra épülését a 10. ábra szemlélteti.



10. ábra Az integrált védelmi rendszer elemei és azok kapcsolata<sup>10</sup>

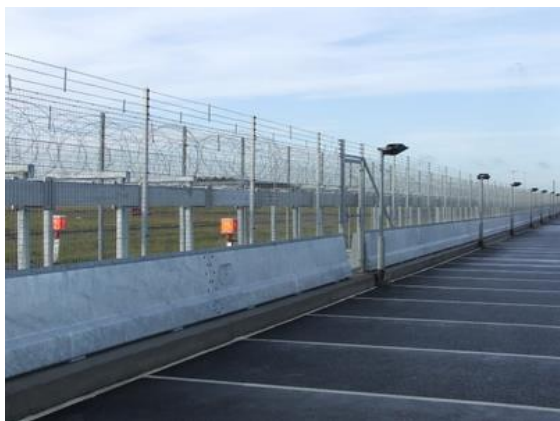
Az utóbbi években a repülőterek a terrortámadások célpontjaivá váltak, ezért védelmük kiemelt fontosságú és megvalósításukban fontos szerepe van az összehangolt, átfogó nemzetközi, valamint hazai jogi szabályozásnak, műszaki előírásoknak és követelményeknek, az élőerős, valamint a műszaki technikai védelemnek. A hatékony védelem gyakran csak ezek kombinációjával érhető el. A repülőterek kiterjedt méretei, valamint létesítményeinek eltérő fontossága és sebezhetősége miatt nem indokolt a repülőtér teljes területén azonos védelmi szintet kialakítani. A veszélyeztetettség felmérés eredményei alapján célszerű meghatározni azokat a területeket, valamint a repülőtér kritikus létesítményeit, amelyek védelmét kiemelten kell kezelni. Biztonságuk megvalósítását vagy védelmi szintjük emelését a legcélszerűbb védelmi módszerekkel vagy azok kombinációjával kell megoldani.

A cikk további részében a teljesség igénye nélkül bemutatjuk a kritikus repülőtéri létesítmények őrzésének, valamint műszaki és technikai védelmének legfontosabb módszereit, megoldásait.

<sup>10</sup> Az ábra szerkesztését és belső tartalmát a szerzők állították össze.

➤ **Repülőterek és létesítményeinek külső fizikai védelme az illetéktelen behatolók ellen**

Az első védelmi szint, amellyel az illetéktelen behatolók találkoznak az a **kerítés**. A célszerűen kialakított és telepített, valamint megfelelő mozgásjelzővel és riasztó rendszerrel kiegészített védőkerítés megfelelő és hatékony védelmi szintet biztosít, lehetővé téve az élőerős őrzés csökkentését vagy teljes kiváltását. A kerítést alkalmazni lehet egy zárt, meghatározott nagyságú terület, egy objektum, esetleg egy létesítmény vagy épület védelmére is. Amennyiben egy gépjárművel elkövetett erőszakos behatolás sikerrel jár a kerítés mögötti terület védelmére a gépjármű mozgását lehetetlenné tevő **mesterséges akadályokat** kell elhelyezni. Ezek az akadályok lehetnek nagyméretű kövek, oszlopok, betonszegélyek, műszaki drótakadályok stb. [16] Ezekre a megoldásokra láthatunk példát a 11. és 12. ábrákon.



11. ábra A repülőtér védelme külső kerítéssel[24]



12. ábra HESCO bástya drótakadállyal[27]

A kerítéssel történő védelem jól alkalmazható a külső adóházak, a le- és felszálló berendezések, az üzemanyag-, a lőszer- és bombaraktárak, a javítóbázisok, a különböző szolgálati épületek, az anyagraktárak esetén, de számításba jöhet gépjármű telephelyek, repülőgépek állóhelyek vagy nyitott guruló utak stb. esetén is. Mesterséges akadályokat a fel- és leszállópályák, guruló utak, valamint kerítések belső oldalának védelmére célszerű alkalmazni.

➤ **A gépjárművek mozgását korlátozó és akadályozó műszaki megoldások**

A gépjárművekkel történő bejutás a repülőterek belső területére vagy annak egy zárt részére, esetleg egy létesítményébe korlátozható, esetleg meg is tiltható. Az erőszakos behatolások, megakadályozására többféle megoldás létezik. Ilyen célt szolgálnak a különböző formában kialakított és működtetett biztonsági úttorlaszok (road-blockerek), személyi- és gépjármű ellenőrző pontok, a forgalomlassítók, sorompók stb. A gépjárművek mozgását akadályozó műszaki, technikai megoldások elhelyezhetők az úttesten, a létesítmények vagy az épületek előtt, esetleg az épületen belül. A road-blockerek elektronikával vezérelhetők, emelhető vagy süllyeszthető akadályok, melyek ellenállnak a nagy erejű ütközéseknek, méreteitől és paramétereitől függően alkalmasak személy- és tehergépjárművek megállítására. Célszerű mozgásérzékelő jelzőrendszerrel kombináltan alkalmazni. Hatékony védelmet biztosít, ezért a gyakorlatban elterjedt. [16] A 13. és 14–15. ábrákon a Road-Blocker illetve az emelhető, süllyeszthető akadályok egy-egy alkalmazási lehetősége látható.





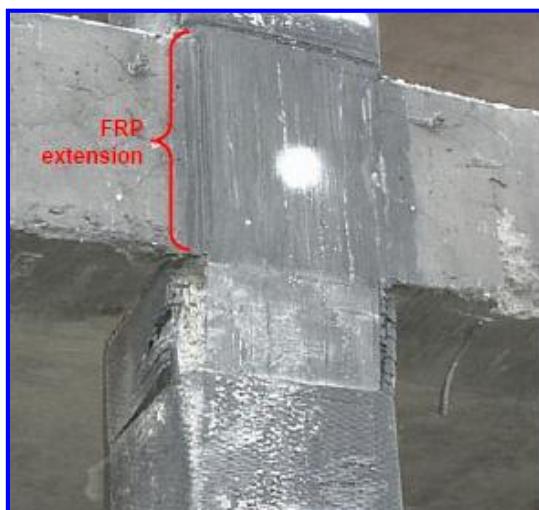
13. ábra Road-Blocker az épület bejáratánál[32]

14–15. ábra Emelhető, süllyeszthető akadályok[25]

Az ilyen típusú műszaki védelmi berendezések jól alkalmazhatók a repülőterek zárt területein, az üzemanyag-, a lőszer- és bombaraktárak, az irányító tornyok, a javítóbázisok, a laboratóriumok, az épületek alatti garázsok, fontos szolgálati helyek, terminálok stb. védelmére.

➤ ***A repülőtér tűz- és robbanásveszélyes épületeinek védelme építési technológiákkal***

Már a repülőterek tervezése és kivitelezése során el kell dönteni, hogy a repülőtéri létesítmények közül melyek azok, amelyeket fokozott védelemmel kell megépíteni és ennek során milyen építési megoldásokat, technológiákat kell alkalmazni. A gyakorlatban több olyan megoldás létezik, amelyek növelik egy épület robbanással szembeni ellenálló képességét. Az egyik ilyen megoldás, ha a hagyományos vasbeton oszlopokat, tartószerkezeteket szénszálas, üvegszálas, vagy Kevlár szálas anyagokkal megerősítik vagy burkolják. Ezen megoldásokkal robbanás esetén egy vasbetonvázas épület összeomlása elkerülhető, kevesebb lehet a halálos áldozatok száma. Másik megoldás a hagyományos falazó anyagok megerősítése egy elasztikus műanyaggal bevont betonfalazó blokkrendszerrel. A hajlékony, képlékeny anyagot a felületre szórással lehet felvinni és az így kialakított bevonat energiaelnyelő tulajdonságokkal rendelkezik.[17] Ezek a megoldások láthatók a 16. és a 17. ábrákon.



16. ábra Szálerősített csíkok alkalmazása[17]



17. ábra Polimer réteg felhordása a falazatra[17]

Ezek az építési technológiák jól alkalmazhatók a repülőterek vasbeton szerkezetes épületeinél, amelyek robbanások hatásainak vagy veszélyeinek vannak kitéve, továbbá olyan raktárépületek, javítóműhelyek esetén, amelyek hagyományosan falazott szerkezettel épültek.



➤ **HESCO bástyák és védelmi célú építmények, földművek**

A HESCO bástyák olyan korszerű műszaki védelmi eszközök, amelyek modul rendszerük miatt jól alkalmazhatók katonai táborok, épületek, technikai eszközök, légi járművek, különböző anyagi javak, a személyi állomány védelmére, valamint tetszőleges falak, fedezékek, repülőgépek védelmét biztosító boksok és más védelmi jellegű építmények létrehozására. Az építőelem keretét hegesztett kötéssel készült, galvanizált – rendkívül erős és teherbíró – acél drótháló képezi, mely szétnyitható és összecsucskozható. A feltöltésére használt aprószemcsés anyagok kifolyását nagy teherbírási (polipropilén) geotextília akadályozza meg. Az építőelemek egymás mellé és egymásra is rakhatóak, összekapcsolásukat szintén galvanizált acélból készült kapcsolóelemek (tüskék) teszik lehetővé. Az építőelemeket méreteik szerint gyárilag készletezik. Az építőelemek telepítése nem igényel különösebb szakképzettséget vagy speciális eszközöket. Az építőelemek feltölthetők kézzel, géppel, a helyszínen található földdel, homokkal, kőzúzalékkal, murvával, téli alkalmazás esetén hóval vagy egyéb anyagokkal. (A töltőanyag milyensége és tömörítettsége meghatározza az építmény védőképességét és állékonyosságát.)



18. ábra Helikopter védelme HESCO elemekkel [21]    19. ábra Repülőeszközök állóhelyeinek kialakítása [34]

A HESCO bástyákon kívül léteznek más, előre gyártott védelmi eszközök, berendezések, amelyek szintén alkalmasak különböző célú védelmi létesítmények kialakítására. Például, vasbeton elemekből, acél, vagy könnyűszerkezetes építőanyagokból olyan mobil védelmi építmények alakíthatók ki, melyek alkalmasak légi járművek, épületek, raktárak, javító bázisok vagy személyek védelmére. Ezek hiányában földművek kialakításával is hatékony védelmet lehet biztosítani a légi járművek, esetleg üzemanyag-, lőszer-, vagy robbanóanyag raktárak számára.



20. ábra Fontos berendezés védelme kerítéssel [20]    21. ábra Földműből épített repülőgép boksok [11]

<sup>11</sup> Forrás: Dr. Tóth Rudolf saját felvétele.

➤ **Kombinált élőerős és műszaki védelmi megoldások**

Kombinált védelmi megoldásokról akkor beszélünk, amikor az „élőerős” őrzés-védelmi feladatok hatékonyságának növelése érdekében vagy a felállított örök, (örkutyák) védelmére, különböző típusú műszaki, technikai védelmi módszereket és megoldásokat is alkalmaznak. Ilyen esetekben az őrzési és védelmi feladatok ellátásához az örök védelméhez szükséges védelmi létesítményeket kell kialakítani valamint ennek megfelelő műszaki és technikai berendezéseket kell telepíteni.



22. ábra Kutyás járőr[30]



23. ábra A kabuli repülőtér bejáratának kombináltvédelme[26]

Ez a védelmi módszer kiválóan alkalmas repülőterek esetén zárt területek őrzésére, fontos létesítmények, épületek, tűz- és robbanásveszélyes anyagraktárak védelmére vagy fontos szolgálati helyekre, irányító központokba illetéktelen személyek bejutásának megakadályozására.

➤ ***Korszerű földi kiszolgáló rendszerek alkalmazása a légi járművek repülésre történő felkészítése során***

A légi járművek veszélyeztetettsége fokozottan fennáll a repülési feladatra történő felkészítésük közben. Egyrészt azért, mert egy külső, ártó szándékú támadás esetén ilyenkor a gépek és a feltöltő rendszerek sebezhetőbbek, másrészt az energiaellátáshoz, az üzemanyag, az oxigén és a levegő feltöltéshez szükséges csatlakozók, töltőberendezések tűz- és balesetveszélyesek. Korszerű berendezések és műszaki megoldások alkalmazásával ezek a veszélyforrások csökkenthetők, így a légi járművek biztonsága nőni fog.



24. ábra A föld alá telepített kiszolgáló rendszerek csatlakozói[23]



25. ábra Üzemanyag feltöltés a föld alól[28]

➤ ***A biztonság fokozása a személyi és poggyász ellenőrzések szigorításával***

Az utóbbi években a repülőterek és a légi járművek ellen végrehajtott terrortámadások miatt, egyre szigorúbb – gyakran már a személyiségi jogokat is sértő – személyi és poggyász ellenőrzések kerültek bevezetésre. Az utasnak kabátját, cipőjét, övét levéve, fémtárgyait és a csomagjában lévő kismennyiségű folyadékot egy tálcára rakva kell áthaladnia a biztonsági szkenneren vagy fejlettebb változatán, a testszkenneren. Sokan még így is átesnek az igen megalázó motozáson. A nagy felháborodást kiváltott újlenyomatos regisztráció és a testszkenner helyett a jövőben egy korszerűbb műszaki megoldás kerül bevetésre. Az új biztonsági berendezés egy hétméter hosszú alagút, amely kombinálja a jelenleg létező összes biztonsági ellenőrző berendezés funkcióit. Az utasoknak egyszerűen csak át kell haladniuk rajta, miközben minden szempontból átvilágítják őket. Az új technológia magában foglalja a testszkenner funkciót, a folyadékérzékelőt, a fémdetektort, a robbanóanyag-érzékelőt és automatikusan ellenőrzi a lábbeliket is. A tervek szerint az új rendszer alkalmazásával három kategóriába sorolják majd az utasokat, akiket íriszfelismerő technológia segítségével azonosítanak, mielőtt áthaladnának a három, egymás mellett elhelyezkedő alagút valamelyikén. Az első csoport az „ismert utazóké” lesz, akiket korábban már azonosítottak, az ő esetükben csak röntgenátvilágítás, fém- és folyadékérzékelést végeznek. A második csoport, a „normális utazók” esetében cipőátvilágítást is végeznek és át kell haladniuk a robbanóanyag-érzékelő detektoron is. A harmadik csoportot azok az utasok alkotják, akiknek a magatartása aggodalomra ad okot, egy olyan alagúton kell átsétálniuk, ahol teljes testszkennert is alkalmaznak majd. [31]





26. ábra Az új biztonsági berendezés alagútjai [31]



27. ábra Az új testszkenner [22]

Ez a műszaki megoldás vagy ennek egyes változatai hatékony védelmet nyújthatnak a terminálok, a különösen fontos és veszélyeztetett szolgálati helyek, a légi irányítási központok stb., biztonságának növelése terén.

## ÖSSZEGZÉS

A repülőtereknek fontos stratégiai szerepük van egy ország életében. Kihat a gazdaság fejlődésére, befolyásolja a környezetében lévő területek infrastruktúrájának fejlesztését és az ott lakók foglalkoztatási és szociális helyzetét. A gyakorlatban a repülőtereket többféle szempont rendszer szerint lehet csoportosítani. A polgári és a katonai repülésre egyaránt igaz, hogy a repülőterek létesítése és kialakítása szorosan összefügg olyan tényezőkkel, amelyeket ha a szakemberek figyelmen kívül hagynak a megvalósítás során, súlyos negatív következményei lehetnek. A repülőterek tervezését és létesítését komoly felmérő, elemző és értékelő munka előzi meg, melynek során mérlegelni kell azokat a gazdasági, szociális, infrastrukturális, környezetvédelmi stb. szempontokat és követelményeket, amelyeket a megépítendő légi bázisnak működése során ki kell elégítenie és a feltételeknek meg kell felelnie. A repülőterek kialakítását, létesítményeinek alaprendeltetését, elhelyezkedését vizsgálva megállapítható, hogy léteznek olyan létesítmények, amelyek minden repülőtéren megtalálhatók. Ezek elsősorban a repülési feladatok biztonságos végrehajtását, a repülések kiszolgálását és a repülőterek védelmét szolgálják. Vannak olyan létesítmények is, amelyek meghibásodása (sérülése), alapvetően befolyásolja a repülőtér üzemképességét vagy olyan környezeti hatásai vannak, amelyek súlyosan károsítják a repülőtér környezetének élővilágát és a környező települések életére is negatív hatással vannak. Azokat a létesítményeket, építményeket, rendszereket, berendezéseket stb., amelyek ilyen következményeket idézhetnek elő, a repülőterek kritikus elemeinek lehet tekinteni.

A repülőtéri létesítmények védelmét és biztonságos működését a világon mindenhol kiemelten kezelik és megvalósításukban fontos szerepe van az összehangolt, átfogó nemzetközi, valamint hazai jogszabályozásnak, műszaki előírásoknak és követelményeknek, az élőerős, valamint a műszaki technikai védelemnek. A hatékony védelem gyakran csak ezek kombinációjával érhető el. A repülőterek kiterjedt méretei, valamint létesítményeinek eltérő fontossága és sebezhetősége miatt nem indokolt a repülőtér teljes területén azonos védelmi szintet kialakítani. A veszélyeztetettségi felmérés eredményei alapján célszerű meghatározni azokat a területeket, valamint a repülőtér kritikus létesítményeit, amelyek védelmét kiemelten kell kezelni. Biztonságuk megvalósítását vagy védelmi szintjük emelését a legcélszerűbb védelmi módszerekkel vagy azok kombinációjával kell megoldani.



## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Repülési lexikon: Akadémiai kiadó, Budapest, 1991, ISBN 963 05 6209 X II. kötet, 274–275 oldal.
- [2] Hadtudományi lexikon: Magyar Hadtudományi Társaság, Budapest, 1995, ISBN 963 04 5226 X, 1191. oldal.
- [3] Dr. TÓTH Rudolf: „Repülőtér karbantartás” c. tantárgy, (tantárgy kód: FTZNEBK 414956) I. tárgykör 1. téma, előadás, 1–60 dia.
- [4] url: [http://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:A-10\\_Thunderbolt\\_II\\_takeoff\\_on\\_Autobahn\\_DoD\\_DF-ST-85-05084.jpg](http://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:A-10_Thunderbolt_II_takeoff_on_Autobahn_DoD_DF-ST-85-05084.jpg) (2013. 02. 08.)
- [5] url: <http://szegedma.hu/hir/szeged/2010/08/a-fidesz-megelőz-ne-a-repülőter-i-baleseteket.html> (2013. 02. 28.)
- [6] <http://www.origo.hu/utazas/20090123-a-vilag-legfelelmetesebb-repülőterei-kifutópályai.html?plIdx=1> (2013.02.18.)
- [7] url: <http://www.media.desicolours.com/2009/june/birdswarm.jpg> (2009. 11. 19.)
- [8] SZABÓ Zsolt: A madárutközés elleni védelem biztonságtechnikai megoldásai a repülőtereken. url: [http://www.szrfk.hu/rtk/folyoirat/2010\\_1/2010\\_1\\_Szabo\\_Zsolt.html](http://www.szrfk.hu/rtk/folyoirat/2010_1/2010_1_Szabo_Zsolt.html), (2013. 01. 18.)
- [9] ROHÁCS Dániel: A légitözlekedés szerepe a gazdaságban, I. előadás, 13–14 dia. url: <http://www.eagt.bme.hu/index.php/educations/letoltesek/category/167-bmekoeaa118-kozlekedesi-palyak.html> (2013.01.15.)
- [10] url: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/th/7/7b/Map-SBIA1.jpeg>, (2013. 02. 16.)
- [11] MUDRA István: Repülőterek és repülőter-i berendezések, Jegyzet, Repülésoktatási és Dokumentációs Központ, Budapest, 2007. url: [http://www.kku.bme.hu/kepzes\\_osztatlan/segedletek/BMEKOKU4095/repuloterek.pdf](http://www.kku.bme.hu/kepzes_osztatlan/segedletek/BMEKOKU4095/repuloterek.pdf), (2013. 03. 02.)
- [12] CSUTORÁS Gábor: Katonai repülőterek és repülési feladatok tűzvédelmének aktuális kérdései, különös tekintettel a tűzoltószervezetek túlélését biztosító (STO) rendszerben való működésre, ZMNE 2003, PhD értekezés, 13–16. oldal. url: [http://portal.zmne.hu/download/konyvtar/digitgy/phd/2003/csutoras\\_gabor.pdf](http://portal.zmne.hu/download/konyvtar/digitgy/phd/2003/csutoras_gabor.pdf)
- [13] <http://www.google.hu/search?q=ferihegyi+rep%C3%BC%91t%C3%A9r&hl=hu&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=9CAzUdDnJorEsgb9wIHQDA&sqi=2&ved=0CEkQsAQ&biw=1280&bih=823> (2013.01.21.)
- [14] 2012. évi CLXVI. Törvény a létfonosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről. url: <http://www.complex.hu/kzldat/t1200166.htm/t1200166.htm> (2013. 03. 03.)
- [15] KOVÁCS Ferenc: Repülőterek és légi irányítás a kritikus infrastruktúra részeként, Repüléstudományi konferencia, Szolnok, 2011. 04. 15. url: <http://www.szrfk.hu/rtk/> (2013. 03. 02.)
- [16] Prof. dr. SZABÓ Sándor CSc – Dr. TÓTH Rudolf PhD: A repülőter-i létesítmények robbantásos cselekmények elleni védelmének növelési lehetőségei, Repüléstudományi konferencia, Szolnok, 2012. 04. 12. pp: 210–212. url: <http://www.szrfk.hu/rtk/> (2013. 03. 04.)
- [17] Balogh Zsuzsanna mk. őrgy.: Repülőter-i épületek védelme terroristarobbantások ellen. Repüléstudományi közlemények 2009/2 külön szám: Repüléstudományi Konferencia 2009. április 24. pp: 5–6. url: <http://www.szrfk.hu/rtk/> (2013. 01. 15.)
- [18] url: <http://repulnijo.hu/2011/06/08/ot-masodperces-biztonsagi-ellenorzes/> (2013. 03. 07.)
- [19] url: [http://hvg.hu/vilag/20110606\\_repteri\\_szkenner\\_biztonsagi\\_ellenorzes](http://hvg.hu/vilag/20110606_repteri_szkenner_biztonsagi_ellenorzes) (2013. 03. 07.)
- [20] url: [http://abetterconstructionco.com/Security\\_Fence.html](http://abetterconstructionco.com/Security_Fence.html) (2013.03.05.)
- [21] url: <http://battlefield.play4free.com/en/forum/showthread.php?pid=1172110> (2013.03.09.)
- [22] url: [http://hvg.hu/vilag/20110606\\_repteri\\_szkenner\\_biztonsagi\\_ellenorzes](http://hvg.hu/vilag/20110606_repteri_szkenner_biztonsagi_ellenorzes) (2013.03.07.)
- [23] url: <http://www.airport-technology.com/contractors/groundequipment/cavotec-uk/cavotec-uk4.html> (2013.03.09.)
- [24] url: <http://www.boylandperimetersecurity.net.au/photos/128487094160242213494.jpg> (2013.03.03.)
- [25] url: <http://www.flickr.com/photos/avonbarrier/page2/> (2013.03.06.)
- [26] url: [http://www.honvedelem.hu/cikk/36624\\_csucsforgalom\\_a\\_repteren](http://www.honvedelem.hu/cikk/36624_csucsforgalom_a_repteren) (2013.02.28.)
- [27] url: [http://www.honvedelem.hu/files/9/35207/afg\\_02.jpg](http://www.honvedelem.hu/files/9/35207/afg_02.jpg) (2013.03.03.)
- [28] url: <http://www.mynewsdesk.com/pressroom/cavotec/image/view/cavotec-fuelling-arm-frankfurt-airport-airports-engineering-88238> (2013.03.09.)
- [29] url: <http://www.rafpa.com/dogs.htm> (2013.03.09.)
- [30] url: <http://repulnijo.hu/2011/06/08/ot-masodperces-biztonsagi-ellenorzes/> (2013.03.07.)
- [31] url: <http://www.road-blocker.hu/> (2012. 02. 13.)
- [32] url: <http://www.szrfk.hu/rtk/> (2012.03.15.)
- [33] url: <http://www.wire-screen.com/concertainer-gabions/> (2013.03.08.)



Daruka Norbert<sup>1</sup>

## KVADROKOPTER, MINT LEHETSÉGES FELDERÍTŐ ESZKÖZ, AVAGY A REPÜLŐ POLIP VISSZATÉRT<sup>2</sup>

*A biztonságtechnika egyik legfontosabb és legérdekesebb kérdése a terroristák elleni védekezés technikai megvalósítása, illetve ezen eszközök különleges bevetéseken történő biztonságos alkalmazásának megteremtése. A technológia fejlődésével új eszközök jönnek létre, vagy egy korábban alkalmazhatatlan megoldás kerül előtérbe. A légi megfigyelés, légi felderítés mindig is jelentős szerepet töltött be egy-egy katonai akció sikeres kivitelezése során. Manapság a terror szervezetekkel vívott harcban új és használható megoldásokra van szükség, hogy elérjük céljainkat. A célok elérése mellett szem előtt kell tartani a katonák biztonságát, az alkalmazott technikai eszköz működőképességét és persze a költséghatékonyságot is. A „repülő polip” egy megoldási lehetőséget biztosít a felderítési hatékonyság növelésére. Az új technológia azonban mindenki számára elérhetővé válik, a kvadrokopter így nemcsak védelmi funkciókat láthat el, de a jövő fegyvere is lehet.*

### ***KVADROKOPTER, THAN POSSIBLE SPOTTER DEVICE, OR THE FLYING OCTOPUS RETURNED***

*One of the most important and most interesting questions of security technology is the technical realisation of defence against terrorists, concerned for the safe application of these devices happening on special deployments of these creations. By the improvement of technology there are new equipments are produced or the latest solutions are coming to the foreground which has been inapplicable before. Air surveillance and reconnaissance has had always important role in the battles again terrorist organisations. We need the latest and most applicable solutions which are needed to reach our goals. But beside it we must face how to protect our soldiers, the ability of the used technical assets and of course to meet budget effectiveness. Flying octopus is an opportunity to solve the enhancement of reconnaissance effectiveness. The new technology is becoming affordable to everyone thus quadcopter can be applicable not just for defence but the usage as a future weapon.*

## BEVEZETÉS

A globális biztonságot veszélyeztető fenyegetések fajtái és a megnyilvánulási formái a XXI. század elején teljesen más képet mutatnak, mint az elmúlt időszakokban. A kétpólusú világrend megszűnésének köszönhetően, szinte minimálisra csökkent az úgynevezett „hagyományos” háborúk kialakulásának valószínűsége. Megerősödött és napjainkban is egyre nagyobb kockázati tényezőt jelentenek az etnikai zavargásokból kialakult helyi háborúk és terrortámadások. A terrorista csoportok folyamatos fejlődése, ezzel párhuzamosan szervezetszerű gyarapodása lehetőséget teremtett a merényletek számának ugrásszerű növekedésére. A nemzetközi méreteket öltött terrorista hálózatok minden eddiginél nagyobb fenyegetést jelentenek a globális stabilitás fenntartására.

Az új kihívások eddig ismeretlen feladatok elé állítják a terrorizmussal szemben fellépő erőket. A sikerek eléréséhez alkalmazniuk kell a legfejlettebb technikai (haditechnikai) eszközök

<sup>1</sup> mk. főhadnagy Magyar Honvédség 1. Honvéd Tűzszerész és Hadihajós Ezred; daruka.norbi@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. okl. mk. ezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közsolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék

---

által nyújtott lehetőségeket, valamint felkészíteni a fellépő erőket az új feladatokra.

A közelmúlt hadműveleteinek tapasztalatai igazolták, hogy az időben és tartalomban valós információk megszerzése kulcsfontosságú szerepet játszik a modern katonai műveletekben, ahol az információs fölény megszerzése nélkül elképzelhetetlen a siker elérése [1].

A valós idejű információszerzés egyik legkorszerűbb eszköze a pilóta nélküli repülőeszközök, melyeket egyre szélesebb körben alkalmaznak a napjainkban folyó katonai műveletek során. A pilóta nélküli repülő eszközök egyik legfontosabb feladatát a felderítési és megfigyelési feladatok képezik. A pilóta nélküli repülő eszközök felderítésre történő alkalmazása 1939-re vezethető vissza, amikor egy kamerával felszerelt repülőgépet teszteltek a Rechlin-i repülőkísérleti bázison. Az Öböl-háborút követően az USA Légi Felderítési Hivatala e téren nagyarányú fejlesztési programokat indított el. Ezek közül a legismertebb a hadműveleti felderítési feladatok ellátása kifejlesztett Predator típusú eszköz, amely a délszláv konfliktus idején képes volt a felderítési zónába való kikerkezés után valósidejű képi információt szolgáltatni. [2][3]

Az elmúlt évtizedekben jelentős változásokon ment keresztül a légtérből történő felderítést megvalósító technikai eszközrendszerek modernizációja, korszerűsödése. Néhány évtizede még elképzelhetetlen volt, hogy a felderítő repülőeszközök pilóta nélkül közlekedjenek, mára már nem meglepő, hogy akár a tenyerünkben is hordozhatjuk a felderítő repülő eszközöket. Természetesen ebben az is közrejátszik, hogy a technológiai és technikai fejlődés egyre nagyobb lehetőségeket nyit meg a pilóta nélküli repülőeszközök fejlesztésének területén.

### **A kvadrokopter kezdetektől napjainkig**

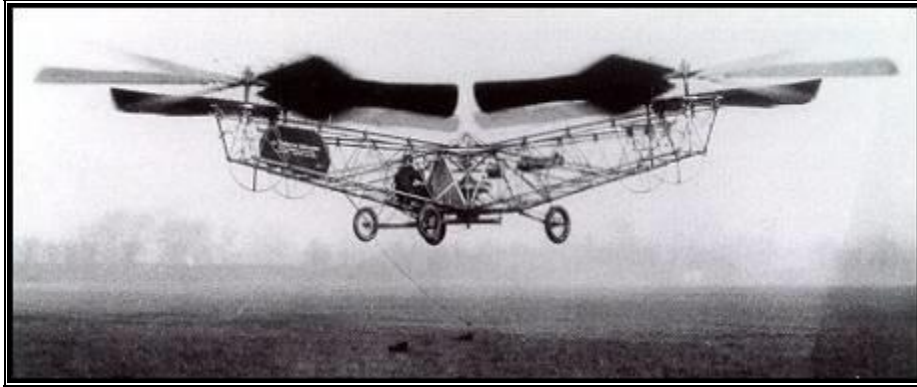
A kvadrotor-helikopter, illetve kvadrokopter olyan repülőgép, amelyet négy rotor emel a levegőbe. A legtöbb mai helikoptertől eltérően a kvadrotorok fix beállítású tollakkal rendelkeznek, tehát ezek nem váltanak irányt, miközben a rotor forog. A légi jármű mozgását az egyes rotorok relatív sebességének és nyomatékának változtatásával lehet irányítani.

#### ***A kvadrokopterek első generációja***

A kvadrokopterek első generációját az US Army Air Corps<sup>3</sup> megrendelésére Dr. George de Bothezat és Ivan Jerome építette az 1920-as évek elején. Ezt tartották akkoriban az első sikeres helikopternek.

---

<sup>3</sup> USAAC - United States Army Air Corps: Az Amerikai Egyesült Államok hadseregének légi szolgálata, melyet 1926. július 2-án neveztek át.



1. ábra Jerome-de Bothezat Flying Octopus 4

Bár masszív, hattollú rotorjai révén képes volt repülni, túl bonyolult volt a kormányzása, ami a pilóta dolgát nagyon megnehezítette és csak előre tudott haladni, azt is akkor, ha kedvező volt a szél. A repülési tesztek során egy 1610 kilogrammos géppel próbálkoztak. Kedvező időjárási körülmények között a gép a pilótával egy, a gép kereteibe kapaszkodó szerelőt is megemelt. A környezeti hatásokat nem sikerült kiküszöbölni és anyagi megfontolásból a hadsereg 1924-ben törölte a programot és a gépet selejtezték.

### ***A kvadrokopterek második generációja***

A kvadrokopterek második generációja a technika fejlődésével kezdett kibontakozni. Az áttörést a pilótákat nélkülözve technikai megoldásokkal történő üzemeltetés jelentette. Ezek tehát már pilóta nélküli járművek, a köznyelv az angol betűszó alapján UAV<sup>5</sup>-nak nevezi az ilyen eszközöket. Maga az UAV, mint kifejezés a nyolcvanas évektől kezdett elterjedni. A megelőző évtizedek technikai fejlesztései nyomán a pilóta nélküli repülőgépek minőségileg új nemzedékét nevezték így. Az ember által rádió berendezés segítségével távolból irányított repülőmodellekhez hasonló eszközök RPV<sup>6</sup> néven kerültek a köztudatba. A mai kvadrokopterek közül azonban csak néhány tartozik ebbe a kategóriába. [4][5]

*A pilóta nélküli repülő eszköz fogalma körül némi zavar tapasztalható mind a hazai, mind a nemzetközi szakirodalomban. Számos betűszó és angol kifejezés vonatkozik ugyanarra a fogalomra, megzavarva egymás jelentését. Ehhez adódik azután a magyar fordításból adódó további fogalmi zűrzavar.*<sup>7</sup>[4]

<sup>4</sup> Forrás: [http://www.aviastar.org/helicopters\\_eng/bothezat.php](http://www.aviastar.org/helicopters_eng/bothezat.php); Letöltés: 2013. február 16.

<sup>5</sup> UAV - Unmanned Aerial Vehicle: Pilóta nélküli repülőeszköz

Ilyen repülőeszközöket a katonai repülésben az 1960-as évek óta alkalmaznak, olyan feladatokra, amelyek túl veszélyesek ahhoz, hogy emberek életét kockáztassák teljesítésük érdekében; túl sokáig tartanak (esetleg több napig), így csak több pilóta lenne képes teljesíteni; olyan kevés eszközt igényelnek, hogy a pilóta és a kezelő-személyzet önmagában többszöröse lenne a hasznos tehernek

<sup>6</sup> RPV - Remotly Piloted Vehicle: Távirányított jármű

<sup>7</sup> A fogalommal és fordítási problémákkal kapcsolatban bővebb információkat lásd: Bunkóczi S. - Dudás Z.

Hogyan tovább: Pilótával vagy nélküle?, Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények;

[http://193.224.76.4/download/konyvtar/digitgy/nek/2003\\_2/05\\_bunkoczi\\_dudas.pdf](http://193.224.76.4/download/konyvtar/digitgy/nek/2003_2/05_bunkoczi_dudas.pdf)



2. ábra: AR.Drone nevű kvadrokopter legújabb, 2.0-s változata<sup>8</sup>

Mivel a kvadrokopterek második generációjába tartozó és a mai kornak megfelelő modern technikai fejlesztésekkel rendelkező elektronikus vezérlőrendszer és szenzorok stabilizálják a szerkezetet a legmegfelelőbb rövidítés az VTUAV.<sup>9</sup> Kicsi méretük és gyors irányváltóztatási képességük lehetővé teszi, hogy épületen belül és kívül is használhassák őket.

Mivel néhány fejlettebb eszközre már fotó-, illetve videokamerát is szereltek, alkalmassá váltak felderítési feladatok ellátására is. A pontos és használható felvételek érdekében az eszközön elhelyezett kamerák stabilitását giroszkópok biztosítják. Pazarlásnak tűnhet négy propellert szerelni egy repülő eszközre, hiszen lebegni már akár egy forgószárnyal is lehet. Azért jobb mégis négy légszárny, mert így nagyon könnyű egyensúlyban tartani és irányítani a szerkezetet. Ha előre kell menni, akkor a hátsó két propeller pörög gyorsabban, ha hátra, akkor az első kettő és a kanyarodás is hasonlóan egyszerű manőverekkel oldható meg. A hasonló méretű helikopterekkel szemben a kvadrokoptereknek több előnyük is van. A kvadrotorok nem igényelnek mechanikai kötéseket ahhoz, hogy a rotorlapátok állásszögét forgás közben változtassák; tehát egyszerűbb a tervezés és a karbantartás is. Nagy előnyt jelent, hogy a négy rotor átmérője egyenként jóval kisebb lehet, mint egy hasonló helikopterrotor, ezáltal kevesebb kinetikai energiára van szükség repülés közben. Az esetleges károk tekintetében is nagyobb előnye van az egyrotoros gépekkel szemben, mert ha valamelyik rotor netán bármibe beleütne, a kár is sokkal kisebb. A kisméretű pilóta nélküli repülőeszközök így bármihez közel repülve biztonságosabbak.

A biztonság és hatékonyság figyelembe vételével egyes kvadrokopterek rotorjait keretbe foglalják, ezáltal szűk, veszélyes környezetben kisebb a kockázata, hogy a jármű megrongálja magát vagy más. Mivel az alap gépek konstrukciója viszonylag egyszerű és manőverező képességük kifogástalan egyre elterjedtebb eszköz az amatőr modellezők körében.

<sup>8</sup> Forrás: [http://mobilarena.hu/hir/apple\\_blog\\_erkezik\\_az\\_uj\\_ar\\_drone.html](http://mobilarena.hu/hir/apple_blog_erkezik_az_uj_ar_drone.html); Letöltés: 2013. február 16.

<sup>9</sup> VTUAV - Vertical Takeoff and Landing Unmanned Aerial Vehicle: Függetlenül fel- és leszálló pilóta nélküli repülő eszköz



3. ábra: Keretbe foglalt rotor rendszerű kvadrokopter<sup>10</sup>

A kvadrokopter előnye még az elektromos meghajtás, amivel veszélytelenebb üzemmódot lehet elérni és a zavaró füst kibocsátás így teljes mértékben kiküszöbölhető.

### A kvadrokopterek fejlesztésének és alkalmazhatóságának főbb irányai

Több olyan eszközt lehet találni a polgári és katonai felszerelések között, mely különböző felderítési, információszerezési feladatra alkalmas lehet az eszköz által nyújtott lehetőségekhez mérten. A legtöbb eszköz kezelése, vagyis a kezelés bonyolultsága és sokrétűsége attól függ, hogy mennyire bonyolult maga a szerkezet, mennyire finom és apró mozdulatokra, mozgásmódokra képes. Ebben az esetben nem mondhatjuk azt, hogy arányos összefüggés van a szerkezet bonyolultsága és irányíthatósága, kezelhetősége között. Egy kísérletező kedvű autóiipari cég ezt a bonyolult kezelhetőségi problémát is megoldotta. Egy négyrotoros, orrában webkamerát is hordozó eszköz irányításához nem kell külön távvezérlő, mint a makettekhez. Az irányítóprogramot iPad-re vagy iPhone-ra lehet letölteni, a telefon vagy tablet bedöntésével vezérelhető a kvadrokopter, miközben a kijelzőn látjuk az orrkamera által közvetített képet. A két egység között a kapcsolatot wifi-kapcsolat<sup>11</sup> biztosítja. A vezérlő szoftver elsősorban arra figyel, hogy a gép stabilan álljon a levegőben, és ha bármilyen mechanikai illetve környezeti hatás következtében az egyensúly felborul, akkor villámgyorsan egyenesbe hozza magát. Mivel a vezeték nélküli mikrohullámú kommunikációt privát hálózaton belül is működtethetjük. A privát hálózat olyan kialakítás, melyben a hálózat saját felhasználásra van kialakítva, melyet egy titkos jelszó véd, így ahhoz csak a jelszó ismeretében lehet csatlakozni. Az eszközünk ebben az esetben alkalmas lehet egy adott területen olyan felderítési feladatok ellátására, melynek nélkülözhetetlen velejárója a hálózati kommunikáció korlátozása. Ilyen feladat lehet az RCIED<sup>12</sup> és a COIED<sup>13</sup> felderítése. [6]

A kvadrokopterek alkalmazásánál fontos, hogy ne hogy rárepüljön valamilyen mozgás szabad-

<sup>10</sup> Forrás: <http://www.origo.hu/techbazis/hightech/20120208-életmenteshez-es-haboruhoz-is-kivaloak-az-uj-quadrokopterek.html>; Letöltés: 2013 február 16.

<sup>11</sup>Wifi: az Institute of Electrical and Electronics Engineers által kifejlesztett vezeték nélküli mikrohullámú kommunikációt megvalósító, széleskörűen elterjedt szabvány (IEEE 802.11) népszerű neve. Kialakítása a következő módokon lehetséges: publikus, nyílt hálózat; privát hálózat; publikus, zárt hálózat; publikus, részlegesen zárt hálózat; kereskedelmi szolgáltatás.

<sup>12</sup> RCIED – Remote Control Improvised Explosive Devices - Távírányítású házi készítésű robbanó szerkezet

<sup>13</sup> COIED – Command Operated Improvised Explosive Devices - Távvezérelővel rendelkező robbanó szerkezet





ságát akadályozó tárgyra. Egyes típusok kialakításánál ezért alkalmaznak az eszköz alján elhelyezett ultrahangos egységet és has kamerát, mely rendszer az autó tolatóradarjához hasonlítható. Mivel az eszközök szoftverei fejleszthetők egyes típusaik nem csak látványos manőverekre, hanem előre programozott útvonalak bejárására is alkalmazhatók nem jelenthet problémát a felderítési feladatok során, ha az eszköz elveszíti a kapcsolatot a kezelőjével.

A gép segítséget jelenthet olyan területeken, ahol az épületek vagy egyéb természeti akadályok miatt nem létesíthető kapcsolat az alegységek és parancsnokságuk között. Egy parancs és a kvadrokopter felemelkedik az épületek, hegycsúcsok fölé, de akár kirepülhet egy barlangrendszerből és az első helyen, ahol érzékeli a kapcsolatot elküldi az üzenetet a kívánt helyre. Az ilyen képességek alkalmassá tehetik katasztrófa helyszíneken történő alkalmazásra is. [7][8]

A technika fejlődésével és emberi leleményességgel az eszköz több dologra is programozható. A mintafelismerő képesség miatt az eszközt arra is meg lehet tanítani, hogy tárgyakat találjon meg. Az egyik fejlesztő a macskája nyakörvére ragasztotta a jelzésként szolgáló címkét, a kvadrokoptert pedig arra utasította, hogy biztonságos magasságból kövesse az állatot. Az ilyen képességek figyelembe vehetőek szintén katonai feladat ellátásánál, de a katasztrófavédelmi feladatok ellátásánál is segítséget jelenthet. [9]

Feladattípustól függően több repülő eszközt is alkalmazhatunk, mivel az eszközök nem csak a környezetükre, de egymásra is képesek figyelni. Több repülőeszköz összehangolását infravörös jeladókkal és infravörös kamerákkal oldották meg. A robotok folyamatosan sugározzák a saját helyzetüket a raj többi tagjának, így még időben korrigálni tudják a haladási irányukat, ha netalán ütközőpályára kerülnének.

### **A kvadrokopterek katonai és rendvédelmi alkalmazása**

Közvetlen felderítő támogatásra több nemzet katonái is alkalmaztak és alkalmaznak négy rotoros távirányítású repülőeszközöket. Különböző terepviszonyok és környezeti hatások között az eszközök más-más hibát tárnak az alkalmazók elé. Az IdZ<sup>14</sup> alegységek Afganisztánban alkalmaztak egy kisméretű közel 1 méter átmérőjű nappali és infra kamerával ellátott, közel-felderítésre alkalmas pilóta nélküli kvadrokoptert, amely a felderítési adatokat valós időben képes biztosítani a katonáknak.

---

<sup>14</sup> IdZ - Infanterist der Zukunft a német haderő fejlesztési projektje. A német haderő a megváltozott kihívások és harci feladatok sikeressége miatt indította a programot. Célul tűzték ki a német katona ellátását olyan korszerű eszközökkel, amelyek nagyfokú védelmet és az eddigieknél sokoldalúbb feladat végrehajtó képességgel ruházza fel a külföldön feladatot teljesítő katonákat. Lásd bővebben: Gácsér Zoltán - A katona harci képességét növelő korszerű, hálózatba integrált egyéni felszerelésrendszerének kialakítási lehetőségei a Magyar Honvédségben, PhD értekezés 2008., pp.:36.



4. ábra: Az IdZ alegység felderítő kvadrokoptere<sup>15</sup>

Vannak olyan fegyveres szervezetek, melyek nem építenek saját eszközt, hanem egy már meglévő és jó konstrukciójú megoldást választanak és ezt saját igényeik szerint gyártatják a kivitelező céggel. Ilyen szervezet például a CAPS<sup>16</sup>. A kínai rendőrség különleges bevetési csoportja Németországból vásárolt saját igényei kielégítő kvadrokoptereket. A Microdrones GmbH. által készített és forgalmazott Mi MD4–200 valamint Mi MD4–1000 pilóta nélküli repülőeszközt ugyan ipari alkalmazásokra tervezték, de több igény is felmerült anti-terrorista feladatoknál történő alkalmazására. A kínai rendőrség ezekből az eszközökből vásárolt és alkalmazzák feladataik ellátására. [10]

Angliában a liverpooli rendőrség is használja a Microdrone MD4–200 kvadrokoptert, mint bizonyítékgyűjtési eszközt és a West Midlands-i tűzoltóság is vásárolt ugyanebből a típusból a válsághelyzetek támogatására. Mindkét szervezet kihasználja a kvadrokopter zártláncú televíziós képességeit. A West Midlands-i tűzoltóság helyettes vezetője szerint: *"Ez egy fantasztikus új technológia, amely biztosítja a valódi előnyt számos vészhelyzet kezelése során. Képes bemutatni az esemény helyszínét, így teljes képet látunk az katasztrófák környezetéről, ezáltal segít a parancsnokoknak az életmentő döntések meghozatalában."*<sup>17</sup>



5. ábra Mi MD4–1000 UAV platform<sup>18</sup>

<sup>15</sup> Forrás: <http://www.rp-online.de/politik/der-soldat-der-zukunft-1.2229211>; Letöltés: 2013. február 17.

<sup>16</sup> CAPF – Chinese Armed Police Forces Kínai rendfenntartó rendőrség

<sup>17</sup> A szerző fordítása a - <http://illum.in.usc.edu/162/the-quadrotors-coming-of-age/> - cikk alapján.

<sup>18</sup> Forrás: <http://www.microdrones.com/products/md4-1000-key-information.php>; Letöltés 2013. február 17.

Sok megoldás lehetséges a négyrotoros gépek felhasználását illetően, de a fejlesztők és legfőképpen a védelmi szektor attól tart, hogy ez az eszköz nem csak elősegítheti a saját csapataink munkáját, hanem rossz kezekben akadályozhatja is. Gondoljunk csak bele egy ilyen néhány tízezer forintért beszerezhető szerkezet a megfelelő kezekben milyen pusztítást tud végezni. Ma már léteznek olyan méretű kvadrokopterek, melyek akár 10–15 kilogramm terhet is képesek magukkal vinni. Mi történne, ha ez a szerkezet egy IED<sup>19</sup>?

Az internet térnyerésével az információáramlás, az új megoldások egyre gyorsabban jutnak el az illetéktelen kezekbe, akik sajnos pontosan tudják, hogyan használják azokat.



6. ábra: Látszólag felfegyverzett kvadrokopter<sup>20</sup>

## ÖSSZEGRZÉS

A kvadrokopterek a XX. század elején még olyan problémákat tártak a tervezők elé, melyeket nem tudtak megoldani. Néhány évtizeddel később azonban a technológia fejlődésével létrejöttek azok a tervezői megoldások, melyek hozzásegítették a négyrotoros gépeket az újjászületéshez. Eltörpültek a méretekből adódó problémák, megoldásra leltek a környezeti hatások kiküszöbölésének lehetőségei. A napjainkban használt kvadrokopterek már a modern technológia elemeivel vannak felvértezve. Nagyfelbontású fényképezőgépek, kamerák, érzékelők letapogatók, működtető szoftverek segítik a felhasználók munkáit. A repülőeszköz sok területen könnyíti meg a napi munkálatokat. Használják fényképészek, média ügynökségek, régészek, meteorológusok, katasztrófavédelem, rendőrség és biztonsági cégek és természetesen a katonák is.

Számunkra a legfontosabb feladat, melyet betölthet az anti-terrorista műveletekben való részvétel. Ezen belül fontos feladat a robbanóanyagok felderítése, épületek külső és belső átvizsgálása valamint nagyfelbontású képekkel és videó felvétellel valós idejű információkat biztosítani az alkalmazók számára.

Fontos megemlíteni, hogy védelmi feladatok mellett az eszköz rossz kezekben jelentős és hasznos fegyverként funkcionálhat, ezért az eszközök képességeit és fejlesztési információit

<sup>19</sup> Improvised Explosive Device - nem hagyományos eljárással előállított „házi készítésű” robbanó szerkezet; Lásd bővebben: Kovács Zoltán: Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai; Műszaki Katonai Közlöny Online XXII:(2) pp. 37-52. (2012)

<sup>20</sup> Forrás: <http://www.popularmechanics.com/technology/military/planes-uavs/armed-quadrotors-are-coming-10720086>; Letöltés: 2013. február 17.



fontos lenne megbízható kezekben tartani. A legszörnyűbb, hogy ebbe kevesen gondolnak bele. Néhány pillanat alatt elérhető volt a szerző számára olyan szerelési útmutató, mely megkönnyítheti az eszköz működőképes kialakítását és leírja az esetleges szerelési problémákat („4,2 kg.-nál nagyobb cuccot nem bír el, csak ha növeljük a rotor átmérőt”).

A kvadrokopter tehát egy olyan technikai eszköz, mely megfelelő kialakítás mellett alkalmazható saját csapataink támogatására. Segítheti az improvizált robbanóeszközök elleni tevékenységet, de nem szabad elfelejteni, hogy rossz kezekben egy nagy hatékonysággal alkalmazható fegyverré válhat.

#### ***TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások***

***„A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”***

***„The project was realised through the assistance of the European Union, with the cofinancing of the European Social Fund.”***

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] GÁCSER Zoltán: Napjaink katonai műveleteiben alkalmazott pilóta nélküli repülőeszközök, Fél évszázad forgószárnyakon a magyar katonai repülésben, Konferencia kiadvány (CD), ZMNE, Szolnok 2005.  
[www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2005\\_cikkek/gacser\\_zoltan.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2005_cikkek/gacser_zoltan.pdf) (2013.02.16.)
- [2] MARTON Csaba: Légi felderítés robotokkal; <http://www.zmne.hu/tanszekek/ehc/konferencia/april2001.html> (2013.02.16.)
- [3] MARTON Csaba: A pilóta nélküli repülő eszközök alkalmazása elektronikai felderítési feladatokra; Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2000. XII.évf. 29.sz.
- [4] BUNKÓCZI S. - DUDÁS Z. Hogyan tovább: Pilótával vagy nélküle?, Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények; [http://193.224.76.4/download/konyvtar/digitgy/nek/2003\\_2/05\\_bunkoczi\\_dudas.pdf](http://193.224.76.4/download/konyvtar/digitgy/nek/2003_2/05_bunkoczi_dudas.pdf)
- [5] PROKOB Tibor: A pilóta nélküli repülőeszközök felderítő képesség-javítás lehetőségei a Magyar Légierőnél; [193.224.76.4/download/konyvtar/digitgy/nek/2003\\_3/08\\_prokob.pdf](http://193.224.76.4/download/konyvtar/digitgy/nek/2003_3/08_prokob.pdf)
- [6] <http://www.origo.hu/techbazis/20120625-a-dublini-galeria-dronjai-vezetek-nelkuli-internetallomaskent-is-funkcionalnak.html> (2013.02.17.)
- [7] S. Bouabdallah et al. "Design and Control of an Indoor Micro Quadrotor," in Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004, pp. 4393-4398.
- [8] A. DiCesare et al. "Design Optimization of a Quad-Rotor Capable of Autonomous Flight." Rep. Worcester Polytechnic Institute.
- [9] I. Thomson. "Police Camera Drone Takes to the Skies." CRN. Internet: <http://www.channelweb.co.uk/vnunet/news/2190448/police-camera-drone-takes-skies>, May 22, 2007 (2013.02.17.)
- [10] GÁCSER Zoltán - A katona harci képességét növelő korszerű, hálózatba integrált egyéni felszerelésrendszerének kialakítási lehetőségei a Magyar Honvédségben, PhD értekezés 2008.
- [11] D. Mellinger. "Quadrotor." Internet: <http://fling.seas.upenn.edu/~dmel/wiki/index.php?n=Main.Quadrotor>, June 11, 2010 (2013.02.16.)

Lukács László<sup>1</sup>

## BOMBAFENYEGETÉS – ROBBANTÓSZEREK A HONI KATONAI ROBBANTÁSTECHNIKÁBAN<sup>2</sup>

*Robbanóanyagok iniciálása: a gyújtási lánc. A robbantószerkezetek – időzített gyújtószinórok és robbanószinórok, továbbá az elektromos és nem elektromos gyutacsok – történeti fejlődése. Az egyes robbantószerkezetek alkalmazása a honi katonai robbantástechnikában.*

### **BOMB ATTACKS – HISTORY OF DEMOLITION ACCESSORIES**

*Priming of explosive: the explosive train. Historical development of demolition accessories (e.g.: time delay blasting fuses, detonating cords, blasting caps, NONEL system). Application of the demolition accessories in the military and in the civilian practice.*

A robbantásos cselekmények kapcsán a híradásokban különböző fajta robbanóanyagokból készített, különböző nagyságú töltetek felhasználásáról olvashatunk. Kevésbé tudatosul az a tény, hogy a cselekmény szempontjából legalább akkora, ha nem nagyobb jelentősége van a robbanást kiváltó, ún. iniciáló rendszernek, melynek legfontosabb eleme a gyutacs. A 2012-es Repüléstudományi Konferencián tartott előadásomban<sup>3</sup> bemutattam a robbanóanyagokat és történelmi fejlődésüket. Egy ugyanezen a konferencián elhangzott másik előadás, átfogó betekintést nyújtott az öngyilkos merénylők által alkalmazott robbanószerkezetekről<sup>4</sup>. Az IED<sup>5</sup>-k főbb jellemzőiről olvashatunk tanulmányokat pl. a Műszaki Katonai Közlöny egyes számaiban is<sup>6</sup>. Most a robbanóanyagok iniciálásához (indításához) szükséges robbantóanyagokkal, fajtáikkal, jellemzőikkel, történeti fejlődésükkel foglalkozunk. Ez utóbbival kapcsolatban, a honi katonai robbantástechnikában végbement fejlődés mutatjuk be részletesen, ennél bővebb kifejtésre egy cikk terjedelme nem elégséges.

A dolgozatban a magyarországi ipari robbantástechnikában elfogadott terminológiát alapul véve **robbantóanyag fogalma** alatt a **robbanóanyagokat** és a robbantószerkezeteket összefoglalóan értjük. Ezen belül **robbantószer** a töltet közvetlen iniciálására szolgáló anyag, vagy szerkezet<sup>7</sup>. Teszem ezt azért, mert mint azt látni fogjuk, a katonai szakterminológiában az egyes korok szerint jelentős

1 prof. dr; egyetemi tanár, NKE, HHK, lukacs.laszlo@uni-nke.hu

2 Lektorálta dr. Kovács Zoltán okl. mk. alezredes, egyetemi docens, NKE, HHK, kovacs.zoltan@uni-nke.hu

3 Lukács László: Bombafenyegetés – A robbanóanyagok története - Repüléstudományi Közlemények Konferencia Különszám, 2012. 2. szám, pp. 409-430.

4 Daruka Norbert: Terroristák és taktikák, avagy védekezz ha tudsz - Repüléstudományi Közlemények Konferencia Különszám, 2012. 2. szám, pp. 33-41.

5 Improvised Explosive Device – improvizált (házi készítésű) robbanószerkezet

6 Dr. Kovács Zoltán: Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai – Műszaki Katonai Közlöny XXII. évf. 2. szám, 2012. pp. 37-52.; Daruka Norbert: Bűnös célú robbanószerkezetek alkalmazásának és hatástalanításának sajátosságai – Műszaki Katonai Közlöny XXII. Évf. TÁMOP Különszám, 2012. pp. 26-34.

7 Robbantástechnikai terminológia – A robbantástechnika időszerű kérdései 5. sz. füzet OMBKE Robbantástechnikai szakbizottság kiadványa, Budapest, 1980.

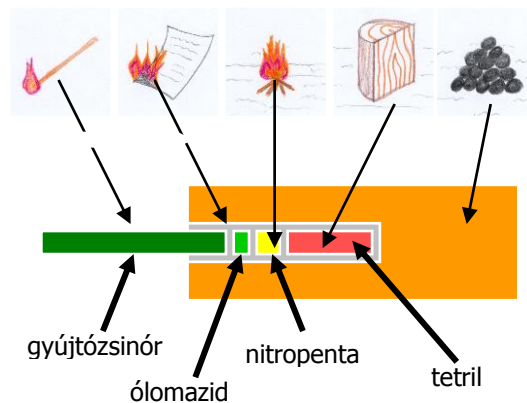


eltérés található a megnevezésekben<sup>8</sup>. Részletesen foglalkozunk a töltetek iniciálásának alapjaival, a robbantó- és villamos gyutacsok kialakulásával, az időzített gyújtószinórok és robbanószinórok fejlődésével, valamint a NONEL gyújtási rendszerrel. A tárgyalt részekenél bemutatjuk a magyar honvédségnél<sup>9</sup> rendszeresített robbantószerkezet, viszont – terjedelmi okokból – csak a téma szempontjából indokolt mértékig foglalkozunk az olyan egyéb segédeszközökkel, mint pl. az elektromos kábelek, villamos gyújtógépek stb.

## A TÖLTETEK INICIÁLÁSÁNAK ALAPJAI

A ma alkalmazott ipari és katonai (szekunder) robbanóanyagok stabil képződmények, melyek detonációjának előidézéséhez meghatározott nagyságú kezdő, azaz iniciáló impulzus szükséges. A primer robbanóanyagokat nem tekintve a feketelőpor az egyedüli olyan robbanóanyag, mely valóban láng hatására közvetlenül felrobbantható.

A brizáns (szekunder) robbanóanyagok detonációja (pont a megfelelő kezelésbiztonság miatt) hőimpulzussal nem hozható létre. Mechanikai behatásokkal (ütés, dörzsölés) szembeni érzékenységük szintén nem jellemző. Detonációjának kiváltásához (az önfenntartó kémiai átalakulás elindításához) kellő erősségű lökéshullámra van szükség. Vagyis, ahogy a kályhában a szén sem gyújtható meg egy szál gyufával, úgy a mai kor biztonsági követelményeinek megfelelő robbanóanyagok sem robbanthatók fel az említett „szúrólánggal”. Ehhez, egy úgynevezett gyújtási láncot kell létrehozni, melyben egy kis, rendszerint hőenergiával elindított impulzus kerül több közvetítő anyag által addig fokozásra, míg a szekunder robbanóanyag (mint főtöltet) stabil detonációját nem lesz képes kiváltani (lásd az 1. számú ábrát). Ezt a folyamatot nevezzük másként a töltetek iniciálásának.



1. ábra Gyújtási lánc egy változata

A töltetek iniciálásának legelterjedtebb módozatai:

- a tűzzel való gyújtás;
- a villamos gyújtás;
- a mechanikai gyújtás;
- a vegyi gyújtás.

<sup>8</sup> A cikkben az idézett részekenél, az adott korban érvényes helyesírási szabályok szerinti megnevezések találhatók

<sup>9</sup> A dolgozatban „magyar honvédség” alatt értem azt a mindenkori, központilag szervezett fegyveres erőt (függetlenül annak éppen aktuális megnevezésétől), melynek feladata az ország védelme volt.



**A tűzzel való gyújtás** – első hallásra – meglepő lehet, hiszen pont az előbb tisztáztuk, hogy a robbanóanyagok (a feketelőpor és a külön e célra gyártott iniciáló robbanóanyagok kivételével) nem robbanthatóak fel sem egyszerű, sem ún. szúróláng hatására. A gyújtási láncban mindenképpen a gyutacs szekunder töltetének detonációja szükséges a töltet (vagy a főtöltetet robbantó detonátor, booster stb.) felrobbantásához. A tűzzel való gyújtásnál a gyutacsban lévő primer robbanóanyag indítása történik szúrólánggal, melyet az időzített gyújtózsín segítségével juttatunk el rendeltetési helyére.

**A villamos gyújtásnál** ugyancsak „tűzzel” gyújtunk. A különbség annyi, hogy ebben az esetben egy kis ellenállás (az ún. izzószál) hevül fel az áram hatására, és ez lobbantja be az őt körülvevő gyúelegyet (pirotechnikai keveréket), mely indítja a gyutacs primer töltetét. A folyamat ezt követően megegyezik a fent ismertetettel.

**A mechanikus gyújtásnál** egy ütőszeg csap rá egy csappantyúra, mely ütésre érzékeny primer robbanóanyagot tartalmaz (akárcsak a lőszer kilövésekor a hüvelytalpon található csappantyúnál). Ennek robbanása fogja a mögötte lévő gyutacsot indítani.

**A vegyi gyújtásnak** sokféle módzata ismert. Általában mechanikus úton összetört ampullákból kifolyó és összekeveredő vegyszerekből alakul ki egy gyújtóelegy, melynek öngyulladás után következik be a gyutacs robbanása.

Összességében tehát azt láthatjuk, hogy tulajdonképpen a gyújtási láncból elengedhetetlen gyutacs robbantása láng (az esetek döntő többségében szúróláng) hatására következik be minden gyújtási módzatnál. Eltérés csak e láng „csiholási” módjában tapasztalható.

## ROBBANTÓ (UTÁSZ) GYUTACSON

### Robbantó gyutacsok kialakulása, fejlődésük

A XIX. század közepéig úgy a katonai, mint az ipari gyakorlatban a feketelőport alkalmazták kizárólagos robbanóanyagként. Mivel ez az anyag láng (szikra) hatására közvetlenül felrobbantható, így nem volt szükség az előző részben említett bonyolult „gyújtási lánc”, illetve annak elemeinek létrehozására. A nitroglicerin 1846-os felfedezése forradalmi változásokat hozott a robbantástechnikában. Az új robbanóanyag hatalmas romboló erejével, eddig megoldhatatlannak tűnő építési feladatok elvégzését tette lehetővé (gondoljunk csak az Alpokban folyó útépitésekre, vagy a Dunán, a Vaskapun keresztül történő hajózást biztosító robbantási munkákra).

A nitroglicerin ipari méretű alkalmazásában nagy jelentőségű volt, mikor többéves kísérletezés eredményeként 1846-ban Alfred Nobel bevezette az első fémhüvelyes, durranóhigany töltetű gyutacsot (felváltva a korábbi feketelőpor töltetű detonátorokat), a nitroglicerint töltetek iniciálására. Mivel az akkor már ismert fekete lőporos (Bickford-féle) gyújtózsín helyett továbbra sem talált más eszközt, mellyel a pontosan időzíthető robbantást el lehetett volna végezni, olyan robbanóanyagokkal kezdett kísérletezni, melyek lángérzékenysége biztosítja a gyújtózsín által történő robbantást, ugyanakkor a detonációja által előidézett energia elég nagy a nitroglicerin töltet tökéletes robbantásához. Nobel a durranóhiganyban vélte felfedezni a megfelelő tulajdonságokat, melyet felül nyitott rézhüvelybe sajtolt, megalkotva ez által az első gyutacsot. A rézre nem esztétikai megfontolások, hanem a durranóhigany azon „kellemetlen tulajdonsága” miatt volt szükség, hogy más fémekkel érintkezve (főleg ha

még nedvességet is kap) cserebomlásba megy és elveszíti érzékenységét.

Mikor 1867-ben Alfred Nobel elkészítette az első kezelésbiztos, ugyanakkor mégis nagyhatóerejű robbanóanyagot, a gurdinamitot, új problémával szembesült: az új anyag annyira „biztonságos” volt, hogy a nitroglicerinnél addig alkalmazott és jól bevált gyutaccsal nem lehetett iniciálni.

Nobel tehát újból munkához látott, és még abban az évben egy teljes gyutacssorozatot készített 1-től 10-ig terjedő erősséggel. Ezekben a gyutacsokban eltérő tömegű durranóhigany töltetet alkalmazott: a legkisebb mennyiség 0.3 g, a legnagyobb 3.0 g volt. A sorozat 8. tagja, mely 2.0 g töltetet tartalmazott, már elégségesnek bizonyult a dinamit töltet iniciálásához is. A mai napig az ennek megfelelő robbanó erejű gyutacsokat alkalmazzák a legelterjedtebben a világon<sup>10</sup>, az ún. gyutacsérzékeny robbanóanyagok indításához.

A gyutacs száma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Durranóhigany súlya g-ban	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0

1. táblázat A Nobel-féle gyutacssorozat<sup>11</sup>

Később ezektől az ún. egységes töltésű gyutacsoktól már eltértek, mert azt tapasztalták, hogy még jobb indító hatás (és nem utolsó sorban olcsóbb előállíthatóság) érhető el az által, ha a lángérzékeny primer robbanóanyag (a durranóhigany) mennyiségét lecsökkentve, a gyutacs alsó részébe szekunder robbanóanyagot (először pikrinsavat, majd később tetrilt, nitropentát stb.) préselnek. Így a primer robbanóanyag indította a gyutacs szekunder töltetét, ez pedig, robbantotta a főtöltetet (a mai korszerű gyutacsoknál e két elem közé még egy ún. közvetítő töltet is beépítésre kerül). Nem elhanyagolható az a szempont sem, hogy a gyutacs sokkal biztonságosabbá is vált a kezelők szempontjából, a mechanikai hatásokra is nagyon érzékeny primer robbanóanyag mennyiségének csökkentése által.

A fejlődés következő állomásaként a gyutacshüvely fenekén egy kúpos bemélyedést is kialakítottak azzal a céllal, hogy az irányított robbantás révén (kumulatív hatás) a robbanásnál felszabaduló energiát koncentrálják, ezáltal tovább növelve a hatékonyságot.

A ma alkalmazott legtöbb gyutacs alumínium hüvelyben kerül forgalomba (úgy a katonai, mint az ipari gyakorlatban), melynek fő oka a durranóhigany két hátrányos tulajdonságában rejlik: egyrészt az ún. túlsajtolás hátrányosan befolyásolja indító hatását, másrészt nedves állapotban érzékenysége nagymértékben csökken, azt akár el is veszítheti. A gyutacsok ipari gyártása viszont így nehezen gépesíthető, illetve egy gyutacsnál nem lehet kizárni a nedves környezetben való felhasználást sem. Ezért – főleg az ilyen irányú haditechnikai igények miatt – újabb primer robbanóanyagokkal kezdtek kísérletezni a durranóhigany kiváltására, és 1893-ban Curtius javaslatára Hill és Lenze kipróbálta az ezüst-, az ólom- és a higany-azidot is. Végül is az ólomazid bizonyult a legalkalmasabbnak, mivel ütésre, hőmérsékletre, túlsajtolásra és nedvességre érzéketlenebb elődjénél, ráadásul a

<sup>10</sup> Minden 8-as erősségű gyutacs robbanási energiájának, egyenértékűnek kell lennie 2 g durranóhigany robbanási energiájával, függetlenül a benne alkalmazott robbanóanyagoktól

<sup>11</sup> E-34 (Műsz. okt. műsz.): Műszaki oktatás a műszaki csapatok számára, 2. Füzet - Robbantások I. rész, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1928. 41. pont, 61. oldal alapján

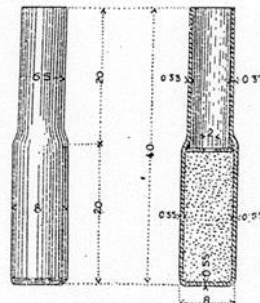
2.0 g durranóhigany robbanási erősségének eléréséhez (8-as erősségű gyutacs) sokkal kisebb mennyiség szükséges belőle. Egyetlen negatív tulajdonsága az volt, hogy a rézzel reakcióba lép és igen érzékeny réz-azid keletkezik, mely annak idején sok balesetet okozott. Az alumíniummal viszont semlegesen viselkedik, ezért lehet ma leggyakrabban ilyen hüvelyű gyutacsokkal találkozni (egyedül a sújtólég és szénporrobbanás veszélyes bányákban használnak durranóhigany töltetű rézhüvelyes gyutacsokat, mivel itt viszont az alumínium nem megengedett).

## Robbantó gyutacsok a magyar honvédségnél

Az 1899-es Vezérfonal szerint „az ékrazittöltet biztosan csakis az eldurranó robbanógyutacs okozta heves ütéstől sül el”... „A gyújtásnak ezt a nemét durranó-gyújtásnak nevezzük.”<sup>12</sup> A rendszeresített robbantószer a „2 gm.-os robbanó-gyutacs” volt<sup>13</sup>. A robbantó töltetek gyorsabb előkészítésére „a lovas utászszakaszok felszerelésében gyújtásra a 2 gm.-os robbanó-gyutacsokkal ellátott robbanószelence-időzítőgyújtók” voltak rendszeresítve. A rövid időzítőgyújtó 1 m-es, a hosszú pedig 2 m-es időzített gyújtózsínórral volt szerelve („angol szalag-gyúzsineg”<sup>14</sup>). „A rövid időzítőgyújtó égéstartama 100 egész 150 másodperc, a hosszúé 200 egész és 300 másodperc” volt.<sup>15</sup>

Az 1902-es E-23. Műszaki oktatás a m. kir. honvéd lovasság utász-szakaszai és század-utászi számára, valamint az 1915-ös E-39,b. Műszaki oktatás a m. kir. honvéd lovasság számára című szolgálati könyvek szintén a fenti robbantószerkeket mutatják be. Egyedüli változás az 1915-ös szabályzatban az, hogy a rövid „robbantószelence időzítőgyújtó”-nál 1,5–2,5, míg a hosszúnál 3,5–5 perc égésidőt állapít meg.<sup>16</sup>

Az 1929-ben kiadott E-34. Műszaki oktatás c. szabályzat szintén a 2 g-os, durranóhiganyos (vörösréz hüvelyes) robbantó gyutacsot jelöli, mint katonai rendszeresített robbantószeret. Különlegességük volt, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható gyutacsoktól eltérően, az iniciáló robbanóanyag kiszóródását megakadályozandó, a gyutacs hüvelybe egy „átlyukasztott zárólemez” került.



ROBBANTÓ GYUTACS  
(Műszaki oktatás a műszaki csapatok számára – Robbantások – 1928)  
2 g durranóhiganyal töltött vörösréz hüvely

2. ábra 2 g-os robbantó gyutacs<sup>17</sup>

<sup>12</sup> 186. oldal

<sup>13</sup> Töltete durranóhigany

<sup>14</sup> Bickford-féle biztonsági gyújtó (időzített gyújtózsínór)

<sup>15</sup> 188. oldal

<sup>16</sup> 5. oldal

<sup>17</sup> E-34 (Műsz. okt. műsz.): Műszaki oktatás a műszaki csapatok számára, 2. Füzet - Robbantások I. rész, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1928. 39. pont. 9. ábra, 60 oldal alapján

A Műszaki oktatás a 41. pontban bemutatja a kereskedelembe előforduló teljes gyutacsorozatot (1–10) is, figyelmeztetve a „zárólemez” hiányára, ezáltal „fokozott elővigyázatosság”-ra intve a velük történő munkavégzésnél. Érdekesség, hogy a 42-es pontban egy egyszerű tesztet is bemutat a gyutacs „hevességének és használhatóságának” ellenőrzésére. Egy 8 mm-es ólomlemezre állított gyutacsnak át kell ütnie úgy, hogy „azon a világosság átszűrődjék”, és a gyutacs hüvelyből keletkező repeszek „okozta nyomok lehetőleg sugár irányúak, sűrűek és egyenletesek legyenek”. Megjelenik a szabályzatban az alumínium hüvelyes „ólomacid gyutacs” is, mely kezelésbiztosabb a „durranóhigany gyutacsnál”, a nedvességgel és az ütéssel szemben is érzéketlenebb.<sup>18</sup>

A gyutacsot „kettős angol gyújtózsínórral – Bickford zsinór” indítja, vagy pedig mechanikus gyújtást alkalmazva, a „13-as mint. gyújtókészülék”-kel<sup>19</sup>, vagy a „04-es mint. gyújtókészülék”-kel<sup>20</sup>. Ezek a gyújtók, a mai MUV-gyújtóhoz hasonló módon, egy rugó ellenében megfeszített ütőszeg felszabadítása után (zárószeg kihúzása) az aljukon lévő gyújtóhüvelyben lévő „gyúelegg”-et robbantották fel, mely iniciálta a vele összeszerelt robbantógyutacsot.

A 88.533/el. 7/m.-1942 körrendelettel (1942. 06. 27.) került a 42. M. utász gyutacs rendszeresítése, mely „az eddig gyártottaktól abban különbözik, hogy a gyutacs fenekén bemélyedés van”.<sup>21</sup>

Az 1950-es Robbantási segédlet háromféle katonai 8. számú gyutacsot mutat be:

- 8. sz. Azidotenes (0,15 g TNRSZ<sup>22</sup>, 0,2 g ólomazid, 1,0 g ten<sup>23</sup>) alumínium hüvelyben;
- 8. sz. Azidotetrites (0,15 g TNRSZ, 0,2 g ólomazid, 1,0 g tetrit) alumínium hüvelyben;
- 8. sz. Durranóhigany tetrites (0,5 g durranóhigany, 1,0 g tetrit) réz hüvelyben.<sup>24</sup>

Mindegyik gyutacs belsejében a robbanóanyag töltetet fémcsészével borították, amelyben selyemszítával elzárt nyílás volt. A gyutacs hatásfokának növelése céljából a fémhüvely fenekén bemélyedést alakítottak ki. A gyutacsot indíthatták időzített gyújtózsínórral, de a Segédlet tárgyalja a mechanikus gyújtást is. Ebben az esetben egy-, vagy kétszaváros robbantógyutacsot alkalmaz, MUV-gyújtókészülékkel<sup>25</sup> szerelve.

A szintén 1950-es kiadású E-mű.1. Ideiglenes robbantási utasítás már csak kétféle 8-as számú gyutacsot mutat be, a Segédletben „Azidotetrites” és „Durranóhigany tetrites” névvel jelöltek. Indításukat időzített gyújtózsínórral végzi, a mechanikus gyújtást, mint gyújtási módot megemlíti, de a 102-es pontban mindjárt rögzíti is, hogy ezek „eszközeit külön utasítások és segédletek tartalmazzák”.<sup>26</sup>

A Mű/2. Robbantási utasítás (1965) és a Mű/213. Robbantási utasítás (1971), szinte egyformán tárgyalja az utászgyutacsokat. Alapvetően az alumíniumhüvelyes TAT-8 kerül bemutatásra. A

<sup>18</sup> 43. pont, 44. oldal

<sup>19</sup> Ez a típus víz alatt is alkalmazható volt!

<sup>20</sup> 61-64. pontok, 78-81. oldalak

<sup>21</sup> Honvédelmi Közlöny 1942. 29. szám, 323. oldal

<sup>22</sup> tricínát

<sup>23</sup> nitropenta, PETN

<sup>24</sup> 15. oldal, 2. táblázat alapján

<sup>25</sup> A Segédlet még csak elsütő készüléknek hívja, azonban a rajz alapján (32. oldal, 11. ábra) pontosan felismerhető a MUV-gyújtószervezet, melyet a Szovjetunióban, az 1935-ben rendszeresített TM-35 harcokocsinak a gyújtójaként már alkalmaztak, majd a Szovjet - finn háborúban megjelent POMZ repeszakna gyújtójaként terjedt el a világ számos országában.

<sup>26</sup> 118. oldal



Mű/2 szerint, 0,1 g TNRSZ, 0,2 g ólomazid és 1,02 g tetril alkotta a töltetét, de mindkét utasítás a szöveges részben azt írja, hogy a főtöltete (szekunder töltet) egyaránt lehet ten, tetril, vagy hexogén<sup>27</sup>. Ugyancsak egyformán írnak rézhüvelyes utászgyutacsról is, mely a Mű/2. szerint 8-M számmal volt jelezve, és 0,5 g durranóhiganyt tartalmazott az 1,02 g tetril főtöltet mellett.

Megjegyzendő, hogy katonai pályafutásom során a rézhüvelyes utászgyutaccsal nem találkoztam. A másik érdekesség: katonai, hosszú felhasználási idejű robbantószerként, a TAT-8 igazából 10-es erősségű gyutacs volt. Ezáltal érték el a gyártók, hogy az ipari gyutacsok sokkal rövidebb idejű felhasználhatóságával szemben, ez a gyutacs több mint egy évtized elteltével is garantáltan képes legyen biztosítani a 8-as erősségű gyutacs robbanásakor leadandó energia mennyiséget. A gyutacs kialakítása egyébként megegyezett a Segédletnél bemutatottal, vagyis a töltetet fém csésze és selyem szita védte, a gyutacs alján pedig hatásmenővelő (kumulatív) kúp került kialakításra.

A Mű/213-as Utasítás 3. mellékletében, a „népgazdaságban használt robbantószerkezetek között bemutatja az RG-6 és RG-8<sup>28</sup> jelzésű robbantógyutacsokat.

A 36/1986. (HK. 23.) MN MÜF intézkedéssel, a Mű/213. Utasítás 3. sz. kiegészítéseként került rendszeresítésre a ZTP szerelt gyutacs. A gyutacs három időzítési fokozattal (ZTP-50, -150 és -300) került legyártásra, ahol a számok a gyújtózsínór égési idejét jelölték normál körülmények között, másodpercekben. Alkalmassak voltak víz alatti robbantásra is, ekkor az égési idő 40–100–300 másodpercre csökkent. Mechanikus (csappantyús) és dörzsgyújtóval készültek. A dörzsgyújtós változat volt a legelterjedtebb, a ZTP-50 és – 150 általában ilyen indítású volt. A mechanikus gyújtó a MUV-gyújtó elvén működött, 5 m vízmélységig volt alkalmazható.

Tekintve, hogy a rendszerváltást követően, a TAT-8 garancia idejének lejártával újabb tétel megvételére nem került sor, a műszakiaknak 1999-ben meg kellett válniuk ettől az egyébként nagyon biztonságos és jól működő gyutacstól. A beszerzés eredményeként az ipari robbantástechnikában már régóta használt RG-8 (robbantó gyutacs) gyutacs került rendszeresítésre RG utászgyutacs néven a Magyar Honvédségnél<sup>29</sup>. A gyutacsot, a 37/2000. (HK 8.) SZVK MÜV rendelkezéssel vezették be, mely a Mű/213. 4. számú kiegészítéseként került kiadásra. A melléklet szerint a legjellemzőbb eltérések a TAT-8 és az RG utászgyutacs között:

- a hüvely talprészén nem található kumulatív bemélyedés;
- a préselt robbanóanyag felett nincs lezáró selyemszita;
- a gyutacs hüvely keményebb (Al-Mn ötvözet), ezáltal nagyobb erővel rögzíthető a gyújtózsínóra;
- a robbanóanyag töltet összetevő más (főtöltet 0,7 g nitropenta, indítótöltet 0,2 g ólomazid/ólomszifnát 80/20% arányban).

Még egy fontos adat: az RG-8 gyutacs jóállása eredeti, légmentes csomagolásban, a gyártástól számított két év! Szavatosság a gyártástól számított öt év, majd ötévenként végzett bevizsgálásokkal újabb 3x5 év.

<sup>27</sup> A Mű/213 már nem részletezi a robbanóanyagok mennyiségét.

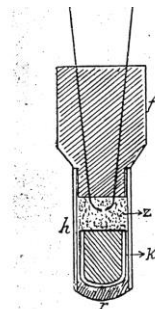
<sup>28</sup> 6-os és 8-as erősségű robbantó gyutacs (ipari)

<sup>29</sup> A 210/2000. (HK 15.) SZVK MÜF rendelkezéssel

### A villamos gyutacsok kialakulása

A töltetek villamos energia alkalmazásával való felrobbantása meglepően hosszú múltra tekint vissza. Arday szerint 1802–1805 között, Josefstadtnban a „műszaki csapatok akna-osztályai” nagyszabású robbantási gyakorlatok során „használták legelőször a dörzsölő elektromosság által előidézhető akna gyújtást, illetve robbantást. 1804-ben Chastel báró őrnagy Konovitz-ban (Ausztria) számos aknát dörzsölő elektromosság által gyújtott fel és pedig oly módon, hogy a vezető drótokat a folyón át vezetve fektették le.”<sup>30</sup> Ugyancsak ez a forrás említi, hogy „a bányászatban az elektromos gyújtást csak 1823-tól kezdve alkalmazták a robbantási munkálatoknál, 1831-ben pedig a Bickford-féle biztonsági gyújtózsínort”. 1855-ben Ebner báró cs. kir. alezredes „dörzsölő elektromos tábori gyújtókészüléket” készített katona célra. 1853-ban Verdu spanyol műszaki ezredes használt először indukciós gyújtógépet (Rhumkorff-féle induktort) aknák<sup>31</sup> gyújtására.<sup>32</sup>

A villamos gyújtás fejlődésének újabb lökést adott, hogy a robbantástechnika növekvő ipari és katonai alkalmazása következtében, a XIX. század végére már nem volt elégséges az egyes töltetek vagy néhány töltet egyidejű felrobbantása. Szorító szükségszerűséggé vált, hogy akár több tíz töltetet is nagy biztonsággal fel lehessen robbantani „egy tűzben”. A megoldás elvben nagyon egyszerű volt: a már meglévő gyutacsok első tagja (primer töltete) lángérzékeny robbanóanyag; mi lenne, ha ezt a „lángot” nem a fekete lóporos gyújtózsínórral, hanem például, elektromos szikrával idéznénk elő? A gondolatot tett követte, és kialakításra kerültek az első ún. szikragyújtós villamos gyutacsok, melyeknél az áramot rézdróton vezették be az áramforrásból a gyutacshüvelybe úgy, hogy a drótot a robbanóanyag fölött megszakították. Az áram hatására a drótszál két pólusa között szikra képződött, mely kiváltotta a robbantást (ezeket a gyutacsokat hívták még megszakított, vagy térközös gyújtóknak is).



VILLAMOS SZIKRAGYÚJTÓ

(Schaffer: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve – 1903)

a gyújtószál sárga- vagy vörösréz; a pólusok egymástól való távolsága 0.5 - 1.0 mm; f - gyújtó fej; z - gyújtóanyag; h - védő hüvely (papír vagy fém); k - durranó kénes kupak; r - kén vagy gyanta, ragasztóként

3. ábra Villamos szikragyújtó<sup>33</sup>

<sup>30</sup> Arday Géza m. kir. honvédszázados: A lópor és robbanó anyagok technológiája és történeti fejlődése, Szent Erzsébet Nyomda Részvénytársaság, Kassa, 1910. 415. oldal

<sup>31</sup> Földalatti aknáknban elhelyezett töltetek értendők alatta

<sup>32</sup> Uo. 416. oldal

<sup>33</sup> Schaffer Antal: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve, Pallas Rt., Budapest, 1903. 87. oldal, 31. ábra

A fejlődés újabb állomása az izzószálas gyutacsok kifejlesztése volt (régiben izzódrót-gyújtó). Itt a gyutacsba bevezetett két elektromos vezeték egy primer robbanóanyag fölött egy vékony izzószállal kötötték össze, melyet pirotechnikai eleggyel (az ún. gyúelegy) vettek körül. Áram hatására ez a szál (tulajdonképpen ellenállásként viselkedve) felizzott, meggyújtva a pirotechnikai elegyet, mely ez által előidézte a lángérzékeny primer töltet robbanását. A mai villamos gyutacsok is ezen az elven működnek, eltérés csak az izzószál anyagában van, mely révén viszont a gyutacs technikai paraméterei alakíthatók az igények szerint.



**ROBERTS-FÉLE IZZÓDRÓT-GYÚJTÓ**

(Schaffer: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve – 1903)

8 cm hosszú, 2 cm átmérőjű, puskaporral megtöltött és két végén parafadugóval lezárt cinn-cső (R); a két rézvezeték egymástól 1 cm-re, vékony vasdróttal lett összekötve (D)

4. ábra Roberts-féle izzódrót gyújtó<sup>34</sup>

## A késleltetett hatású, valamint az eltérő impulzus érzékenységű villamos gyutacsok

A II. világháború befejezése utáni gazdasági fellendülés során került előtérbe az ipari robbantástechnikában, a töltetek késleltetésének lehetősége. Azt tapasztalták ugyanis, hogy ha pl. egy külszíni bányában nem egy tűzben robbantották fel a tölteteket, hanem egymáshoz viszonyítva bizonyos időeltolással, akkor csökkent a felhasználandó robbanóanyag mennyisége, javult a kőzet aprítása és csökkent a káros környezeti hatás is (rezgés, repesz, léglökés stb.). Hasonló előnyös tulajdonságokat tapasztaltak az épületek robbantásos bontása során is. Így tehát fellendült a késleltetett hatású villamos gyutacsok fejlesztése és gyártása.

A késleltetést pirotechnikai késleltető elegynek a gyújtófej és a primer robbanóanyag töltet közé történő beépítésével valósítják meg. Ennek a késleltető elegynek a tulajdonságaitól függően lehet rövid és hosszúkésleltetésű gyutacsokat kialakítani. A rövid késleltetésű gyutacsoknál a gyutacsoszorozat tagjai között néhány vagy néhány tíz, a hosszú késleltetésűeknél pedig néhány száz millisekundum (ms) a késleltetési idő. Az ún. pillanathatású villamos gyutacsok esetén – azokat egy tűzben robbantva – is van bizonyos szórás, mely azonban nem haladhatja meg az elektromos energia közlésétől számított 18 ms-ot.

A villamos gyutacsok elektromos impulzus hatására robbannak fel. A hagyományos, ún. normál

<sup>34</sup> Uo. 89. oldal, 37. ábra

érzékenységgű vagy **nl gyutacsok** esetén ez azt jelenti, hogy 0,8 mJ/ohm impulzusra nem, 3,2 mJ/ohmra viszont fel kell robbanniuk. Ez az érték tökéletesen megfelel, pl. egy olyan külszíni bányaiban, ahol közel és távol semmilyen elektromos hatás (magasfeszültségű távvezeték, nagyteljesítményű adóállomás, villamos erőmű stb.) nincs. Robbantani viszont nem csak ilyen környezetben kell, sőt az urbanizáció terjedésével egyre kevesebb esetben biztosítottak a villamos robbantáshoz az ilyen szempontból kedvező feltételek. Ezért kerültek kifejlesztésre az érzéketlen, **én villamos gyutacsok**, melyek indításához legalább 16 mJ/ohm elektromos energia szükséges<sup>35</sup>. Egyedüli hátányuk, hogy a hagyományos robbantógépek energiája egy ilyen hálózat számára már nem elégséges, vagyis az ezen gyutacsokkal végzendő munkához megfelelő teljesítményű „villamos erőforrás” beszerzése is szükséges.

## A villamos gyújtás területén tapasztalható legújabb eredmények

A környezetvédelem egyre szigorúbb feltételeinek, illetve egyes nagy pontosságú robbantási munkák igényeinek már nem mindig felelnek meg a hagyományos késleltetett villamos gyutacsok, az egy késleltetési fokozaton belül tapasztalható esetenkénti és viszonylagosan nagy szórás miatt (ennek oka a késleltető pirotechnikai keverék, mely vegyi anyagként reagál bizonyos külső hatásokra, illetve az idő múlásával, vegyi bomlás révén változnak tulajdonságai). Ennek kiküszöbölésére már léteznek ún. elektronikus gyutacsok [4], melyeknél a késleltetést egy kis elektronikus alkatrész végzi el nagyon nagy pontossággal (az eltérés max. 1 ms). Széleskörű elterjedésük egyedüli gátja nagyon magas áruk.

Ugyancsak a fenti probléma megoldására konstruálták meg a külső késleltetésű robbantógépeket, melyeknél a pillanathatású gyutacsokból kialakított hálózat egyes ágait maga a gép indítja különböző késleltetéssel, a beállított programnak megfelelően. A késleltetési fokozatokat 1 ms-onként lehet változtatni (!). Problémát itt egyedül az jelent, hogy a leágazások száma korlátozott, egy mai nagy, környezetkímélő robbantásnál viszont esetenként több száz késleltetési fokozat felhasználásának igénye jelentkezik.

A harmadik nagy változást a feltétlen biztonságra való törekvés eredményezte. Mint fentebb említettük, a gyutacs legveszélyesebb része még mindig a primer robbanóanyag, mely viszont a lángérzékenysége miatt kihagyhatatlannal tűnt eddig a gyutacsból. Nos, a Nitro Nobel cég előállított olyan 8-as erősségű villamos gyutacsot (az ún. NPED gyutacs<sup>36</sup>), melyben nincs primer robbanóanyag<sup>37</sup>! Az eredmény a hagyományos gyutaccsal összehasonlítva fantasztikus: a dominó ötös alakjában elrendezve öt hagyományos gyutacsot, és a középsőt felrobbantva, a négy szélső gyutacs is felrobbant 10 cm távolságban. Az új gyutacsnál – hasonló elrendezésben – 2 cm távolságról sem indultak el a szélső gyutacsok. Az ütésérzékenység vizsgálata is hasonló eredményt hozott: az átmérőjének mintegy felére összenyomódott új gyutacs nem robbant fel, szemben a hasonló kísérletnek kitett hagyományos gyutaccsal.

<sup>35</sup> A 13/2010. (III.4.) KHEM rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról. I. fejezet, Értelmező rendelkezések, 2. §. 63. pont *szertint*: villamosérzéketlen gyutacs az a villamos gyutacs, amely 5 percig tartó 450 mA erősségű egyenáram hatására nem robban fel;

<sup>36</sup> Non Primary Explosive Detonator – primer robbanóanyagot nem tartalmazó gyutacs

<sup>37</sup> A gyújtási lánc első, ún. lángérzékeny robbanóanyagaként is a magas hatóerejű, brizáns (szekunder) robbanóanyagot, a nitropentát alkalmazzák, a mechanikai hatásokra nagyon érzékeny, korábbi primer (iniciál) robbanóanyag helyett

## A magyar honvédségnél rendszeresített villamos gyutacsok

A fenti történeti áttekintés tükrében meglepő, hogy a magyar honvédségnél csak az 1928-as, E-34-es Műszaki oktatásban találkozunk először a villamos gyújtással. Igaz viszont, hogy ekkor már egy 2,4 ohm ellenállású, platina irídium izzószálas izzógyújtó volt rendszeresítve, egybekötve egy szabvány 2 g-os (erősségű) robbantógyutaccsal. A működése kissé nehézkesnek tűnik, hiszen az izzószál által begyulladt gyúelegy gázai egy hüvelyt hoztak mozgásba, mely biztosította az áramkör zárását „az áramkörbe kapcsolt többi izzógyújtóhoz” és a gázok csak ezután ütötték át a gyutacsot elzáró keménypapír lemezt és váltották ki a tényleges robbanást.<sup>38</sup>

A gyújtóhálózat készítésénél az E-34. csak a soros hálózatot tárgyalja, számpéldákkal segítve a jobb megértést. A villamos gyújtóvezeték ellenállásának ismeretében az egy időben robbantható izzógyújtók számát egy grafikon segítségével is meg lehetett határozni<sup>39</sup>. A „Teljes tábori izzógyújtókészülék”-ként rendszeresített készletben 1 db Schaffler típusú „16-os mint. hordozható izzógyújtógép”, 80 darab izzógyújtó, 600 m „vörösréz kábelvezeték”<sup>40</sup>, 200 m egyeres vörösréz kábel, 1 darab vezetékvizsgáló, és 1 darab „legombolyító készülék” volt. Az izzógyújtógép 76 ohm ellenállásig volt használható.

A 89.082/el. 7/m.-1942 körrendelettel rendszeresítik a „42 M. elektromos gyutacsot a 35 M. izzógyújtó és a 42 M. elektromos szerelt gyutacsot a 35 M. szerelt izzógyújtó helyett .... A 42 M. elektromos gyutacs fejrészén a 4 gyűrűs benyomásával különbözik a 35 M. izzógyújtótól.”<sup>41</sup>

A Robbantási segédlet (1950) szerint „a villamos gyutacs villamos izzógyújtóval egybeszerelt gyutacsból áll”<sup>42</sup>. A Segédlet szerint készülhetett gyárilag, de ennek hiányában a csapatok is elkészíthették robbantó gyutacsból és a rendszeresített izzógyújtóból. Az izzógyújtó rézhüvelyes volt, benne platina-irídium izzószállal. A rendszeresített pillanathatású villamos gyutacs ellenállása 1,0–1,5 ohm volt. A nagy szórás miatt, az egy robbantó hálózatba szerelt gyutacsokat kalibrálni kellett. Soros hálózatban 0,1 ohm ellenállás eltérés volt megengedett a gyutacsok között. Egyedülálló, vagy párhuzamosan kapcsolt gyutacsoknál csak a vezetőképesség ellenőrzését írta elő a Segédlet.

Ezen kívül megemlíti még a „késleltető hatású villamos gyutacsokat” is, mint szintén használt robbantószerkeket, 2, 4, 6, 8 és 10 másodperces késleltetéssel<sup>43</sup>. A hálózat szerelést kétféle egyeres és egy kéteres kábel biztosította. Áramforrásként a nagy és a kis izzógyújtógépet mutatja be. Előbbi 290 ohm, utóbbi 80 ohm összellenállású hálózatot volt képes felrobbantani. Tárgyalja soros, párhuzamos és vegyes villamos gyújtóhálózatot azzal a kitételrel, hogy „a műszaki csapatok felszerelésében lévő villamos izzógyújtógépek csak soros kapcsolású villamos gyutacsok gyújtására alkalmasak”.<sup>44</sup>

Az E-mű.1. Ideiglenes robbantási utasítás (1950) alapvetően a Segédletben leírtakat ismétli, az

<sup>38</sup> E-34 (Műsz. okt. műsz.): Műszaki oktatás a műszaki csapatok számára, 2. Füzet - Robbantások I. rész, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1928. 53-54. pontok, 72-74. oldal

<sup>39</sup> Uo. 58. ábra, 115. oldal

<sup>40</sup> kéteres kábel

<sup>41</sup> Honvédségi Közlöny 1942. 39. szám, 412. oldal

<sup>42</sup> Segédlet, 46. oldal

<sup>43</sup> Érdekes megjegyezni, hogy a Segédletben, később egyetlen helyen történik utalás a késleltetett gyutacsok alkalmazására, mikor fagyott talajban történő árok-robbantáskor, a lazító fűrt lyukak tölteteihez képest 2 másodperc késleltetéssel rendeli a főtöltetek robbantását (164. oldal)

<sup>44</sup> Segédlet, 69. oldal



alábbi eltérésekkel. Nem tesz már említést késleltetett villamos gyutacsokról, viszont bemutatja a platina-irídium izzószálas katonai gyutacs mellett, a konstantin izzószálas ipari gyutacsot is. A gyutacsok hálózatba szerelés előtti kalibrálási követelményéről nem ír. A korábbi kettő mellett megjelenik a 150 ohm külső ellenállású közepes izzógyújtógép. A hálózatok számítását táblázatok, mintapéldák, grafikonok segítik.

A Mű/2. Robbantási utasítás (1965) az SVG és az SVG-840 típusú, valamint a „korábban gyártott (még forgalomban lévő)”, szintén platina-irídium izzószálas gyutacsokat, továbbá a rézhüvelyes izzógyújtót mutatja be. Ez utóbbit „a csapatoknál kiképzés (oktatás) céljából” hagyták meg.<sup>45</sup> Újból előírja a kalibrálást. Bevezeti, az azóta is rendszeresített 1-RV-58 egyeres és 2-RV-58 kéteres utáskábel. Megjelennek a KPM-1, a KPM-2, és az RK-1 kondenzátoros izzógyújtógépek, valamint a PM-1 nagy izzógyújtógép és a kis izzógyújtógép. A gyújtóhálózatok számítását tulajdonképpen a ma is alkalmazott módon tárgyalja. A 3. számú mellékletben bemutatja a „Népgazdaságban használt pillanatnyi és időzített villamosgyutacsok”-at azzal a megjegyzéssel, hogy a késleltetett gyutacsokat főleg „talajok kidobásos robbantásakor, sziklás kőzetek fejtésekor” alkalmazzák.<sup>46</sup>

Az 1971-es Mű/213. Robbantási utasítás főbb vonalaiban a Mű/2. szerint tárgyalja a villamos gyújtást. A villamos gyutacsok közül megmaradt a menet nélküli SVG és az M11x1-es menetes hüvellyel szerelt SVG-840. Az SVG típusú gyutacsokat kalibrálni már nem kell, csak vezetőképességüket ellenőrizni. Megmaradt a korábbi rézhüvelyes izzógyújtó is, de továbbra is csak kiképzési célra. 1976-ban került kiadásra az a kiegészítés az Utasításhoz, mellyel az SVG/M10 villamos gyutacsot vezetik be. Ugyanakkor beszerzésre és több éven keresztül alkalmazásra került szovjet EDP-r villamos gyutacs is, melyet az SVG-vel azonos feltételekkel lehetett felhasználni. Az Utasítás 3. mellékletében a „népgazdaságban használt robbantószerek” között bemutatja az EBG és a VBG típusú villamos gyutacsokat.

A megmaradó KPM-1, RK-1 és a kis robbantógép mellett megjelenik a TR-100-SB tranzistoros izzógyújtógép, majd az 1973-as kiegészítéssel bevezetésre került a ma is alkalmazott RKA gyújtógép.

Az SVG gyutacsok garancia idejének lejártával, tekintve, hogy korábbi hazai gyártója megszűnt, az 569/97/2003/TH. (HK 26.) HM határozattal került rendszeresítésre a BRW (F) típusú villamos gyutacs, a Magyar Honvédségnél. A Schaffler-licenz alapján, a tatabányai Rotech Rt.<sup>47</sup> által gyártott BRW villamos gyutacs család három tagja közül, az F jelölésű villamos-érzéketlen (én) típus került beszerzésre<sup>48</sup>. A gyutacs alaptöltete (szekunder töltet) 0.7 g nitropenta, míg az iniciáló primer töltet 0,2 g tömegű ólomazid és ólom-sztifnát 80/20%-os arányú elegye. Ha hasonlóságot vélünk felfedezni az RG utáskgyutacs töltetével, az nem a véletlen műve, hiszen ugyanarról az alapgyutacsról van szó, melyet 80/20%-os arányú krómnikkel izzószálas izzógyújtóval szereltek. Talán visszalépésként értékelhetjük azt a tényt, hogy a vízálló SVG-840 típusú gyutaccsal szemben, a BRW-F vízállósága 2 bar víznyomásnál mindössze 3 óra!

Új robbanógépet fejlesztett ki a Magyar Honvédség az ezredfordulóra, TER-6 többcsatornás elektromos robbantógép néven. Alapvetően a kis- és közepes tömegű, irányított hatású repesztöltetek

<sup>45</sup> Mű/2. 54. oldal

<sup>46</sup> Mű/2. 395. oldal

<sup>47</sup> Azóta ez a gyártó üzem is bezárásra került

<sup>48</sup> Létezett még az A jelölésű normál érzékenységű, és a P jelölésű fokozottan villamos-érzéketlen.

elműködtetésére szolgál, de alkalmazható a kisméretű kumulatív töltetek indítására, illetve – a teljesítményadatainak határain belül – alkalmas bármilyen, villamos gyutacsokból vagy izzógyújtókból és elektromos vezetékekből álló robbantó-, imitációs-, jelző- stb. hálózat működtetésére.

A robbantógép 6 db, egymástól független robbantócsatornával rendelkezik, amelyek alkalmasak a hozzájuk csatlakoztatott villamos hálózatok folytonosságának ellenőrzésére és azok egyenkénti, vagy tetszőleges kombinációjú elműködtetésére. A félvezetős-kondenzátoros robbantógép, a villamos gyutacsok, izzógyújtók elműködtetéséhez szükséges elektromos energiát, a robbantás kiváltásáig akkumulátorban, illetve a feltöltött kondenzátorokban tárolja.

## IDŐZÍTETT GYÚJTÓ- ÉS ROBBANÓZSINÓROK

Ebben a fejezetben az időzített gyújtózsínór és a robbanózsínór segítségével végrehajtott robbantás fejlődéséről lesz szó. A sorrend nem önkényes kiválasztás révén került meghatározásra: bármennyire is logikusnak tűnik az az elgondolás, hogy a villamos gyújtás sokkal újabb keletű, mint pl. az időzített gyújtózsínóros. A valóságban már 1823-ban Harris William Snov villamos gyújtógéppel hajtotta végre feketelőpor töltet nagyobb távolságból való indítását; ugyanakkor William Bickford csak 1831-ben találta fel Cornwallban a biztonsági gyújtózsínórt.

### **A feketelőpor töltetek indításának kezdeti módszerei, az időzített gyújtózsínór kialakulása**

Az első lőpor-töltetek robbantása meglehetősen kezdetleges módon történt: a fojtásban, vagy – kisebb átmérőjű töltetüregek esetén – az ún. „fojtó cövekben” nyílást hagytak, és ebbe töltötték a gyújtásra szolgáló puskaport. Ezt a puskaport a régi kalandfilmekben látott módon, vékony csíkban kiszórt, esetleg kis vajatban odavezetett lőporral gyújtották meg.

A fejlődés következő állomása a „csöves gyújtók” megjelenése volt. Ezek kifűrt nádból, mogyoró- vagy fűzfavesszőből álltak, melyeket finomszemcsés lőporral töltöttek meg, és a főtöltetbe helyeztek. Víz alatti robbantás esetén faggyúval kezelt bőrcsövecskéket töltöttek meg szintén puskaporral. Később az angolok lúdtollból készítették gyújtócsöveiket, majd megjelentek a papírcsíkokból sodort gyújtók is. A gyújtócső indítására megfelelő hosszúságú kénfonalat alkalmaztak mely lassan égett, és ezzel lehetőséget adott a robbanást végzőknek arra, hogy biztonságos távolságra mehessenek.

A ma is alkalmazott időzített gyújtózsínór őseit a már említett Bickford találta fel Angliában, 1831-ben. Ezért is nevezték sokáig az ilyen rendszerű gyújtózsínórokat angol gyújtónak, vagy Bickford-zsínórnak. Az alapváltozat 1,5–2 mm vastagságú feketelőpor-bélből állt, melyet salétromba áztatott vékony jutafonál vett körbe. Erre került a külső kátrányozott burkolat. A 4 mm átmérőjű Bickford-zsínórnak ez a változata csak száraz körülmények között végrehajtott robbantásra volt alkalmas, viszont volt egy óriási előnye: viszonylag pontosan meghatározott égési sebességgel (60–80 cm percenként) rendelkezett. Karikába hajtván, 8–10 m hosszú tekerceken árulták. Megjelent természetesen 5 mm vastag vízálló változata is, mely kettős kátrányozással készült.

A ma is alkalmazott időzített gyújtózsínór nem sokat változott az idők során, csupán a korszerűbb anyagok és technológiák megjelenésével műanyag burkolatot kapott, és az égési sebessége lett még pontosabb. A kereskedelmi forgalomban kapható (és a Magyar Honvédség által is használt) zsínór

általában 1 cm/sec égési idejű, de van olyan is mely 2 cm/s gyorsasággal ég.

## A robbanózsínór feltalálása

A Bickford-zsínór megjelenése a robbantó szakemberek kezébe olyan eszközt adott, mellyel végre biztonságossá vált a töltetek indítása. Ugyanakkor a mindennapi életben egyre nagyobb igény mutatkozott – a katonai gyakorlatban éppúgy, mint az ipari robbantásoknál – több töltet egy időben történő iniciálására. Az időzített gyújtózsínór mintájára olyan zsínórok fejlesztésével kezdtek kísérletezni, melyeknél a feketelőpor helyére magasabb hatóerejű robbanóanyagot tettek. Az elv megfogalmazása könnyű, a gyártás technológiai megvalósítása már sokkal nehezebb volt. Az első ún. „durranó gyújtózsínór”-t 1879-ben vezették be a francia hadseregben. Lőgyapotot<sup>49</sup> töltötték ólomcsőbe, melyet aztán 4 mm vastagságúra húztak. Később az ólmot cink váltotta fel, a zsínórt pedig, dobra tekereselve forgalmazták. Meggyújtva lassan égett, majd egy idő után elaludt, viszont gyutaccsal felrobbantva 4060 m/s sebességgel robbant végig. Ez által biztosította több töltet szinte egyidejű robbantását (pl. 50 m-es töltettávolságnál, soros kapcsolás esetén is a második töltet az elsőhöz képest csak 0,012 s-mal kapta később a gyújtó impulzust).

Az osztrák-magyar hadseregben 1889-től kezdték alkalmazni a Hess-féle „pillanatnyi durranó gyújtó zsínórt”. Ez már hajlékony zsínór volt, mivel a durranóhiganyba mártott négy gyapotfonálból álló töltetet, kaucsukszalaggal tekerték körbe, majd viaszba mártották. Egyszerűen meggyújtva 10 m/s sebességgel égett, gyutaccsal indítva viszont 3000-3500 m/sec sebességgel robbant. Érdekes adalék, hogy a Hess-féle robbanózsínór kezelési utasításában meghatározott biztonsági rendszabályok, valamint a robbanózsínór toldásának végrehajtása, megegyező a ma is érvényben lévő szabályozásunkkal.<sup>50</sup>

A francia szabadalom alapján készített Primacord robbanózsínórt 1936-ban mutatta be az Ensign-Bickford Company. A nitropenta töltetű, vízálló robbanózsínór detonáció sebessége kb. 6400 m/s volt.

A mai robbanózsínórok általában műanyag burkolattal készülnek, a bennük alkalmazott robbanóanyag legtöbbször megfelelően érzéketlenített (flegmatizált) nitropenta, vagy hexogén. Detonációsebességük – fajtától és felhasználási területtől függően – általában 6000–8000 m/sec között van. Eltérő a robbanóanyag töltet mennyisége is: 5 g/m-től egészen 40 g/m-ig, de kapható speciális feladatokhoz, pl. 80 g/m töltetömegű robbanózsínór is.

Speciális feladatokhoz olyan nyomás- és hőálló robbanózsínórok is készülnek, melyeket kívülről alumínium vagy ólom burkolat fed.

## Időzített gyújtózsínórok és robbanózsínórok a magyar honvédségnél

Az 1899-es Vezérfonal az utászszolgálat oktatásához c. kiadvány szerint „egy lovassági gyúzsinegdobozon a szabványos (angol) gyúzsinegből 50 m., a durranó gyúzsinegből pedig 100 m. van felgombolyítva”<sup>51</sup>. Az időzített gyújtózsínórból készült „robbanószelencze-időzítőgyújtók” is rendszeresítve voltak, a bemutatott pontosságú égési sebességgel. A kiadvány szerint a „durranógyúzsineg egyszerűen meggyújtva, gyorsan ég el”<sup>52</sup>. Égési sebességként kb. 10 m/sec-ot adtak meg,

<sup>49</sup> nitrocellulóz

<sup>50</sup> Schaffer Antal: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve, Pallas Rt., Budapest, 1903., 63-66. oldalak

<sup>51</sup> Vezérfonal, 189. oldal

<sup>52</sup> Uo. 188. oldal

ugyanakkor robbanó gyutaccsal indítva 3000-3500 m/sec. volt az „eldurranás sebessége”. A Vezérfonal bemutatja a „durranózsineg” hálózat készítését is. A leágazások kialakítását a rendszeresített kapcsolóhüvelyek segítették. Az 1. számúval a gyutacsot kötötték össze a durranózsineggel. A 2. számú 3–4, a 3. számú pedig 5–6 „durranózsineg elágazásnak a szabványos gyúzsineg 2 gm.-os gyutacsával való összekötésére szolgál”<sup>53</sup>.

Az 1902-es, E-23. Műszaki oktatás a m. kir. honvéd lovasság utász-szakaszai és század-utásai számára a Vezérfonalban foglaltakhoz képest tisztázza, hogy a durranó gyújtózsineg<sup>54</sup> durranó higanytöltetű, amíg a burkolat megvédi a mechanikus hatásoktól (ütés, dörzsölés), nem robban fel. Már megjelennek azok a biztonsági előírások, melyeket a mai napig betartatunk a robbanózsínórral végzendő munkák során:

- a dobról vágás előtt le kell gombolyítani a robbanózsínórt<sup>55</sup>;
- a vágást falapon, éles késsel, a zsínórt egy, a kezet óvó másik falappal megtámasztva kell elvégezni<sup>56</sup>;
- minden vágás után a falapot és a kést meg kell tisztítani a vágás során keletkezett törmeléktől, és a következő vágást a deszkalapnak egy más részén kell elvégezni;
- gyutacsba helyezett zsínórt vágni szigorúan tilos!

A durranó gyújtózsineg hálózatok készítéséről a Vezérfonalnál bemutatottakon kívül, a hidak robbantását tárgyaló részben is ír.

A 9169/eln. körrendelet (1906. 10. 15.) az alábbiakról intézkedik: „A robbanó gyúzsineg helyébe a 03 mintájú durranó gyújtó zsineget rendszeresítem. Az előbb említett gyúzsinegnek az utóbbival való pótlása, valamint a vonatkozó szolgálati könyveknek helyesbítése iránt külön fogok intézkedni.”<sup>57</sup>

Az 1915-ben kiadott E-39,b. Műszaki oktatás a m. kir. honvéd lovasság számára ugyanazokról a robbantószerekről számol be, mint elődei. Változást jelent, hogy a „durranó gyújtózsineg” robbanási sebességének 5 km/sec értéket ad meg. Kezelésével kapcsolatban megegyező elvekről ír, mint az 1902-es szabályzat. Újdonságként jelentkezik, hogy a „kettős angol gyújtózsineg” minden tekerésnek megkezdésekor gyújtási próbát végeztet el, melynek során az 1 m-es darab égési sebességének 90-120 másodperc között kell lennie. Az időzített gyújtózsínórral szerelt tölteteket, ha azok nem robbantak fel, csak 15 perc várakozási idő után engedni megközelíteni.<sup>58</sup>

E-34 (Műsz. okt. műsz.): Műszaki oktatás a műszaki csapatok számára, 2. Füzet - Robbantások I. (1929) a műszaki csapatok rendszeresített időzített gyújtózsínórjaként a „kettős angol gyújtózsínór”-t jelöli meg, melynek égési sebessége 1 cm/sec. 8-12 m hosszú tekersekben került kiadásra, minden tekercs megkezdésekor egy 50 cm-es darabbal égési próbát kellett végrehajtani. Pontosítja, hogy a gyújtózsínórral indított, fel nem robbant töltet, csak „a gyújtózsínór hosszának megfelelő háromszo-

---

<sup>53</sup> Uo. 189. oldal

<sup>54</sup> A kiadványban, utólag kézzel mindenhol felülírásra került „robbanó gyújtózsineg”-nek

<sup>55</sup> a mai szabályozás annyival megengedőbb, hogy a vágás helye és a tároló dob között min. 10 m-nek kell lenni – de ma már nem is durranóhiganyos, hanem nitropenta töltetű robbanózsínórt használunk.

<sup>56</sup> a kezet védő deszkalap ma már nem követelmény (de nem is tilos)

<sup>57</sup> Rendeleti Közlöny 1906., 404. oldal

<sup>58</sup> Ez a szabály ma is él

ros égési idő tartamának (gyakorlatoknál legalább ¼ óra) eltelte után közelíthető csak meg”<sup>59</sup>.

Alap robbanózsínorként az 1906-os, 9169/eln. körrendelettel bevezetett 03. mintájú durranó gyújtózsínór maradt rendszerben, 5000 m/s robbanási sebességgel, víz alatti robbantásoknál is alkalmazva. Kezelésével kapcsolatban, az 1915-ös szabályzatban bemutatottak maradtak érvényben az a pontosítással, hogy a robbanózsínór vágásakor nem kell feltétlenül letekerni a teljes 100 m-es tekercest a dobról, de a dob és a vágás helye között legalább 10 m-nek kell lennie.<sup>60</sup>

Használták ezen kívül a „fulminát gyújtózsínór”-t is melynél „a bél burkolata csak vizes glycerinnel van átítatva, miért is ütés, dörzsölés és nedvesség iránt jóval érzékenyebb”<sup>61</sup>. Érdekesség, hogy ezzel a gyújtózsínórral bemutatja lőpor, illetve „I. sz. dynamit” töltetek gyutacs nélküli robbantását, a ma is alkalmazott eljárásnak megfelelően, négy menetet tekerve a zsinórból a töltetre.

Külön fejezetben tárgyalja a durranó gyújtózsínór hálózatok készítését, bemutatva a párhuzamos és soros hálózatot. A leágazások készítéséhez továbbra is a fent bemutatott összekötő hüvelyeket használja.

A Robbantási segédlet (1950) 10 m-es tekercekből készített, fekete, aszfalt burkolatú, 1 cm/s égési sebességű időzített gyújtózsínóról ír. A tekercs megkezdésekor, egy 60 cm-es darabbal égési próbát ír elő, melynek során 60–70 másodperc között kellett végigégnie a vizsgált zsinórnak. A műszaki csapatok által használt nitropenta töltetű, vörös színű, 6500 m/s robbanási sebességű durranó gyújtózsínór, 50 m-es tekercekből került kiadásra. A szerelt töltet készítésének, a durranó gyújtózsínór kezelésének, kötéseinek, indításának szabályai, a belőlük készíthető hálózatok (soros, párhuzamos, vegyes) megegyezők a mai szabályokkal. Igaz ez, a velük végzendő munkák során betartandó biztonsági előírásokra is.

Az E-mű. 1. Ideiglenes robbantási utasítás (1950) annyiban hoz újat a Segédlethez képest, hogy négyféle (egyébként egyaránt 1 cm/sec égési sebességű) időzített gyújtózsínórt (ügymint a guttapercha, a kétszer bitumenezett, az egyszer bitumenezett és a fehér zsinórt), és ötféle durranó gyújtózsínórt mutat be. A felsorolt durranó gyújtózsínórok töltete és detonáció sebességük az alábbi volt:

- durranóhigany 5000-5300 m/s;
- durranóhigany és teritil 5000-5300 m/s;
- hexogén 7600 m/s;
- hexogén és tetritil 6500 m/s;
- nitropenta 6500 m/s.<sup>62</sup>

A Mű/2. Robbantási utasításban (1965) az 1950-es elődeihez képest újdonság az, hogy az időzített gyújtózsínór tekercs megkezdésekor, az égési próbát úgy végezteti el, hogy először levágat egy 10–15 cm-es darabot, és csak ezt követően a 60 cm-es próba darabot. Az időzített gyújtózsínórnál már csak a vízhatlan változatok maradtak meg (egyszeresen és kétszeresen bitumenezett, valamint műanyag burkolatúak), melyek 5 m vízmélységig alkalmazhatók. Egyféle, nitropenta töltetű durranó gyújtózsínór maradt, 6–7000 m/s detonációs sebességgel. Megjelenik a trotil töltet gyutacs nélküli robbantása, a fentebb bemutatott 1929-es szabályozáshoz hasonló módon, „4–5 – egymást nem

<sup>59</sup> Műszaki oktatás, 63. oldal

<sup>60</sup> Ez érvényes ma is

<sup>61</sup> Műszaki oktatás, 67. oldal

<sup>62</sup> E-mű/1. 42-43. oldalak, 4. táblázat



keresztelő – zsinórmenet” rácsavarásával.<sup>63</sup>

Az 1971-es Mű/213. Robbantási utasítás zöld színű, műanyag burkolatú időzített gyújtózsínorról ír (IGYZS), és piros színű műanyag burkolattal ellátott, 8 g/m nitropenta töltetű durranó gyújtózsínorról, mely az 1980-as években robbanózsínór megnevezésre változott (RGYZS). Kezelésük, alkalmazásuk szabályaiban változás nem történt

Az Utasítás 3. mellékletében, a „népgazdaságban használt robbantószerkezetek között bemutatja a Nipentex nitropenta töltetű, valamint a Nihetex hexogén töltetű robbanózsínókat.

## A NONEL GYÚJTÁSI RENDSZER A MAGYAR HONVÉDSÉGNÉL

A svéd Nitro Nobel cég 1973-ban mutatta be forradalmian új, eddig még soha nem látott gyújtási rendszerét, melyet joggal neveztek az évszázad robbantástechnológiai felfedezésének. A termék az angol Non-Electric Initiation System (nem elektromos iniciálási rendszer) kifejezésből kapta a NONEL elnevezést. De miben is állt e rendszer újdonsága?

A korszerű robbantástechnikában egyre inkább előtérbe kerültek a környezetvédelem kérdései. Ezen belül kiemelkedő fontosságot kaptak, a robbanás szeizmikus hatásának lehető legkisebbre való csökkentése, a minél kevesebb robbanóanyaggal minél pontosabb hatás elérésének elve, továbbá a robbantóhálózat egyszerű kezelhetőségének, külső körülményektől (hőmérséklet, nedvesség, kisebb fizikai behatások, elektromos energiaforrás közelsége) független alkalmazhatóságának követelménye.

A legbiztonságosabbnak tartott elektromos robbantások sok tekintetben eleget tettek ezen elvárásoknak, a késleltetett hatású, mind pontosabb gyutacs-sorozatokat sok sikeres robbantás végrehajtását tették lehetővé. De a feladatok egy részénél komoly gondot jelentett, hogy a hálózatban alkalmazandó késleltetési idők, korlátozott lehetőséget biztosítottak a tervező számára, a fokozatok időbeli eltolását illetően. Egy épületbontásnál hatalmas teljesítményű robbantógépekre volt szükség (ezek beszerzése nem csekély költségekkel járt), és még ekkor sem volt biztos, hogy a kívánt teljesítményt eléri. Ez utóbbi ok miatt terjedtek el abban az időben a szakzsargonban „szimultán robbantásnak” nevezett – nem éppen szabályos – módszerek, melynél a robbantómester két robbantógép egyidejű alkalmazásával hajtotta végre a hatalmas hálózat felrobbantását. Ráadásul bizonyos körülmények között (nagyfeszültségű áramforrások közelsége – trafóállomás, távvezeték stb. – valamint kóboráram veszély esetén) a villamos robbantásról eleve le kellett mondani.

Mindezen problémák megoldását kínálta az új iniciálási rendszer, a NONEL. Az alap egy 3 mm külső átmérőjű, háromrétegű műanyag cső, melynek belső falára vékony robbanóanyag hártát visznek fel (a robbanóanyag HMX<sup>64</sup> és alumínium keverék). A robbanóanyag mennyisége elegendő ahhoz, hogy a robbanási lökéshullámot 2100 m/s sebességgel továbbadja a cső teljes hosszában, de kevés ahhoz, hogy a cső falát átütve külső hatást váltson ki. A cső anyaga ellenáll mindenféle külső fizikai hatásnak:

- szakítószilárdsága 20 °C-on 25 kg, 70 °C-on 15 kg;
- alkalmazható –40°C és +70°C hőmérsékleti határok között.

A cső ellenáll különféle agresszív közegnek is: pl. dizelolajban 2 hétig, ANDO (ammónium-nitrát-

<sup>63</sup> Mű/2. 48. oldal

<sup>64</sup> cyclotetramethylenetranitramine, C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>N<sub>8</sub>O<sub>8</sub> - Oktogén

dízelolaj robbanóanyag keverék) robbanóanyagban 5 hétig a gyár által garantáltan működőképes marad.

Maga a rendszer vízhatlan, hálózat készíthető belőle földfelszíni és földalatti robbantásokhoz épp-úgy, mint víz alatti munkák során.

Nagy előnye, hogy elektromos áramforrás közelségétől függetlenül alkalmazható. A legnagyobb vívmány azonban a következő: a rövid- és a hosszúkéleltetésű gyutacsorozat, valamint a szintén kéleltetett gyutaccsal szerelt kapcsoló egységek révén, korlátlan méretű és kéleltetési idejű hálózat készíthető belőle úgy, hogy az indításhoz elégséges, a készlethez rendszeresített egyszerű csappantyús egység, ennek hiányában pedig, akár egy robbantó, akár egy villamos gyutacs!

Azóta a világ számos robbanóanyag gyártó cége megjelent a saját fejlesztésű, de alapl működését és „filozófiáját” tekintve az eredetivel szinte megegyező NONEL rendszerével. Ugyancsak megjelentek a polgárihoz képest kissé robusztusabb felépítésű katonai NONEL rendszerek, ahol természetesen az ipari robbantástechnikában a hálózat áttekinthetőségét, szerelését megkönnyítő élénk vezeték színek helyett, a zöld dominál. Ezek közül vette meg a Magyar Honvédség a svéd NORABEL és a cseh AUSTIN cégek katonai célra kifejlesztett rendszereinek egyes elemeit. A rendszeresítés, az 569/97/2003/TH. (HK 26.) HM határozat alapján történt. Alkalmazását a 838/2006. (HK 23.) MH ÖLTPK intézkedéssel megjelentetett, Harekocsi és gyalogság elleni akadályrendszerek anyagainak és eszközeinek, valamint az új típusú harcanyagok kezelése és karbantartása című főnökségi kiadvány rögzíti<sup>65</sup>.

Alapvető eltérés a két beszerzett katonai NONEL eszköz között, azok „indításában” van. A NORABEL NONEL indítója, egy egyszer-használatos kézi elsütő mechanizmusból és a NONEL jelvezetékéből áll, melynek egyik végén egy csappantyús primer gyújtóegység, a másik végén a töltet iniciálásához szükséges pillanathatású gyutacs található.

Mivel valamennyi szükséges alapkompone ns csatlakoztatva van az egységhez, a NONEL indító egy teljesen önálló, bármilyen típusú robbantási feladathoz, bármikor használatra kész iniciáló eszköz. Valamennyi NORABEL-gyártmányú indító tartalmaz még egy, a szerelt gyutacsok (maximum 8 db) opcionális csatlakoztatását vagy leágaztatását biztosító csatlakozó egységet és két darab, a NONEL jelvezeték kábeldobról történő le- és feltekerését megkönnyítő műanyag fogantyút is.

Az AUSTIN gyártmányú katonai NONEL gyújtórendszer eltérő sajátossága, hogy az SRNA R–1 típusjelű, többször felhasználható kézi elsütő mechanizmus nincs az indítókhöz készletezve.

Az alap-változat 17-től 6000 ms-ig terjedő kéleltetést biztosító gyutacs sorozatából, a Magyar Honvédség mindössze az 500 ms kéleltetésű gyutacsot vette meg 4.2, illetve 7.8 m-es vezeték hosszúsággal, valamint a 25 ms kéleltetésű hurokkapcsolót, mellyel a robbantó hálózat leágazásait tudjuk kéleltetni.

A NORABEL gyártmányú katonai NONEL rendszert egyaránt szerelték a primer robbanóanyagot nem tartalmazó, nagyon biztonságosan kezelhető NPED gyutaccsal, valamint hagyományos gyutacsokkal is. A MH által beszerzett NONEL eszközök közül, az első tétel NORABEL volt NPED gyutacsos. Sajnos az ezt követő két tétel AUSTIN gyújtórendszer hagyományos gyutacsokkal készült.

A Magyar Honvédségben rendszeresített NONEL rendszerű iniciáló eszközök kínálta új lehetőségekről egy korábbi cikkemben írtam<sup>66</sup>.

<sup>65</sup> a BRW-F villamos gyutacséval együtt

<sup>66</sup> A Magyar Honvédségnél rendszeresített NONEL gyújtási rendszer alkalmazása, különös tekintettel a környezetkímélő robbantásokra, Műszaki Katonai Közlöny 2006/1-4. összevont szám

Az alkalmazott robbantószerkezetek tekintetében kevésbé figyelhető meg éles változás a vizsgált, több mint egy évszázad alatt, mint azt a robbanóanyagok terén tapasztaljuk. A durranóhiganyos robbantógyutacsot felváltotta az ólomazid alaptöltetű, de ugyanúgy 8-as erősségű gyutacs. A robbantási munkák során azonban továbbra is ez maradt a legérzékenyebb elem a biztonság szempontjából. A szinte teljesen kezelésbiztosnak tekinthető NPED gyutacs – bár egyre inkább elterjedt az ipari robbantástechnikában – pont a leginkább érintettnek tekinthető katonai robbantástechnikában nem jelent meg eddig, legalább is hazánkban.

Az időzített gyújtózsín és a robbanózsín kezelésének, alkalmazásának előírásai szinte semmit nem változtak a kezdetektől napjainkig. A napi élet által kikényszerített szabályok „rendszersemlegesek”, a lehető legnagyobb biztonságot szolgálják.

A villamos gyújtás kérdése azért különleges, mert az elveket tekintve itt sincs radikális változás az egyes korokban alkalmazott robbantószerkezetnél, mindössze a technikai fejlődés figyelhető meg úgy a gyutacsok, mint a robbantógépek tekintetében. Talán itt a legnagyobb a lemaradása a hazai katonai robbantástechnikának, az iparihoz képest. Mit értünk ez alatt?

Az elfogadható, hogy egy alapvetően támadó doktrínájú hadsereg, nem képes az ipari robbantástechnikában már hosszú évtizedek óta alkalmazott, késleltetett működésű villamos gyutacs sorozatokat tárolni, és a csapatokhoz az adott feladat támasztotta igények szerint kiszállítani. Ráadásul a késleltető pirotechnikai elegy korlátozott garancia ideje miatt, a hosszú idejű tárolás (tartalékképzés) sem megoldható. Viszont az már kevésbé érthető, hogy akkor, amikor a külső késleltetésű robbantógépek által, a rendszeresített pillanathatású gyutacsok segítségével is lehetőség adódik a robbantandó töltetek iniciálási idejének pontos szabályozására, akkor a Magyar Honvédség miért nem él ezzel. A kor új kihívásait szem előtt tartva – véleményem szerint – igenis szakmai lemaradásban vagyunk ezen a téren.

1995-ös kandidátusi disszertációm<sup>67</sup> már javasoltam ilyen robbantógépek rendszerbe állítását, a már akkor is leváltásra érett RKA robbantógépek helyett. A – legalább is részleges – váltást, végül is kikényszerítette az irányított repesztöltetek rendszerbe állítása. Viszont ezzel együtt egy nagy lehetőséget szalasztottunk el: a TER-6 többcsatornás robbantógép hazai kifejlesztése és rendszerbe állítása tálcán kínálta a lehetőséget, a külső késleltetésű robbantás megvalósításához is. Több szakmai fórumon hiába hangoztatott és indokolt véleményem nem talált meghallgatásra: talán takarékosági szempont vezérelhette a megrendelőt. Így végül is nem került e gépbe az ehhez szükséges elektronika, de ez által (összességében) többet veszített a Magyar Honvédség. A NONEL rendszer hazai katonai alkalmazásának lehetséges előnyeit bemutató, korábban hivatkozott cikkemben, számításokkal bizonyítottam az egyes töltetek késleltetett indításának fontosságát úgy a környezetkímélő robbantások, mint a felhasználandó robbanóanyaggal történő takarékoság szempontjából.

Az egyedüli forradalmi változást, a katonai NONEL gyújtási rendszer bevezetése jelentette a Magyar Honvédség robbantószerkezei közé. Tekintve, hogy ezzel együtt egy-egy késleltetési fokozat is beszerzésre került úgy a kapcsolók, mint a gyutacsok tekintetében, a fent jelzett hiány – részben –

---

<sup>67</sup> A magyar honvédségnél alkalmazott robbantási eljárások és robbanóanyagok legfontosabb részterületei fejlődésének vizsgálata és a továbbfejlesztés javasolt irányai – Zrínyi Miklós katonai Akadémia, 1995.

megoldódott. Gondokat viszont továbbra is látok.

Egyrészt a NONEL rendszerrel való robbantás sokkal többbe kerül, mint a külső késleltetésű robbantógép által vezérelt, pillanathatású villamos gyutacsok alkalmazása. Továbbra is kérdéses, a pont szükséges fajtájú és mennyiségű robbantószerke, megfelelő időpontra és helyre történő kiszállításának biztosítottasága. A várható robbantási feladataink során ráadásul nem is igazán tudjuk kihasználni a NONEL rendszernek azon hatalmas előnyét, hogy szinte korlátlan számú késleltetési fokozatú és méretű hálózat készíthető belőle, mely akár egy szerelt gyutaccsal is iniciálható.

Másrészt hiányzik az a szakmai útmutató (segédlet), mely a műszaki parancsnok munkáját megkönnyítené a robbantási szakfeladat tervezése során: hol, hogyan, milyen késleltetési fokozatokkal alkalmazza a NONEL hálózatot? E nélkül sajnos elvész a lényeg, a pontosabb, környezetkímélőbb és robbanóanyag-takarékos robbantás végrehajtása, mely, pl. egy békemisszióban, de akár egy rendkívüli (katasztrófa) helyzetben végrehajtandó robbantásnál is, már igenis fontos szempont!

***TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „ A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”***

***„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”***

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] ARDAY Géza m. kir. honvédszázados: A lőpor és robbanó anyagok technológiája és történeti fejlődése, Szent Erzsébet Nyomda Részvénytársaság, Kassa, 1910.
- [2] BASSA, R.- KUN, L.: Robbantástechnikai kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.
- [3] BOHUS G. – HORVÁTH Z.– PAPP J.: Ipari robbantástechnika, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
- [4] FÖLDESI JÁNOS: Az AUSTIN POWDER CO. E\*-Star elektronikusan programozható villamos gyutacsának előnyei a gyakorlatban, Műszaki Katonai Közlöny XX. évfolyam 1-4. összevont szám, 2010. pp. 197-215.
- [5] SCHAFFER Antal: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve, Pallas Rt., Budapest, 1903.
- [6] LUKÁCS László: A katonai robbantástechnika és a környezetvédelem - egyetemi jegyzet, ZMNE Hadtudományi kar, Műszaki harcászati-hadműveleti tanszék, Budapest, 1997.
- [7] Vezérfonal az utászszolgálat oktatásához – fordítás, Pallas Irodalmi és Nyomdai Rt., Budapest, 1899.
- [8] E-23. Műszaki oktatás a m. kir. honvéd lovasság utász-szakaszai és század-utászai számára, Pallas Irodalmi és Nyomdai Részvénytársaság, Budapest, 1902.
- [9] E-32 (Műsz. okt.): Műszaki oktatás a nem műszaki csapatok számára + Ábrafüzet, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1926.
- [10] E-34 (Műsz. okt. műsz.): Műszaki oktatás a műszaki csapatok számára, 2. Füzet - Robbantások I. rész, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1928.
- [11] E-34 (Műsz. okt. műsz.): Műszaki oktatás a műszaki csapatok számára, 2. Füzet - Robbantások II. rész + Melléletek, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1928-1929.
- [12] Robbantási segédlet, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1950.
- [13] E-mű.1. Ideiglenes robbantási utasítás, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1950.
- [14] Robbantások, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1953.
- [15] Mű/2. Robbantási utasítás, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1965.
- [16] Mű/213. Robbantási utasítás, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1971.
- [17] Mű/243. Műszaki szakutasítás a nem műszaki alegységek számára, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1978.
- [18] 13/2010. (III.4.) KHEM rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról
- [19] 9169/eln. körrendelet (1906. 10. 15.) Durranó gyújtózsineg 03 mintájú rendszeresítése, Rendeleti Közlöny 1906., 404. o.
- [20] 88.533/eln. 7/m.-1942 körrendelet (1942. 06. 27.) a 42. M. utász gyutacs rendszeresítésére, Honvédelmi Közlöny 1942. 29. szám, 323. o.

- 
- [21] 89.082/el. 7/m.-1942 körrendelet (1942. 08. 29) Elektromos gyutacs rendszeresítése (,42 M. elektromos gyutacs a 35 M. izzógyújtó és a 42 M. elektromos szerelt gyutacs a 35 M. szerelt izzógyújtó helyett), Honvédségi Közlöny 1942. 39. szám, 412. o.
- [22] 37/2000. (HK 8.) SZVK MŰV rendelkezés: az RG utászgyutacs felhasználásának, alkalmazásának, tárolásának szabályozása
- [23] 210/2000. (HK 15.) SZVK MŰF rendelkezés: Az RG utászgyutacs alkalmazásba vétele, 974. o.
- [24] 569/97/2003/TH. (HK 26.) HM határozat rendszeresítésre/kivonásra kerülő haditechnikai eszközökről és hadfelszerelési anyagokról - BRW (F) típusú villamos gyutacs és NONEL gyújtórendszer
- [25] 838/2006. (HK 23.) MH ÖLTPK intézkedés, a Harckocsi és gyalogság elleni akadályrendszerek anyagainak és eszközeinek, valamint az új típusú harcanyagok kezelése és karbantartása című főnökségi kiadvány megjelentetéséről
- [26] LUKÁCS László: A Magyar Honvédségnél rendszeresített NONEL gyújtási rendszer alkalmazása, különös tekintettel a környezetkímélő robbantásokra, Műszaki Katonai Közlöny 2006/1-4. összevont szám
- [27] KOVÁCS Zoltán: Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai – Műszaki Katonai Közlöny XXII. évf. 2. szám, 2012. pp. 37-52.
- [28] DARUKA Norbert: Terroristák és taktikák, avagy védekezz ha tudsz - Repüléstudományi Közlemények Konferencia Különszám, 2012. 2. szám, pp. 33-41.
- [29] DARUKA Norbert: Bűnös célú robbanószerkezetek alkalmazásának és hatástalanításának sajátosságai – Műszaki Katonai Közlöny XXII. Évf. TÁMOP Különszám, 2012. pp. 26-34.
- [30] Robbantástechnikai terminológia – A robbantástechnika időszerű kérdései 5. sz. füzet OMBKE Robbantástechnikai szakbizottság kiadványa, Budapest, 1980.



Román Zsolt<sup>1</sup> – Nagy Róbert<sup>2</sup>

## NAGYSZABÁSÚ ROBBANTÁSOS MERÉNYLETEK JELLEMZŐI A KÖZEL-KELETI HADSZÍNTEREK ALAPJÁN<sup>3</sup>

*Az utóbbi években a közel-keleti erőszakos robbantások többségét autóbombás öngyilkos merényletek formájában követték el. Ezeknek a nagyszabású robbantásoknak gyakran városi környezetben elhelyezkedő épületek a célpontjai. A támadásokról és azok előkészületeiről készült video felvételek katonai szempontból igen hasznosak lehetnek. Jelen cikk célja, hogy tanulságokat vonjon le az említett támadásokra vonatkozóan: az autóbombákban használt töltet tömege, a szerkezeti elemek viselkedése és a lehetséges védelmi lehetőségek is vizsgálatra kerülnek.*

### **PROPERTIES OF SVBIED ATTACKS AND RELATED BUILDING DAMAGES BASED ON MIDDLE EAST CONFLICTS**

*In recent years, violent purpose bombings mainly consisted of suicide attackers using car bombs in the Middle East. These large scale bombings are usually carried out against buildings in urban environment. Video footages of the preparations and the attacks are very valuable from a military point of view. The aim of this paper is to draw conclusions on the properties of these attacks: the general charge weight of VBIED is approximated, and we point out some important issues regarding structural response and protection methods against these blast effects.*

## 1. A VIZSGÁLT TÁMADÁSOK BESOROLÁSA

Az általában robbantásos merényletnek, vagy terrorista robbantásoknak nevezett akciók között többféle szempontból is különbséget lehet tenni. Egyik szempont a térség, ahol a támadást végrehajtják, másik szempont az elkövetők ideológiai háttere, avagy az indíték, de megkülönböztető szempont lehet a támadás célpontja is. Nagy jelentőségű az a gyakran használt megkülönböztetés is, amikor a támadáshoz felhasznált robbanóanyag mennyisége és egyéb elkövetési módhoz köthető jellemzők alapján kerülnek összehasonlításra a merényletek.

Jelen cikk keretein belül ez utóbbi szempont alaposabb tanulmányozásának következtetései, megállapításai kerülnek bemutatásra. A tanulmányozás alapjául – egyedi módon – a rendelkezésre álló videofelvételek szolgálnak. Nem teszünk különbséget az elkövetési helyszínek között, de a támadások gyakorisága, és az időszerűség miatt összességében csak a közel-keleti helyszíneket vesszük alapul, így csecsenföldi, iraki, algériai és afganisztáni merényletekkel foglalkozunk.

A videofelvételek forrásai egyrészt a támaszpontok biztonsági kameráinak felvételei, média felvételek, másrészt – és nagyobb részt – a terrorista csoportok sajátkészítésű propaganda felvételei. Utóbbiból esetenként betekintést kaphatunk az autóbomba összeszerelésébe, és lehetővé válik a használt eljárások, robbanóanyagok jellegére vonatkozó információk megismerése is.

<sup>1</sup> MSc okleveles építőmérnök, Phd hallgató, NKE Katonai Műszaki Doktori Iskola, zsolt.roman@ymail.com

<sup>2</sup> MSc okleveles építőmérnök, Phd hallgató, NKE Katonai Műszaki Doktori Iskola, nagy.robi.86@gmail.com

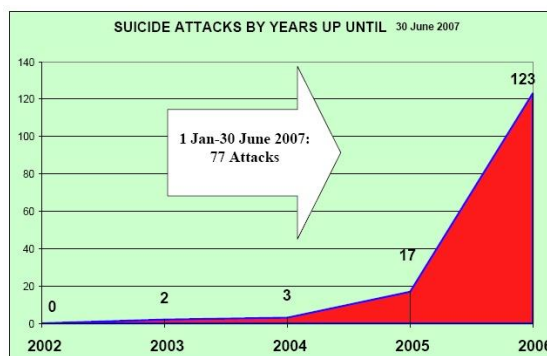
<sup>3</sup> Lektorálta: Prof. dr. Lukács László, egyetemi tanár, NKE HHK, lukacs.laszlo@uni-nke.hu

## 2. A TÁMADÁSOK HÁTTERE

Az első öngyilkos merényletek még jóval 2001. szeptember 11-e előtt megjelentek a modern történelemben, azonban gyakorivá válásuk a jellemzően iszlám szélsőségekkel küzdő térségek 21. századi jelensége lett. Gépjárművekbe rejtett bombával már az IRA is hajtott végre támadásokat, ám ezek nem öngyilkos merényletek voltak. Volt eset, hogy telefonon értesítették a hatóságokat a robbantásról, hogy legyen idő a környék evakuálására (1996-os IRA támadás Manchesterben). Ebben az esetben az anyagi károkozás, a figyelemfelkeltés, és a brit kormány tekintélyének gyengítése volt a cél. Ettől eltérően az iszlám szélsőségesek támadásai egyértelműen emberi áldozatokra összpontosítanak, melyet jól kifejez a 9/11-es támadások egyik résztvevőjének, Wail al-Shihri-nek a kijelentése:

*„... és mikor elkezdtünk azután kutatni ... hogy mi gyengíti őket a legjobban, és mivel húzhatjuk át számításainkat, úgy találtuk, hogy az öngyilkos merénylettel tudjuk a legjobban terrorizálni az ellenséget, és a legnagyobb csapást mérni rájuk. Különösen akkor, amikor a hagyományos támadások már nem kivitelezhetők.”*

Akár Csecsenföldön, akár Irakban, akár Afganisztánban történt robbantásokról beszélünk, minden esetben iszlám szélsőségesek az elkövetők, mégis, árnyalatnyi különbségek vannak a térségek között. Csecsenföldön az öngyilkos merénylők indíttatása elsősorban bosszúvágy az orosz-csecsen háborúban elszendvedett sérelmekért. Az elkövetők többsége jellemzően nem propagálja ideológiai megfontolásait a támadások előtt, vagy után, ami szintén inkább bosszúállást sejteti a háttérben, és nem ideológiai fanatizmust. A jellemző célpontok az orosz kormányhivatalok, katonai konvojok, katonai objektumok voltak.



1. ábra Az afganisztáni öngyilkos merényletek száma 2002-2007 [4]

A 80-as, 90-es években történt nagy robbantásos merényletekért (1993 WTC, 1996 Khobar, 1998 Nairobi) az Al-Kaida és ideológiai szövetségeseik voltak a felelősök. Az afganisztáni hadszíntér 2001-es megnyitása óta a tálib felkelők, és a szomszédos, törzsi területeken rejtőző Al-Kaida egymással karöltve nagyszabású öngyilkos merényletek sorozatát követte már el, és a támadások száma folyamatosan növekszik (1. ábra). Az elkövetők motivációja alapvetően az ideológiai fanatizmusban gyökerezik, ennek megfelelően gyakran készítenek felvételeket, egyrészt toborzási, propaganda célokra, másrészt a nézeteik népszerűsítésére, üzeneteik célba juttatására. A térség földrajzi adottságainak megfelelően sok az elhagyatott területen létesített támaszpont, így a támadások egy része ilyen elszigetelt célpontok ellen történik, ugyanakkor nem riadnak vissza a civilek áldozatokat követelő városi robbantásoktól sem.

Irakban a háború megkezdése után a megdöntött rezsim hívei alkották az ellenség magvát, majd ez 2005-től, az Al-Kaida beszivárgásával megváltozott. A háború legintenzívebb időszakában - néhány éven keresztül - Irakban két különböző ideológiát valló irányzat harcolt a szövetséges erők ellen. Egyik a „nemzetinek” hívott vonal, amely mérsékeltabb, magát hazafiainak tituláló csoportokat ölelt fel, a másik a többnyire külföldi Al-Kaida tagokból álló, a nemzetközi terror-szervezethez köthető csoportok összessége. Míg előbbieket igyekeztek fenntartani magukról azt a képet, hogy ők nem gyilkolnak ártatlanokat, addig az Al-Kaida erőszakkal szerzett lakossági „támogatást” magának, alapvetően a terrort használta eszközként mind a lakosság, mind a szövetséges erők ellen. Az Al-Kaida támadásai rendszerint ártatlan áldozatokkal jártak, és gyakran alkalmaztak öngyilkos merényleteket, míg a „nemzeti”-nek hívott csoportok részéről efféle nagyszabású robbantásos merénylet nem volt tapasztalható.

Az algériai merényleteket szintén egy olyan csoport (GSPC) követi el, amely az algériai polgárháborút követően szövetségre lépett az Al-Kaidával, és a támadások módja, valamint minden körülmény jelentős hasonlóságot mutat a más térségekben elkövetett Al-Kaida merényletekkel.

Összességében megállapítható, hogy az öngyilkos merényletek hátterében ma szinte kizárólag az Al-Kaidához köthető vallási fanatizmus jegyében támadó személyek vannak, akik kifejezetten halálos áldozatokat akarnak okozni. Meg lehet különböztetni általános terror céllal elkövetett támadást (2004 Madrid, 2010 Moszkva) és katonai erők ellen elkövetett támadást, de az építmények védelmét, és a robbanások hatását illetően nincs különbség a merényletek között.

### 3. AZ AUTÓBOMBA (VBIED) ÖSSZEÁLLÍTÁSA

Mind a három felsorolt térségben a háborúkat megelőző időszakban a szovjet haditechnika volt elterjedt, így a háború megindulásakor ezek a hadianyagok váltak a merényletek számára elérhetővé. Az aknagránátok és tüzérségi lőszer mellett házilag készített robbanóanyagok is alkalmazásra kerülnek. A házi készítésű robbanóanyag inkább a hadianyag bombává alakításában játszik szerepet. Az aknagránátokból kiszerelelik a gyújtót és az indítótöltetet, majd furatot készítenek a robbanóanyagba. A furatba robbanó gyújtózsínort helyeznek, majd a meglévő ürt a házi készítésű robbanóanyaggal töltik ki (2. ábra). Az így elkészített aknagránátokat robbanó gyújtózsínórral sorba kötve tetszőleges tömegű robbanószerkezet alakítható ki, mely önmagában is komoly repeszhatást tud kifejteni.



2. ábra Tüzérségi lövedékek és gázpalackok átalakítása IED-vé - Irak





3. ábra Átalakított, sorba kötött aknagránátok - Afganisztán

Az átalakított robbanófejek nagy mennyiségben elrejtethők egy autóban, de néhány darab még motoron is elrejtethető (4. ábra). Teherautók esetében (5-6. ábrák) már nehezebb a plató vagy billencs tartalmának elrejtése, tehát könnyebben ki is szűrhető egy esetleges idő előtti igazoltatás vagy ellenőrzés alkalmával.



4. ábra Átalakított, sorba kötött aknagránátok - Afganisztán

Szintén megtalálható a könnyen elkészíthető ANFO is az autóbombákban (5-6. ábrák), valamint felbukkan a páncélozott járművek elleni alkalmazásra gyártott akna is, de ezt gyakrabban alkalmazzák útmenti robbantások során (IED). A terroristák célja a minél nagyobb pusztítás elérése, ezért gyakran helyeznek el gázpalackokat, gyúlékony anyagokat a járműben (5. ábra).



2. ábra Teherautó platóján elhelyezett gázpalackok, ANFO hordók - Irak



6. ábra ANFO zsákok, és kannák kisteherautók rakterében - Afganisztán, Irak

A robbanóanyag detonálása előre elkészített elektromos kapcsolóval történik (7. ábra), ami a robbanó gyújtózsínőn keresztül közel egyszerre hozza működésbe az elkülönített, sorba kötött tölteteket.



7. ábra VBIED-t detonáló elektromos kapcsoló az utastérben - Afganisztán, Irak

A felvételek alapján becslést lehet tenni a különböző kategóriájú VBIED-k robbanóanyag mennyiségére vonatkozóan, melyek némileg eltérést mutatnak az amerikai ATF hivatal által kiadott segédletben foglaltakhoz képest (1. táblázat). A robbanóanyag mennyiség becsléséhez a 2. és 3. táblázatban foglalt adatokra támaszkodunk, amely néhány elterjedtebb szovjet lőszer-, és gránát-típust tartalmaz.

ATF	Vehicle Description	Maximum Explosives Capacity	Lethal Air Blast Range	Minimum Evacuation Distance	Falling Glass Hazard
	Compact Sedan	500 pounds 227 Kilos (In Trunk)	100 Feet 30 Meters	1,500 Feet 457 Meters	1,250 Feet 381 Meters
	Full Size Sedan	1,000 Pounds 455 Kilos (In Trunk)	125 Feet 38 Meters	1,750 Feet 534 Meters	1,750 Feet 534 Meters
	Passenger Van or Cargo Van	4,000 Pounds 1,818 Kilos	200 Feet 61 Meters	2,750 Feet 838 Meters	2,750 Feet 838 Meters
	Small Box Van (14 Ft. box)	10,000 Pounds 4,545 Kilos	300 Feet 91 Meters	3,750 Feet 1,143 Meters	3,750 Feet 1,143 Meters
	Box Van or Water/Fuel Truck	30,000 Pounds 13,636 Kilos	450 Feet 137 Meters	6,500 Feet 1,982 Meters	6,500 Feet 1,982 Meters
	Semi-Trailer	60,000 Pounds 27,273 Kilos	600 Feet 183 Meters	7,000 Feet 2,134 Meters	7,000 Feet 2,134 Meters

1. táblázat VBIED-k feltételezendő robbanóanyag mennyiségei [7]





Űrméret	Típusjelzés	Töltet tömege [kg]	Robbanóanyag		Hossza [mm]
122mm	OF462	3.68	TNT	Amatol 40/60	560
	OF471H	3.8	TNT		
	OF471	3.6	TNT		
152mm	OF530	6.86	TNT		650
	OF550	7.00	TNT		
	OF551	6.53	TNT		
	F533 (rég)	8.00	TNT		
	OF540	6.25	TNT		
	F542(rég)	5.86	TNT		

2. táblázat Tüzérségi lövedékek adatai [1][2]

Űrméret	Típusjelzés	Töltet tömege [kg]	Robbanóanyag		Hossza [mm]
82mm	O832	0.4	TNT	Schneiderite	313
	O832DU	0.435	TNT	Dinitronaftalin	330
120mm	OF843	2.67(TNT)/1.58(Amatol)	TNT	Amatol 40/60	656
	OF843B	1.4	TNT	Dinitronaftalin	668
	F843	3.9	TNT		750

3. táblázat Aknagránátok adatai [1][2]

	Aknagránát	Tüzérségi lövedék	ANFO, egyéb	Gázpalack	Összesen (kg)
Motorkerékpár	4				1.6
Személygépjármű	120				468
	80				32
			2 zsák		40
		30			114
	120			3	-
Mikrobusz		8	6 hordó		1076
			csövek		500
			4 hordó		510
			csövek		750
Teherautó		20	4	15	820
			40 kanna		600
			50 zsák		750

4. táblázat A felvételek alapján megállapított hozzávetőleges robbanóanyag mennyiség

Látható, hogy az 1. táblázatban jelölt mennyiségektől elmarad az, amit a felvételek mutatnak, kivéve a személygépjármű kategóriát, ahol jó közelítéssel adódott egy mértékadó mennyiség. Természetesen előfordulhat az 1. táblázatban mutatott mértékadó mennyiség a valóságban, ám szükségszerű rámutatni, hogy az esetek többségében ettől elmaradnak a tapasztalt értékek. A robbanások után a szakértők által közölt TNT egyenérték becslések is igazolják a felvételek alapján számolt mennyiségeket, hasonló nagyságrendű adatokat mutatnak, mint a 4. táblázat.

## 4. AZ ELKÖVETÉS MÓDJA

A merényletek kivitelezése egy célponttól távolabb lévő helyről indul, ahol a VBIED összeszerelése is történik. Egy személy - az öngyilkos merénylő - vezeti a járművet. Több felvételen is látható, hogy lőfegyvert is tart magánál a merénylő, tehát egy esetleges megállításkor a támadó a támadás sikerét veszélyeztetve láthatja és a fegyveres ellenállásának veszélyével is számolni kell.



8. ábra Öngyilkos merénylő a volán mögött fegyverrel a kezében

A konvojok elleni támadásoknál is használt elkövetési mód az út szélére leparkolt jármű, melyet a célpont közeledtével robbantanak fel. Ezek a támadások más kategóriába esnek, mint a mozgó járművel megtámadott álló célpontok, mert itt éppen fordított a helyzet: a célpont mozog, és közelíti meg a mozdulatlan járművet, melyet megfelelő pillanatban felrobbantanak. Ezekben az esetekben a később részletezendő védelmi lehetőségek (pl. védőfalak, biztonsági távolságok) nem alkalmazhatók, és a célpontok megerősítése is más technikákkal történik, mert itt többnyire járművek a célpontok, és nem épületek.



9. ábra Mozgó célpont elkövetett öngyilkos merénylet - Afganisztán

Más esetekben – főleg épületek ellen – közös jellemzője a támadásoknak, hogy a támadó a járművet a saját lábán a célpont közelébe igyekszik vezetni, majd detonálni azt. Ez történhet a meglepetés erejével, figyelem eltereléssel, lassan és gyorsan is. A felvételekből kitűnik, hogy a védett objektum környezetének kellő védelme, lezárása életbevágóan fontos. Mi sem támasztja ezt jobban alá, mint azok a felvételek, melyeken a támadó kihasználva az objektum védtelenségét, a meglepetés erejével nagy sebességgel közelít, és szinte közvetlen közelségből detonál

(10. ábra). Bár az esetekről konkrét beszámolók nem maradtak fent, illetve a szerző által nem ismeretesek, a robbanás közelségének jelentőségét ismerve, - de szemléletből is - eldönthető, hogy valószínűleg nemcsak az épületben, hanem a páncélozott járművekben tartózkodók életébe is került a szükséges védelem kialakításának elmulasztása.



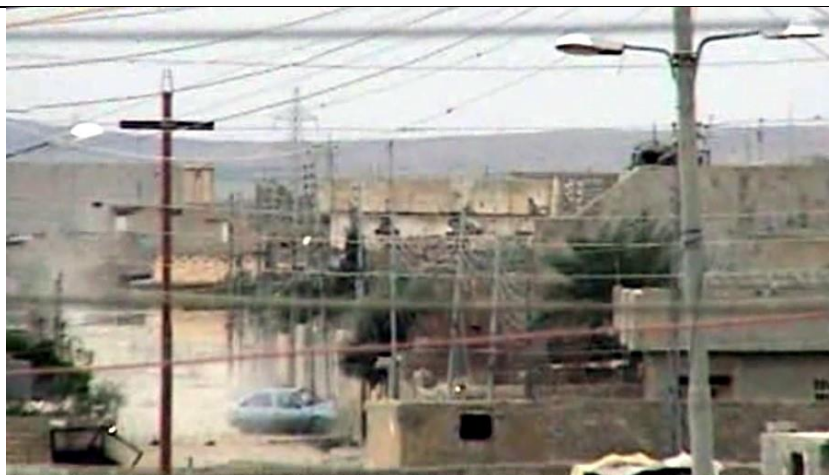
10. ábra Védetlen ellenőrzőpont ellen elkövetett SVBIED támadás - Irak

Van, amikor a támadók két járművet is indítanak a célpont ellen. Ekkor még ha az első járművet fel is tartóztatják, robbanása után a másodiknak már esélye van közelebb kerülni az objektumhoz. Az első jármű egyfajta „faltörő kosként” is működhet, ami áttöri a védelmet. Amennyiben mindkét robbanás az épület közelében történik, az nagyságrendekkel növeli a rombolást. A szerkezeti elemeket külön robbanás elleni tervezés során is úgy tervezik, hogy bár állékony maradjon a globális szerkezet, de a szerkezeti elem (fal, oszlop) a lehető legtöbb energiát elnyelve alakváltozzon. Így elérhető a gazdaságos megoldás, ám egy második hasonló erejű hatással szembeni teherbírás megléte kérdéses.

Vannak esetek, amikor az objektum védelme hatásosnak bizonyul, és a terrorista elakad, mielőtt közel kerülne az objektumhoz (12. ábra). Ezekben az esetekben a támadás célpontjával szolgáló objektum lényegesen kisebb károkat szenved. Más esetekben megfigyelhető a merénylet jól megtervezett jellege: a merénylőnek társai vannak, akik segítik az objektumhoz való közelebb jutását. Ez történhet az imént említett módon, egy „faltörő kosként” előre küldött autóval, de történhet úgy is, hogy az úton elhelyezett barikádokat kézi erővel távolítják el (11/a. ábra). Ha a védelmi rendszer kialakítására nem fordítottak elég időt és energiát, akkor az szükség esetén nem látja el feladatát, és a támadó akár segítség nélkül is át tud rajta hatolni a gépjárművel (11/b. ábra).



11. ábra A merénylő áttöri a védelmi vonalat - Afganisztán, Irak



12. ábra Támaszpont kapujában elakadt merénylő

Szintén jellemző a szervezett támadásokra az öngyilkos merénylő fedezőtűzzel való támogatása. Ekkor tucatnyi fegyveres egy vagy több pontból kézi fegyverekkel tűz alá veszi az objektumot, így terelve el az azt védő őrök figyelmét. Bizonyos esetekben már ez a fedezőtűz is komoly károkat és áldozatokat követelhet, ha figyelembe vesszük, hogy van, amikor a 7.62-es karabélyok és géppuskák mellett 14.5-es nehézgéppuskát is alkalmaznak. Másik módja a támadás elkövetésének amikor az objektum kézi fegyverekkel való tűz alá helyezése nem csak a robbantás előtt, hanem utána is történik. Bár kicsi a valószínűsége, hogy a lövedékek a robbantást követő mozdulatlan, vagy sérült embereket eltalálják, mégis veszélyt jelenthetnek, például a gyúlékony anyagok, gázok szikrával történő belobbantása által.



13. ábra A megtámadott épület fedezőtűz alatt tartása

Az eddig említett módszerek vegyes alkalmazása történt 2009-ben az Iraki Hadsereg egyik épülete ellen (14. ábra). A támadónak sikerült a teherautót leparkolni a támaszpont előtt, és épségben távozott, majd a többi támadó a kézfegyverekkel indított támadással menekülésre kényszerítette a bent tartózkodókat, és távirányítással robbantották fel a teherautót.





14. ábra Célpont mellé parkolt VBIED-vel kivitelezett támadás - Irak

Kiemelendő példa a robbantás utáni fegyveres támadásra a 2012 június 1-én az Afganisztán és Pakisztán határán fekvő Salerno támaszpont elleni támadás (15. ábra). A tálib fegyveres csoport külön erre a támadásra lett felkészítve, és szervezeten tucatnyi fegyveressel hatoltak be a bázis területére a robbantás után. A támaszponton lévő katonák lélekjelenlétének köszönhetően a kibontakozó heves tűzharcban végül végeztek a támadókkal. Bár az első jelentések arról számoltak be, hogy a támadást áldozatok nélkül visszaverték, később korrigáltak, és 2 halottat, valamint több tucatnyi sebesültet jelentettek.



153. ábra A salerno támaszpont ellen elkövetett robbantás, jobbra a romok mellett behatolni készülő fegyveresek

## 5. A ROBBANÁSOK HATÁSA

### 5.1. Robbanási típusok

A töltetek elhelyezése és a sorba kötés eredményeképpen az autóbomba nem viselkedik tökéletesen központosan detonált töltetként. Külön kutatás témája lehetne az, hogy milyen távolságban válik ekvivalenssé egy hasonló tömegű, központosan detonált TNT gömbtöltethez. A felvételek alapján nem lehetséges arra vonatkozó megállapításokat tenni, hogy a lökeshullám terjedése mennyi aszimmetriát mutat.

Különböző típusú robbanóanyag különböző hatásokat fejthetnek ki. Leginkább a gyúlékony



anyagokat, gázpalackokat tartalmazó robbanásoknál szükséges tekintettel lenni a robbanást követő tűzhatásokra. A gáz halmazállapotú robbanóanyagok robbanási paramétereit nehéz megállapítani, mert nagyban függnék a oxigénnel való vegyítéstől, de a gázpalackok esetében azoknak fizikai robbanása, és az esetlegesen azt követő deflagráció bizonyítottan jóval kisebb erejű, mint a hasonló tömegű TNT [8], és ezt nem szokás figyelembe venni a kockázatelemzéskor, pedig jelentősen módosítja a figyelembe vehető robbanóanyag mennyiségét.

Ezekben az esetekben a lökéshullám által kiváltott hatások kisebbek, a legtöbb kárt a tűz okozza, és az emberekre is külön veszélyt jelent a megégés. Az ilyen robbanások jellemzője a kisebb lökéshullám, és a robbanást követő látványos lángok (16. ábra).

Bár a robbanóanyagok kémiai reakciója során is keletkeznek lángok, az ilyen robbanásokat jellemző nagy lángcsóvák ezzel nem összetéveszthetők, a nagy láng egyértelműen az éghető anyagok belobbanását jelzi. Megjegyzendő, hogy a jármű tankjában mindig van üzemanyag, ami lángra kap a robbanáskor, de ez elhanyagolható a sok külön elhelyezett éghető anyag belobbanásához képest. Épületeink védelme során figyelmet kell tehát szentelni a robbanás elleni tervezés mellett a tűzvédelmi szempontoknak is.



164. ábra Gyúlékony anyagokkal szerelt SVBIED-k robbanásai - Irak

A robbanás látványából hozzávetőlegesen következtetni lehet a felhasznált robbanóanyag összetételére is. A negatív oxigén egyensúlyú robbanóanyagok (tipikusan a TNT ilyen) fekete füsttel robbannak, míg az általában használt házilig készített robbanóanyag (ANFO, HMX, TATP) szürkés, vagy fehér füstöt produkálnak a robbanás során (17. ábra).



17. ábra TNT, ANFO, és házilig készített robbanóanyagok különböző színű robbanásai

Némely robbantásnál megfigyelhető a félgömbszerűen expandáló lökeshullám, mint egy pillanatokig megjelenő felhő (18. ábra). Ez a hatás bizonyos légköri körülmények között jön létre (hideg, vagy magas páratartalom esetén), magyarázata pedig az, hogy a lökeshullám először hirtelen megemeli egy közeg nyomását, majd amikor továbbhalad, mögötte hirtelen leesik a nyomás, és a hirtelen nyomásesés a hőmérséklet esésével a vízpára kicsapódását okozza. Tehát a jelenség nem egy speciális robbanóanyagra, vagy hatásra utal, mindössze a lökeshullám általános jellegének egy érdekes megjelenése, amelyet bizonyos légköri körülmények lehetővé tesznek.



18. ábra A lökeshullám félgömbszerű terjedését mutató pillanatnyi ködfelhő

## 5.2. Épületek és környezetük károsodása

Az épületek romosodását egyértelműen a robbanás közelsége befolyásolja leginkább. Minél közelebb történik a robbanás az épülethez, annál nagyobb rombolást tud véghez vinni. Emberéletet és anyagi károkat tekintve is katasztrófát okoz, ha a merénylőnek sikerül a SVBIED-t az objektum belsejébe juttatnia. Támaszpont esetén ez az udvart jelenti, épület esetén a falakkal közrezárt belső teret. Utóbbi esetben a lökeshullám akármelyik terjedési irányát vizsgáljuk, mindenfelé visszaverődik, és rombol, míg a célpont melletti, vagy tőle távolabbi robbanások esetében csak az egyik irányba való terjedése okoz károkat.

Az Algéria északi partjainál fekvő Dellys városában 2007 szeptember 8-án történt támadás célpontja a partiőrség volt (19. ábra). A felvételen jól kivehető, hogy az objektumot mindössze egy gyengén zárt kapu védte a támadótól, amit a gépjárművel könnyedén át is szakított. A kis méretű könnyűszerkezetes építmények darabokra szakadva repültek a levegőbe. A támadás – amelyhez házi készítésű robbanóanyagot és egy gáztartályt használtak fel – 30 halálos áldozatot és 47 sebesültet hagyott hátra. Az áldozatok magas száma mutatja, hogy a robbanás közelsége még egy gyengébb robbanószerkezet hatását is jelentősen megnöveli.



19. ábra A Dellys-i kikötőben történt robbantás és a maradványai - Algéria

2009 augusztus 17-én az Ingusföld központjának számító Nazran város rendőrsége ellen követtek el öngyilkos merényletet (20. ábra). A rendőrörs védelme több ponton is elégtelennek bizonyult. A kapu gyengesége miatt a támadó gond nélkül tudott az objektum belső területére kerülni, majd a robbanás hatását tovább erősítette az, hogy a rendőrörsön - nem kellő biztonsággal - tárolt robbanóanyag is detonált a robbanás hatására. A támadást bemutató felvételeken a járműben hordók láthatók, ezért valószínűsíthető, hogy ANFO-t használtak a támadás során. A jelentések szerint 400 kg TNT egyenértékű robbanóanyagot használtak fel [9]. Ez nem számít nagy mennyiségnek, de ismét kiemelendő, hogy a robbanás közelsége miatt nagy számú áldozatot követelt. A robbanásban a rendőrörs tetőszerkezete teljesen megsemmisült, és a nyílászárók is beszakadtak. Szintén betörték a környező épületek ablakai is, valószínűleg ez okozta a sérültek nagy számát. Ugyanakkor a rendőrség épületében a felvételek és fényképek alapján komoly szerkezeti kár nem történt. A támadásban 25-en veszítették életüket, és 164-en sebesültek meg. Szintén érdemes rámutatni, hogy a felvétel végén látható a képeken, hogy a robbanás a téglából épült, objektumot határoló védőfalat teljesen lerombolta, az semmilyen védelmet nem nyújtott.



20. ábra A nazrani rendőrség romjai a merénylet után - Oroszország

Számos felvétel tanúskodik arról, hogy az épületek a robbanás hatására az ún. közvetett összeomlás (progressive collapse) folyamatával mennek tönkre. Ez azt jelenti, hogy a robbanás nem globálisan az egész épületet - és annak merevítő rendszerét - terheli túl, hanem a robbanáshoz közel eső gyenge szerkezeti elemeket teszi tönkre. Amennyiben ezek a szerkezeti elemek teherviselőek voltak, akkor a hiányuk miatt a maradék statikai váz az önsúlya alatt állékonyságát veszti. Jellemzően a falazott szerkezetek hajlamosak teljesen tönkremenni, és ezzel elindítani a követett összeomlás folyamatát. Több támadás után a romokról készült felvételeken falazatok darabjait látni, ebből következtethetünk az épület eredeti anyagaira.





215. ábra Közvetett módon összeomlott épületek - Afganisztán, Irak

A nagy erejű robbanásoknál tekintélyes méretű kráterképződés figyelhető meg, amely lakott környezetben a közművek mélységét is meghaladhatja. Erre utalnak a helyszíneken látható vízzel telt robbanási kráterek, pl. a 2009-es Iraki Igazságügyi Minisztérium ellen elkövetett merénylet esetében is (22. ábra).



22. ábra A támadás során a kráterben a közművek is megrongálódhatnak - Irak

A nagy fesztávok miatt a hidak különösen érzékenyek a közeli robbanásokra. Az általános tönkremeneteli forma a pályalemez főtartókkal együtt való merevtestszerű elválása a támasztól. Ez a jelenség olyan támadásoknál is megjelenik, ahol a hídpályán történik a robbantás, és olyan esetben is, amikor a híd mellett, alatt, vagy a hídfőnél lévő ellenőrzőpontnál robbantanak. A 23. ábra a Tigris folyó felett Al-Ruhaiya-nál átívelő hidat mutatja. Ezt a hidat kettős támadás érte, a második támadás a hídfőnél felállított ellenőrzőponton történt, kihasználva az ellenőrzőpont személyzetének zavartságát és meglepettségét. A támadás utáni fotón látható a pillérnél lévő támaszoknál a keresztartók milyen defomációkat szenvedtek az elképesztő erejű lefelé ható

nyomás hatására.



23. ábra A Moszul térségében lévő Tigris hídon történt robbantás

A robbanásoknak nem csak az épületre, hanem az udvaron álló gépjárművekre gyakorolt hatására is figyelemmel kell lenni. A SVBIED-s támadás nem hasonlítható az aknára futás, vagy IED-s támadás hatásaihoz, mert más a térbeli helyzete a járműhöz képest, de az igazi veszély a lökéshullám hatása mellett a kiégés. A 24. ábrán látható, hogy az udvaron lévő páncélozott gépjárművek kiégtek, megsemmisültek, míg az épület tartószerkezete egészben maradt.



246. ábra Robbanás közvetlen közelében lévő kiégett/megrongálódott páncélozott járművek - Irak

A 25. ábrán egy 2008-ban történt, iraki támaszpont elleni támadást láthatunk, amelynek a vasbeton panelekből felállított védőfala többek közt robbanásvédő szerepet is hivatott ellátni. A felvételeken a támadók és a támaszpont felvételei is láthatók. A támaszpont biztonsági kamerájának



felvételén látszik a legjobban, hogy a fal megsemmisül a robbanás következtében, nem lát el lökéshullámot eltérítő szerepet, sőt, a darabjai komoly repeszhatást jelentenek a bázis területén.

A betonfalak mellett népszerű védőfal rendszer a HESCO bástya is, ami általában jobban teljesít, mint a merev betonfalak. Azonban a HESCO rendszer tönkremenetelére is láthatunk példát, például az fentebb említett Iraki Hadsereg támaszpontja ellen elkövetett támadásban (14. ábra) a HESCO bástyák tönkrementek (26. ábra). A 27. ábrán a HESCO bástyák a robbanásra sugárirányban állnak, így egészben maradtak, de a salerno támaszpont elleni támadásban (15. ábra) a fal visszaverő felület volt, és mégis egészben maradt. Ez alapján a HESCO bástyák védelmi ellenálló képessége igazolódva látszik, de fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a salerno támadásban a célpontba vett épület összedőlt, a falak épen maradása ellenére. Ez a példa ékes bizonyítéka annak, hogy mennyire fontos a biztonsági távolságok megtartása különösen akkor, ha nagy nyílt területek állnak rendelkezésre.



25.7 ábra T-Wall típusú vasbeton védőfal tönkremenetele - Irak



26. ábra Lerombolt HESCO bástya robbantás után - Irak

Más támadásokról készült felvételek arról tanúskodnak, hogy bár a szerkezet nem vesztette el állékonyságát, de a robbanás láthatóan komoly pusztítást vitt véghez a beltérben mind a túlnyomás, mind a repeszhatás által. A 27. ábrán látható iraki támadásban nem történt közvetett összeomlás, mert a vasbeton vázas épület tartószerkezete lokálisan nem ment tönkre, bár tekintélyes károkat szenvedett (betonfedés megszűnése, keresztmetszet csökkenések), és sok halálos áldozattal járt, de ezek az áldozatok nem a közvetett összeomlás miatt voltak.



27. ábra Robbantás után állva maradt vasbeton épületek - Irak

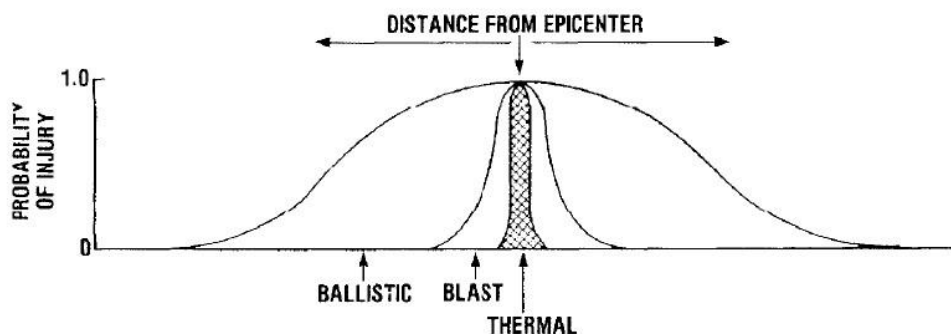
Némely esetben annyira gyengének, vagy távolinak tűnik a robbanás, hogy nevezhetnénk meg-  
hiúsult merényletnek is. Ugyanakkor a lökéshullám jelenlétének, és - kisebb - hatásának a jelei  
esetenként fellelhetők, például a konzolos attikafalak ledőlésében, szabadtetők burkolatának fel-  
szakadásában, vagy elektromos kisülésben. A gyenge kötésű falak ledőlését okozhatja a robbanás  
által kiváltott szeizmikus hatás is, amely a talajon keresztül hozza rezgésbe az integritását veszítő  
falazatot. Azt, hogy a négy oldalú megtámasztással nem rendelkező falfelületek mennyire érzé-  
kenyek a robbanásokkal szemben, mutatja 28. ábra is, ahol a biztonsági kamera felvételén látható  
a robbanás előtt a kis udvari épület előfalának ép, majd a robbanás után a leomlott állapota.



28. ábra Támaszponti épület előfalának leomlása a robbanás következtében - Irak

### 5.3. Emberekre gyakorolt hatások

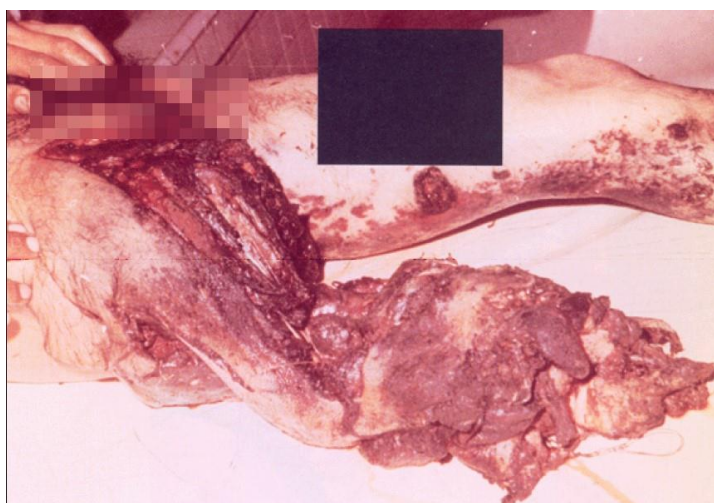
Az embereket több veszély is fenyegeti a nagyszabású robbantások során: a távolság függvé-  
nyében égési, lökéshullám által kiváltott sérülések, valamint repeszérülések léphetnek fel (29.  
ábra). A robbanás közvetlen közelében egyszerre lép fel mind a három hatás, majd kis távolsá-  
gon belül az égési sérülések valószínűsége (az ábrán a sérülési valószínűség a függőleges ten-  
gelyen van ábrázolva) már jelentősen csökken. Még távolabb haladva a lökéshullám által ki-  
váltott sérülések valószínűsége is csökken, és a repeszhatás az, ami még jelentős távolságból is  
komoly sérülésveszélyt jelent.



29. ábra Sérülési típusok valószínűsége a távolság függvényében

A 29. ábrán jelzett égési veszély közvetlenül a robbanás energiájából fakadó égésre utal, erre lehet példa a 30. ábrán látható sérülés. Ez a katona egy tőle alig néhány méterre felrobbant 105mm-es aknagránát miatt vesztette életét. A sérülésen egyaránt megfigyelhető a repeszek okozta roncsolás, és égési nyomok is. Másféle hatásból származik, de a gyúlékony anyagokat tartalmazó robbanásoknál is komoly veszélyt jelent a megégés, még ha a viszonylag kisebb robbanástól távolabb helyezkedik is el az áldozat. A tanulmány alapjául szolgáló felvételek között meg van örökítve olyan támadás is, ahol a tetőn lévő katonát eléri a lángcsóva, és a ruhája lángra kap.

A gyúlékony anyagok által jelentett veszély jól megmutatkozik a járőrökcsik ellen elkövetett robbantások során is, számos alkalommal szenvednek égési sérüléseket az IED-k által megtámadott járművekben utazó katonák.

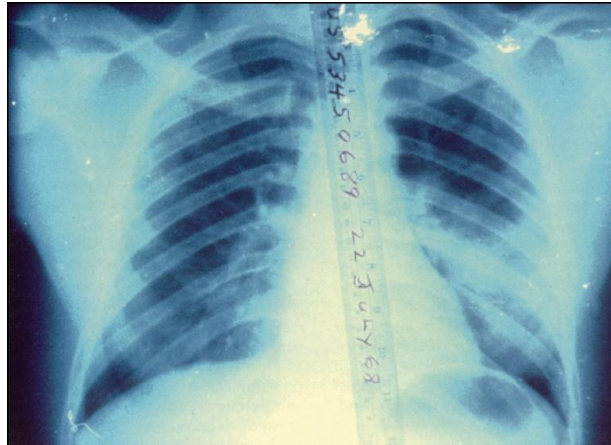


30. ábra Robbanás közeléből származó égési, roncsolási sérülés [5]

A második fő sérülési csoport a lökéshullám által kiváltott hatásokat foglalja magában. Ez jelenthet tüdőkárosodást (31. ábra), dobhártyaszakadást, és a lökéshullám roncsoló hatása is érvényesülhet végtagok leszakadásában, sérüléseiben. Jellemzőek a különböző bevérzési típusok, ödémák. A pakisztáni elnökjelölt, Benazir Bhutto ellen elkövetett merényletben a politikus halálát egy jelentés szerint a robbanás által a fejre mért ütés és belső bevérzés okozta [10]. Másodlagos hatásként az épületek összedőlése is áldozatokat szedhet, a romok alá temetett emberek kis valószínűséggel élnek csak túl a merényletet. Az ember a lökéshullám hatására általában meggöndyvedve a földre esik, nem igazán tapasztalható a filmekből ismert „repülés”, ám ha az ember a töltet fölött áll, akkor a kiemelkedő földtömeg és a kezdeti fázisban lévő expandáló



gázok képesek elemelni a föltől az emberi testet, de általában csak az epicentrummal ellentétes irányban a földhöz csapódik, ekkor főleg a fej sérül (ez a speciális coup-contrecoup sérülés, amikor az agy a koponyacsontnak csapódik). A legnagyobb veszélyt a repeszhatás jelenti. Repeszek keletkeznek az aknagránátok acél házalásából, a gépjárműből, a roncsolódó falakból, ablakokból. A repesz tömege, sebessége, alakja, anyaga és a sérült testrész védelme alapján lehetséges annak eldöntése, hogy a repesz halálos sérülést okoz-e. A repeszhatás miatti sérülés inkább jellemző, mint a halálos sebesülés (amelyet ritkábban ugyan, de a lökeshullámtól szenvednek el az áldozatok). Tipikus repeszszérülések látható a 32. ábrán.



831. ábra Robbanási sérült kétoldali tüdőbevérzése [5]



932. ábra Repeszszérült a 2010-es moszkvai metrórobbantás után



33. ábra Súlyos égési sérüléseket szenvedett katona - Irak

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az öngyilkos merényletek jellemzői kerültek vizsgálatra a közel-keleti hadszíntereken készült video felvételek alapján. Megállapításra került, hogy a valóságban alkalmazott robbanóanyag mennyiségek jelentősen elmaradnak a hivatalosan javasolt feltételezendő mennyiségtől, fele, sőt harmada tapasztalható az ATF táblázatban közölt értékeknek. Az alkalmazott robbanóanyagok az átalakított hadianyagok, nagy mennyiségben előállított ANFO és gázpalackok. Megkülönböztettünk nagy erejű robbanásokat, és kisebb, de inkább tűzveszélyt jelentő robbanásokat.

A terroristák összehangoltan támadnak, fedezőtűz alá veszik a cél objektumot, így az SVBIED gondtalanul közelítheti meg azt. Emiatt az egyetlen igazán effektív védelem az épülettől kellő távolságban felállított védelmi vonal, amelyen az SVBIED nem törhet át. Számolni kell a két merénylőből álló bombázásokra, segítőkre. A kellő biztonsági távolság szükségességét bizonyítja az is, hogy bizonyos esetben a robbanásvédő fal épségben maradása ellenére is romba dőlt a védett épület (Salerno).

Kiemelésre került, hogy a szerkezeti szempontból a közvetett összeomlás miatt történik a legnagyobb kár, ezért pedig a gyenge falazatok tönkremenetele a felelős. Különösen a nem négy élén támasztott falazatok érzékenyek a robbanásokra. A szerkezeti szempontok mellett figyelmet kell fordítani arra is, hogy az emberi élet védelme nem csak a szerkezet állékonyságától függ, hanem a lökéshullám közvetlen, tűz-, illetve repeszhatásaitól.

***TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „ A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”***

***„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”***





---

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SHIROKORAD A. B. A szovjet tüzérség enciklopédiája (Широкоград А. Б. Энциклопедия отечественной артиллерии.) (2000)
- [2] HATALA A., KELEMEN F.: Jegyzet a katonai robbanótestek szerkezetének és működésének megismeréséhez és megértéséhez (2003)
- [3] KURTZ, BARTLES: Chechen suicide bombers (*Journal of Slavic Military Studies*, 20: 529–547, (2007)
- [4] UNAMA (United Nations Assistance Mission to Afghanistan) - Suicide Attacks in Afghanistan (2001-2007)
- [5] BELLAMY, ZAJTCHUK: Pathology of Blast and Impact Injuries - *US Army Dep. of Surgery*
- [6] [http://www.washingtonpost.com/world/national-security/attack-on-us-outpost-in-afghanistan-worse-than-originally-reported/2012/06/16/gJQAlyaihV\\_story.html](http://www.washingtonpost.com/world/national-security/attack-on-us-outpost-in-afghanistan-worse-than-originally-reported/2012/06/16/gJQAlyaihV_story.html)
- [7] *Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosives* - [www.atf.gov](http://www.atf.gov)
- [8] US Department of Homeland Security - Information Bulletin - Compressed Gas Cylinders as Components of IEDs (2004)
- [9] <http://en.rian.ru/russia/20090818/155848718.html>
- [10] [http://www.nytimes.com/2008/02/08/world/asia/08bhutto.html?\\_r=1](http://www.nytimes.com/2008/02/08/world/asia/08bhutto.html?_r=1)

Fenyeres Tamás<sup>1</sup>

## A LÉZERINDUKÁLT KONJUGÁLT POLIMEREK ALKALMAZÁSAI<sup>2</sup>

*A robbanószer detektálásának területén a fluoreszcens konjugált polimerek használatával egy új technológiához juthatunk. Ennek a rövid ideig tartó, nagy érzékenységgel elvégezhető vizsgálatnak az alapja a ma divatos „elektromosan vezető műanyagok” alkalmazása. Az elektrontranszfer fluoreszcencia emisszió teszi lehetővé a veszélyes robbanóanyagok gőzeinek (pl.: TNT, DNT, stb.) kimutatását. Ezt az eljárást már sikeresen tesztelték különböző körülmények között úgy, mint a gépjárművek átvizsgálásánál, az aknafelderítés során, sőt a víz alatti aknafelderítéskor is.*

### APPLICATION OF THE AMPLIFIED FLUORESCENT POLYMERS

*In the field of detection of explosives the fluorescent conjugated polymers leads to a new technology. The basis of this short, highly sensitive test is the use of the currently fashionable “conductive plastics”. The emission of the electron transfer fluorescence makes it possible to reveal the vapor of dangerous, hazardous, and contaminating explosives. This procedure has already been successfully tested under different circumstances such as during checking, and screening mine clearance, even underwater explosive detection.*

## 1. BEVEZETÉS A KONJUGÁLT POLIMEREK KÉMIAJÁBA

A dolgozatomban egy lézerindukált konjugált polimerből készült robbanóanyag detektáló eszközt szeretnék bemutatni. A berendezés működésének az alapjául a konjugált polimerek szolgálnak, amely alkalmas lehet a kritikus infrastruktúra védelmére.

Ezzel az eszközzel, a nitroaromás robbanóanyagok (pl.: TNT, és DNT, stb.) észlelhetők különböző körülmények között. Lezárt konténereken, műanyag fóliákon, vagy akár üvegen keresztül is elvégezhető a vizsgálat. Felhasználható a biztonsági ellenőrző pontokon, az IED és lőszermentés során, és a kiemelt védett személyek biztosításakor, vagy a beavatkozó egységek (fegyveres és rendvédelmi szerveknél) tevékenysége során.

Ha az eszközt önálló egységként működtetjük, akkor is a leegyszerűsített mintabevitel, pontos érzékelés, jelszóval védett konfigurációs beállítás, alkalmas az eszköz biztos használatára.

Az eszköz segítségével kialakított integrált rendszer alkalmas arra, hogy:

- valósidejű, pontos ismeretekkel rendelkezünk a helyszínen lévő robbanóanyagokról;
- képes legyen értékelni, és rangsorolni a fenyegetéseket (pl.: ábrával elkövetett szabotázsról, vagy TNT-vel elkövetett terrorfenyegetésről van szó), valamint képes felismerni a rendszerben lévő biztonsági réseket;
- egyszerű, és jól védett kommunikációs felülettel rendelkezzen.

A legfrissebb tudományos fejlesztéseket felhasználva alakították ki a robbanószer detektáló

<sup>1</sup> tamas.fenyeres@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Lukács László ny. mk. alezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, lukacs.laszlo@uni-nke.hu

berendezések legújabb generációját. Az ehhez szükséges „elektromosan vezető műanyagok” egyre nagyobb teret hódítanak maguknak.

Polimernek nevezzük az ismétlődő egységekből, (Pl. szénhidrogénekből), monomerekből felépülő nagyméretű molekulákat. A polimerek lehetnek természetesek (cellulóz, fehérje stb.), természetes alapú mesterséges anyagok (például viszkóz), vagy a természetben nem előforduló, mesterségesen létrehozott vegyületekből szintetizált polimerek.

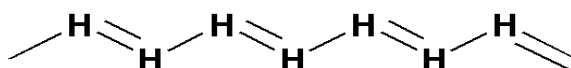
A szerves polimerek szigetelő anyagokként éltek a köztudatban, mígnem az 1970-es években Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid és Hideki Shirakawa sikeresen előállítottak nagy vezetőképességű fajtákat. Habár már korábban is születtek tanulmányok, amelyekben különböző módokon szintetizált polimereket elméleti, illetve kísérleti úton vezetőnek mutattak, mégis igazi érdeklődést Shirakawa poliacetilén szintézise és annak nagy vezetőképességének kimutatása váltott ki. Ekkor több kutatócsoport dolgozott hasonló anyagok előállításán, a vezetés mechanizmusának megértésén, végül Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid és Hideki Shirakawa 2000-ben Nobel-díjat kaptak az elektromosan vezető polimerek felfedezéséért, és fejlesztéséért.

A vezető polimerek kifejezés tulajdonképpen egy gyűjtőnév, hiszen több alcsoportot ismerünk. Egyik lehetséges csoportosítási módja a vezető polimereknek:

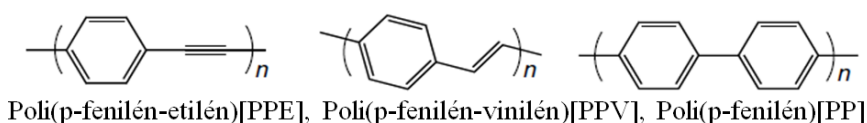
- **ionos vezető polimerek:** Az ionosan vezető polimerek semleges polimer vázzal rendelkeznek, ebben az esetben a polimer láncon belül elmozduló ionok vezetik az áramot. Az ionosan vezető polimereknél a polimer ellenionjának mozgásából származik az elektromos vezetés, mint például a polietilén oxidban lévő lítium ionok;
- **redoxi polimerek:** ezen polimerek vázán belül redoxi centrumok találhatóak, melyek között elektronugrással valósul meg az elektromos vezetés. A redoxi polimerek esetében a kötött redoxi központok közötti elektronátlépés adja az áramot;
- **elektromosan vezető polimerek:** A harmadik nagy csoport, az elektromosan vezető polimerek, amelyek saját szerkezetük miatt vezetnek az elektromos áramot, az ilyen polimerek konjugált kettős kötések tartalmazzák. A dolgozat témája, az utóbbi csoporttal kapcsolatos. Vezető polimer alatt szokás csak ez utóbbi csoportot érteni. A konjugált polimerek is vihetők redoxi reakciókba, ám ennek eredménye az egész polimerre kiterjedő töltésátrendeződés, azaz a vezetés jellege teljesen más, mint az elektronátlépéses esetben, és inkább hasonlít a fémekéhez.

A konjugált polimerek olyan szerves félvezetők, amelyekben a polimer láncban felváltva egyes, (szigma), ill. kettős (Pi) kötések találhatóak. Ezek a váltakozó kötések, egyszerűen értelmezve, az elektronok eltávolításának hatására alakulnak ki, ezáltal a polimerek vezetővé válnak. A félvezetőkben a vezetési tulajdonság meghatározására az elektronoknak van nagy szerepe. Az atomrácsba rendeződő vegyületekben az elektron pályák energiasávokká szélesednek, így jön létre egy vezetési sáv és az alatta elhelyezkedő vegyérték sáv. Egyensúly esetén a pozitív, és a negatív töltések száma megegyezik, így nincs töltés áramlás. Ha a sávon belül vannak betöltetlen energiaszintek, akkor kis energiaközléssel az ezekhez tartozó impulzust felvehetik az elektronok, és így mód van arra, hogy megindulhasson az elektronok áramlása. Ez a helyzet a fémeknél. Ha az elektronsávokban nincs betöltetlen energia szint, az elekt-

ronok csak egy úgynevezett tiltott sáv átlépésével tudnak nagyobb energiájú szintre lépni. Ha ez a tiltott sáv szélessége nagyon nagy, az elektronok képtelenek a sávon keresztül jutni, ezek lesznek a szigetelők. Más anyagok esetében, pl. fény, vagy termikus aktiválás eredményeként az elektronok, a keskeny tiltott sáv esetében könnyen átjutnak a vezetési sávba, így pl. magasabb hőmérsékleten, vagy foto abszorpcióval (fény besugárzással) vezetővé válnak. Ezek lesznek a félvezetők, „lyukvezetők” [1]. Ennek eredményeképpen létrehozható, olyan szerves félvezetők, amelynek a fizikai, optikai, optoelektronikai, és elektrokémiai tulajdonságai a későbbiekben hasznosnak tekinthetők. (1. ábra)



1. ábra: Konjugált szénláncú polimerek



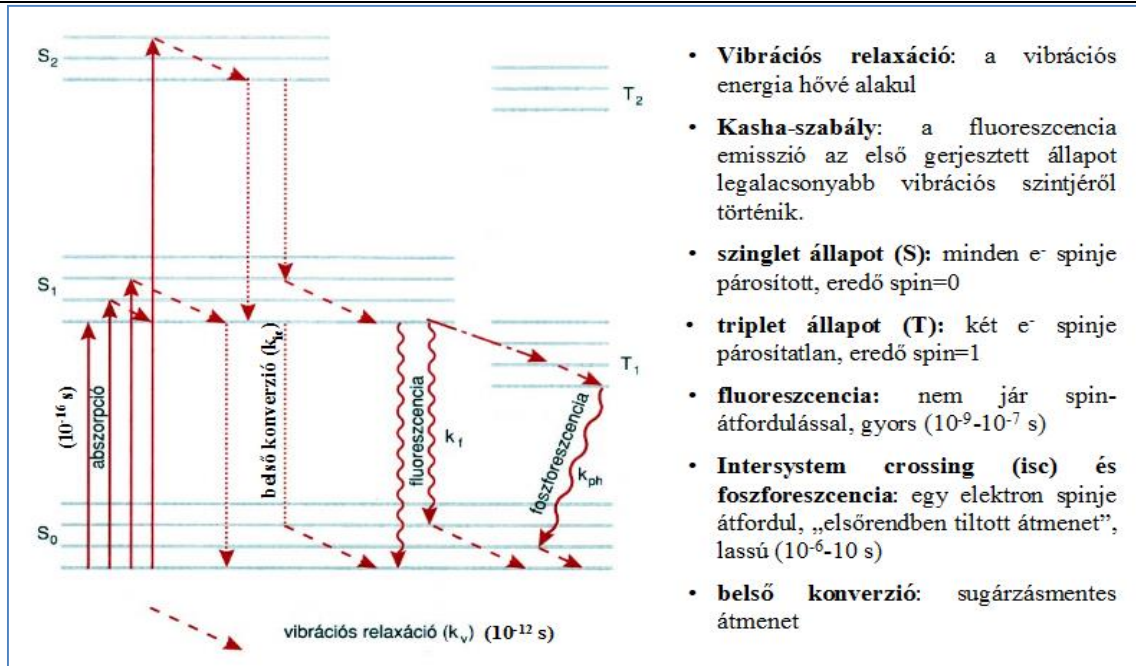
2. ábra A félvezető polimerek csoportosítása az ismétlődési egységeik alapján.[2]

A 2. ábra a félvezető polimerek (konjugált kettős kötések tartalmazó vezető polimerek) ismétlődési egységeik alapján történő csoportosítását szemlélteti. Számos olyan szabadalmi újítás létezik, amely ezekre vonatkozik. A félvezetőket tekintve a konjugált polimerek azonban többet jelentenek, mint strukturális módosítást, velük minőségi előrelépést érhetünk el. Az ezekből megépíthető eszközök közé tartoznak például a térvezérlésű tranzisztorok, fotodiódák, stb., amelyek már több éve a kereskedelmi forgalomban is beszerezhetőek.

## 2. KONJUGÁLT FLUORESZCENS POLIMEREK ÉS SENZOROK (ÉRZÉKELŐK)

A konjugált polimer és a robbanóanyag reakcióját fényjelenség kíséri, melynek segítségével a robbanószerkezetek detektálása történik. Ennek fizikai, kémiai magyarázatát ebben a fejezetben szeretném bemutatni [2][3].

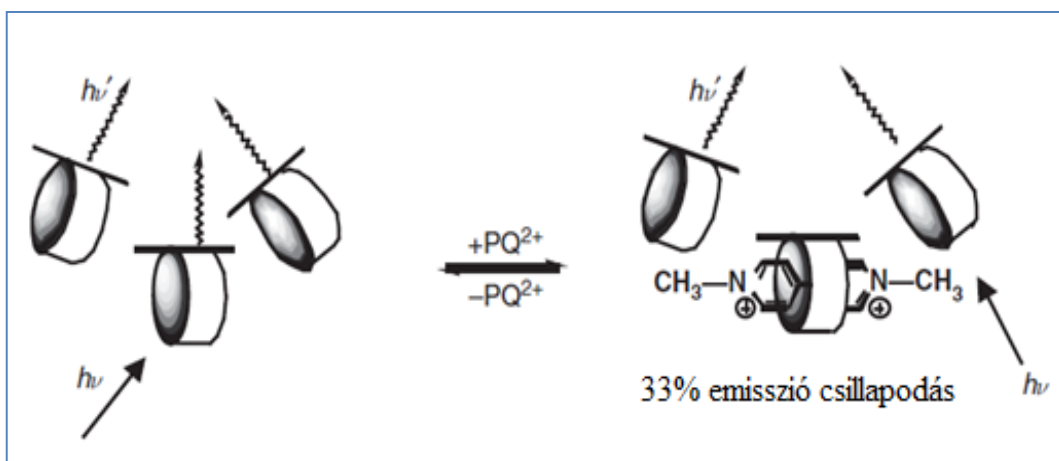
Lumineszcenciának nevezzük a gerjesztett molekulák fényemisszióját (fénykibocsátását), ez az ún. „hideg emisszió”. Ez kétféleképpen mehet végbe. Egyik folyamat a *fluoreszkálás* melynek során egy anyag elnyel (abszorbeál) különböző hullámhosszú elektromágneses sugárzásokat és ennek hatására fényt bocsát ki, a bejövő sugárzástól eltérő hullámhosszon, ez a szinglet-szinglet átmenet. Másik a *foszforeszkálás*, ami nem azonnal sugározza ki azt az energiát, amelyet korábban abszorbeált, ez később alacsonyabb intenzitással történik az eredeti gerjesztéshez képest. Ez a triplet-szinglet („tiltott”) átmenet. A lumineszcencia molekulaszerkezeti értelmezése legjobban Jablonski diagramon ábrázolható. (3. ábra) [4]



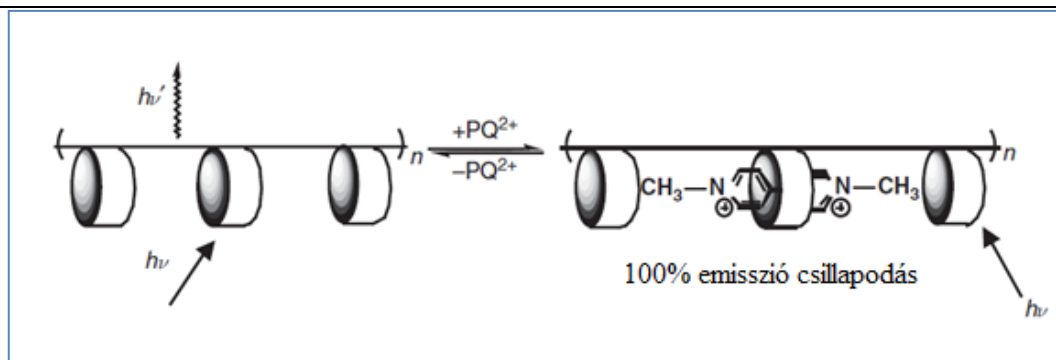
3. ábra Jablonski diagram [4]

A konjugált kettős kötéseket tartalmazó gyűrűkkel rendelkező molekulák képesek fluoreszcens folyamatokra. A polimerekben az elektronok, amikor magasabb energiaszintre lépve átjutnak a vegyérték sávból a vezető sávba, maguk helyett egy hiányzó „lyukat” hagynak, ami ellentétes töltésű. Az elektronok ezeken a helyeken lévő ellentétes töltésű elektron-lyukkal töltéspárt képeznek, ezeket exciton-nak nevezzük. Néhány ilyen exciton a gerjesztett állapotból az alapállapotba való visszatérése során fényt bocsájt ki, ez a fluoreszcencia. A két esemény (az abszorpció és az emisszió) között nagyon rövid idő telik el, (1 ns –s nagyságrendű). Amelynek az oka a konjugált polimereknél a vezetési sáv kialakulása.

Tekintsük azt a két feltételezett helyzetet, amelyet a 4. ábra szemléltet. A felső ábrán az egyes különálló fluoreszcens receptorok, míg az alsó ábrán, ugyanezen receptorok által létrehozott vezetési sáv látható. Ezen túlmenően az analizálandó anyag (szennyező anyag „analit paraquat – PQ”) receptorhoz való kötődéseként a fluoreszcencia emisszió megszűnik. A teljes emisszió intenzitásának csak kismértékű csökkenését okozzák az egyes receptorok, amelyek a vizsgált (analizált) anyagot megkötik. Ez azért van, mert minden exciton rögzítve van egy molekulán, és nem tud kapcsolatba kerülni a másik receptorral.







4. ábra A fluoreszcens receptorok által létrehozott „vezetési sáv” [5]

Ha a receptorok a vezetési sávon keresztül kapcsolódnak, akkor az exciton képes végigmenni az egész összekapcsolódott konjugált polimeren, ez teszi lehetővé a mintavételezést. Az exciton mozgásának mechanizmusa eredményezi a nagymértékű erősítést, mivel egy kötés esetén az egész polimerlánc, amely számos receptort tartalmaz, elbomlik. Ez a jelenség nagyon hasonló ahhoz, amikor néhány izzó sorba van kapcsolva, így ha egy izzó nem világít, akkor egyetlen sorban kapcsolt izzó sem fog világítani. A fluoreszcens szenzoroknak ez a fajta megközelítése igazolta, hogy a poli (p- fenilén-etilén) [PPE] kapcsolódik egy ciklofán analitikummal.

Összefoglalva a konjugált polimer fotoabszorpciója hozza létre az excitont, amely a mintával kötési helyeket alakít ki. A gerjesztett állapot akkor, és csakis akkor figyelhető meg, ha az analizálandó anyag, nem lép kölcsönhatásba az excitonnal (töltéspárral). Ha a vegyület reakcióba lép, akkor az emisszió csillapodása (fényjelenség csökkenése) tapasztalható, és ez a jelcsökkenés (szignáltranszdukciós válasz= kémiai jelátvitel) jelzi az keresett robbanóanyag jelenlétét.

### 3. ELEKTRONTRANSZFER FLUORESZCENCIA KIOLTÁS

Az előzőekben bemutatott fényjelenségek a polimer és a minta kölcsönhatásán alapulnak. Ennek a jelenségnek a létrejöttéhez az előbb említett kémiai jelátvitelre van szükség. (A jel hatására fokozódik, vagy csökken a fluoreszcens jelenség.)

Az elektrontranszfer fluoreszcencia kioltás négy fő mechanizmus szerint történhet:

- a fluoreszkáló donor és egy akceptor molekula közötti dipól-dipól kölcsönhatás révén (Förster-mechanizmus);
- az alapállapotú donor és akceptor közötti spontán elektronátmenet által (Dexter-mechanizmus);
- töltések szétválásával járó elektronátmenet következtében;
- Spin-pálya csatolás során bekövetkező szingulett-triplett átmenet révén.

Az utóbbi szignáltranszdukció nagyon fontos részét képezi ezen kemoszenzor (gázérzékelő) rendszereknek. Még ha csak egyetlen exciton is van, akkor szinte végtelen számú csatlakozási hely áll rendelkezésre. A konjugált polimer érzékelőbe tervezett jel transzdukcióra, (azaz a fizikai, kémiai ingerek elektromos jelekké alakítása) számos mechanizmus létezik.

Ezek egyike az elektrontranszfer indukált fluoreszcencia kioltás (FQ) a jelátvitel az egyik legpraktikusabb és leghatékonyabb eljárása, amely a robbanóanyagok kimutatására is alkalmas. Ez

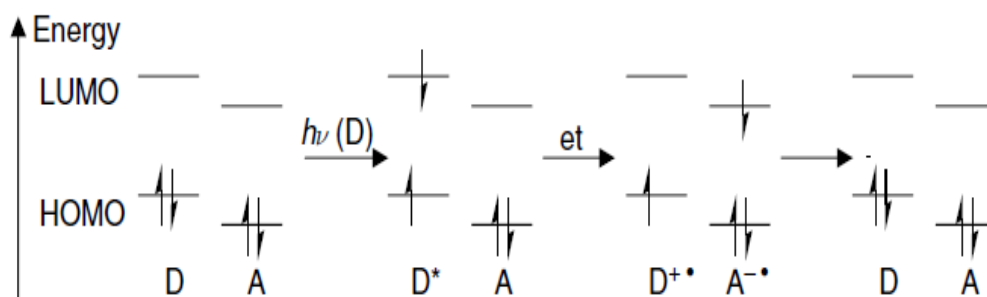
különösen igaz a 2,4,6-trinitrotoluén (TNT) és (DNT) esetében, amelyeket erősen elektronhiányos molekulák alkotnak, és könnyen fogadják a gerjesztett fluoreszcens molekulák elektronjait. A 5. ábra az elektron transzfer fluoreszcencia kioltás sematikus ábráját szemlélteti.

Ezen az egyszerűsített diagram, a legfelső betöltött molekulapályát (HOMO) és a legkisebb energiájú betöltetlen molekulapályát (LUMO) úgy mind az elektron donort és elektron akceptort szemlélteti. Abban az esetben, ha mindkét molekula alapállapotban van, akkor nem rendelkeznek az elektrontranszfer reakcióhoz szükséges energiával.

Ha azonban a donort (D) fotonnal sugározzuk be, és így az a gerjesztett állapotba kerül, az elektronok közül az egyik most a donor LUMO állapotában van LUMO vezetési pályára kerülhet, sokkal magasabb energiával fog rendelkezni.

Mivel az akceptor (A) LUMO állapota alacsonyabb energiaállapot, mint a donor (D) LUMO energiaállapota, és a két állapot közötti energiakülönbség olyan jelentős, amelynek eredményeként a D oxidációjával és az A redukációjával ion-pár jön létre. Mivel a D szingulett gerjesztett állapota megszűnik ebben a reakcióban, és nem emittál (bocsát ki energiát), ezért ez jellemzően a gyorsabb folyamat, mint az A LUMO állapot fordított elektron transzfer folyamata.

Emellett érdemes megjegyezni, hogy a kioltási folyamat az akceptor fluoreszcens elektronja esetén is érvényben marad. A sugárzás hatására az akceptor gerjesztett állapotba kerül, és ebben az esetben az elektron a donor HOMO állapotából kerül az akceptor HOMO állapotába, amelynek eredményeként a (radikális) ion nagyon gyorsan gyengíti az elektron transzfer folyamatot. Ez a folyamat azonban nem figyelhető meg a robbanóanyag felderítése során, mivel a legtöbb fluoreszcens konjugált polimer szabad vegyértékelektronnal rendelkezik, míg a robbanóanyagoknak nincs szabad vegyértékelektronjuk. Ezt a folyamatot szemlélteti a 5. ábra.



5. ábra A legfelső betöltött molekulapálya (HOMO), legkisebb energiájú betöltetlen molekulapálya (LUMO) energia átmenet sematikus ábrája.[6]

Összességében a jó elektron akceptor és a fluoreszcens elektron donor D biztosítja, a fluoreszcencia kioltást. Ha az akceptor A LUMO energia szintje nem alacsonyabb, mint a donor D LUMO energiaszintje, az elektron transzfer folyamat energetikailag kedvezőtlen lesz, és a kioltás nem figyelhető meg. Ez inkább minőségi összefüggés, és annyival több, hogy a kölcsönható partnerek energiaszintje alapján mennyiségileg is összehasonlítható [6, 7]. Mivel az elektrontranszfer folyamat maga után vonja a donor oxidációját, illetve az akceptor redukcióját, és a megfelelő redoxi potenciál meghatározza az elektron transzfer alapállapotát, és a hajtóerőt, az alábbi összefüggés alapján:

$$\Delta G_{\text{et}} = E_{\text{ox}}(\text{D}) - E_{\text{red}}(\text{A}) - \Delta \quad (1)$$

- $\Delta G_{\text{et}}$  – az elektrontranszfer alapállapotának energiája
- $E_{\text{ox}}(\text{D})$  – a donor oxidációs energiaszintje
- $E_{\text{red}}(\text{A})$  – az akceptor redukációs energiaszintje
- $\Delta$  – az ion pár oldószerben történő aktiválásához szükséges energia

Ebben az egyenletben,  $\Delta G_{\text{et}}$  az elektron transzfer alapállapot míg  $E_{\text{ox}}(\text{D})$  és a  $E_{\text{red}}(\text{A})$  a donor oxidációs energiaszintjére, és az akceptor redukációs energiaszintjére utal, illetve  $\Delta$  a erős töltéssel rendelkező (radikális) ion pár oldószerben történő aktiválásához szükséges energiaszintjére következtethetünk.

A legtöbb szerves molekula pozitív oxidációs energiával, és negatív redukációs energiával rendelkezik (szemben a telített kalomel elektródával (SCE)). Ezért az igen erős elektron donor és/vagy az akceptor még alapállapotban is részt vesz a töltés-transzferképésben, erős poláros oldószerben.

$$\Delta G_{\text{et}}^* = E_{\text{ox}}(\text{D}) - E_{\text{red}}(\text{A}) - E_{\text{ex}}(0,0) - \Delta \quad (2)$$

- $E_{\text{ex}}(0,0)$  – az (1) egyenletben szereplő donor energia kibocsátása

Tekintsünk úgy a 5. ábrára, hogy az mennyiségileg írja le a folyamatokat. Akkor az  $E_{\text{ex}}(0,0)$  nem lesz más, mint az (1) egyenletben szereplő donor energia kibocsátása. Ami a donor elektronjának a  $\nu = 0$  frekvenciaállapotáról a donor  $\nu = 0$  frekvenciaállapothoz tartozó gerjesztett állapotába való átmenete. Így például a poli (fenilén-etilén) (PPE)  $\lambda=460$  nm frekvencián az elektrontranszfer energiája 2,7 eV, ami nagyjából az alkén  $\pi$  kötésének energiájával egyenlő. Ezért az elektron transzfer reakció, a donor (vagy akceptor) viszonylag kis energiájú sugárzásával létrehozható. Ezt a folyamatot nevezzük elektrontranszfer fluoreszcencia kioltásnak FQ.

Ezzel az eljárással hatékonyan észlelhetjük a robbanóanyagokat. A legtöbb robbanóanyag, különösen a TNT és más nitroaromás vegyületek, rendkívül elektron hiányosak, és kedvező redukációs energiával rendelkeznek. Például, a TNT és a DNT redukációs energiája csak  $-0,7$  és  $-1,0\text{V}$ , illetve, hasonlóan kedvező más elektron akceptor esetén is, mint például az 1,4-dicianobezén ( $1,7\text{ V}$ ) esetében is. Ez azt jelenti, hogy ha a szenzor által kibocsátott fény hullámhossza  $\lambda=460$  nm-es, és az oxidációs energiája megközelítőleg  $2,0\text{ V}$ , és még adott egy negatív irányú a fotoindukált elektro transzfer folyamat, így mindez elméletileg lehetővé teszi a TNT elektrontranszfer fluoreszcencia kioltással történő felderítését.

#### 4. SZILÁRDTEST (FÉLVEZETŐ), POLIMER ALAPÚ ÉRZÉKELŐK

Érzékelő (szenzor): olyan eszközök, amelyek egy mérendő mennyiséget, ill. paramétert információhordozó jellé alakítanak. Régebben feltételezhetőek voltak az elektromos jelek, manapság általánosabban kell meghatározni (pl. optikai érzékelők miatt). Az érzékelők nem szolgáltatnak közvetlen információt, annak kijelzésére további eszközökre van szükség.

Az ideális érzékelők fontos jellemzője, hogy folyamatos átalakításra képesek, a mintavételezés igénye nélkül úgy, hogy a mérendő paramétert, ill. közeget nem módosítják.

Érzékelőket alkalmazhatunk egyszerű mérőeszközökben, valamint visszacsatolást tartalmazó szabályozórendszerekben. A különbség, hogy szabályozórendszerben nem kell feltétlenül kijelezni az értékeket, viszont a megfigyelt közegbe mindig történik beavatkozás a mért paraméter módosítása érdekében (beavatkozó, aktuátor).

### **Szilárdtest (félvezető) érzékelők**

Minden szilárdtest alapú érzékelő működése a gáz és a szilárdtest felületén lejátszódó reakción illetve kölcsönhatáson, (adszorpció, deszorpció, ionizáció, kémiai reakció, stb.) és a szilárdtest valamely mérhető tulajdonsága ennek hatására való megváltozása mérésén alapul. Többféle ilyen érzékelőt ismerünk, amelyeket a mérés mechanizmusa alapján a következő módon csoportosíthatjuk:

- vezetőképesség/ellenállás alapú érzékelők;
- félvezető fém-oxid érzékelők;
- vastagréteg érzékelők;
- QMB és SAW érzékelők;
- polimer alapú érzékelők: a szenzor működési mechanizmusának az alapja, hogy az érzékelendő gázmolekulák megkötődnek a polimer vázszerkezetén.

#### **4.1. Vékonyfilm (konjugált polimer alapú) érzékelők**

Az ezen az elven működő érzékelők (FQ) tervezésnél, nem csak a megfelelő fluoreszcens polimer, hanem a legkedvezőbb fotoindukált elektrontranszfer reakció meghatározása is fontos. Az eszköz megtervezésénél figyelembe kell venni azokat a műszaki paramétereket melyek szükségesek, ahhoz, hogy a berendezés alkalmas legyen a robbanászerek detektálására, (TNT párákibocsátása). A tágabb értelemben minden érzékelő rendszer a két elsődleges szempontja, az érzékenység és a szelektivitás.

Természeténél fogva a TNT párákibocsátásának a felderítése nagyon érzékeny folyamat. Ennek az oka egyrészt a természetes környezetben a TNT-nek alacsony a gőznyomása ( $10^{-9}$  Pa nagyságrendű), továbbá a robbantásos fenyegetés esetén, az eszköz rendkívül jól álcázott. Az előzőekben már bemutattam, hogy a konjugált fluoreszcens polimer alkalmas lehet, akár egyetlen molekula esetén is, arra, hogy fluoreszcens receptor legyen.

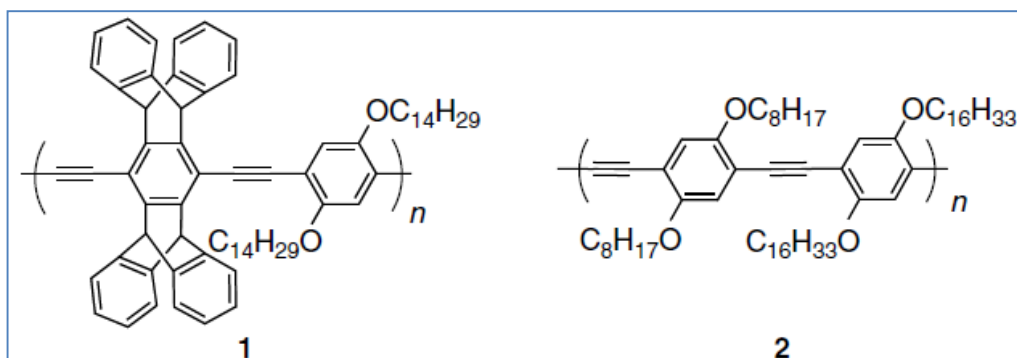
A vékony konjugált polimer film érzékelőként való alkalmazása számos előnnyel jár. A film használata a berendezés működtetését leegyszerűsíti. A legfontosabb, hogy az erősítést egy dimenzióból három dimenzióba terjeszti ki. Ahelyett, hogy a jól izolált egyes polimerláncokat nagyon közel vinnénk, figyelembe véve az excitonokat végighalad a polimerláncon, de még ezen felül átugrik egy másik közeli polimerláncra.

Az excitonok egysíkban történő mozgása helyett, azok térben is mozoghatnak, a mintavételezési kötőhely gerjesztett állapotának ideje alatt [8][9]. Az exciton többdimenziós mozgásának a következménye, hogy a fotoindukált elektron-transzfer fogalmán keresztül eljuthassunk a kemoszenzorokhoz.

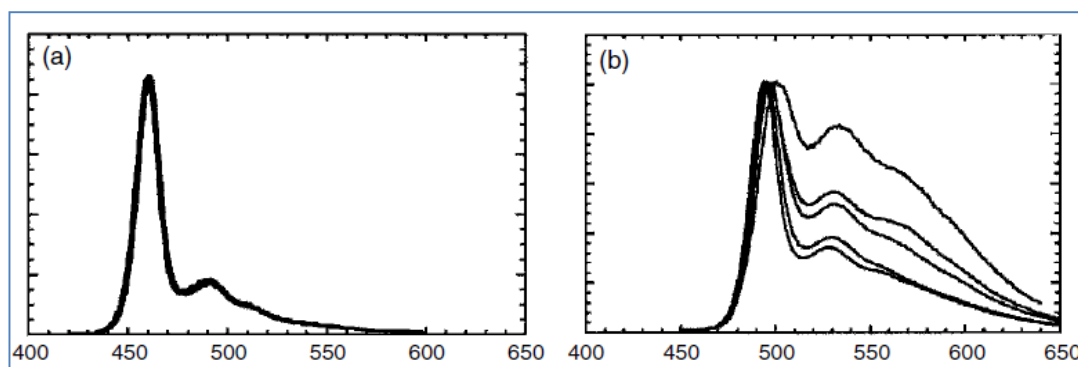
A vékony konjugált polimer filmek esetén komplikációk jelentkezhetnek. A szilárd állapotban, amikor is ezek a polimerlánc csoportok egysíkban vannak, akkor a szomszédos láncok a

$\pi$  pályán kötődnek egymással [10][11][12]. Az adott állapot energiaszintje alacsony. A gerjesztés hatására az összekapcsolódott konjugált polimerek, a kialakult  $\pi$  pályán, gyengén emittálódnak. A gyenge emisszió azt fogja jelenteni, hogy viszonylag nagyszámú TNT molekulát kell megkötni, hogy megbízható fluoreszcencia kioltáshoz jussunk, amiből a TNT jelenlétére következtetni tudunk. Ezeknek a polimereknek alacsony lesz az érzékenységük (szenzitivitása). Így ennek a vékonyfilmnek az optikai tulajdonságai nehezen reprodukálhatóak a különböző mintavételezéseknél. A vizsgálatok eredményeként fontos tervezési szempont, hogy a magas szenzitivitású fluoreszcens konjugált polimer érzékelő képes legyen reagálni, mialatt a vékonyfilm elkerüli a reakciót a szilárd állapotú nem fluoreszcens csoportokkal. A konjugált polimerek kutatása arra irányult, hogy megakadályozza az egymáshoz közel lévő polimerláncokat, hogy azok összezáródjanak, és így alacsony energiájú emisszió alakuljon ki.

Ez a csoport, a fent említett cél érdekében a pentiptycene csoport, amely TNT érzékeny, és amelyet a 6. ábrán láthatunk [13][14][15]. A pentiptycene csoport egy viszonylag nagy és merev háromdimenziós oldal csoport, amely jól meghatározott módon kiszélesíti a polimer gerince körüli térrészt. A taszító kölcsönhatás révén megelőzik a  $\pi$ - $\pi$  kölcsönhatást az 1 polimerből készült vékonyfilmen, azonban elég közel engedi azokat, hogy az excitonok térben is el tudjanak mozdulni. Az 1 polimerből készült vékonyfilm, jól reprodukálható emissziós spektrummal rendelkezik, de erősen érzékeny lesz az elektronhiányos a vizsgálandó vegyületekre. Ezzel szemben a 2 polimerből készült vékonyfilm, a túréshatár feletti adalékanyagot fog tartalmazni, és önkiló, és nem reprodukálható optikai félvezető tulajdonsággal rendelkezik, amint az 7. ábrán is látható.



6. ábra Az 1. és 2. polimerek kémiai szerkezete. (1998 American Chemical Society[14]).



7. ábra Az 1 polimer (a) egy, valamint a 2 polimer (b) öt különböző fluoreszcencia spektruma. (1998 American Chemical Society[14]).



## 4.2. További fontos paraméterek az 1 polimer az érzékenységének és a szelektivitásának tekintetében

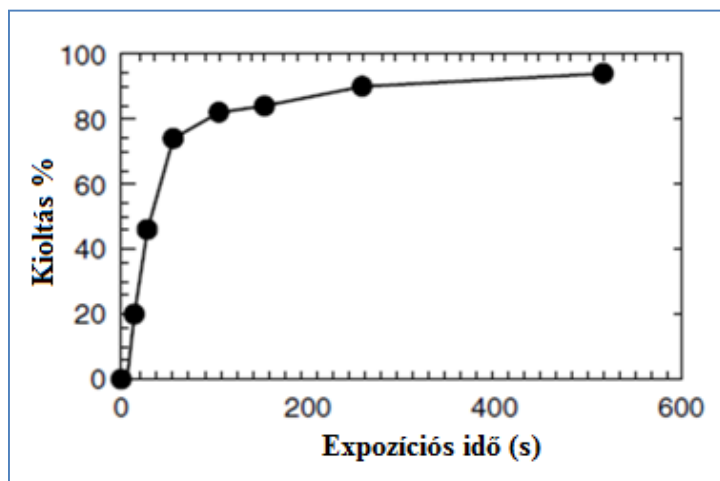
Az 1 polimer különösen a TNT esetében igen érzékeny és szelektív. A 8. ábrán láthatjuk a félvezető polimer fluoreszcencia válaszát, mikor is rövid ideig van kölcsönhatásban, az egyensúlyi állapotban lévő TNT gőzével. Ezután, néhány másodperc alatt, jelentős fluoreszcencia kioltás figyelhető meg. Az érzékenység, mint már arról korábban szóltunk, elsősorban az excitonok mozgásából következik, azonban többre van szükségünk a konjugált polimer érzékelő esetén, mint egy erősítés. Bár adott egy bizonyos mértékű erősítés, számos más tényezőt is figyelembe kell venni a gőz fázisú TNT fluoreszcencia kioltással történő kimutatásakor. Ezek pedig nem lesznek mások:

- mint a vizsgált anyag gőznyomása, (VP-vapor pressure),
- a minta és polimer között fellépő kötési állandó ( $K_b$ ), és
- a fotoindukált elektrontranszfer sebesség, amely erősen függ a 2. egyenletben már említett hajtóerőtől.

Ennek a három paraméternek a kapcsolatát írja le a következő 3. egyenlet

$$FQ \sim (K_b) \cdot (-\Delta G_{et}) \cdot (VP) \quad (3)$$

- FQ – fluoreszcencia kioltás
- $K_b$  – kötési állandó
- $\Delta G_{et}$  – az elektrontranszfer alapállapotának energiája
- VP – gőznyomás



8. ábra Az 1 polimer film fluoreszcencia kioltása az egyensúlyi állapotú TNT gőzével való reakciója során. (1998 American Chemical Society[14]).

Mint már korábban bemutattuk, a fotoindukált elektrontranszfer reakció energetikailag kedvező reakció, amely a TNT-nek a konjugált polimerrel vett fluoreszcencia kioltását indukálja. Az 1 polimer és a TNT közötti elektrontranszfer reakciójának az energiaváltozása a 2. egyenlet alapján írható le ( $E_{ox}=1,22$  eV,  $E_{ex}(0,0)=2,74$  eV) és a TNT estén ( $E_{red}=-0,7$  eV)), ami azt mutatja, hogy a reakció hajtóereje ( $\Delta G=-0,82$  eV), amely elég nagy ahhoz, hogy a TNT-nek az 1 polimerrel vett frekvenciakioltása könnyedén végbemenjen [14]. Hasonló eredményre jutunk a DNT esetében is, ahol a reakció hajtóereje ( $\Delta G=-0,52$  eV).

Mintegy kiegészíti ezt az erős hajtóerőt, és annak hasznos arányát a nitroaromás vegyületek redukciójának az 1 polimer gerjesztése által, amely a szelektivitásra épül. Kizárólag csak azok molekulák, amelyek nagyon kedvező redukciós potenciállal rendelkeznek, csak azok által lesz hatékony a polimer fluoreszcencia kioltása. A 2. egyenlet alapján, ha a minta redukciós potenciálja nagyobb lesz, mint  $-1,52$  eV, akkor a negatív szabad energia átvált a kioltásba, függetlenül a vizsgált anyag gőznyomásától, valamint a kötési állandótól. Még a benzofenon, 1,4-dijanobenzol, és az 1,4-diklórbenzol, amelyek viszonylag elektronhiányos molekuláknak számítanak az abszolút skálán, sem fogják kioltani az 1 polimer emisszióját, amelynek következtében az elektrontranszfer állapot energetikailag kedvezőtlen lesz [14].

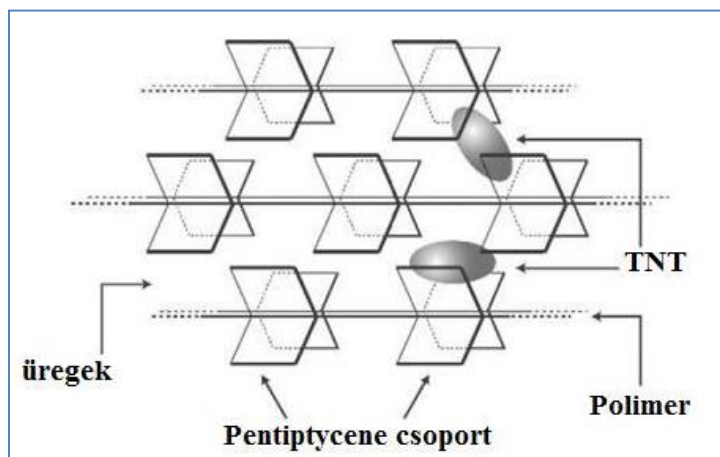
Más fontos paraméter a vizsgált vegyület gőznyomása, és a kötési állandó, amelyek más értelmet adnak a szelektivitásnak. Minden egyéb feltétel teljesülése esetén, a TNT magas gőznyomása esetében, egyszerűvé teszi a kimutatást, így nagyobb mennyiségű anyagot lehet mintavételezni, majd azt a polimerre vinni. Az alacsony gőznyomás tipikus jelenség, mint érzékenységi határ. Azonban, ennél az eljárásnál a nagymértékű erősítés azt eredményezi, hogy a különböző gőznyomás értékek eltérő időbeli válaszokat adnak, amellyel még érzékenyebb eljáráshoz juthatunk. (Olyan területeken, mint a bioszenzoros érzékelés az „analit megkötés” gyakran épül a nagyon specifikus molekuláris felismerési kölcsönhatásokra, ezekre a természet szolgáltat példákat, mint az antitest, antigén, vagy a DNS- t alkotó kettős spirál.)

Sajnos, mivel a sokoldalú és igen szelektív TNT receptorok, vagy ha más robbanóanyag molekuláról van szó, nem áll rendelkezésünkre, így a vegyészeknek nem marad más lehetősége, hogy más kevésbé specifikus kölcsönhatásokat kell keresniük.

E célból a TNT és a DNT olyan aromás vegyületek, amelyek erősen elektronvozó nitro csoporttal bírnak. Ezáltal a TNT, és a DNT erősen  $\pi$ -savas tulajdonságú, vagyis a  $\pi$  rendszer elektronaffinitása ( $e^-$  felvételével a negatív ionná válása) nagyon nagy lesz. Ebből következően a pentyptycene PPE az 1 polimerrel együtt jól kötődik a TNT-hez. Az ismétlődési egységen, a két éter csoport jelentős elektron donor tulajdonsággal rendelkezik, amelyek arra szolgálnak, hogy a polimerváz elektrontöbblettel rendelkezzen, így a TNT molekulát jobban meg tudja kötni. A molekulák az erős  $\pi$ -savas tulajdonság nélkül nem tudnak elég közel megkötődni.

Amellett, hogy a szelektivitás az elektrosztatikus vonzáson alapul, ezen kívül az 1 polimer még méretkizárásos tulajdonsággal is bír. Mivel minden, ebből a polimerből készült, vékonyfilm több rétegből épül fel, ezért a minta diffúziója a polimer filmbe fontos része a hatékony fluoreszcencia kioltásnak. Ha a vegyület nem képes diffundálni a filmbe csak a film felületén képes a kioltásra, akkor csak korlátozottan lesz mérhető az emisszió kioltás. Mint már korábban említettük, a pentyptycene-nek az 1 polimerrel vett reakciója megakadályozza a polimerláncokat, hogy azok teljesen közel kerüljenek egymáshoz. A pentyptycene által meghatározott nagy, szabad térrész üregeket képez a polimer film teljes terjedelmében. Lásd a 9. ábrát. Ezeket az üregeket kell majd figyelembe venni, a kisméretű szerves molekulák szempontjából, ahová a TNT is tartozik, amelyek mélyen beépülnek a polimerfilmbe. Ezzel szemben a nagyméretű molekulák nem fognak kölcsönhatásba lépni a film nagy részével. Ennek a folyamatnak a fontosságát mutatja az a tény, hogy a 2 polimer, amely elektrontöbblettel rendelkezik, de hiányzik az üreg kialakulását elősegítő ptycene csoport, jóval kisebb mértékű kioltást mutat a TNT, vagy a DNT gőzeivel szemben, mint az 1 polimer [14].

Éppen ezért elég sok szempontnak kell eleget tenni a robbanóanyagot észlelő konjugált polimer érzékelők tervezése során. Nem elég, hogy az elektrontranszfer folyamat elég hatékony legyen, de el kell kerülni azt, hogy a polimerláncok elég közel kerüljenek egymáshoz. A polimer és a minta között megfelelő nagyságú kötésre van szükség, amelynél a TNT és a DNT  $\pi$ -savas tulajdonsága könnyíti meg az elektrosztatikus vonzást. Lehetővé kell tenni a vizsgált vegyület megfelelő mértékű diffundálódását a polimer filmbe, hogy maximalizáljuk a lehetséges fluoreszcencia kioltást. Az 1 polimer eleget tesz a fent említett követelményeknek, így egy rendkívül specifikus kémiai érzékelőt hozhatunk létre.



9. ábra Elvi ábrája a pentiptycén csoportba tartozó 1 polimer porozitásának. (1998 American Chemical Society[14]).

## 5. A NYOMOKBAN ELŐFORDULÓ ( $10^{-12}$ KG) TNT KIMUTATÁSÁRA RENDSZERESÍTETT KÉSZÜLÉK (EK)

Ahogy minden robbanóanyag felderítő technológiára, úgy ebben az esetben is igaz, hogy ennek a módszernek az előnyeit, csak a terepen, valós körülmények között, történő működtetés után jelenthetjük ki.

A fluoreszcenciával erősített polimer technológia kiváló eredményeket tudhat magáénak, amint azt már az előzőekben bemutattam, a TNT-nek laboratóriumi körülmények között történő kimutatásakor. Bármely laboratóriumban kifejlesztett eljárás alapján az adott eszköz elkészítése mindig fontos kihívás. Ezen kívül számos probléma merülhet fel a helyszíni vizsgálatok során.

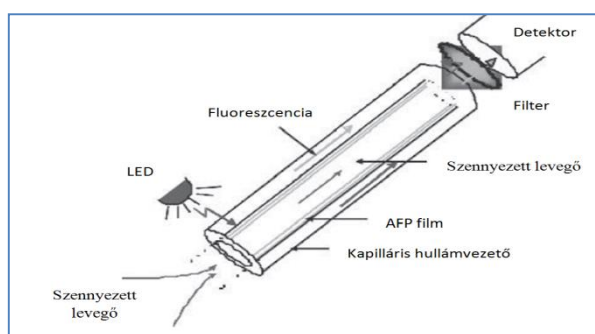
A TNT ezen eljáráson alapuló kimutatása, amely rendkívül egyszerű eljárás, lehetővé teszi egy működőképes eszköz elkészítését. A módszer csakis a fluoreszcencia intenzitás megváltozására támaszkodik. Így az eszköz a gőz mintavételezésére szolgáló konjugált polimerből, egy a film gerjesztésére szolgáló fényforrásból, valamint az emisszió intenzitásának a mérésére szolgáló fotodetektorból áll.

Ezen az elven alapuló számos, különböző típusú, működőképes eszközt sikerült gyártania az ICx Technologies nevű cégnek, a termékek a Fido elnevezésű családba tartoznak. A kevés optikai, és elektronikai alkatrész felhasználásával válik lehetővé az eszköz elkészítése. Ennek eredményeképpen a teljes, hordozható kézi készülék tömege nem haladja meg a 0,907 kg-ot,

és amelyet sikeresen teszteltek a személy-, a gépjármű-, és a konténeres átvizsgálás során. Az érzékelő szerkezetét a 10–11. ábra szemlélteti. A fluoreszcencia intenzitás időbeli változását, folyamatos mintavételezés mellett vizsgáljuk.



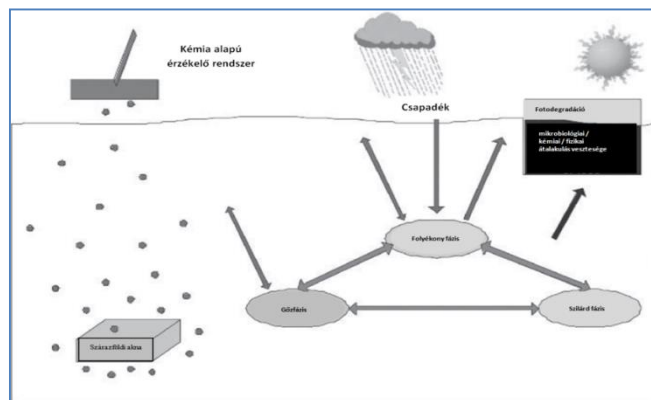
10. ábra Az ICx Technologies által kifejlesztett, AFP technológián alapuló, hordozható Fido kézi detektora. (Az ICx Technologies engedélyével.)



11. ábra Az AFP technológián alapuló Fido érzékelő sematikus ábrája. (Az ICx Technologies engedélyével.)

Ezen technológia által kis, könnyű, és hordozható eszköz készíthető, amely alkalmas lehet a taposóaknák kimutatására [16], mivel azok TNT-t tartalmazhatnak. A taposóaknák gyakran DNT-t is tartalmazhatnak, amelyek szintetikus mellékterméke jól detektálható. Az ilyen típusú vizsgálatok magas érzékenységet követelnek meg, mivel a robbanóanyagok a föld alatt eltemetve helyezkednek el, így a gőznyomás alacsony értéket vesz fel.

Ugyanilyen fontos vizsgálati szempont a nagy szelektivitás, és a tartósság, mivel összetett környezetben kell a vizsgálatot elvégezni. Az összetett környezet fogalmába tartozik például, a hőmérséklet, a páratartalom, a környezeti szennyezőanyagok, és egyéb lehetséges kémiai interferenciák, de nem korlátozódik csupán erre a néhány fogalomra (12. ábra).



12. ábra: A szárazföldi aknák kémiai alapú detektálása során befolyásoló tényezők. (Az ICx Technologies engedélyével.)

Ezen túlmenően, a konjugált polimer a használat során fotokémiai szempontból hosszú ideig stabil kell, hogy maradjon, akár szélsőséges körülmények között is. Mivel a legtöbb konjugált polimer azonnal elveszíti fluoreszcens tulajdonságát (photobleach), de a jól megtervezett polimerek, a hosszú ideig tartó besugárzás után is következetes fluoreszcencia intenzitással rendelkeznek. Ez annak tulajdonítható, hogy a pentiptycene molekularész megakadályozza a intermolekuláris fotokémiai reakciót, és az önkioltást.

Ennek eredményeként, ezek az eszközök stabil és megbízható működőképességgel bírnak, még extrémkörülmények között is. A szelektivitás hozzájárul a TNT fluoreszcenciával erősített polimerek által történő észlelésnek, amelyet elég részletesen bemutattunk a 4. fejezetben, és segít minimalizálni hamis-pozitív válaszokat. Ezek az érzékelők csak a nitroaromás, és a hasonlóan alacsony, elektronhiányos vegyületek jelenétét jelzik.

A terepen elvégzett vizsgálatok bebizonyították, hogy legalább annyira megbízhatóak, mint a kutyás felderítés, a nitroaromás robbanóanyagok esetén. Még mindig körbelengi a kémiai vizsgálatokat valamiféle bizonytalanság, szemben a kutyás felderítéssel [17]. Ez különösen akkor fontos, amikor plastik robbanóanyagról beszélünk, mert az aktív robbanóanyagok az RDX (1,3,5-trinitro-1,3,5-triazacyclohexane) HMX (1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocane), és PETN (pentaeritrit-tetranitrát) alacsony gőznyomással bírnak, a ppb alatti ( $>10^{-12}$ ) tartományban. Sok esetben a kutya jelezheti a TNT-t vagy más nitroaromás molekulát, vagy a szintetikus melléktermékeket, vagy a szennyező anyagokat, mint például a ciklohexanon. Ezzel szemben a TNT észlelése a konjugált polimerekkel jól ismert folyamat. Ez azzal az előnnyel jár, hogy csak a valós fenyegetések indukálnak pozitív választ, ami a robbanóanyag jelenlétét jelzi. Továbbá az adott érzékelők használatával elkerülhetjük a kutyák időigényes, és költséges kiképzését, majd azok tartási költségét is.

A TNT konjugált polimer érzékelővel történő kimutatásának az egyszerűsége lehetővé teszi a hordozható, egyszerű, és a könnyen működtethető eszközöket. Az eljárásban rejlő érzékenység azt eredményezi, hogy ezen készülék a nyomokban ( $10^{-12}$  kg) előforduló gőzfázisú TNT-t is jelzi, míg a szelektivitás és a stabilitás következménye, hogy megbízhatóan működik komplex körülmények között is. Ennek a sokoldalúságnak a következménye, hogy különféle helyzetekben, még akár víz alatt is, is alkalmazható (13. ábra) [18]. A terepen elvégzett vizsgálatok megerősítették, hogy az eszköz és a kutya érzékenysége megegyezik. A legfontosabb azonban az, hogy ezen eszközök valós harci körülmények között is megállták a helyüket.



13. ábra Az ICxTechnologies' által kifejlesztett, SeaDog elnevezésű, robbanóanyag felderítővel felszerelt víz alatti jármű. (Az ICx Technologies engedélyével.)



## 6. A FEJLESZTÉS LEHETSÉGES IRÁNYAI

Az elmúlt 10 évben hatalmas fejlődés volt megfigyelhető a konjugált polimer érzékelők területén, valamint lenyűgöző előrelépéseket értek el, az ehhez a területhez kapcsolódó kémiai, fizikai, és a mérnöki tudományok területén, hogy az erre épülő technikai eszközöket megbízhatóan működtethessük. Mivel létfontosságú a megbízható, gyors, és sokoldalú robbanóanyag felderítés kutatási ütemének a fokozása. A kutatók jelenleg az olyan új típusú fluoreszcens polimerek kifejlesztésével foglalkoznak, amelyekből kifejleszhető eszközök érzékenysége, szelektivitása még hatékonyabb. A következő részben ezek közül néhányat szeretnék kiemelni.

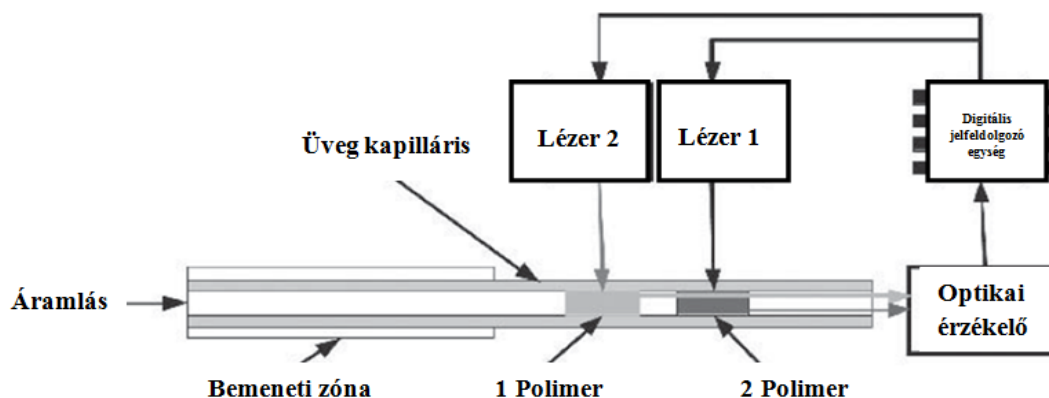
### 6.1. A lehetséges eszközfejlesztések: kromatográfiás hatások

Az újonnan kifejlesztett eszközöknek a megbízható működésen túl általában két feltételnek kell megfelelni, egyrészt az eszköz fizikai méretét kell csökkenteni, másrészt annak működtetése nem igényelhet különösebb előképzettséget.

Amint azt a 4.2 fejezetben a konjugált polimer érzékelőknél bemutatott 1 polimer nagyon érzékeny az elektronhiányos kis molekulák, (különösen nitroaromás és kinonok (Aromás vegyületek oxidációjakor keletkező telítetlen gyűrűs ketonok)) szempontjából. Mivel az ebbe a két osztályba tartozó bármely molekula eredményes fluoreszcencia kioltást (FQ) indukál, azonban, ezen belül pontosan meg kell határozni, hogy mit jelzett a szenzor „találatként”.

Van azonban egy további fontos és megkülönböztető paraméter fluoreszcencia kioltás hatékonyságának a meghatározására, az a minta gőznyomása. Az kémiai érzékelésben, általánosnak kell tekinteni, mint egy „hátrányt”, az analizálandó vegyület alacsony gőznyomását. Bár a TNT-nek viszonylag alacsony a gőznyomása, de a fluoreszcens (amplifikált) polimer magas érzékenysége (még akár ppb szinten is) lehetővé teszi annak vizsgálatát. Nem meglepő, hogy az alacsony gőznyomású minta (a „ragadósága” miatt) lassabban deszorbeálódik a felületről, míg a magasabb gőznyomású vegyület, ami ezért több időt tölt a gőz fázisban és könnyebben deszorbeálódik. A felületi helyekhez való kötődés, azaz az affinitás alapján jól meg lehet különböztetni az mintákat egymástól.

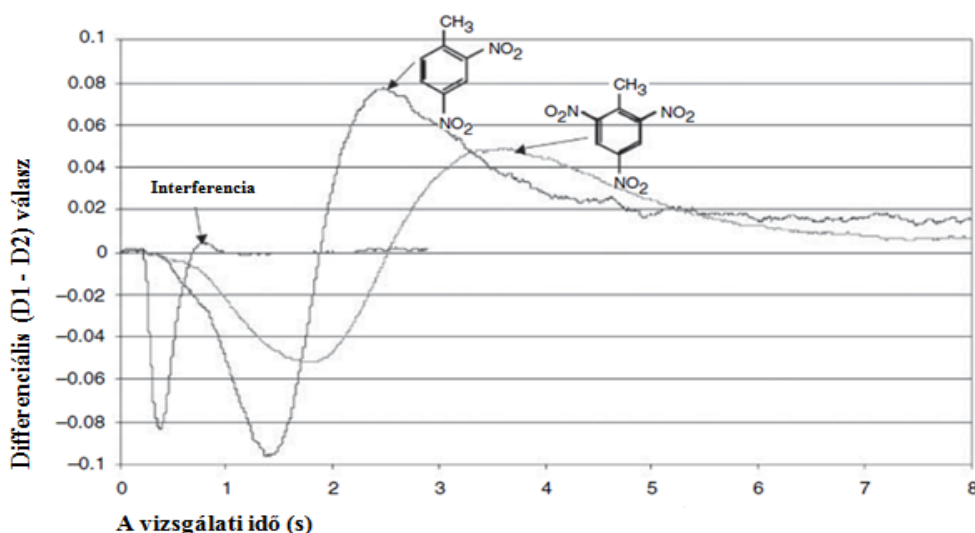
Mivel a TNT, és a DNT kötése függ a polimer film szerkezetétől, ezért a vizsgálat során, két különböző polimer használata segíthet, a hasonló minták megkülönböztetésében. A 14. ábrán látható ennek az eszköznek az elvi felépítése.



14. ábra A kétsatornás (a hamis pozitív válasz csökkentése érdekében) Fido érzékelő sematikus ábrája. (Az ICx Technologies engedélyével.)

A 15. ábra a TNT gőznek a DNT gőzéhez viszonyított időbeli válaszáinak az összehasonlítását szemlélteti, amelyet a Fido egységgel végeztek. A gőzt a soros elrendezésű polimer filmek között áramoltatják keresztül. A TNT esetében, amely lényegesen alacsonyabb gőznyomású, a kötődése ezért jóval erősebb, mint a DNT esetében. Az idő függvényében a differenciális válasz az 1 és 2 csatorna között van, amelyre a választ az adott kvencser adja. (A kvencserek a kromofór csoportok által elnyelt energiát veszik át és oly módon disszipálják, hogy az ne okozzon degradációt.) A TNT és a DNT csúcsokra, valamint a sávformákra adandó eltérő válaszokat a kvencser természete adja. Ez alapján lehet megkülönböztetni a két nagyon hasonló nitroaromás vegyületet, és bevezetni egy új mechanizmust a szelektivitás érdekében [19].

Ez az elképzelés a kromatográfias hatáshoz hasonló, amely a gázkromatográfiánál (GC) figyelhető meg, itt a konjugált polimer az állófázis. Ez úgy lehetséges, mint a GC és más a robbanóanyag detektálására szolgáló eljárásnál, azaz a válaszok empirikusan standardizáltak (tapasztalati úton meghatározottak) a várható mintákkal szemben, és a szenzoros eszközök is a vizsgált anyagok által meghatározott jelek időbeli változásával szemben kalibráltak. Ez tovább növeli a szelektivitást, ezáltal az eszköz a TNT, és más hasonló vegyületekkel szemben rendkívül érzékeny lesz.

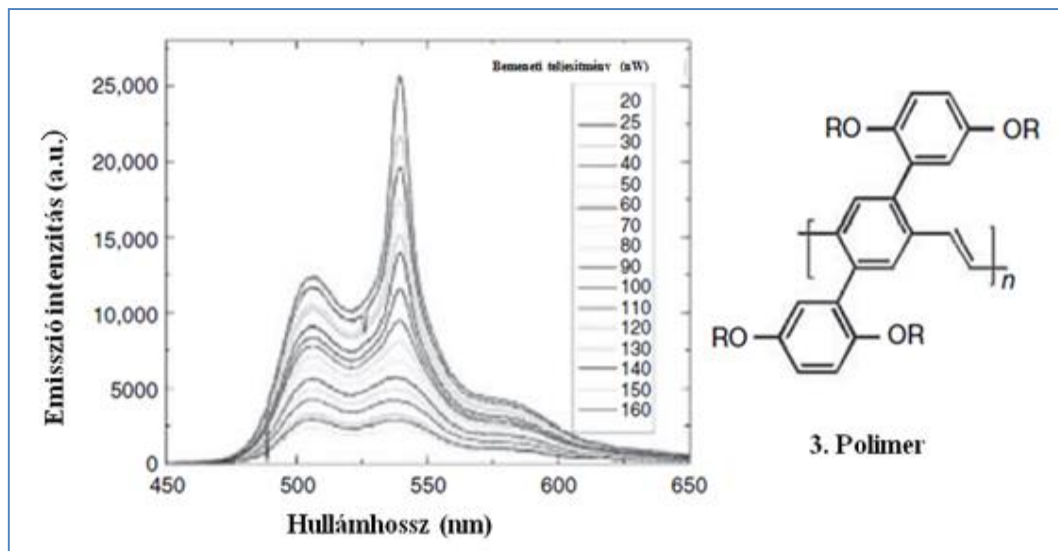


15. ábra Az AFP technológia alapján készült kétszatornás Fido érzékelővel készült TNT és a DNT különböző válaszai, és az interferenciája. [19] (Az ICx Technologies engedélyével.)

## 6.2. Az új típusú anyagok, és jelátviteli fejlesztések – lézerindukált érzékelők

Mivel az a helyzet, hogy az előző fejezetben bemutatott eszköz tervezése, valamint a gyártása során számtalan fejlesztési lehetőség van. Értve ezalatt a rendszer érzékenységének a kiterjesztését a veszélyes mintákra, beleértve a specifikus kötőhelyek kialakítását (a molekuláris felismerésért, és szelektivitásért), és azt a lehetőséget, amivel az excitonok erősítését növelhetjük a diffúziós szakaszban. Egy új kutatási - fejlesztési irány, ami rendkívül ígéretesnek tűnik, mely által a lézerindukált konjugált polimerek TNT érzékenysége nagyságrendekkel javulhat. Detektorként használhatunk pl. lézer indukált fluoreszcenciát: a szeparációs csatornán átvilágítva, a mintacsatornából az odakerülő mintát gerjesztve, az fluoreszcens fényt bocsájt ki magából, melynek intenzitása mérhető.

Ez egy un. 3-as polimer. Ez a (3.) polimer a poli(p-fenilén-vinilén) [PPV] szerkezeti osztályba tartozik, a PPV gerinc körül aryl gyűrű az egyes ismétlődési egység, ami viszont, hosszú elágazó láncú, alkoxy csoportot jelent. Ennek a csoportnak az oldalán lévő láncoknak a funkciója hasonló, mint a pentiptycene, megakadályozza a konjugált polimer láncok közötti kölcsönhatást, így megőrzi annak magas emisszióját (< 80%). Emellett védik a láncot a destruktív fotokémiai reakcióktól, ezáltal biztosítják a rendszer stabilitását, amely a lézerindukcióhoz szükséges.



16. ábra A 3 polimerből előállított vékony film emisszió spektruma és a kémiai szerkezete (R = 2-etilhexil). Ebben a példában a lézer hullámhossza,  $\lambda = 535$  nm, és a bemeneti teljesítménye 75 nW. (Az ICx Technologies engedélyével.)

## 7. KÖVETKEZTETÉSEK

A kémiai érzékelőknél fluoreszcens konjugált polimerek használatával, egy magas érzékenységgű technológiához juthatunk a gőzfázisú minták vizsgálata során. A konjugált polimer gyorsan gerjesztett állapotába kerül, tekintettel a nagymértékű erősítésre, mivel az exciton ebben a vezetési sávban, viszonylag nagy számú helyről vehet mintát, a gerjesztési állapot ideje alatt. A jól megtervezett polimerek, mint az 1. és a 3. polimerek esetében, egyesítik magukban a magas emissziós tulajdonságot, és a polimer filmek porózusságát, amelyek könnyen szintetizálhatóak.

Az elektron transzfer kioltó mechanizmusának a jellege lehetővé teszi az érzékeny és szelektív kimutatását a veszélyes robbanóanyag gőzeinek, Ezt a technológiát már sikeresen tesztelték különböző körülmények között is. Ezen anyagok, és eszközök hatékonyságát, és alkalmazhatóságát folyamatosan javítják, mind az iparban, mind a kutató helyeken. A szinte végtelen számú további tervezési jellemzőkkel és módosításokkal új rendszereket lehet létrehozni, amellyel tovább növelhetjük az érzékenységet, és a szelektivitást.

***TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”***

***„The project was realized through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”***

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] <http://szft.elte.hu/oktat/www/korszeruvizsgmodlab/meresleirasok/felvezeto.pdf> (2013. márc. 01)
- [2] D. T. Mc Quade, A. E. Pullen, and T. M. Swager, *Chem. Rev.*, 100 (2000) 2537.
- [3] T. M. Swager, *Acc. Chem. Res.*, 31 (1998) 201.
- [4] [http://www.zipernowsky.hu/~naszlaci/alapok+hardver/fluoreszcenia\\_hu.pdf](http://www.zipernowsky.hu/~naszlaci/alapok+hardver/fluoreszcenia_hu.pdf) (2013. márc. 03.)
- [5] Q. Zhou and T. M. Swager, *J. Am. Chem. Soc.*, 117 (1995) 12593.
- [6] D. Rehm and A. Weller, *Z. Phys. Chem. N. F.*, 69 (1970) 183.
- [7] P. Suppan and E. Vauthey, *J. Photochem. Photobiol. A*, 49 (1989) 239.
- [8] I. A. Levitsky, J. Kim, and T. M. Swager, *J. Am. Chem. Soc.*, 121 (1999) 1466.
- [9] S. Zahn and T. M. Swager, *Angew Chem. Int. Ed. Engl.*, 41 (2002) 4225.
- [10] J. Cornil, D. A. dos Santos, X. Crispin, R. Silbey, J. L. Bredas, *J. Am. Chem. Soc.*, 120 (1998) 1289
- [11] S. A. Jenekhe and J. A. Osaheni, *Science*, 265 (1994) 765.
- [12] J. A. Osaheni and S. A. Jenekhe, *J. Am. Chem. Soc.*, 117 (1995) 7389.
- [13] J.-S. Yang and T. M. Swager, *J. Am. Chem. Soc.*, 120 (1998) 5321.
- [14] J.-S. Yang and T. M. Swager, *J. Am. Chem. Soc.*, 120 (1998) 11864.
- [15] V. E. Williams and T. M. Swager, *Macromolecules*, 33 (2000) 4069.
- [16] C. J. Cumming, C. Aker, M. Fisher, M. Fox, M. J. la Grone, D. Reust, M. G. Rockley, T. M. Swager, E. Towers, and V. Williams, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 39 (2001) 1119.
- [17] A. Goeth, I.G. McLean, J. Trevelyan, “Mine Detection Dogs: Training, Operations and Odour Detection,” Geneva International Centre for Humanitarian Demining: Geneva, Switzerland, Part 1, 2003, pp. 197–205.
- [18] M. Dock, J.E. Sikes, M.E. Fisher, “Underwater Explosives Detection Using a Chemical Sensing Method,” Sixth International Symposium on Technology and the Mine Problem (MINWARA), Monterey, CA, May 2004.
- [19] M.E. Fisher, “Applications of Sensors Utilizing Amplifying Fluorescent Polymers For Ultra-Trace Level Detection of Explosives,” Eighth International Symposium for the Analysis and Detection of Explosives (ISADE), Ottawa, Canada, June 2004.

Beneda Károly<sup>1</sup> – Horváth Ádám<sup>2</sup> – Tóth Vilmos<sup>3</sup>

## A TKT-1 GÁZTURBINÁS SUGÁRHAJTÓMŰ FEJLESZTÉSE<sup>4</sup>

*A TKT-1 sugárhajtóműves fékpad kiemelt feladata a repülőműszaki képzésben részt vevők számára a gázturbinák működésének, üzemeltetésének megismerése. Ez természetesen magában foglal egy olyan teljes hatáskörű, redundáns (két csatornás) digitális elektronikus szabályozást (Full Authority Digital Electronic Control – FADEC) is, melyen keresztül a korszerű repülőgép-hajtóművek hasonló funkciójú rendszerei bemutatathatóak a hallgatók számára, akik így nem csupán termodinamikai kérdésekkel foglalkozhatnak tantermi körülmények között, hanem átfogó multidiszciplináris ismeretekkel gyarapíthatják tudásukat a hajtómű üzemeltetése kapcsán. E cikk célja, hogy az elmúlt időszak fejlesztéseit és azok hatásait bemutassa.*

### DEVELOPMENT OF TKT-1 TURBOJET ENGINE

*The TKT-1 turbojet engine has the emphasized role to offer the students the possibility of gathering detailed knowledge about the operation of gas turbines. This includes naturally a sophisticated, redundant dual-channel FADEC system, through which the similar units of up-to-date aircraft powerplants can be demonstrated also during the operation within the aeronautical lectures. Thus not only theoretical but also very impressive practical know-how can be acquired with multidisciplinary fields of mechanical, thermodynamic and electronic aspects. The goal of this paper is to introduce the reader into the work achieved in order to develop the aforementioned system.*

## BEVEZETÉS

A TKT-1 sugárhajtómű és próbapadja 2005-2007 között került kifejlesztésre a Magyar Honvédség Légieréjében is alkalmazott MiG-23MF szuperszonikus vadászrepülőgépek, illetve Szu-22M3 támadó repülőgépek TSz-21 típusú indító gázturbinájából. A berendezés oktatási-kísérleti eszközként ötödik éve áll szolgálatban a BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszéken, illetve annak elődjén a repülőgépész és légiközlekedési képzésekben, mint a gázturbinás repülőgép hajtóművek alapvető szemléltető eszköze. Működése során nemcsak részletes adatokat lehet szerezni a munkafolyamat termodinamikai oldaláról, hanem a hallgatók a hőerőgép üzemeltetésének aspektusaiban is jártasságot szerezhhetnek.

A 2011/2012 tanév tavaszi féléve során a Budapest Aircraft Service Kft. jóvoltából jelentős mértékű fejlesztések kerültek bevezetésre, melyek a tüzelőanyag-ellenőrző és mérő-adatgyűjtő rendszert érintették. Ezen kívül a gázturбина fűvöcsövét is átalakítottuk, tekintettel a megelőző évek tapasztalataira, mi szerint a tolóerő a GSF<sup>5</sup> redőnyzet túlzottan nagy átmérője miatt elmaradt a

<sup>1</sup> egyetemi tanársegéd, BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, beneda@rht.bme.hu

<sup>2</sup> repülőgépész hallgató, BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, adam1h@t-online.hu

<sup>3</sup> repülőgépész hallgató, BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, vilmoci@citromail.hu

<sup>4</sup> Lektorálta: Dr. Kavas László okl. mk. alez; egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, kavas.laszlo@uni.nke.hu

<sup>5</sup> GSF: gázkiáramlás-sebességfokozó





várt értéktől. Jelentős előrelépés történt az elektronikus szabályozórendszer különböző lépcsőinek fejlesztésében, a jelenleg alkalmazásban lévő elektronikus egységnek egy kibővített funkcionalitással rendelkező változata került megvalósításra, míg a teljes hatáskörű szabályozás tervezése is nagy horderejű változásokat hozott a rendszer felépítését tekintve, emellett pedig értelem-szerűen folytatódott az egyes moduláris elemek tervezése, gyártása.

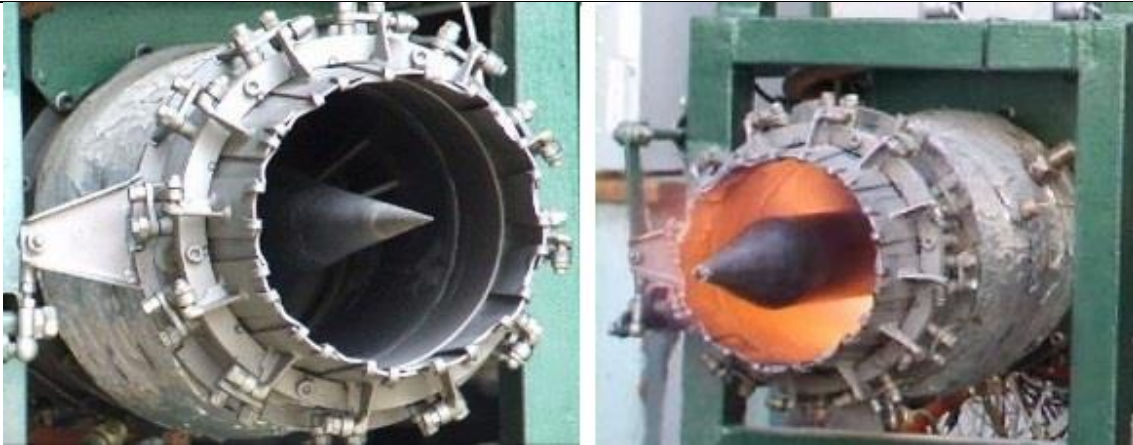
## A FÚVÓCSŐ MÓDOSÍTÁSA

A TKT-1 a sugárhajtómű átalakításakor még alapvetően több különböző kúpszögű, üzemszű-  
netekben cserélhető, állandó keresztmetszetű, konfúzoros fúvócsővel került megtervezésre. Mi-  
vel a kompresszor névleges nyomásviszonya  $\pi_k^* = 3,5$  és a maximális turbina előtti torlópon-  
ti gázhőmérséklet mindössze  $t_3^* = 850^\circ\text{C}$ , a turbina nyomásviszonya megközelítőleg  $\pi_t^* \approx 2$ , a  
fúvócső mindenképpen kritikus alatti üzemmódot tud megvalósítani, tehát nem volt szükség  
Laval-csőves kialakításra. Gyártásra azonban gazdasági okok miatt az első kísérletekig mind-  
össze egyetlen, minimális szűkületet alkalmazó fúvócső került, ezzel zajlottak az első kísérletek  
2007 decemberében és 2008 januárjában.

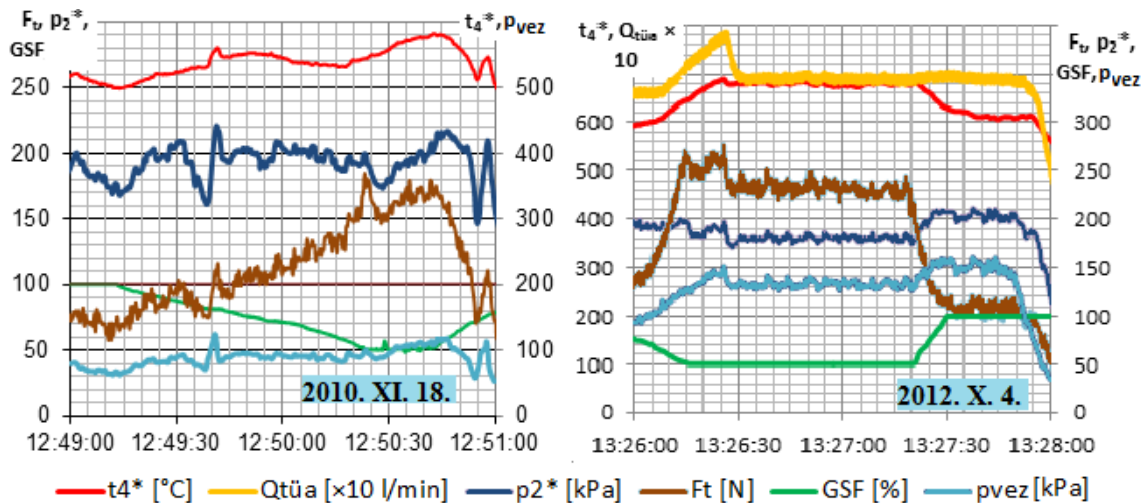
2008 februárjában készült el a szovjet egyáramú sugárhajtóművek (pl. R-29-300, [6]) gázki-  
áramlás-sebességfokozóinak mintájára a saját tervezésű és gyártású változtatható keresztmet-  
szetű fúvócső valósult meg.

Egészen 2011 decemberéig ezzel zajlottak az üzemelések, azonban az előállítható tolóerő nem  
közelítette meg a számításokat, mivel a fúvócső kilépő keresztmetszete nagyobb volt a TSz-21  
névleges üzemmódjával ekvivalens fúvócső keresztmetszetnél. Ez utóbbi értelemszerűen eddig  
csak számítások szintjén volt ismert. Mivel a GSF konstrukciója nem tette lehetővé a további  
szűkítés megvalósítását, vagy új szerkezet létrehozása, vagy a központi kúp átmérőjének növe-  
lésével lehetett megoldást találni a problémára. A kivitelezés egyszerűsége okán az utóbbi meg-  
oldás gyártására született döntés, melynek első próbája 2012 áprilisában zajlott le.

A korábbi konstrukció és a jelenlegi összehasonlítását szolgálja az 1. ábra, illetve a 2. ábrán  
látható adatsorok segítségével képet alkothatunk a fúvócsövek különbözőségéből adódó termo-  
dinamikai eltérésekről. A 2. ábra diagramjai hozzávetőlegesen azonos,  $\pi_k^* \approx 3$  körüli kom-  
presszor nyomásviszony mellett kerültek rögzítésre (ez a fent említett 95%-os névleges fordul-  
atszámnak, megközelítőleg 45000 fordulat/percnek felel meg). Mindkét grafikon egy terhelés  
felfutást mutat, melyen a zöld folytonos vonallal ábrázolt GSF pozíció segítségével követhető  
a terhelés növelése. A 100%-os érték a teljesen nyitott, az 50% pedig a teljesen zárt GSF pozí-  
cióra utal. A piros görbével jelzett turbina utáni gázhőmérsékletben számottevő eltérés mutat-  
kozik, megfigyelhető a mérsékelt szűkítés mellett elért maximális  $580^\circ\text{C}$ -ról  $680^\circ\text{C}$  környé-  
kére emelkedett, mindeközben a tolóerő csúcsértéke az addig mért 160N-ről 230N-ra, közel  
40%-kal nőtt. Érdeemes még megjegyezni, hogy a jobb oldali diagramon a paraméterek stabili-  
tása már számottevően javult, köszönhetően a PELE elektronikus szabályozónak. Az összeha-  
sonlítás tételesen az 1. táblázat adatai alapján tehető meg.



1. ábra A TKT-1 korábbi és jelenlegi változtatható keresztmetszetű, konfúzoros gázkiáramlás-sebességfokozó redőnyzetei



2. ábra A TKT-1 korábbi és jelenlegi fűvócsöveivel mért tolóerő és gázhőmérséklet alakulása

Paraméter	Érték régi GSF-fel	Érték új GSF-fel
Tolóerő	167,2N	233,2N
Turbina utáni gázhő	582,8°C	684,5°C
924 vezérlőnyomás	107,8kPa	132,7kPa
Tüzelőanyag térfogat- áram	66,2 l/min*	69,2 l/min

1. táblázat A TKT-1 jellemzői üzemi paramétereit a régi és új GSF-fel (\* mért adat híján a 924-es karakterisztikája alapján becült érték)

A 2. ábra kiértékelésekor fontos kiemelni, hogy az új fűvócső esetén már számottevő szerepe van a redőnyzet mozgatásáért felelős rudazat holtjátékának. Amikor a kezelő a GSF zárása során stabilan fogja a GSF vezérlő kart, a tolóerő pillanatnyilag 260N fölé is felszalad. Amint a kart elengedi, a tolóerő a már említett mintegy 230N értékre esik vissza. Ez egyébként a GSF visszacsatolásban, mint egy a teljes mozgástartományhoz képesti 0,5%-os elmozdulásként mutatkozik. Ekkor a fűvócsőn belül uralkodó túlnyomás a holtjátékkal rendelkező redőnyzetet kis mértékben kitágítja, ezzel pedig csökken a tolóerő.

A központi kúp módosítása úgy került kialakításra, hogy a teljesen nyitott GSF esetén a fűvócső kilépő keresztmetszete ne legyen kisebb a turbina utáni keresztmetszetenél.



## A szabályozórendszer fejlesztése

### **A PELE korlátozott hatáskörű, digitális elektronikus szabályozó fejlesztése**

Az egyre növekvő igény a hallgatói mérések lefolytatására eredményezte az első, még korlátozott hatáskörrel rendelkező elektronikus szabályozó egység kifejlesztését 2011-ben. Ennek bázisán hoztuk létre a rádió távirányítású változatot, mely a modell repülőgépekben, illetve pilóta nélküli repülőeszközökben is alkalmazható mikrogázturbinák szabályozását tűzte ki célul.

A szabályozóval kellő számú üzemelést végrehajtva megállapíthatjuk, hogy célját elérte, a hajtómű üzemmódjának megtartására alkalmas algoritmust valósít meg, egyszerűsége ellenére. A nehézséget a beavatkozás áttételes mivolta rejti magában, ugyanis a PELE egy arányos levegőszelepet működtet, ami a kompresszor utáni nyomásból az aktuális igényeknek megfelelő vezérlőnyomást állít elő a 924-es berendezés tüzelőanyag-áteresztő szelepének mozgatására. A szabályozás robusztusabbá tételéhez azonban szükség lenne a levegős kör kiiktatására, a tüzelőanyag-adagolásra történő közvetlen ráhatás, mint ahogyan ez más TSz-21-es bázisán kialakított rendszereknél már megvalósult és üzembiztosan működik (pl. MPM-20, a Kassai Műszaki Egyetemen [4]).

A szabályozó tesztelése során került felszínre, hogy az esetleges rendellenességek felderítése nehézkes, tekintetve, hogy az elektronika egyszerűsége okán a külvilággal csak a szükséges minimális kapcsolatban áll, mely kimerül a gázkar és kompresszor utáni nyomás analóg jelek feldolgozásában és a levegős arányos szelep részére PWM vezérlőjelek kiadásában. Leginkább az üzem közben a szabályozókör különböző paramétereibe történő beavatkozás lehetősége volt az a körülmény, amely az eredeti helyett egy továbbfejlesztett változat tervezését eredményezte. Az eddig alkalmazott 2-es verziót a 3-as sorozat követi tehát.

Az új verzió már egy sokkal több képességgel rendelkező, Freescale (volt Motorola) MC9S08SH8 típusú mikrokontrolleren alapul. Ez az integrált áramkör 8kB programmemóriával és 512B RAM-mal rendelkezik, amely duplája a korábbi elektronika MC9S08QD4 központi egységének. Az eredeti szabályozóban meg kellett tartani a még korábbi kézi vezérlésből örökölt gázkar potenciométerrel való kompatibilitást, ezért a változtatható ellenállás nemlineáris karakterisztikáját szoftveresen kellett kiküszöbölni. Az ezt a célt szolgáló rutin a lebegőpontos számábrázolás megkerülhetetlensége okán a programmemória közel felét foglalta el. Az elmúlt két év tapasztalatai alapján kijelenthető, hogy az arányos szelep kézi vezérlésére nem lesz szükség, azzal egyenértékű beavatkozás szükség esetén mechanikusan egy párhuzamosan kötött kézi csappal megvalósítható. Így tehát a gázkar elmozdulásával egyenesen arányos jelet szolgáltató lineáris potenciométer is alkalmazhatóvá válik, jelentős memóriát megtakarítva ezzel további feladatok ellátására.

Az egyes fejlesztések között itt található meg a következő visszacsatolás, ugyanis a PELE V2 szabályozó algoritmusára épült a rádió távirányítású változat, aminek az új PELE 3-as verzió a külvilággal történő kapcsolattartás oldaláról nyer értékes lehetőségeket.





4. ábra A PELE V3 beszerelés előtt

## **A teljes hatáskörű, digitális, elektronikus szabályozórendszer fejlesztése**

### *Bevezető gondolatok*

A TKT-1 sugárhajtómű oktatási feladatából adódóan nem csupán a gázturbina termodinamikai jellemzőinek megismerésére kell fókuszáljon, hanem olyan interdiszciplináris tudást is biztosítania kell, amelyek a korszerű repülőműszaki ismeretek közül nem hiányozhatnak. Ilyen többek között a jelenleg már széleskörűen elterjedt, a hajtóművek biztonságos és gazdaságos üzemeltetését nagymértékben elősegítő FADE(E)C<sup>8</sup> [2]. Fontos megjegyezni, hogy ez a megnevezés egy teljes rendszerre utal, nem csak a központi végrehajtó egységére, amely természetesen kiemelkedően fontos, de korántsem egyedüli szereplője a szabályozásnak.

A moduláris áramkörök előzetesen kialakított listája módosult, mert a tervezés során fény derült az egyes komponensek nem optimális elosztására, és ennek ismeretében bizonyos funkciókat át kellett csoportosítani a kártyák között, valamint egy új kártya is megjelent. A modulokat és rövid jellemzésüket az 2. táblázat tartalmazza.

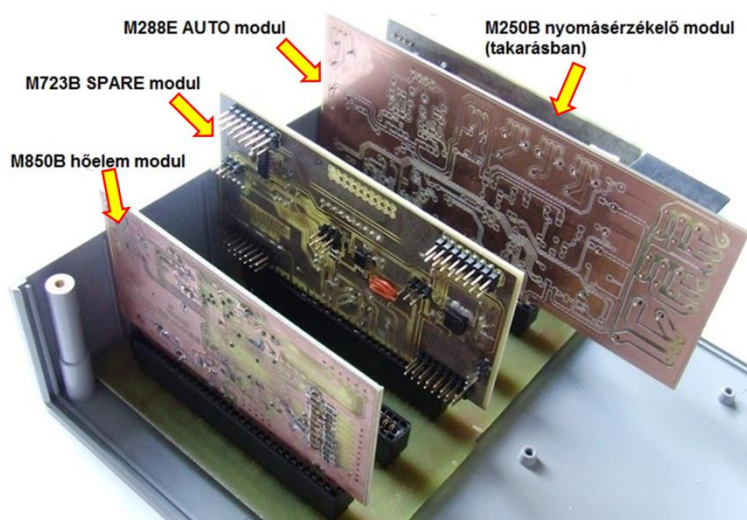
<sup>8</sup> FADE(E)C: Full Authority Digital Electronic (Engine) Control, teljes hatáskörű digitális elektronikus (hajtómű) szabályozás



Modul jele	Verzió / darab-szám	Megnevezés	Rövid leírás
M250	B / 1	Nyomásmérő modul	Saját nyomásérzékelők jeleinek digitalizálása, továbbítása az alaplapi CAN <sup>9</sup> buszon
M850	B / 1	Hőelem modul	Hőelemek jeleinek erősítése, digitalizálása, továbbítása az alaplapi CAN buszon
M723	B / 1	Digitális modul	Diszkrét jelek feldolgozása, továbbítása az alaplapi CAN buszon
M288	E / 2	Auto modul	Az automatikus szabályozást megvalósító egység
M248	- / 1	BITE-M modul	Beépített önellenőrzés és kézi vezérlés modulja

2. táblázat A TKT-1 moduláris szabályozórendszerének elemei

Az elmúlt év során felvetődött újfajta követelmények alapján tehát az addigi koncepció nem alapvető, de mindenképpen számottevő változásokon ment keresztül. Az 5. ábrán a moduláris szabályozó eddig elkészült áramkörei láthatóak a műszerdobozba szerelés során.



5. ábra A teljes hatáskörű szabályozó az összeszerelés során

### Analóg jellemzők mérése

Az analóg jellemzők mérése két egymástól jelentősen eltérő nagyságrendbe eső jelcsoportot foglal magába. Az első csoport tagjai a hőelemek, melyek a sugárhajtómű jellegzetes keresztmetszeteiben, valamint segédberendezéseiben kialakuló hőmérsékleteket millivolt nagyságrendű kimenő feszültség formájában állítják elő. Ez a jelszint értelemszerűen csekély, közvetlen feldolgozásra csak igen különleges körülmények között alkalmas, ezért az analóg-digitális átalakítást megelőzően erősítés válik szükségessé. A másik csoport az erősítést nem igénylő nyomásérzékelők, valamint különböző visszacsatolások feszültségjelei, melyek a 0-5V tartományba esnek, így külön erősítés nélkül is digitalizálhatóak.

A két jelcsoport tehát egyértelműen elkülöníthető egymástól, ezért a moduláris, kártyás kialakítás tervezésénél ez a tény figyelembe vételre került. A nyomásérzékelő modul, mely az M250B jelet viseli, áramköri kártyája az alaplappal együtt már 2012-ben elkészült, erről az [3] is beszámolt.

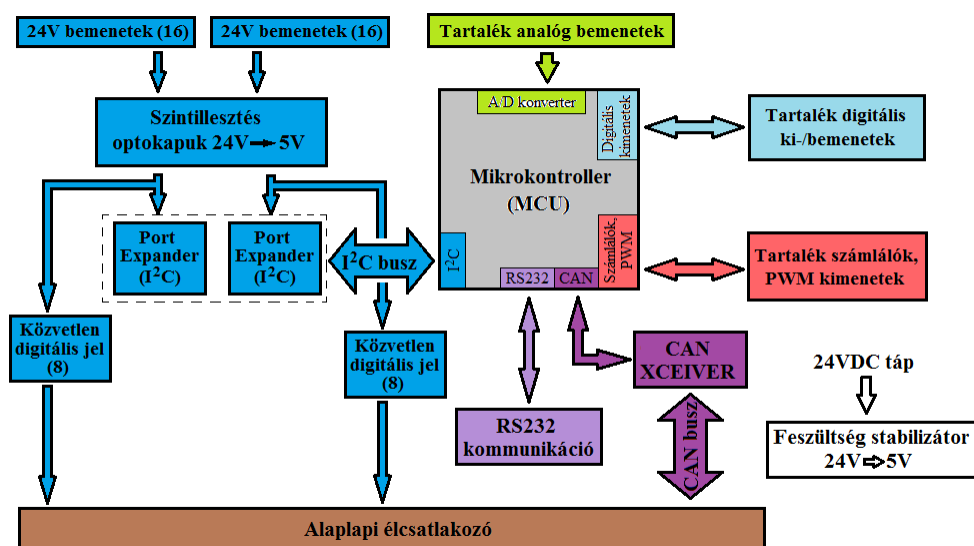
<sup>9</sup> CAN: Controller Area Network, mikrokontrollerek közötti lokális hálózat

Az M850B jelű hőelem modul megvalósítása elhúzódott, de a cikk írásának idején a nyomtatott áramköri kártya már készen állt. Az alkatrészek beültetése és az elkészült áramkör élesztése a közeljövő feladatai közé tartozik.

### Diszkrét jelek feldolgozása

A legnagyobb hiányosság ezen a téren mutatkozott. Az eredeti tervek szerint ugyanis az automatikus szabályozást megvalósító modulok végezték volna ezen jeleknek a feldolgozását, azonban a rendszer biztonsága érdekében, a redundancia és robusztusság kívánalmainak megfelelően ez a feladat kikerült az Auto modulok hatásköréből.

Egy teljesen új áramkör került megtervezésre, aminek elvi felépítését a 6. ábra mutatja. Ez az áramkör egyrészt begyűjti a maximálisan 32 helyről származó diszkrét (igen-nem jelállapottal rendelkező) információt, majd azok közül 16-ot az alaplapi buszon továbbít vészhelyzet esetére, normál működés során azonban a kártya saját mikrokontrollere dolgozza fel, majd a CAN buszon bocsátja a többi modul rendelkezésére.



6. ábra Az M723B digitális modul elvi felépítése

Fontos megjegyezni azt, hogy a diszkrét jelek java a különböző 24V-os tápfeszültséggel működő egységektől történő visszacsatolás (szivattyúk, mágnesszelepek, stb.), ezért a gyengeáramú rész kiemelt védelme érdekében ezek a külvilágból érkező jelek optokapuk segítségével galvanikusan el vannak választva. A mikrokontrollerhez feldolgozásra kerülő, illetve az alaplapra továbbított jelek már az 5V-os tartományba esnek.

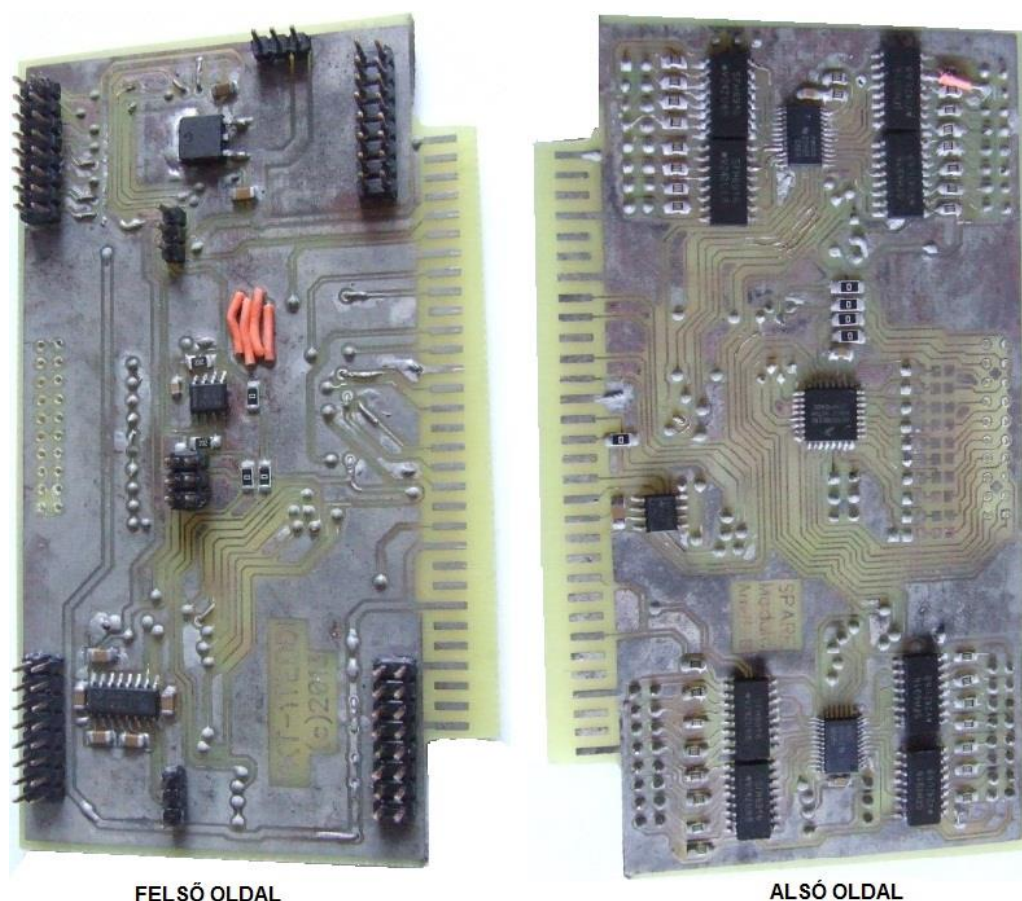
A modul központi mikrokontrollere a  $2 \times 16$  jelet, melyek minden esetben redundánsak, két I<sup>2</sup>C<sup>10</sup> buszon elhelyezett port bővítő áramkörtől keresztül felügyeli. Ezen kívül annak érdekében, hogy a mikrokontroller meghibásodása vagy rendellenes működése esetén is legyen a többi modulnak (elsődlegesen az automatikus szabályozást megvalósítóknak) információja az egyes berendezések működéséről, az optokapuk kimenetei közül 8-8 vezeték az alaplapi buszra, mint egyedi jel is továbbításra kerül. Onnan a csatlakozó modulok szükség esetén – amennyiben a

<sup>10</sup> I<sup>2</sup>C: Inter Integrated Circuit, integrált áramkörök közti kétvezetékes soros kommunikációs szabvány

CAN buszon keresztül nem érkezik információ – részesülhetnek ezekből.

A központi mikrokontroller a port bővítők alkalmazása miatt számos fel nem használt kivezé-  
téssel rendelkezik, ezek az áramköri kártyán digitális, PWM<sup>11</sup> ki- és bemenetként, illetve  
analóg bemenetként szabadon felhasználható blokkot alkotnak a későbbi bővíthetőség érde-  
kében.

A cikk írásakor a modul már az alkatrészek beültetésének fázisában volt, amit a 7. ábra mutat.



7. ábra Az M723B digitális modul

### ***Az automatikus szabályozás áramkörei***

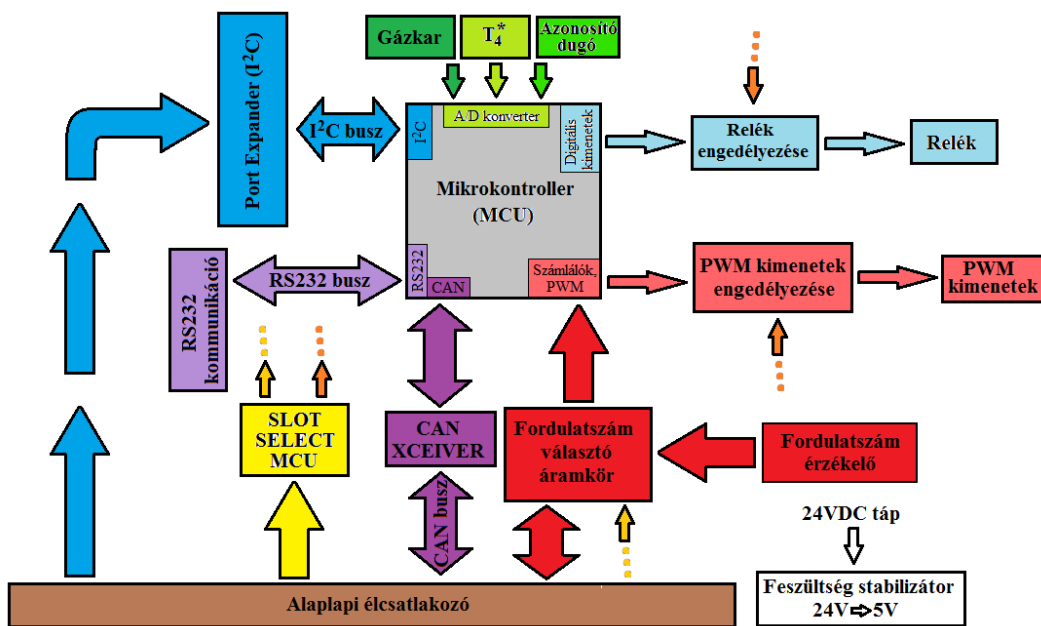
Az automatikus szabályozás moduljai is számottevő változáson mentek keresztül. Elsődlegesen megszűnt a kizárólagos felügyelete a diszkrét jeleknek, a fentebb részletezett M723 digitális modul látja el a továbbiakban ezt a szerepet. A szabályozás tényleges megvalósításához pedig szükséges az egyes beavatkozó jelek megfelelő kapcsolatainak létrehozása.

Mivel a hajtómű körül számos berendezés (szivattyúk, mágnesszelepek, stb.) mindössze ki-be kapcsolást igényel, számos relé került elhelyezésre a modulon. Az üzemmód megtartása érdekében a beavatkozáshoz analóg jelre van szükség, ezért itt PWM jelekkel zajlik a rendelkező jelek kiadása. Annak érdekében, hogy a későbbiekben egy redundáns, kétcsatornás szabályozórendszer épülhessen ki, szükséges biztosítani az egyes komponensek vezérlését mindkét

<sup>11</sup> PWM: Pulse Width Modulation, impulzus-szélesség moduláció

M288 Auto modulról, ezek tulajdonképpen párhuzamosan kapcsolt relékkel könnyen megoldhatóak. Az arányos jeleket igénylő PWM kimeneteknél kell különös figyelmet fordítani a nem aktív modul esetleges kimeneteinek leválasztására. Ezt a feladatot a foglalkiválasztó logikai áramkör végzi, mely abban az esetben, ha az adott szabályozó aktív, engedélyezi ezen kimeneteket, melegtartalék üzemmódban azonban leválasztja ezeket a végrehajtó szervekről.

Az Auto modul végzi tehát a szabályozást, melyhez teljes körű rálátással kell lennie minden analóg és digitális jelre, mely a sugárhajtómű üzemállapotával kapcsolatos. Ezek a jelek elsődlegesen az alaplapi CAN busz kommunikációjával érkeznek, de a legfontosabb információk eredeti formájukban párhuzamosan is rendelkezésre állnak, hogy az adott modul kommunikációs egységének kiesése esetén is eljuthasson a szabályozáshoz nélkülözhetetlen adat rendelkezési helyére. Az Auto modul elvi vázlatát a 8., míg kialakítását a 9. ábra mutatja.



8. ábra Az M288 Auto modul elvi felépítése



9. ábra Az M288 Auto modul





A cél egy kettős redundancia megvalósítása a két teljesen azonos Auto modul áramköri kártyával. A működés tekintetében mindig csak az egyik vezérli a kimeneteket, a másik melegtartalékként elvégez minden szükséges számítást, éppen csak a kimenetei inaktívak. Ennek a kialakításnak a lényege, hogy folyamatosan képesek ellenőrizni egymást a modulok, illetve az aktív meghibásodása esetén azonnali vezérlés átadás valósulhat meg.

A szabályozórendszer programjának mindenképpen képesnek kell lennie a normál kétcsatornás üzemmód mellett egyetlen áramkörrel történő működésre. Az alapvető konfigurációban mindkét csatorna hibátlan, és a rendszer többi eleme sem mutat rendellenességet. Ekkor a rendszert feszültség alá helyezve a két Auto modul közül az fogja megkezdeni a szabályozást, amelyik az előző üzem során melegtartalék volt. Ezt az információt elsődlegesen a beépített öntesztelés moduljának nem felejtő memóriájában tárolja a rendszer, és a BITE-M modul adja ki az alaplap megfelelő csatornáin keresztül az adott áramkör kiválasztására szolgáló jelet. Az Auto modulok rendelkeznek egy, a szabályozást megvalósító mikrokontrollertől független áramkörrel, amely a kiválasztó jelek és a saját oldali mikrokontroller működőképessége alapján engedélyezi a PWM kimeneteket. Ezt a 8. ábrán a Slot Select MCU<sup>12</sup> szimbolizálja, mely egy MC9S08SG8 típusú, 8kB programmemóriával rendelkező, 16 lábú TSSOP<sup>13</sup> tokozású mikrokontroller.

A meghibásodások első lépcsőjeként elképzelhető az, hogy ezen kiválasztó jelek nem értelmezett kombinációban jelennek meg, a Slot Select MCU ilyen esetben saját nem felejtő memóriájában tárolt adatot használ annak eldöntésére, hogy az aktuális üzem során a hozzá tartozó kártya lesz az aktív, vagy a másik, és eszerint kapcsolja a PWM kimenetek reléit. Ehhez is szükséges természetesen a saját oldali mikrokontroller működőképességére utaló jel.

Amennyiben a Slot Select MCU-hoz tartozó nem felejtő memória is meghibásodik, akkor az alapértelmezés szerint az Auto modul fő mikrokontrollerébe épített Flash EEPROM-ban rögzített adat dönt, hogy a saját oldali vagy ellenkező oldali kártya kaphassa a vezérlést. Ekkor a két Auto modul CAN buszon keresztül zajló adatcsere során megállapítja az üzemképességet, és az a kontroller, amelyik melegtartalék üzemmódba kell kerülnön, a saját működőképességét jelző vonalat alacsonyra állítva olyan helyzetet imitál, mintha meghibásodás történt volna, így a saját kimenet-vezérlő áramköre tiltani fog. Utána visszaállítja a jelet magas szintre, amennyiben a másik kontroller működés közben hibásodna meg, akkor visszakaphassa a vezérlés lehetőségét.

Ha a CAN buszos kommunikáció nem valósítható meg, akkor alapértelmezés szerint az 1-es foglalatba helyezett Auto modul kapja a vezérlés lehetőségét egészen addig, amíg valamilyen meghibásodás ezt nem akadályozza. A 2-es foglalatban lévő modul csak ekkor jut érvényre.

### ***A beépített öntesztelés modulja***

A rendszer épségét felügyelő, központi önellenőrzést végrehajtó egysége az M248 jelű BITE-M<sup>14</sup> modul, amely korlátozott manuális beavatkozást is lehetővé tesz.

---

<sup>12</sup> MCU: Microcontroller Unit, mikrokontroller

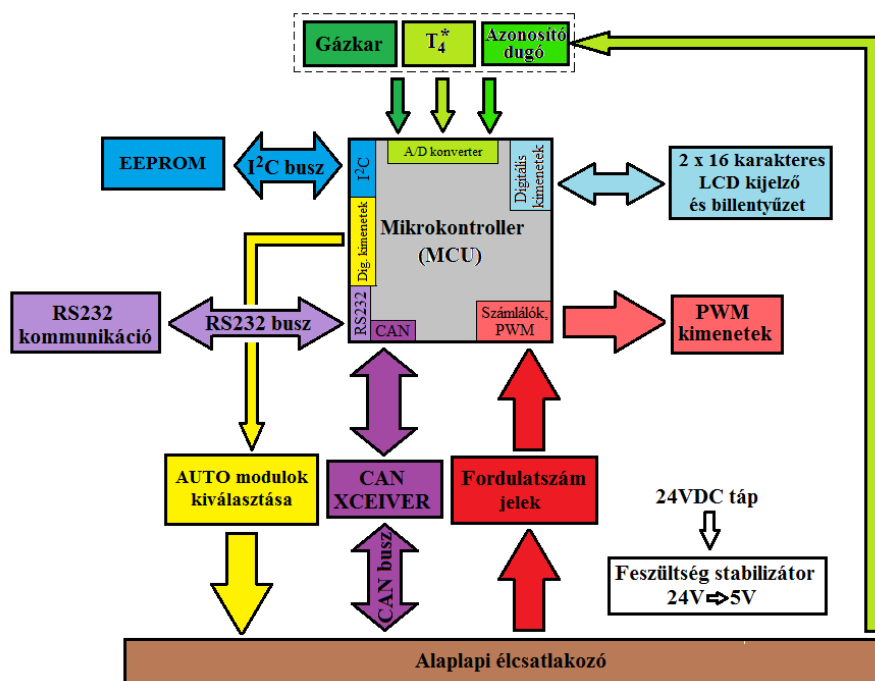
<sup>13</sup> TSSOP: Thin-Shrink Small Outline Package, kisméretű felületszerelt integrált áramköri tokozás

<sup>14</sup> BITE-M: Built-In Test Equipment - Manual, beépített ellenőrző és manuális modul



Ez a modul felelős elsődlegesen az éppen sorra kerülő Auto modul kiválasztásáért, a CAN buszon küldött üzenetek alapján az egyes egységek működőképességének felügyeletéért, az esetleges meghibásodások során a rendszer szükség szerinti újrakonfigurálásáért. Egy  $2 \times 16$  karakteres LCD kijelzőn és 6 nyomógombos billentyűzeten keresztül a kezelőszemélyzet számára megfelelő kapcsolatot biztosít a rendszer egyes elemeivel, illetve a memóriájában tárolt adatokhoz történő hozzáférést nyújt. A sugárhajtómű normál működése közben pedig RS232 adatcsatornán keresztül számítógépes mérő-adatgyűjtő rendszer számára képes az összes többi modul által begyűjtött adat továbbítására. Ez utóbbi funkció az eredeti koncepció szerint az Auto modulok közül az éppen melegtartalékként működő lett volna, azonban nehezen lett volna kivitelezhető olyan kapcsolás, mely biztosítja a két modul csatlakozását egy közös RS232 kimenetre, miközben garantálja az éppen nem működő áramkör leválasztását, az elektromos zárlat elkerülése érdekében. Egyszerűbbnek tűnik tehát, hogy a BITE-M modul végezze ezt a feladatot, míg a többi kártya esetében a soros kommunikáció mindössze a fejlesztés céljait szolgálja, mert ezen interfészen keresztül – átgondoltan programozott firmware esetén – egyszerűen lehet elvégezni az egyes áramkörök funkcionális tesztelését.

A BITE-M modul elvi felépítését a 10. ábra mutatja.



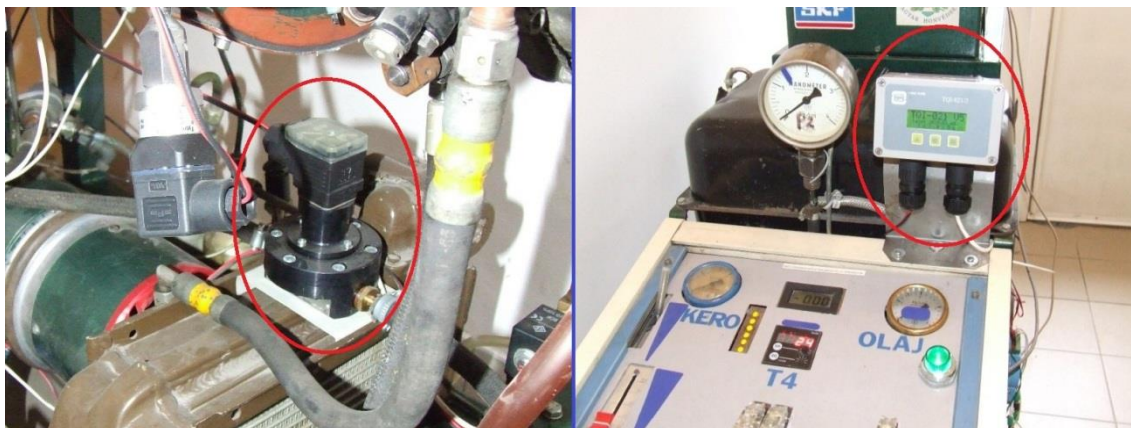
10. ábra: A BITE-M modul elvi felépítése

## A PRÓBAPAD FEJLESZTÉSE

### Tüzelőanyag térfogatáram mérése

A 2012-ben még rendelkezésre álló, felsőoktatási intézményeknek biztosítható szakképzési támogatás keretében a Budapest Aircraft Service Kft. jóvoltából a tüzelőanyag-ellenőrző rendszer gyarapodott egy, az MMG Flow Kft. által gyártott, nagy értékű TQT-2 Pelton-turbinás térfogat-

áram-mérő berendezéssel. Emellett lehetőség volt a hozzá tartozó TQI-021/2 elektronikus jelfeldolgozó egységgel, mely az impulzus-sorozat formájában beérkező, az impulzusok frekvenciájával arányos térfogatáramot 4-20mA szabványos analóg jellé konvertálja, melynek digitalizálása könnyűszerrel elvégezhető volt a meglévő mérő-adatgyűjtő rendszer feltételei mellett. Ezen berendezések segítségével az üzemelések során valós időben megállapítható a pillanatnyi tüzelőanyag-fogyasztás, igaz, hogy nem tömeg-, hanem térfogatárama, a tömegáram a tüzelőanyag sűrűségének közelítésével határozható meg. A tüzelőanyag térfogatáram-mérője, valamint a jelfeldolgozó elektronikus egysége a 11. ábrán tekinthető meg.



11. ábra A TQT-2 átfolyásmérő és a TQI-021/2 jelfeldolgozó egység a TKT-1 próbapadra építve

### A tüzelőanyag nyomás mérése

A 924-es berendezés rendellenes működése számos esetben az indítás sikertelenségéhez vezetett. A turbinás térfogatáram-mérési lehetőség ellenére a probléma nem oldható egyszerűen, mert a szivattyúegység ilyen alapos ismerete nem biztosított alárendelt szerepének köszönhetően. A rendelkezésre álló adatok mindössze a kimenő tüzelőanyag nyomást, mint a vezérlő levegőnyomás függvényét tartalmazzák, ezzel történő összehasonlításra kellett tehát törekedni. Ennek eredményeképpen egy 4-20mA, a mért nyomással arányos áramjelet kibocsátó, 25 bar méréshatárú nyomástávadó került beépítésre közvetlenül a tüzelőanyag-fűvókák elé, melyet beépítési környezetében a 12. ábra mutat.



12. ábra A tüzelőanyag nyomástávadó a fűvókakoszorú előtt

Habár szorosan nem a mérés témaköréhez tartozik, de számottevő mértékben érinti a kialakuló tüzelőanyag-nyomást, a vezérlőpultra szerelt a nyomóági fojtószelep eltávolítása nagymértékben segítette a rendszer egyszerűsítését, hatékonyabb működését. Kiépítésével minden üzemmódon legalább 2bar többlet jelentkezett a rendelkezésre álló tüzelőanyag-nyomásban. Helyére az addig külön műszerdobozban helyet foglaló potenciométeres gázkar került.

### A mérő- és adatgyűjtő rendszer

A tüzelőanyag-rendszert érintő fejlesztések mellett a rendelkezésre álló források lehetővé tették egy korszerű, nagy sebességű, többfunkciós mérő-adatgyűjtő modul beszerzését, mely a sugárhajtómű üzemének tranziens folyamatainak kellő részletességű feltérképezését is meg tudja valósítani.

A National Instruments által gyártott, NI USB-6218 típusú egység rendelkezik számos bemenettel és kimenettel, mind digitális, mind analóg oldalon [5].

Az eszköz összesen 32 darab analóg bemenettel rendelkezik, melyek maximálisan  $\pm 10V$  tartományba eső feszültségek mérését teszik lehetővé, szükség szerint belső erősítéssel is rendelkezik. Az analóg csatornák multiplexeren keresztül csatlakoznak a 16 bites A/D<sup>15</sup> konverterhez, mely másodpercenként maximálisan 200 000 minta vételére alkalmas. Jelen konfigurációban 18 analóg jel mérése történik, mellyel megközelítőleg 10 kHz gyakoriság az elméleti maximum.

Az analóg kimenetek száma kettő, ezek szintén 16 bites felbontást tesznek lehetővé.

A digitális jelek két nyolcbites egységbe szervezve találhatóak meg, az egyik csoport a kimenet, a másik a bemenet. A diszkrét jelszintek megkülönböztetésén kívül beépített számlálóval is

<sup>15</sup> A/D: analóg-digitális

rendelkezik, melynek 1 MHz-es időalapja még a nagy fordulatszámok pontos mérését is lehetővé teszi.

A berendezés illesztését a meglévő mérőrendszerbe mind a hardver, mind pedig a szoftver oldaláról MSc képzésben részt vevő hallgatók végzik, részint évfolyamfeladat, részben pedig diplomaterv keretében.



13. ábra: Az NI USB-6218 a tanszéki kompresszoros próbapadhoz illesztve

Az USB buszos kialakítás abban a tekintetben is kedvező, hogy az eszköznek nincsen szüksége külső tápellátásra, a működéséhez szükséges elektromos teljesítményt a gazda számítógéptől kapja. Ezzel egy rugalmas és könnyen mozgatható berendezéshez jutottunk, amely egyszeri nagy beruházás mellett képes lehet a tanszék laborjában található különböző gázturbinás és kompresszoros próbapadok mérő-adatgyűjtő feladatait ellátni, értelemszerűen nem párhuzamosan, hanem kialakításából adódóan, mint hordozható műszer az éppen vizsgálat alatt álló berendezésnél üzembe helyezve. Első alkalmazása is a tanszéken a centrifugális kompresszorok pompázsjelenségeinek és azok szabályozási lehetőségeit vizsgáló próbapadon valósult meg (lásd 13. ábra).

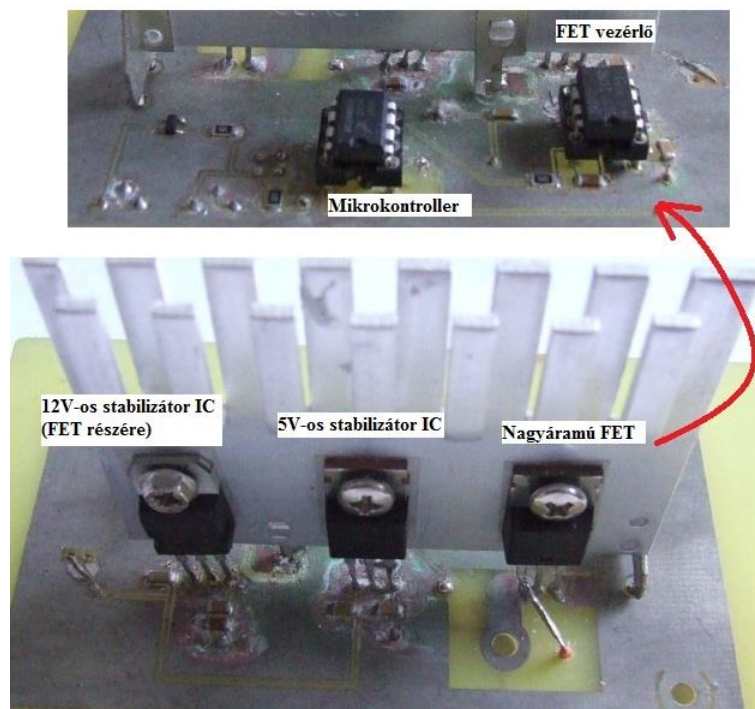
### **A 924-es próbapad alkalmazása**

Az elmúlt év során kiemelt fontosságú előrelépés volt a régóta építés alatt álló 924-es szivattyúegység próbapadjának üzembe helyezése, és az azzal végrehajtott különféle mérések megvalósítása.

Elsőként a rendelkezésre álló harmadik 924-es berendezés került felépítésre a próbapadra, mellyel előzetesen a tervezett kihajtás [3] esetén tervezett körülmények között hajtottunk végre méréseket, megállapítandó az ehhez szükséges beállítási értékeket. Ekkor azonban nehézséget okozott a mérés kivitelezésében a szivattyút hajtó villanymotor kézi vezérlése, amely a szivattyú-



tyú változó terhelési viszonyai mellett nem tette lehetővé a fordulatszám pontos és állandó értékre történő szabályozását. Annak érdekében, hogy a cikk írásának időpontjában már gyártás alatt lévő áttételház alkalmazása esetén kialakuló, kizárólag a gázturbina aktuális fordulatszámától függő meghajtás szimulálható legyen a későbbiekben, megterveztünk egy szabályozó áramkört, amely azonban nem a nagyáramú transzformátor primer tekercsén folyó áram triakos szaggatásával, hanem a szekunderről érkező egyenirányított feszültség FET<sup>16</sup>-es PWM vezérlésével valósítaná meg a fordulatszám állandó értéken tartását, egy mikrokontrolleres PID<sup>17</sup> szabályozó segítségével. Az elkészült, de jelenleg még a programozás fázisában lévő áramkört a 14. ábra mutatja.



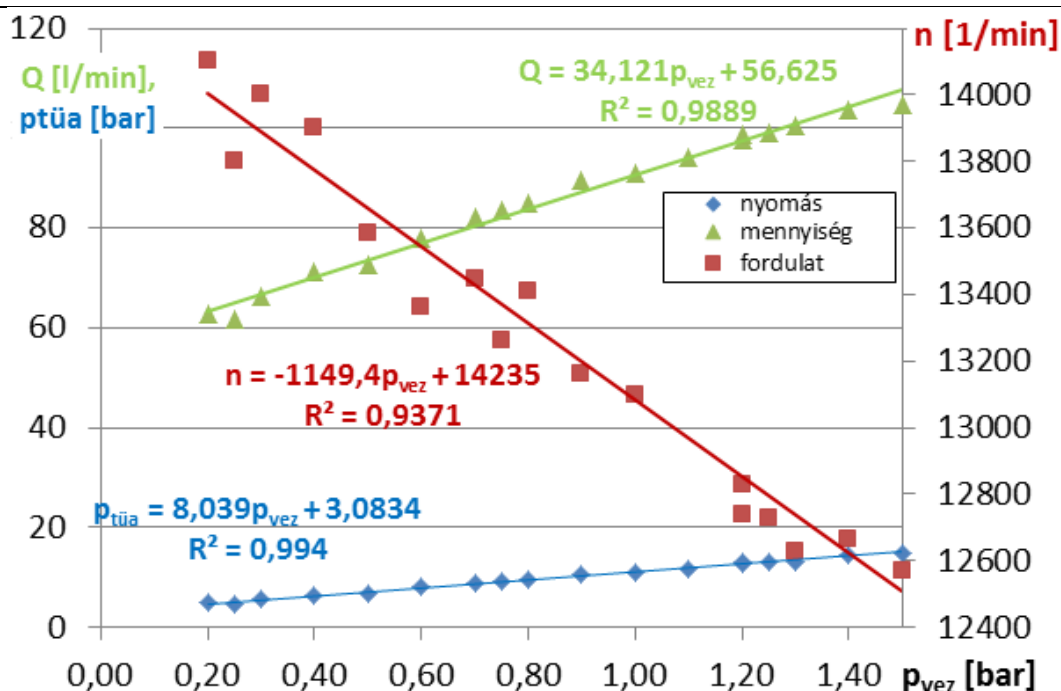
14. ábra A 924-es próbapad fordulatszám-szabályozó áramköre

A továbbiakban tüzelőanyag-szivattyú adatlapján [7] közölt vezérlőnyomás-tüzelőanyag nyomás karakterisztikát mértük ki (lásd 15. ábra), majd pedig, felkészülve az esetleges szivattyúcsere végrehajtására, a jelenleg a próbapadra épített szivattyú olyan értékekre történő beszabályozása történt meg, amelyekkel a TKT-1-en található példány rendelkezik.

<sup>16</sup> FET: Field Effect Transistor, térvezérlésű tranzisztor

<sup>17</sup> PID: Proporcionális (arányos) – integráló – differenciáló (szabályozó)





15. ábra A 924-es mért karakterisztikája

A 924-es próbapad egyik legnagyobb előnye, hogy a TKT-1 rendszere minimális – mintegy tízpercnyi munkát igénylő – szerelési munkával csatlakoztatható, így az ott beépített szivattyú ellenőrzése, beszüntetése is lehetővé vált a sugárhajtómű beindítása nélkül. Mivel ebben a konfigurációban a 924-es próbapad ejtő- és gyűjtőtartályai vesznek részt a működésben, a felhasznált tüzelőanyag megfelelő szűrés után a továbbiakban felhasználható marad.

## ELÉRT EREDMÉNYEK, TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Az elmúlt év során nagy horderejű előrelépések történtek a TKT-1 fejlesztése területén. Beszerzésre kerültek olyan eszközök a tüzelőanyag-, illetve mérő-adatgyűjtő rendszer részére, melyek nemcsak az oktatási jelleget erősítik, hanem nagyban elősegítik a fékpad tudományos kutatásokra történő alkalmazhatóságát. Emellett pedig jelentősen egyszerűsíthetők az üzemeltetés során előforduló kisebb-nagyobb hibák, rendellenességek felderítését, mert sokkal szerteágzóbb és részletgazdagabb információt bocsátanak rendelkezésre.

Számottevő haladást sikerült felmutatni az elektronikus szabályozó rendszerek fejlesztése terén is. Az egyszerűbb, részleges hatáskörű szabályozó egység, a PELE új verziója került kivitelezésre, mely fokozatos átmenetet biztosít egyre bővülő eszköztárával a teljes hatáskörű, duplikált rendszer irányába. Míg a PELE alapvetően egy kártyás kialakítású, addig a számos funkciót magába integráló, a közforgalmi repülésben széleskörűen elterjedt rendszerek sajátosságait alapul vevő TEDDI már moduláris felépítésű, és az egyes áramkörüi kártyák megtervezése, kivitelezése és élesztése terén döntő előrelépés történt az elmúlt időszakban.

Jelentős siker, hogy a 924-es próbapadot üzembe helyezve részletes méréseket, illetve a szivattyúk beszüntetését végre tudtuk hajtani. Kiemelt fontosságú a rendszer rugalmassága is,



mellyel rövid szereléssel nemcsak a próbapadra éppen felépített, hanem a TKT-1 saját szivattyújának az ellenőrzése is megvalósítható. Jelenleg még hátrány azonban, hogy a szivattyú villanymotorjához eredetileg tervezett elektromos tápellátás, mely triakos fázisszög-vezérlésen és kézi beavatkozáson alapul, körülményesen volna elektronikus úton szabályozható, ami viszont a fordulatszám állandó értéken tartása miatt alapvető követelmény lesz a közeljövőben, hogy a kihajtással adódó körülmények előzetes szimulációja érdekében.

Összegezve az elért eredményeket, kijelenthető, hogy a TKT-1 fennállásának 5. évében minden addig megvalósított fejlesztéseken esett át, melyek természetesen még nem fejeződtek be, így a közeljövőben ezen rendszerek befejezése, majd pedig tökéletesítése, további finomítása természetesen adódik.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők ezúton szeretnék kifejezni köszönetüket a Budapest Aircraft Service (BAsE) Kft.-nek nagylelkű hozzájárulásukért, amellyel a sugárhajtómű fejlesztésének eddigi legnagyobb horderejű előrelépését valósíthattuk meg.

Ezen kívül köszönet illeti GÖZSE ISTVÁNT, aki a BME Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék PhD hallgatója, és az áramkörök tervezésében, kivitelezésében nyújtott segítséget, valamint NAGY ANDRÁS tanársegédet (BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék), aki a megvalósításhoz járult hozzá nagymértékben.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Airbus A320 Aircraft Maintenance Manual.
- [2] FŐZŐ, Ladislav, ANDOGA, Rudolf, és MADARÁSZ, Ladislav: Digital Control System for MPM 20 Engine. 5th IEEE International Conference on Computational Cybernetics, ICC3 2007, pp. 281-284.
- [3] HORVÁTH Ádám – TÓTH Vilmos – BENEDA Károly Tamás: A TKT-1 gázturbinás sugárhajtómű tüzelőanyag- és szabályozó rendszerének fejlesztése. Repüléstudományi Konferencia, Szolnok, 2012. HU ISSN 1789-770X, pp. 854-879.
- [4] MADARÁSZ, L.; KAROL', T.; GASPÁR, V.; ANDOGA, R.; FŐZŐ, L.; and JUDICAK, J.: Digital start-up control of the small turbojet engine MPM-20. IEEE 10th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), 2012, pp. 277-281, doi: 10.1109/SAMI.2012.6208973.
- [5] National Instruments USB-6218 Data Sheet. <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-9/lang/hu> (letöltés ideje: 2013. február 1.)
- [6] Re/872. Az 55 típusú hajtómű műszaki üzembentartási szakutasítás 2. könyv. Honvédelmi Minisztérium, 1980.
- [7] A 924-es tüzelőanyag-olaj szivattyúegység formulárja: Насос Маслотопливный 924 – Паспорт 924ПС r1987.

Beneda Károly<sup>1</sup>

## AKTÍV BELÉPŐÉL FALI MEGCSAPOLÁS DINAMIKAI MODELLJE CENTRIFUGÁLKOMPRESSZOROK POMPÁZS-SZABÁLYOZÁSÁRA<sup>2</sup>

*Az áramlástechnikai gépek mind tökéletesebb kihasználtsága napjainkban már alapkövetelmény, legyen szó akár repülőgép-hajtóműben vagy ipari kompresszor-állomáson alkalmazott gépegységről. A széles üzemmód-tartomány, melyhez kedvező hatásfok társul, hagyományos módszerekkel már nem valósítható meg, elengedhetetlen a kis energiaigényű, kis reakcióidővel rendelkező beavatkozó rendszerek használata az instabilitások kiküszöbölésének területén is. Jelen cikk célja bemutatni a centrifugáلكompresszorok pompázs-szabályozásában a változtatható belépőél fali megcsapolásnak, mint alternatív aktív rendszernek modelljét, amely elsődlegesen a dinamikai viselkedés kérdéseire keresi a választ. E cél érdekében a MATLAB Simulink környezetben megalkotásra került a modell, melynek segítségével a rendszer optimális irányítására alkalmas LQ szabályozó megtervezése is kivitelezhetővé vált. Végül pedig fontos kiemelni, hogy a számítógépes modell ellenőrzése a Tanszék kompresszoros próbapadjának mérési adatainak felhasználásával valósult meg.*

### **DYNAMIC MODEL OF ACTIVE INDUCER SHROUD BLEED FOR CENTRIFUGAL COMPRESSOR SURGE SUPPRESSION**

*The utilization of turbomachines nowadays is constantly increasing, regardless of end equipment, such as aircraft powerplant or industrial compressor station. The wide range of operation, combined with competent efficiency, cannot be achieved using conventional methods. The need for low energy consumption, rapidly reacting actuation systems is inevitable also in the field of surge control. The goal of this paper is to introduce the model of the Variable Inducer Shroud Bleed, which can be an alternative for other active surge suppression, focusing on the dynamic behavior of the system. In order to accomplish this requirement, the model has been realized in MATLAB Simulink environment, where an LQ regulator for optimal control also has been designed. It is also important to note, that the results of the simulation have been compared to measurement data from the compressor test bench at the Department.*

## BEVEZETÉS

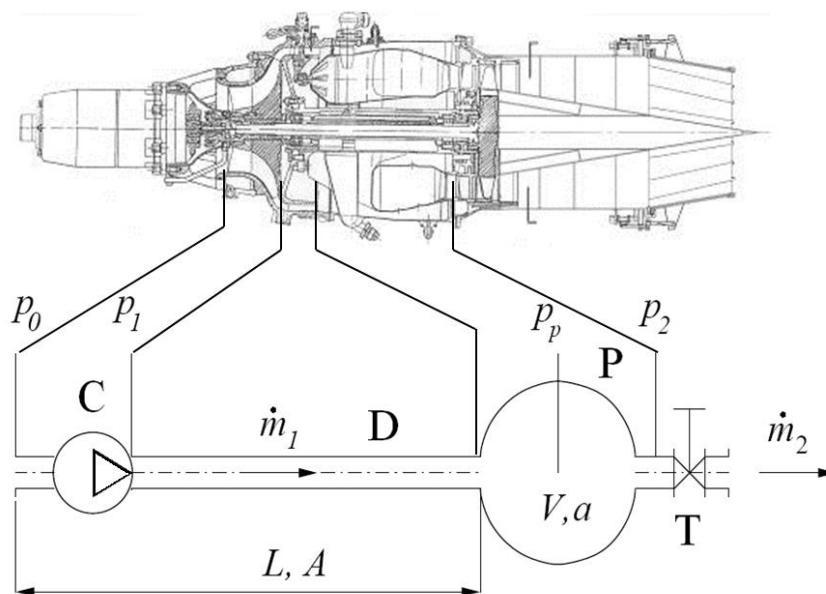
### Kompresszorok instabil üzemállapotai

Az áramlástechnikai kompresszorokban, akár centrifugális, akár axiális kialakítással rendelkeznek, a névlegesnél számottevően kisebb szállításhoz különböző instabilitások jelentkeznek, melyek a rendszer kialakításától is függenek. Ez lehet a kis amplitúdójú, nagy frekvenciás nyomáslengésként fellépő forgó leválás, amely elsődlegesen a kompresszorlapátok belépő élén a torzuló sebességi háromszög miatt létrejövő állásszög-növekedés miatt keletkezik, és mint ilyen, a kompresszor belső rendellenességének tekinthető. Emellett, a kompresszor mögött jelentős méretű tároló térfogatot elhelyezve (pl. égéstér a gázturbinás sugárhajtóművek esetén), az abban felgyülemelő nagy nyomású közeg kis frekvenciás, nagy amplitúdójú nyomás- és tömegáramlengéseket okozhat, ezt nevezzük kompresszor pompázsnak, mely tehát rendszerszintű problé-

<sup>1</sup> egyetemi tanársegéd, BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, beneda@rht.bme.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Kavas László okl. mk. alez; egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, kavas.laszlo@uni.nke.hu

ma [14]. A pompázs különböző mértékű kialakulásában számottevő szerepet játszik a  $P$  tároló térfogat  $V_p$  nagysága, a  $C$  kompresszorhoz tartozó  $D$  csővezeték  $A_c$  és  $L_c$  méretei, valamint a  $T$  fojtószelep pillanatnyi állása (lásd 1. ábra). Fontos kiemelni, hogy a kompresszor csővezetéke nem csak a kilépő szakaszt tartalmazza, hanem annak a szívócső is része. Ennek indoklását lásd lejjebb, a matematikai modell részletezésénél. A létrejövő lengések eredményezhetnek a normál pozitív szállításra ráakadó oszcillációt, de kedvezőtlen esetben akár az áramlás pillanatnyi teljes megfordulása is létrejöhet. A rendszer geometriája egyébként a két különböző instabilitásnak kombinációit is eredményezheti. Összevetve a forgó leválást és a pompázst, az utóbbi tekinthető veszélyesebbnek, figyelembe véve jelentős energiataralmát, de természetesen mindenféle instabilitás kiküszöbölése elsődleges fontosságú.



1. ábra Tipikus kompresszor rendszer elemei

## A pompázs elleni védekezés fajtái

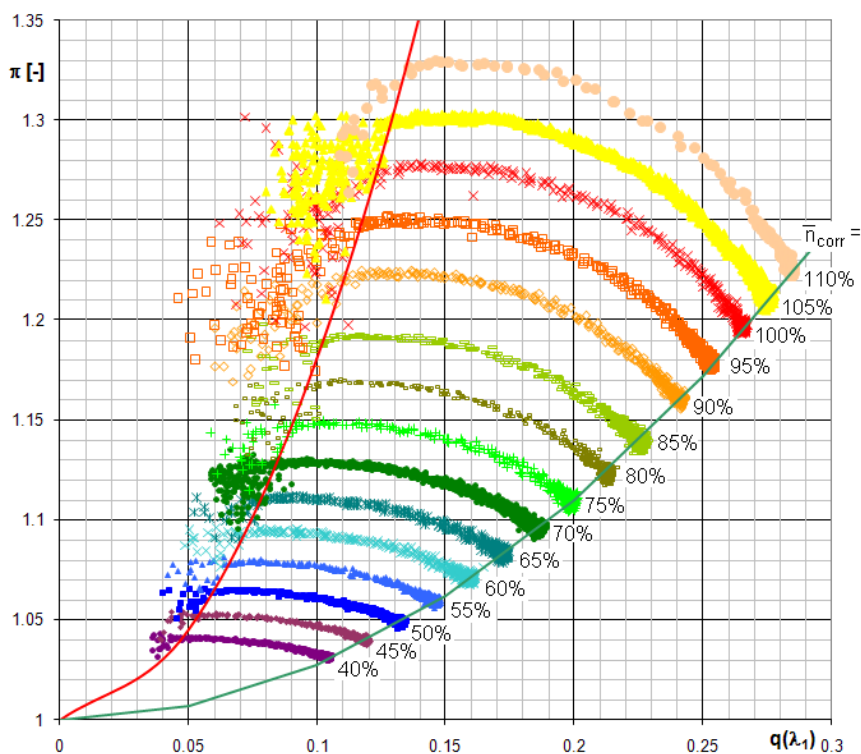
### A rendszerek csoportosítása

A pompázs kialakulása ellen végrehajtott beavatkozások alapvetően három fő csoportba sorolhatóak a visszacsatolás szempontjából. Amennyiben visszacsatolást nem alkalmazunk, úgy mindenképpen a biztonság irányába kell a tervezéskor eltérni, vagyis a legkedvezőtlenebb esetet véve számításba, a vezérlés leggyakrabban túlzott beavatkozást hoz létre, számottevően csökkentve ezáltal a rendszer hatásfokát. A fejlődés közbülső lépcsőfokaként megjelentek olyan megoldások, melyek még nem tekinthetők teljes értékű visszacsatolásnak, mert bár a pompázs kialakulását megelőző állapotot észlelik, az aktuális szituációtól független reakciót valósítanak meg. Ahogyan tovább fejlődtek az elektronikus mérő- és szabályozó eszközök, úgy alakultak ki és terjedtek el az aktív pompázs-szabályozó rendszerek, melyek az instabilitást nem csak detektálni tudják, hanem beavatkozó szerveik segítségével ezek elnyomását is lehetővé teszik, mely az éppen szükséges mértéket ölti (surge suppression) [19].

## A pompázs szabályozásának lehetőségei

Mivel az instabilitások kis szállítások esetén jönnek létre, ezért már a korai, kezdetleges rendszereknél is kézenfekvő volt olyan megoldást találni, amely a kompresszoron átáramló közeg mennyiségét növelni képes, miközben a rendszerbe továbbított mennyiség akár az aktuális pompázshatár alatti értéket képvisel. Ez levegő munkaközeg esetén atmoszférába történő átérésztést [12], más alkalmazásokban (pl. földgáz szállító állomásoknál) a kompresszor kilépésétől a bemenetre történő visszakeringetést [27] jelenhet. Ez a megoldás fokozatmentes szabályozással elégséges hatásfokot érhet el, miközben mindig megfelelő tömegáramot biztosít az instabilitások elkerülésére.

A kompresszor pompázs egyik kiváltó oka, hogy a kompresszor karakterisztika a csökkenő szállítások felé haladva lokális maximummal rendelkezik (lásd 2. ábra). Ahogy mérséklődik az áthaladó tömegáram, a karakterisztika pozitív meredekségű ágán a kompresszor egyre nagyobb nyomású közeggel tölti fel a mögötte elhelyezkedő tároló térfogatot. Amikor a szállítás áthalad a lokális maximumpontra, a kompresszor kimenetén egyre csökkenő nyomás keletkezik, miközben mögötte nagyobb nyomású közeg helyezkedik el, ez pedig a rendszer instabilitásához vezet. Ez elkerülhető, ha közvetlenül a kompresszor mögött változtatható fojtást helyezünk el [30], ennek elnevezése CCV<sup>3</sup>.



2. ábra Tipikus centrifugálkompresszor karakterisztika

A korszerű pompázs-szabályozás egyik ígéretes megoldása a kompresszor belépéséhez történő befűvés alkalmazása, mely a kis szállításkor a lapátvégeken létrejövő örvénylő zóna kis energiataralmú közegét képes frissíteni, ezáltal elnyomni a kialakuló instabilitást [17].

<sup>3</sup> CCV: Close Coupled Valve, a kompresszor kilépésénél közvetlenül elhelyezett fojtószelep



Gyakorta lehet találkozni változtatható belépő terelő-lapátsorral (IGV<sup>4</sup>), mely a kompresszor karakterisztikáját tolja a kisebb szállítások irányába a lapátsor zárása esetén. Hasonló megoldás, ha a centrifugális kompresszor lapátos diffúzora rendelkezik változtatható geometriával, ennek kivitelezése azonban bonyolultabb, ezért viszonylag ritkán fordul elő [20].

Ahol lehetséges, ott a kompresszor fordulatszám-szabályozása is szóba jöhet [13], de pl. repülőgép-hajtóművek esetében ez nem járható út.

### *A szabályozás fajtái*

A pompázs elleni beavatkozás számos különböző szabályozási eljárás útján valósítható meg, kezdve a jelentősebb egyszerűsítésekkel élő lineáris megközelítéseken keresztül a bonyolultabb nemlineáris algoritmusokig. A gyakorlatban alkalmazott megoldásokat az alábbiakban részletezem, melyeknek alapvető összefoglalása [30]-ban található meg.

- A munkapont körüli linearizálhatóságot felhasználva lehetséges különféle soros kompenzációs megoldásokkal biztosítani a rendszer stabilitását. A kialakítástól függően lehet arányos (proporcionális, P-típusú) [11], arányos-integráló (PI) [32], arányos-differenciáló (PD) [1], vagy a három alaptag kombinációjaként arányos-integráló-differenciáló (PID) [26]. Általános hátrányként említhető, hogy széles üzemmód-tartományban a kompresszor karakterisztikájában található nemlineáris hatások miatt csak szűk határok között alkalmazható, mindezek ellenére elterjedtségük még döntő az iparban, tekintettel egyszerű felépítésükre és könnyű alkalmazásukra [15].
- Az állapotér elmélet alapján lineáris kvadratikus értelemben optimális szabályozók is létrehozhatóak, melyre a szakirodalom LQR rövidítéssel hivatkozik [9]. Ez az optimális szabályozások egyik legismertebb fajtája, mely lineáris rendszerekre alkalmazható, tulajdonképpen az állapot-visszacsatolás erősítésének meghatározása biztosítja az előírt feltételeknek megfelelő optimális irányítást. Tekintettel arra, hogy a kompresszor pompázs területén már többen használtak ilyen szabályozást [8][31], melyek között – a vizsgált kompresszornál is alkalmazott – aszinkron motoros meghajtás is szerepel, következőképpen egyszerűségére és rugalmasságára való tekintettel a jelenlegi kutatás céljaira ez a módszer került kiválasztásra.
- A közelmúltban egyre nagyobb teret hódít a repülőiparban, így a gázturbinás sugárhajtóművek szabályozásában azon változó paraméterű lineáris (LPV<sup>5</sup>) szabályozók, melyek a gain scheduling eljárásból fejlődtek ki, és céljuk, hogy az eredeti módszer hátrányait kiküszöböljék, és a rendszert a hirtelen változások esetén is garantálják a stabilitást [2].
- A linearizálás negatív következményei kiküszöbölhetőek, ha eleve nemlineáris megközelítést alkalmazunk. Ezen a téren a fontosabb kísérletek csúszó-mód szabályozásra [3], backstepping módszerre [21], bifurkációs eljárásra [18] vonatkoztak.
  - A csúszó-mód szabályozás (SMC<sup>6</sup>) [3] egy változó struktúrájú eljárás, mely nem folytonos beavatkozó jellel kényszeríti a rendszert normál működési tartományának egy meghatározott felületén „csúszva” a kívánt munkapont meg-

<sup>4</sup> IGV: Inlet Guide Vane, belépő terelő-lapátsor

<sup>5</sup> LPV: Linear, Parameter-Varying (Control), lineáris, változó paraméterű (szabályozás)

<sup>6</sup> SMC: Sliding Mode Control, csúszó-mód szabályozás

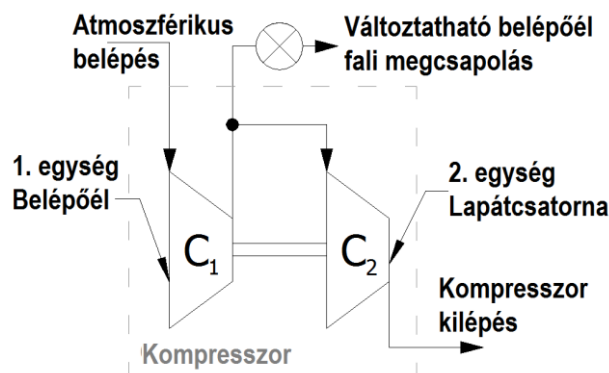
közelítésére. Nagy előnye, hogy nincs szükség a rendszer modelljének tökéletes ismeretére, elegendő, ha tudjuk, hogy az adott pontból milyen irányú elmozdulás eredményez stabilizáló hatást [15].

- A backstepping szabályozás [21], egy összetett, egymásra épülő alrendszerek egységeként felfogható rendszer stabilizálását szolgálja rekurzív módon. A legbelső, tovább már nem bontható alrendszer stabilizálásából indul ki, és a külső alrendszerek szabályozása rekurzív úton valósul meg, addig, míg a legkülső is létrejön.
- A bifurkációs eljárásokon alapuló módszerek [23][18] a kompresszor karakterisztika hiszteréziséből adódó, azonos szállítás mellett jelentősen különböző üzemállapotok létrejöttének matematikai megközelítéséből indulnak ki.

## A VÁLTOZTATHATÓ BELÉPŐÉL FALI MEGCSAPOLÁS

### A VISB<sup>7</sup> matematikai modellje

Tekintettel arra, hogy a belépőél fali megcsapolás akár passzív vagy aktív változata jelentős módosulást eredményez a centrifugálkompresszor belső áramlásában, a hagyományos módszerekkel nem modellezhető hatékonyan. Szükséges a kompresszort két logikailag különálló egységre bontani, melyek határa célszerűen a megcsapolás keresztmetszete [4] (lásd 3. ábra), ez az SCM<sup>8</sup> elnevezést kapta.



3. ábra A szétválasztott kompresszor modell elve

Ekkor ugyanis a probléma vizsgálhatóvá válik egyszerű, egydimenziós közelítés alkalmazásával is, nem szükséges feltétlenül a teljes áramlási tér háromdimenziós szimulációja. Az így kialakított számítási algoritmus célja, hogy meghatározza a kompresszor karakterisztikáját a különböző megcsapolási ráták mellett. A program MATLAB környezetben került kivitelezésre és eredményeinek helyességét a Tanszék centrifugálkompresszoros próbapadjának alapos mérései támasztják alá.

<sup>7</sup> VISB: Variable Inducer Shroud Bleed, változtatható belépőél fali megcsapolás

<sup>8</sup> SCM: Split Compression Model, szétválasztott kompresszor modell

## A kompresszor rendszer dinamikai modellje

### A modellt leíró egyenletrendszer

Az 1970-es évek közepén intenzív kutatómunka eredményeképpen Greitzer létrehozta a kompresszor rendszereket leíró dinamikai modellt [14], mely egyszerűsége ellenére is magába foglalja a jelenség fizikai lényegét, ezáltal lehetőséget biztosít a gyors eredmények elérésére, melyek mind kvalitatív, mind pedig kvantitatív információkkal szolgálnak az adott rendszert illetően [3]. Ez a modell eredendően állandó fordulatszámra volt alkalmazható, azonban több szerző is kiegészítette a forgórész dinamikai egyenletével, mellyel már tetszőleges állapotváltozás vizsgálható [13][22].

A modell alapvetően az 1. ábrán bemutatott rendszert feltételezi, a rajta feltüntetett jellemzők ismeretével. Ekkor, az eredeti modell szerint két egyenlet írja le a kompresszor és a többi egység dinamikai viselkedését, melyek a kompresszor csővezetékére felírható impulzus-tételből, valamint a tároló térfogatra felírt kontinuitásból következnek:

$$A_c \cdot (p_2 - p_p) = L_c \cdot \frac{d\dot{m}_c}{dt} \quad (1)$$

ahol:

- $A_c$  a kompresszor csővezetékének keresztmetszete,  $m^2$ ;
- $p_2$  a kompresszor kilépő nyomása, Pa;
- $p_p$  a tároló térfogatban uralkodó nyomás, Pa;
- $L_c$  a kompresszor csővezetékének hossza, m;
- $\frac{d\dot{m}_c}{dt}$  a kompresszor tömegáramának időegység alatti megváltozása.

$$\dot{m}_c - \dot{m}_t = \frac{dm_p}{dt} = \frac{d(\rho_p \cdot V_p)}{dt} \quad (2)$$

ahol:

- $\rho_p$  a tároló térfogatban lévő közeg sűrűsége,  $kg/m^3$ ;
- $V_p$  a tároló térfogata,  $m^3$ ;
- $m_p$  a tároló térfogatban lévő közeg tömege, kg;
- $\dot{m}_t$  a fojtószelep tömegárama, kg / s;

A rendszer viselkedését leíró harmadik egyenlet a forgórész energia-megmaradását taglalja, mellyel tetszőlegesen változó fordulatszámú végbemenő működés vizsgálható:

$$\Theta \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_d - M_c \quad (3)$$

ahol:

- $\Theta$  a forgórész tehetetlenségi nyomatéka,  $kg \cdot m^2$ ;
- $M_d$  a kompresszort hajtó nyomaték,  $N \cdot m$ ;
- $M_c$  a kompresszor által igényelt nyomaték,  $N \cdot m$ .

Greitzer rámutatott, hogy célszerű az egyenleteket dimenziómentes alakra hozni, ehhez az elmúlt évtizedekben kutatásokat végzők különböző formulákat javasoltak. Amennyiben a vizsgálat változó fordulatszámot is magába foglal, célszerűnek mutatkozik az a megoldás, amikor a nyomásokat a kompresszor kerületi sebességével definiált fiktív dinamikus nyomással, a tömegáramokat szintén ezzel a sebességgel felírt fiktív tömegárammal dimenziótlanjuk, mert ekkor a kompresszor karakterisztika egyetlen vonalként határozható meg, nem szükséges fordulatszámtól függő felírást alkalmazni.

$$\psi = \frac{p - p_0}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^2} \quad (4)$$

$$\phi = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A_c \cdot u} \quad (5)$$

ahol

- $\psi$  a dimenziótlán nyomás, -;
- $\phi$  a dimenziótlán tömegáram, -;
- $\rho$  a kompresszor bemenő sűrűsége,  $\text{kg/m}^3$ ;
- $u$  a kompresszor jellemző kerületi sebessége,  $\text{m/s}$ ;

A fent említett mennyiségeken kívül természetesen szükséges dimenziómentes alakra hozni az egyenletrendszerben szereplő többi tényezőt is. A nyomatékok, illetve az idő dimenziótlán formája esetében a következő tényezőkkel kell számolni:

$$\mu = \frac{M}{\rho \cdot u^2 \cdot A_c \cdot r_2} \quad (6)$$

$$\xi = t \cdot \omega_H \quad (7)$$

ahol

- $\mu$  a dimenziótlán nyomaték, -;
- $r_2$  a kompresszor járókerék kilépő sugara,  $\text{m}$ ;
- $\xi$  a dimenziótlán idő, -;
- $\omega_H$  a rendszer Helmholtz-frekvenciája, mely definíció szerint:

$$\omega_H = a_p \cdot \sqrt{\frac{A_c}{V_p \cdot L_c}} \quad (8)$$

ahol  $a_p$  a tároló térfogatra jellemző hangsebesség. Az így végrehajtott műveletek segítségével a következő dimenziótlán egyenletrendszert kapjuk:

$$\dot{\psi}_p = \frac{1}{B} \cdot (\phi_c - \phi_t) \quad (9)$$

$$\dot{\phi}_c = B \cdot (\psi_c - \psi_p) \quad (10)$$

$$\dot{B} = \frac{\rho \cdot L_c \cdot A_c \cdot r^2}{\Theta} \cdot (\mu_d - \mu_c) \quad (11)$$

ahol  $B$  a rendszer Greitzer-féle dimenziótlan viselkedés-paramétere, mely a fordulatszám, a rendszer geometriai kialakításának, valamint a tároló térfogatban érvényes hangsebességnek a függvénye:

$$B = \frac{u}{2 \cdot \omega_H \cdot L_c} = \frac{u}{2 \cdot a_p} \cdot \sqrt{\frac{V_p}{A_c \cdot L_c}} \quad (12)$$

Fontos megjegyezni, hogy a deriválás a (9)-(11) egyenletekben a  $\xi$  dimenziótlan idő szerint történik.

### *A fojtáson kiáramló közeg mennyiségének meghatározása*

A modell alkalmazása érdekében meg kell határozni az egyenletrendszer elemeit. Értelemszerűen a teljes dimenziótlan dinamikai modell három állapottal rendelkezik, ezek a kompresszor tömegárama  $\phi_c$ , a tároló térfogat nyomása  $\psi_p$ , illetve a  $B$  viselkedés-paraméter. Szükséges ezeken kívül valamely összefüggéssel felírni még a  $\phi_t$  fojtószelep tömegáramot, a  $\psi_c$  kompresszor nyomást,  $\mu_d$  meghajtó- és  $\mu_c$  kompresszor által igényelt nyomatókat.

A rendszer kimenetén található fojtás az áramlástanból ismert fojtórés egyenletével modellezhető, melynek általánosan alkalmazott formája az 1. ábra jelöléseivel összhangban:

$$\dot{m}_t = \alpha_t \cdot A_t \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_p \cdot (p_p - p_0)} \quad (13)$$

ahol

- $\alpha_t$  – a fojtás átömlési tényezője;
- $A_t$  – a fojtás aktuális keresztmetszete;
- $\rho_p$  – a tároló térfogatbeli (fojtás előtti) sűrűség;
- $p_0$  – a környezeti nyomás.

Alkalmazva a (4) és (5) szerinti dimenziómentes alakot, kapjuk:

$$\phi_t = \gamma_t \cdot \sqrt{\psi_p} \quad (14)$$

ahol

- $\gamma_t$  – a fojtás aktuális állapotára (nyitottság, keresztmetszet, esetleges változó átömlési tényező) jellemző dimenziótlan tényező.

Megjegyzendő, hogy a dimenziótlan alak levezetésénél adódik egy  $\frac{\rho_p}{\rho}$  hányados, mely azonban [13] szerint jó közelítéssel állandó értékkel rendelkezik, így a  $\gamma_t$  szorzótényezőbe integrálható.

### *A kompresszor karakterisztika meghatározása*

A jelenlegi modell ezen a téren mutat számottevő eltérést a más módszereknél alkalmazott



megközelítésben, tekintettel arra, hogy a belépőél fali megcsapolás jelentősen befolyásolja a kompresszor karakterisztikáját. Szemben más megközelítésekkel (közeli fojtás [30], visszakeringetés [10], meghajtó nyomaték változtatása [7], dugattyús csillapítás [31], stb.), ebben az esetben a beavatkozás magát a kompresszor karakterisztikát módosítja, így az állapotér modellben is a  $\mathbf{b}$ , bemenő jellemzőket összefoglaló vektor elemei között található meg.

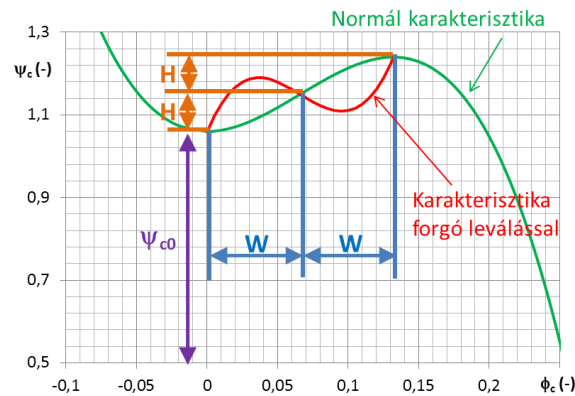
A kompresszor karakterisztikája [25] alapján a normál működési tartományban (unstalled), illetve a leválásban (stalled,  $0 \leq \phi_c < 2 \cdot W(\gamma_{VISB})$ ) a következő egyenletekkel adható meg, melyek harmadfokú közelítést adnak:

$$\psi_{c,unstalled}(\phi_c, \gamma_{VISB}) = \psi_{c0}(\gamma_{VISB}) + H(\gamma_{VISB}) \cdot \left[ 1 + \frac{3}{2} \cdot \left( \frac{\phi_c}{W(\gamma_{VISB})} - 1 \right) - \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{\phi_c}{W(\gamma_{VISB})} - 1 \right)^3 \right] \quad (15)$$

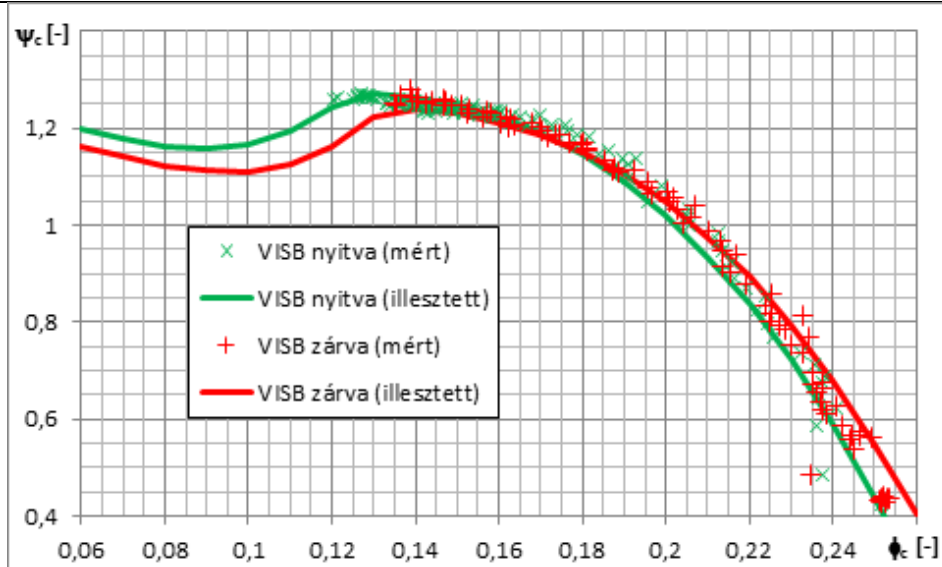
$$\psi_{c,stalled}(\phi_c, \gamma_{VISB}) = \psi_{c0}(\gamma_{VISB}) + H(\gamma_{VISB}) \cdot \left[ 1 - \frac{3}{2} \cdot \left( \frac{\phi_c}{W(\gamma_{VISB})} - 1 \right) + \frac{5}{2} \cdot \left( \frac{\phi_c}{W(\gamma_{VISB})} - 1 \right)^3 \right] \quad (16)$$

ahol a paraméterek mindegyike a  $\gamma_{VISB}$  belépőél fali megcsapolás relatív nyitottságának függvénye:

- $\psi_{c0}(\gamma_{VISB})$  – a kompresszor zérus szállításhoz tartozó dimenziótlan nyomásnövekedése;
- $H(\gamma_{VISB})$  – a kompresszor karakterisztika ún. félmagassága (v. ö. 4. ábra);
- $W(\gamma_{VISB})$  – a kompresszor karakterisztika ún. félszélessége (lásd 4. ábra).



4. ábra Dimenziótlan kompresszor karakterisztika és az egyes paraméterek jelentése



5. ábra A vizsgált kompresszor karakterisztikája zárt és nyitott belépőél fali megcsapolások mellett

Ahogy az az 5. ábrán is megfigyelhető, a belépőél fali megcsapolás alkalmazásakor a karakterisztika a kisebb szállítások irányába eltolódik, annak megállapítása, hogy a (15)-(16) egyenletekben alkalmazott  $\psi_{c0}$ ,  $H$  és  $W$  értékekkel rendelkezik, kiemelt fontosságú a modell pontossága érdekében, ezért kiterjedt mérések eredményeképpen kerültek meghatározásra [6]. Érdeemes megjegyezni, hogy az első kísérletek a modell felállítására mindössze a (15) egyenletet alkalmazta volna, azonban a mérések során fény derült arra, hogy a kompresszor nem tisztán pompázs állapotba kerül, hanem számottevő forgó leválás is létrejön, így a (16) egyenlet is szükséges a pontos leíráshoz.

A kompresszor a mérések eredményei alapján az alábbi értékekkel rendelkezik zárt és nyitott belépőél fali megcsapolás mellett:

$$\left. \begin{array}{l} \psi_{c0} = 1,06 \\ H = 0,09 \\ W = 0,066 \end{array} \right|_{\gamma_{VISB}=0} \quad \left. \begin{array}{l} \psi_{c0} = 1,113 \\ H = 0,08 \\ W = 0,062 \end{array} \right|_{\gamma_{VISB}=1} \quad (17)$$

Mivel a kiadódó eltérések viszonylag kis méreteket öltenek, ezért feltételezhető, hogy a köztes állapotokban az egyes paraméterek a két végállapot ismeretében lineáris interpolációval nyerhetőek, vagyis a három paraméter, mint a relatív nyitás függvénye:

$$\begin{aligned} \psi_{c0}(\gamma_{VISB}) &= 1,06 + 0,053 \cdot \gamma_{VISB} \\ H(\gamma_{VISB}) &= 0,09 - 0,01 \cdot \gamma_{VISB} \\ W(\gamma_{VISB}) &= 0,066 - 0,004 \cdot \gamma_{VISB} \end{aligned} \quad (18)$$

#### A kompresszor által igényelt nyomaték meghatározása

A centrifugálkompresszorok adott szállítás megvalósításához szükséges nyomatékának számítását az Euler-féle turbina-egyenlettel valósíthatjuk meg:

$$M_c = \dot{m}_c \cdot (r_2 \cdot c_{2u} - r_1 \cdot c_{1u}) \quad (19)$$

ahol

- $c_{2u}, c_{1u}$  – a kilépő, illetve belépő keresztmetszetben mért abszolút sebességek;
- $r_1$  – a belépő keresztmetszet (közepes) sugara.

Alkalmazva a (6) szerinti dimenziómentes forma számítását, valamint figyelembe véve, hogy a kilépő abszolút sebesség írható, mint az  $u_2$  kerületi sebesség és a  $\sigma$  perdületapadási tényező szorzata, illetve perdületmentes belépéssel ( $c_{1u} = 0$ ) számolva:

$$\mu_c = \frac{|\dot{m}_c| \cdot r_2 \cdot \sigma \cdot u_2}{\rho \cdot u^2 \cdot A_c \cdot r_2} = \frac{|\dot{m}_c|}{\rho \cdot u_2 \cdot A_c} \cdot \frac{r_2 \cdot \sigma \cdot u_2}{u_2 \cdot r_2} = \sigma \cdot |\phi_c| \quad (20)$$

### A meghajtó nyomaték számítása

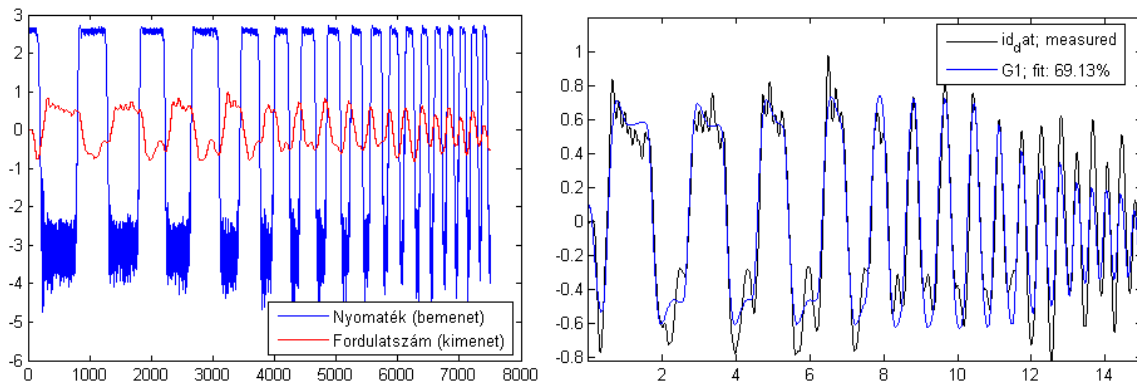
A vizsgált kompresszor próbapad egy háromfázisú, aszinkron villanymotorral kerül működtetésre, mely többek között a tüzelőanyag-cellás alkalmazásokban [8], illetve újabban a repülésben (B787) is elterjedtek [28]. Az aszinkron motor modellezése jócskán túlmutat ezen kutatás keretein [29], így a motor átviteli függvényének kísérleti úton történő meghatározása mutatkozott kivitelezhetőnek. Erre azért is volt szükség, mert egyrészt a meghajtó nyomaték a teljes modell szempontjából nem elsődleges fontosságú paraméter. A kísérletek során tapasztalt minimális fordulatszám-ingadozás, mely a terhelés változása miatt következett be, egy nagyobb elhanyagolásokkal élő megközelítésből akár el is lett volna hagyható. Azonban tekintettel a modellezett kompresszor alkalmazási lehetőségeire, valamint a későbbi továbbfejlesztési lehetőségekre, egy egyszerűsített motor modellel, ami kellően illeszkedik a mért értékekre, nagyobb pontosság érhető el. Az egyszerűsítésre viszont feltétlenül szükség van, mert az irodalomban bemutatott ötödrendű modellek [24] beépítéséhez olyan adatokat kellett volna meghatározni, melyek nem vagy csak igen körülményesen lettek volna kivitelezhetőek, míg az eredményt számottevően nem befolyásolta volna.

Ehhez a névleges fordulatszámon egyre növekedő gyakorisággal, hirtelen történt a közeli fojtószelep zárása-nyitása, ezzel változtatva a terhelő nyomatékot, melyet a fordulatszámmal együtt rögzített a kompresszor adatgyűjtő rendszere. A nyomaték mérése csak a termodinamikai paraméterek alapján számítás útján történt, mivel nyomatékmérő beépítésére az adott környezetbe nem volt mód. A mérőrendszer leírását részleteiben a [5] tartalmazza, e cikk megjelenése óta mindössze a fordulatszám-érzékelő került módosításra, az ott leírt optikai mérési elv helyett a tengely végén rögzített mágnes Hall-érzékelős detektálása, valamint az így keletkezett, erősített, TTL szintű jelnek a feldolgozása került bevezetésre.

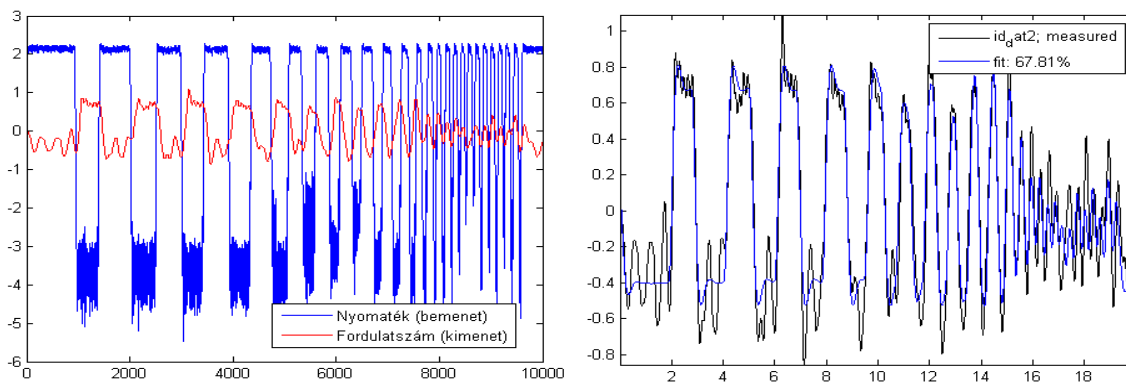
A mérés kiértékelése, valamint a közelítő modell megalkotása MATLAB környezetben zajlott. Az adatsorok alapján a fordulatszám és a motor nyomaték közötti átviteli függvényt az Output-Error modell segítségével állapítottam meg. Mivel a motor nyomaték bemenetről fordulatszám kimenetre nem tartalmaz integráló vagy deriváló tagot, ezért törekszünk arra, hogy a lehető legkisebb rendszámú arányos taggal történjen a közelítés. Az egytárolós tag csak jelentős hibával közelíti a mért értékeket, a kéttárolós tag már megfelelő illeszkedést eredményezett.

A méréseket több sorozatban végeztem, melyek közül két adatsor, valamint az azokra illesztett rendszer adott (mért) bemenő jelre adott válaszfüggvényei a 6. és 7. ábrán figyelhetőek meg, ahol a mért adatok, mint a munkaponttól való eltérések kerültek megjelenítésre. A bal

oldali diagram a nyers mérési adatpontokat mutatja, míg a jobb oldalin már az idő szerint tüntettem fel a mért és illesztett rendszerek adatait. A mérések során tehát egyre nagyobb frekvenciával történt a fojtószelep zárása, ezt jól illusztrálják az alábbi ábrák.



6. ábra Mért adatsor és a közelítő modell illeszkedése – 1. mérési sorozat



7. ábra Második mérési adatsor és illeszkedése

A diszkrét idejű rendszert végül folytonos idejűvé a MATLAB *d2c* parancsának használatával alakítottam, melyet bilineáris (Tustin) beállítással alkalmaztam, a módszer kedvező numerikus stabilitása miatt. Az így nyert folytonos idejű rendszer átviteli függvénye a következőképpen adódott:

$$G_{mot}(s) = \frac{-19,17}{s^2 + 11,15s + 102,7} \quad (21)$$

A (21) átviteli függvény egyértelműen mutatja, hogy a fordulatszám növekedésével a nyomaték csökken, ahogyan ez elvárható. Fontos megjegyezni, mivel ez az átviteli függvény a fordulatszám és valódi nyomaték közötti összefüggést teremti meg, a dimenziótlan forma esetében az így kiadódó értéket még normálni kell a (6) egyenlet szerint.

Összefoglalásképpen megemlítendő, hogy amint az megfigyelhető a fentebb közölt adatok alapján, a vizsgált kompresszort hajtó villanymotor nyomaték bemenetre adott fordulatszám kimenete egy másodrendű rendszerrel is kellő pontosságú közelítést ad, ez a kompresszor dinamikai viselkedését célzó kutatás igényeit a legmesszebbmenőkig kielégíti.

## A kompresszor modell linearizált formája

Tekintettel arra, hogy a kompresszor pompázs-szabályozása a csak pompázshatár közelében, kis szállításoknál kell beavatkozzon az instabilitások megakadályozására, nagy tömegáramok esetében nem, ezért egy, ehhez az állapothoz közel eső munkapontra fókuszálva kell a szabályozót megtervezni.

Ahhoz, hogy a pompázs szabályozása LQ rendszerrel valósulhasson meg, szükséges a nemlineáris dinamikai modell munkapont körüli linearizálása. Ez a munkapont tehát a kompresszor karakterisztika stabil ágán, a pompázshatár közelében helyezkedik el. Mivel a mérési eredmények alapján kijelenthető, hogy a fordulatszámot nem befolyásolja számottevően a kialakuló forgó leválás illetve pompázs a vizsgált kompresszor esetében, ezért az egyenletrendszer forgórész dinamikával kapcsolatos tagját (11) a linearizálás során elhagyjuk, a  $\dot{B} \approx 0$  közelítéssel élve. Az így megmaradó egyenletek segítségével felírható a kompresszor rendszer egyszerűsített állapotter reprezentációja, melyben a következő megfontolásokat szükséges tenni:

- a rendszer állapotai a tároló térfogat dimenziótlan nyomása illetve a kompresszor dimenziótlan tömegárama;
- a beavatkozás lehetősége – ellentétben a hagyományos pompázs-szabályozó rendszerek megoldásaival – a kompresszor karakterisztika változtatásán keresztül valósul meg.

Vegyük először is egy stabil munkaponttól való eltérést a következőképpen:

$$\tilde{\psi}_p = \psi_p - \psi_{p0}, \quad \tilde{\phi}_c = \phi_c - \phi_{c0} \quad (22)$$

ahol a ( $\tilde{\phantom{x}}$ ) jel a munkaponttól számított differenciát jelöli. Ekkor a (9)-(10) egyenletrendszer a következő alakot ölti:

$$\dot{\tilde{\psi}}_p = \frac{1}{B} \cdot \left[ \tilde{\phi}_c - \gamma_t \cdot \left( \sqrt{\tilde{\psi}_p + \psi_{p0}} - \sqrt{\psi_{p0}} \right) \right] \quad (23)$$

$$\dot{\tilde{\phi}}_c = B \cdot \left[ \tilde{\psi}_c(\tilde{\phi}_c, \gamma_{VISB}) - \tilde{\psi}_p \right] \quad (24)$$

A kompresszor karakterisztika az új koordinátákkal:

$$\tilde{\psi}_c(\tilde{\phi}_c, \gamma_{VISB}) = -k_3(\gamma_{VISB}) \cdot \tilde{\phi}_c^3 - k_2(\gamma_{VISB}) \cdot \tilde{\phi}_c^2 - k_1(\gamma_{VISB}) \cdot \tilde{\phi}_c \quad (25)$$

ahol  $k_1(\gamma_{VISB}) = \frac{3 \cdot H(\gamma_{VISB}) \cdot \phi_{c0}}{2 \cdot W(\gamma_{VISB})^3} \cdot [\phi_{c0} - 2 \cdot W(\gamma_{VISB})]$ ,  $k_2(\gamma_{VISB}) = \frac{3 \cdot H(\gamma_{VISB})}{2 \cdot W(\gamma_{VISB})^3} \cdot [\phi_{c0} - W(\gamma_{VISB})]$

és  $k_3 = \frac{H(\gamma_{VISB})}{2 \cdot W(\gamma_{VISB})^3}$  ([31] nyomán). A linearizált modell szempontjából a másod- és harmad-

rendűen kicsiny mennyiségek elhanyagolhatóak, így a végleges kompresszor karakterisztika a munkapont körül redukálható az elsőfokú tagra:

$$\tilde{\psi}_c(\tilde{\phi}_c, \gamma_{VISB}) = -k_1(\gamma_{VISB}) \cdot \tilde{\phi}_c \quad (26)$$

A (26) egyenlet kiértékelésekor kiemelt figyelmet kell fordítani arra a tényre, az állapotter



reprezentációban a VISB relatív nyitottsága,  $\gamma_{VISB}$  a bemenet. Ekkor a kétváltozós  $\tilde{\psi}_c(\tilde{\phi}_c, \gamma_{VISB})$  függvényt a munkapont vizsgálva megállapítható, hogy:

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial \tilde{\psi}_c(\tilde{\phi}_c, \gamma_{VISB})}{\partial \tilde{\phi}_c} \cdot d\tilde{\phi}_c \right|_{\phi_c=0,13} &= 0,00206 \\ \left. \frac{\partial \tilde{\psi}_c(\tilde{\phi}_c, \gamma_{VISB})}{\partial \gamma_{VISB}} \cdot d\gamma_{VISB} \right|_{\phi_c=0,13} &= 0,0309 \end{aligned} \quad (27)$$

Vagyis (27) alapján kijelenthető, hogy mivel a dimenziótlan tömegáram szerinti derivált egy nagyságrenddel kisebb, mint a VISB relatív nyitottsága szerinti derivált, a  $\tilde{\psi}_c(\tilde{\phi}_c, \gamma_{VISB})$  függvény közelíthető egyváltozós formában, a  $\tilde{\phi}_c$  helyére  $\phi_{c0}$ -t helyettesítve:

$$\tilde{\psi}_c(\gamma_{VISB}) = -k_1(\gamma_{VISB}) \cdot \phi_{c0} \quad (28)$$

Ezen megfontolások után a (23)-(24) egyenletrendszer linearizálás után következőképpen írható fel:

$$\dot{\tilde{x}}_c = A_c \tilde{x}_c + b_c \tilde{u} \quad (29)$$

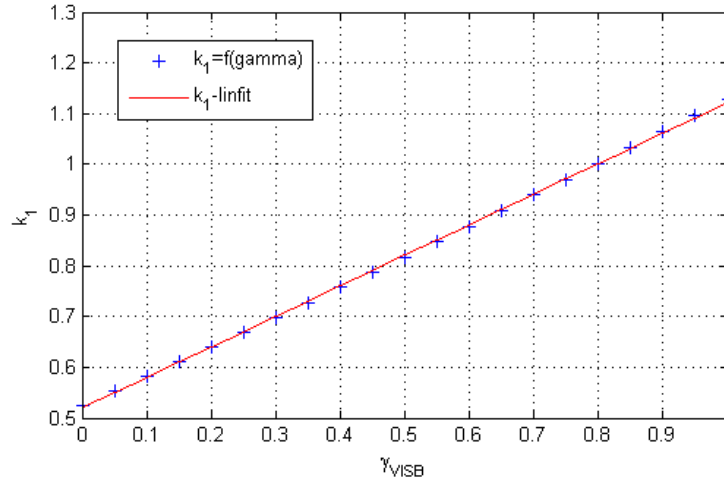
ahol:

- $\tilde{x}_c = \begin{bmatrix} \tilde{\psi}_p \\ \tilde{\phi}_c \end{bmatrix}$  a rendszer állapotait tartalmazó oszlopvektor;
- $A_c = \begin{bmatrix} -\frac{\gamma_t}{2 \cdot B_0 \cdot \sqrt{\psi_{p0}}} & 1 \\ -B_0 & 0 \end{bmatrix}$  a rendszermátrix;
- $b_c = \begin{bmatrix} 0 \\ -B_0 \cdot \phi_{c0} \end{bmatrix}$  bemeneti mátrix;
- $\tilde{u} = k_1(\gamma_{VISB})$  a bemenet.

A bemenettel kapcsolatban fontos megjegyezni, hogy miután statikus összefüggés van a  $k_1$  és  $\gamma_{VISB}$  között, ezért nem okoz problémát, hogy a modellben az állapot visszacsatolás először  $k_1$ -et ad eredményül, a  $k_1 = f(\gamma_{VISB})$  összefüggés invertálásával megkaphatjuk  $\gamma_{VISB}$ -et, amely tulajdonképpen a szabályozás beavatkozó szervének elmozdulása. Ami ebben a tekintetben kiemelkedően fontos, hogy megvizsgáljuk, az invertált  $\gamma_{VISB} = f(k_1)$  kifejezés az alkalmazott  $k_1$  tartományon milyen tulajdonságokat mutat, van-e szinguláris pontja, stb. Ennek meghatározása érdekében, mivel a  $k_1 = f(\gamma_{VISB})$  függvény analitikus invertálása a benne foglalt harmadfokú tényezők miatt hosszadalmasnak mutatkozott, célszerűnek tűnt a vizsgált berendezés által alkalmazott tartományban megvizsgálni a függvény menetét, majd ennek tükrében dönteni az invertálásról.

Amennyiben elvégezzük a behelyettesítést és ábrázoljuk a  $k_1 = f(\gamma_{VISB})$  függvényt, tapasztalhatjuk, hogy az ezzel az egyenlettel jellemzett görbe minimális eltérést mutat egy egyenes

szakasztól. Ennek eredményeképpen kijelenthető, hogy a bonyolult, harmadfokú tagot is tartalmazó összefüggés igen jó közelítéssel helyettesíthető egy lineáris kifejezéssel, melyből már könnyűszerrel megkapható a függvény inverze. A függvény görbéje a kérdésese tartományon, valamint az arra illesztett egyenes a 8. ábrán figyelhető meg.



8. ábra A  $k_1 = f(\gamma_{VISB})$  függvény menete a  $0 \leq \gamma_{VISB} \leq 1$  tartományon, illetve a rá illesztett egyenes

Az a lineáris összefüggés, mellyel tehát a függvény helyettesíthető a modellben, a következő alakot ölti:

$$k_{1,lin} = 0,6019 \cdot \gamma_{VISB} + 0,5197 \quad (30)$$

Így tehát a modell szempontjából szükséges összefüggés, mellyel a szabályozó által meghatározott  $k_1$ -ből a VISB által aktuálisan megvalósítandó nyitást kalkulálja:

$$\gamma_{VISB} = \frac{k_1 - 0,5197}{0,6019} \quad (31)$$

Fontos azonban megjegyezni a következőket:

- a  $k_1 = f(\gamma_{VISB})$  függvény a modell által igényelt értelmezési tartományon nem rendelkezik szinguláris ponttal, vagyis inverze ezen határok között számítható;
- a VISB rendszer dinamikája mindenképpen olyan kell legyen, hogy a VISB beállása nagyságrendekkel gyorsabb legyen a kompresszorénál. Ez a hagyományos módszereknél hatékonyabban, kisebb energia felhasználás árán MEMS<sup>9</sup> alapú megoldásokkal volna kivitelezhető.

A szimuláció paramétereit, melyek a rendszer fontosabb geometriai, termodinamikai jellemzői, valamint a munkapont adatait az 1. táblázat tartalmazza.

<sup>9</sup> MEMS: Micro-Electro-Mechanical System, mikro-elektro-mechanikai rendszer



Paraméter	Érték	Mérték-egység	Paraméter	Érték	Mérték-egység
$V_p$	0,07216	m <sup>3</sup>	$u$	179,44	m/s
$A_c$	0,01767	m <sup>2</sup>	$B_0$	0,2868	-
$L_c$	3,08	m	$\square_{c0}$	0,1548	-
$a_p$	360,25	m/s	$\square_{p0}$	1,235	-
			$\square_{t0}$	0,14	-

1. táblázat A szimuláció fő paraméterei

## Az LQ szabályozás (LQR<sup>10</sup>)

Az LQ módszer egyike az optimális szabályozóknak, melyben a szabályozási törvényszerűség meghatározásánál egy négyzetes költségfüggvény minimalizálása a cél [9]. Válasszuk a költségfüggvényt a következő alakúra:

$$J(x, u) = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (\tilde{x}^T Q \tilde{x} + R \tilde{u}^2) dt \quad (32)$$

ahol  $Q$  egy hermitikus mátrix, amely pozitív szemi-definit,  $R$  pedig (SISO<sup>11</sup> esetben) egy pozitív konstans.

Ekkor az optimális szabályozást megvalósító megoldás a (28) lineáris modellre [9]:

$$\tilde{u} = -K\tilde{x} \quad (33)$$

ahol  $K$  az optimális szabályozó erősítés, melyet az alábbi egyenlet ír le:

$$K = R^{-1} B^T P \quad (34)$$

ahol  $P$  az algebrai Ricatti egyenlet megoldásaként adódik:

$$A^T P + P A - P B R^{-1} B^T P + Q = 0 \quad (35)$$

## A VISB-re alapuló aktív pompázs-szabályozás dinamikai modelljének megvalósítása

A dinamikai modell MATLAB Simulink környezetben került kivitelezésre, melyben az (9)-(11) egyenletrendszer valósul meg. Emellett egy vezérlő program is készült, mely a MATLAB által biztosított GUI<sup>12</sup>-n keresztül beavatkozási lehetőséget is nyújt a folyamatba, ezáltal lehetséges tetszőlegesen változtatni pl. a kilépő fojtószelep aktuális állását, melyre a rendszer az aktuális körülményeknek megfelelő dinamikus választ fogja adni.

### A Simulink modell

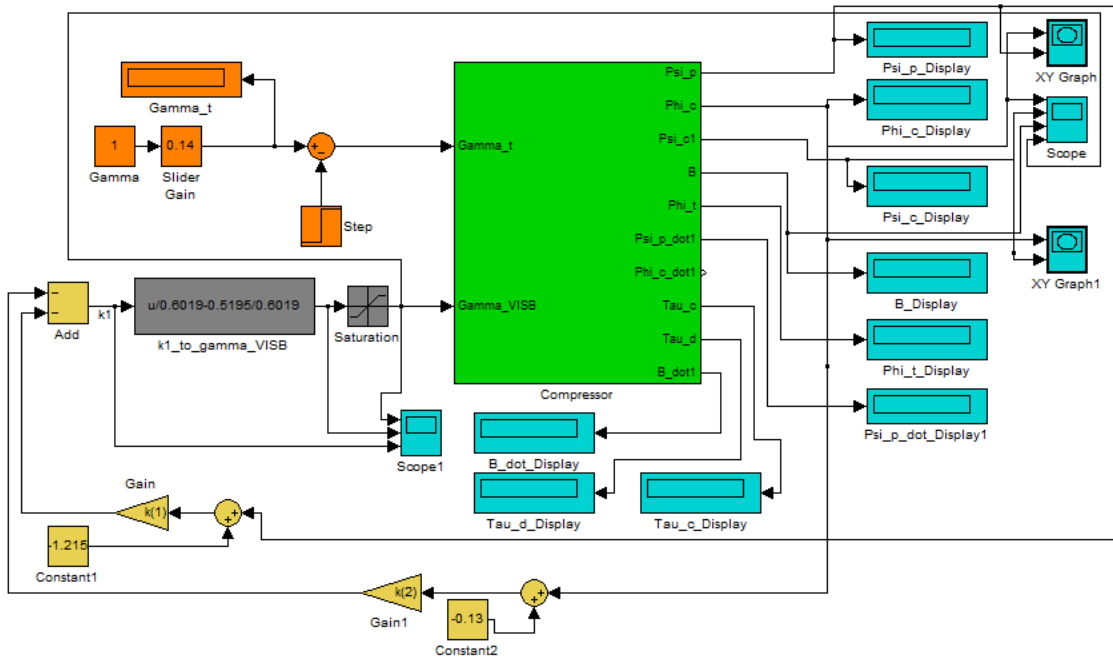
A kompresszor dinamikai modelljének Simulink környezetben történő megvalósítása a 9. ábrán látható. A legfontosabb blokkok a következők:

<sup>10</sup> LQR: Linear Quadratic Regulator, lineáris kvadratikus szabályozó

<sup>11</sup> SISO: Single Input Single Output, egy bemenetű egy kimenetű (rendszer)

<sup>12</sup> GUI: Graphical User Interface, grafikus felhasználói felület

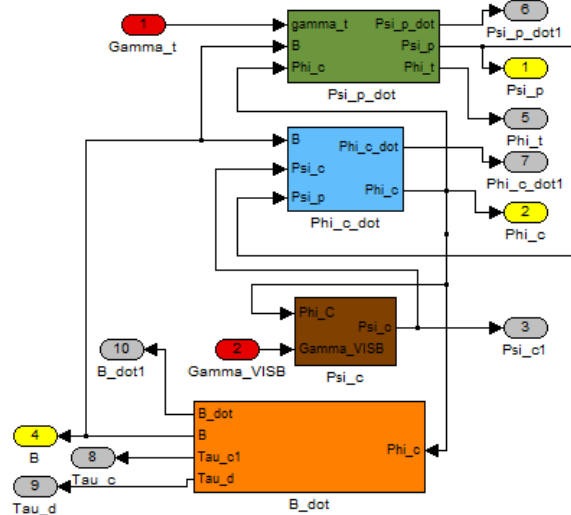
- a kompresszor rendszert számító alrendszer (zölddel jelölve);
- az állapot-visszacsatolás elemei (sárgával);
- a szürke háttérű  $\gamma_{VISB} = f(k_1)$  függvényt megvalósító blokkok;
- a narancssárga színű a rendszer fojtásával kapcsolatos egységek;
- valamint az elsődlegesen a modell megalkotásakor és hangolásakor szereppel rendelkező kijelzők (kék színű).



9. ábra A VISB pompázs-szabályozással ellátott centrifugálkompresszor dinamikai modellje Simulink-ben

### A kompresszor blokk

A (9)-(11) egyenletek implementálása ebben az egységben történik meg, a zöld, a kék, valamint a narancssárga blokkokban, ebben a sorrendben. A barna téglalap a kompresszor karakterisztikájának számítását végző algoritmust takarja, ahol a (15) és (16) egyenletek valósulnak meg. A kompresszor dinamika bemenő adatai a relatív fojtószelep nyitás  $\gamma_t$  és a VISB relatív nyitottsága  $\gamma_{VISB}$ . Fontos megjegyezni, hogy míg az előző a szabályozó által nem befolyásolható, azt a rendszer pillanatnyi üzemállapota határozza meg (pl. gázturbinás sugárhajtómű esetén a turbina fojtó hatása), a beavatkozás a  $\gamma_{VISB}$ -n keresztül zajlik. A fontosabb kimeneteket ( $\psi_p$ ,  $\phi_c$ ,  $B$ ) sárga kitöltésű alakzatok mutatják. A blokk vázlata a 10. ábrán figyelhető meg.



10. ábra A kompresszor Simulink alrendszer blokkvázlata

### Az állapot-visszacsatolás elemei

Az állapot-visszacsatolás az LQ szabályozó tervezésekor a (29) linearizált modellben alkalmazott két állapotváltozóhoz a MATLAB segítségével meghatároztam a (34) egyenletben leírt  $K$  erősítés-vektort, melyekkel a szabályozó egy szükséges  $k_I$  értéket állapít meg, és végül ebből kerül visszaszámolásra az ennek megfelelő  $\gamma_{VISB}$  relatív nyitottság, amely a kompresszor számításának a szabályozó által befolyásolható bemenete. Ezek azonban a lineáris modellben, mint a munkaponttól való különbség kerültek értelmezésre, ezért a munkaponti értékeket, mint állandókat még le kell vonni az így kapott mennyiségekből. Az egyes elemek a 9. ábra bal alsó sarkában sárga színnel kerültek feltüntetésre.

### A $\gamma_{VISB} = f(k_1)$ függvény

Mivel a (30) által leírt egyenlet egy egyszerű lineáris összefüggés, ez egyetlen függvényblokk (Function Block) elemmel megvalósítható volt. Az utána alkalmazott szaturációs elemre viszont amiatt volt szükség, hogy a VISB rendszer valóságban adott mechanikai korlátait figyelembe lehessen venni, ne essen az előírt  $\gamma_{VISB}$  a változó értelmezési tartományán kívülre.

### A fojtószelep állapota

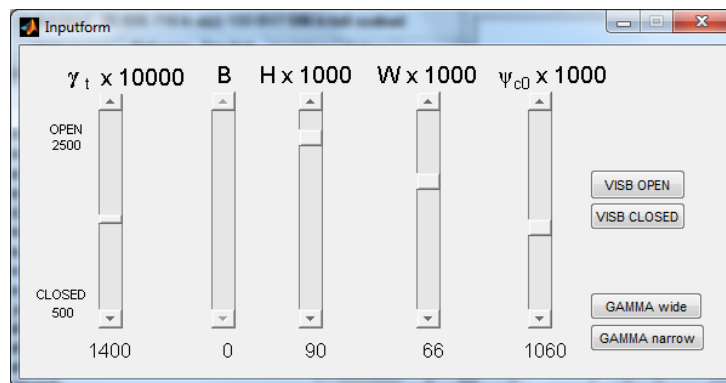
A fojtószelep a rendszer működését alapvetően meghatározza, de nem beavatkozó szerv, hanem a rendszer által támasztott körülmény. A kézi ellenőrzés és a munkapont beállítás céljait szolgálja egy csúszkás erősítés blokk (Slider Gain), melynek grafikus kezelőfelületén beállítható a kívánt  $\gamma$  relatív szelepnitítás. A pompázs-szabályozó működésének ellenőrzésére szolgál a súlyozott egységugrás függvény (Step), melyet a kézzel beállított szelepnitásból vonunk ki, így szimulálva egy meghatározott időpillanatban bekövetkező hirtelen szelep zárást, amire a rendszer válasza szabályozó nélkül a pompázs, működő szabályozó esetén pedig egy új, stabil üzemállapot kell legyen. A 9. ábrán a narancssárga kitöltésű elemek tartoznak ehhez a logikai csoporthoz.

### A grafikus felhasználói felület

A modell fejlesztésének korai szakaszában hárult nagy szerep a grafikus felhasználói felület-



re, melyet a 11. ábra mutat, amin a rendszer legfontosabb paramétereit kézzel, csúszkák illetve gombok segítségével beállíthatóak. Az ablakhoz tartozó vezérlő m-fájl az egyes interfész elemek függvényein keresztül közvetlen kapcsolatban állnak a dinamikai modell megfelelő paramétereivel, így azok valós időben történő változtatására a szimuláció futtatása közben is mód nyílik. Bár a jelenlegi fázisban egyedüli felhasználó által állítható bemeneti adat van, a fojtószelep relatív állása, a szükséges csekély gyakoriságú beavatkozás megoldható a fentebb említett Slider Gain blokkal, nem zárható ki teljes bizonyossággal, hogy a grafikus kezelőfelület a fejlesztés későbbi állapotában ismét szerephez jusson.



11. ábra A grafikus kezelőfelület

## VIZSGÁLATOK A DINAMIKAI MODELLEL

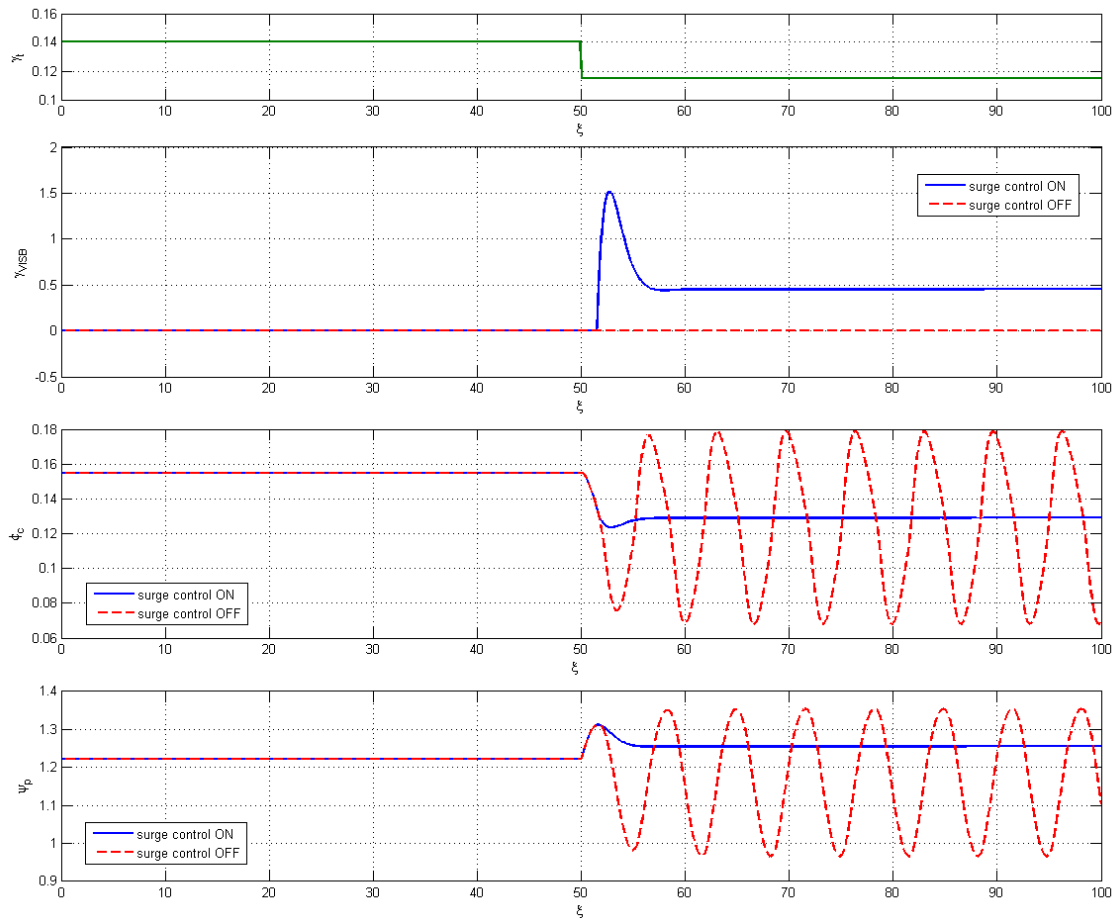
Az 1. táblázatban megadott paraméterekkel végrehajtott szimuláció a fojtószelep adott időpontbeli hirtelen zárását tartalmazza, melynek hatására a szabályozó nélküli konfigurációban létrejön a kompresszor pompázás, míg a szabályozó alkalmazása esetén a VISB megfelelő nyitásával el kell kerülni az instabilitást. A fojtószelep munkaponti állása  $\gamma_{t0} = 0,14$ , ehhez képest a szimuláció során  $\xi = 50$ -nél egy  $-0,025$ -ös értékű ugrás történik, amely a szelep jelentős záró irányú elmozdulásának felel meg.

Az LQR költségfüggvényének paramétereit első közelítésként az irodalomban megtalálható Bryson-szabály [16] alapján határoztam meg, majd többszöri hangolás után a (36) szerint megválasztva került futtatásra a szimuláció.

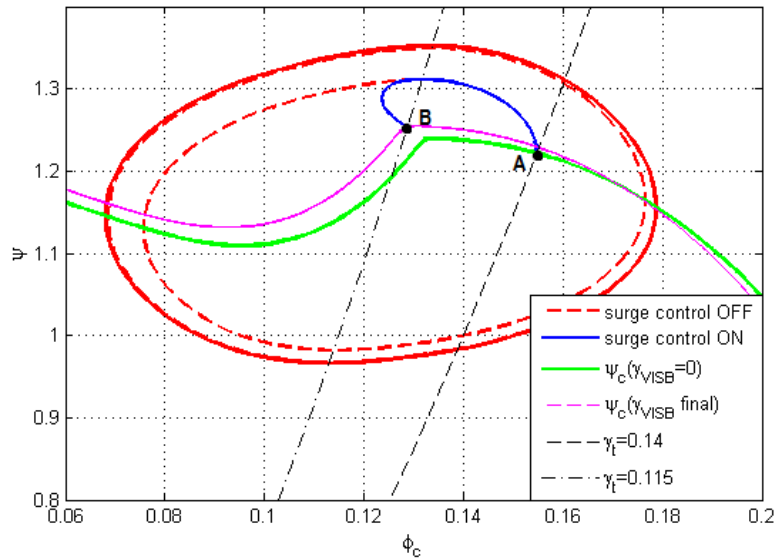
$$Q = \begin{bmatrix} 10^{-4} & 0 \\ 0 & 10^3 \end{bmatrix} \text{ és } R = 10^{-1} \quad (36)$$

A szimuláció eredményei a 12. és 13. ábrákon láthatóak, előbbi a dimenziótlan idő függvényében, utóbbi pedig a kompresszor karakterisztikán mutatja be a létrejövő folyamatokat. Ezekon megfigyelhető, hogy az 13. ábrán látható A jelű munkapontból kiinduló szimuláció során szelep zárását követően a szabályozó képes a rendszert az eredeti pompázhatárnál kisebb szállításhoz is stabilan működtetni (13. ábra B pontja), tekintettel arra, hogy a jellemző oszcilláció nem jelentkezik a kék görbékkel jelzett esetben, amikor a szabályozó aktív. Ezzel szemben, amikor a szabályozó kikapcsolt állapotában hajtjuk végre a szimulációt, akkor a piros görbék tanúsága szerint – a rendszer munkaponti  $B$  viselkedés-paraméterének mérsékelt értéke okán – klasszikus pompázst tapasztalunk. A szabályozó aktív konfigurációjában megál-

lapítható, hogy a  $\gamma_{VISB}$  relatív nyitásnak egészen addig, amíg a szabályozó kimenete zérus alatt van, a valóságban azonban a szelep negatív nyitottságot nem tud megvalósítani még, ezért az még zárva marad. Ekkor azonban a kezdődő pompázs hatására az állapotváltozás már nagy meredekséggel zajlik, így a szabályozó nagy kezdeti beavatkozást hoz létre, majd utána a rendszer a VISB nyitottságának megfelelően stabilizálva beáll az új munkapontba (13. ábra B pontja), ami a VISB zárt állásánál mért pompázshatár alatti szállításhoz tartozik, tehát az aktív pompázs-szabályozó rendszer az elvárásoknak megfelelően kiterjesztette a kompresszor használható, stabil üzemállapot-tartományát.



12. ábra A szimuláció eredményei a dimenziótlan idő függvényében



13. ábra A szimuláció eredményei a kompresszor karakterizikán

Mindemellett kiemelten fontos megjegyezni azt, hogy a beavatkozó szerv dinamikájával kapcsolatosan eddig nem támasztottunk semmilyen követelményt, azonban az előrebecsálható, hogy feltétlenül számottevően kisebb reakcióidővel kell rendelkezzen, mint a kompresszor, amint azt fentebb megállapítottuk, és ha potenciális aktuátor célszerűen MEMS alapú, akkor a dinamikával kapcsolatos kitételek mellett biztosíthatja az alacsony energiaigényt és jó hatásfokot is.

## EREDMÉNYEK, TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Amint az megállapítható volt a mérések alapján, a VISB módszer megfelelő védelmet képes biztosítani a kompresszor instabil üzemállapotai ellen, és ehhez egy lineáris kvadratikus értelemben optimális szabályozó tervezhető a kompresszor dinamikai modelljének linearizált formája alapján. Ennek megvalósítása érdekében MATLAB Simulink környezetben megalkottam a kompresszor rendszer dinamikai modelljét, mely az irodalomban fellelhető hasonló célú modellektől eltérő beavatkozási móddal rendelkezik, mely számottevő hatással van az állapottér reprezentációra. Mérési eredményekre alapozva a kompresszort hajtó aszinkron motor modelljének identifikációja történt meg, és került beépítésre a szimulációba, valamint szintén mérési adatsorokra támaszkodva meghatároztam a VISB hatását a kompresszor karakterisztikára, amely, mint elsődleges beavatkozási lehetőség került a modellben implementálásra. Megvizsgáltam a szabályozó által kiadott kimenő változót, és megmutattam, hogy a VISB működési tartományában lineáris összefüggéssel közelíthető, így a  $\gamma_{VISB}$  visszaszámolása nem okoz problémát, sőt, jelentősen leegyszerűsíthető. Az elvégzett szimuláció pedig megmutatta, hogy a tervezett szabályozó valóban képes stabilizálni a kompresszor üzemállapotát az elvárt tartományban.

Természetesen ez a vizsgálat sem tekinthető teljesnek, adódnak lehetőségek a további fejlesztésre is, melyek közül kiemelendő más típusú szabályozó tervezése, ami egyrészt takarhat a repülésben egyre inkább terjedő LPV eljárásokon alapuló rendszert, vagy pedig kilépve a lineáris megközelítés korlátaiból, nemlineáris metódusok megvalósítását.

Bár elsődlegesen a rendszer mechanikai kialakítását érinti, természetesen döntő hatással van a

szabályozó működésére és teljesítményére a VISB nyitásának felső határa, melyet növelve lehetőség volna nagyobb tartományban történő stabilizálásra.

A fentebb említetteken kívül a MEMS-re alapuló aktuátorok rendszer megvalósítása nagymértékben emelné a kutatások eredményességét.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BADMUS, O. O.; CHOWDHURY, S.; and NETT, C. N.: Nonlinear Control of Surge in Axial Compression Systems. *Automatica*, Vol. 32 (1996), pp. 59-70.
- [2] BALAS, Gary: Linear, Parameter-Varying Control and its Application to Aerospace Systems. Proceedings of the ICAS 2002 Congress, <http://www.icas-proceedings.net/ICAS2002/PAPERS/541.PDF>
- [3] BARTOLINI, G.; MUNTONI, A.; PISANO, A.; and USAI, E.: Compressor Surge Active Control via Throttle and CCV Actuators. A Second-Order Sliding-Mode Approach. International Workshop on Variable Structure Systems, 2008. VSS '08. pp. 274-279. 978-1-4244-2200-5. DOI: 10.1109/VSS.2008.4570720.
- [4] BENEDA Károly: Preliminary Results of Active Centrifugal Compressor Surge Control Using Variable Inducer Shroud Bleed. *Periodica Polytechnica*, Vol 39/2 (2011), pp. 49-54, ISSN 1587-3811, doi: 10.3311/pp.tr.2011-2.01
- [5] BENEDA Károly: Measurement System Improvements for Variable Inducer Shroud Bleed Surge Suppression. 10<sup>th</sup> International Conference New Technologies in Aviation Development, Kosice, 2012. ISBN 978-80-553-1083-1.
- [6] BENEDA Károly: Control of Centrifugal Compressor Surge Using MEMS Devices. Proceedings of 13<sup>th</sup> MINI Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies (VSDIA) 2012, Budapest, *megjelenés alatt*.
- [7] BØHAGEN, Bjørnar; and GRAVDAHL, Jan Tommy: Active surge control of compression system using drive torque. *Automatica*, Vol. 44, Issue 4 (April 2008), pp. 1135-1140. doi: 10.1016/j.automatica.2007.11.002
- [8] BOINOV, K. O.; LOMONOVA, E. A.; VANDENPUT, A. J. A.; and TYAGUNOV, A.: Surge Control of the Electrically Driven Centrifugal Compressor. Industry Application Conference, 2005. Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005 Vol. 4, pp. 2887-2894. doi: 10.1109/IAS.2005.1518869
- [9] BOKOR József, GÁSPÁR Péter: Irányítástechnika járműdinamikai alkalmazásokkal. Typotex Kiadó, Budapest, 2008. ISBN 978-963-279-001-5.
- [10] BOTROS, K. K.: Single Versus Dual Recycle System Dynamics of High Pressure Ratio, Low Inertia Centrifugal Compressor Stations. *ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 133 (December 2011), doi: 10.1115/1.4004114
- [11] EPSTEIN, A. H.; FLOWCS WILLIAMS, J. E.; and GREITZER, E. M.: Active suppression of aerodynamic instabilities in turbomachinery. *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 5, pp. 204-211, 1989.
- [12] FERRARI, M. L.; PASCENTI, M.; MAGISTRI, M.; and MASSARDO, A. F.: Hybrid System Test Rig: Start-up and Shutdown Physical Emulation. *Journal of Fuel Cell Science and Technology*, Vol. 7 (2010), doi: 10.1115/1.3176663
- [13] GRAVDAHL, J. T.; EGELAND, O.; VATLAND, S. O.: Drive torque actuation in active surge control of centrifugal compressors. *Automatica*, Vol. 38 (2002), pp. 1881-1893.
- [14] GREITZER, E. M.: Surge and Rotating Stall in Axial Flow Compressors. *ASME Journal of Engineering for Power*, 1976, pp. 190-211.
- [15] GYEVIKI, J.; and CSISZÁR, A.: DSP-k gyakorlati alkalmazása a folyamatirányításban. *Acta Agraria Kaposváriensis*, Vol. 10 (2006), pp. 163-176.
- [16] HESPANHA, J. P.: Undergraduate Lecture Notes on LQG/LQR Controller Design. <ftp://labattmot.ele.ita.br/ele/alessandro/Leitura/04%20-%20PAPERS/ARTIGOS/LQR/LQG%20-%20LQR%20controller%20design.pdf>
- [17] HORN, Wolfgang; SCHMIDT, Klaus-Jürgen; and STAUDACHER, Stephan: Effects of Compressor Tip Injection on Aircraft Engine Performance and Stability. *ASME Journal of Turbomachinery*, July 2009, Vol. 131, DOI: 10.1115/1.2988159.
- [18] HÓS, Csaba; CHAMPNEYS, Alan; and KULLMANN, László: Bifurcation Analysis of Surge and Rotating Stall in the Moore-Greitzer Compression System. *IMA Journal of Applied Mathematics*, April 2003, Vol. 68. pp. 205–228.
- [19] JAGER, BRAM DE: Rotating Stall and Surge Control: A Survey. Proceedings of the 34<sup>th</sup> Conference on Decision and Control, 1995. pp. 1857-1862.



- 
- [20] JAPIKSE, David: Centrifugal Compressor Design and Performance. Concepts ETI, Wilder (Vermont), USA, 1996.
- [21] KRSTIC, M.; PROTZ, J.M.; PADUANO, J. D. and KOKOTOVIC, P. V.: Backstepping designs for jet engine stall and surge control. Proceedings of the 35th Conference on Decision and Control, New Orleans, LA, pp. 3049-3055, 1995.
- [22] LEONESSA, A.; HADDAD, W. M.; AND LI, H.: Global Stabilization of Centrifugal Compressors via Stability-Based Switching Controllers. Proceedings of the 37th IEEE Conference on Decision & Control, Tampa, Florida USA December 1998. pp. 2569-2574. ISBN 0-7803-4394-8, DOI: 10.1109/CDC.1998.757838.
- [23] LIAW, D. C.; and CHANG, S. T.: Bifurcation Analysis of a Centrifugal Compressor. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2011, pp. 1538-1543. ISBN 978-1-4577-0652-3, doi:10.1109/ICSMC.2011.6083889
- [24] LIPO, T. A., and PLUNKETT, A. B.: A Novel Approach to Induction Motor Transfer Functions. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-93, Issue 5 (September 1974), ISSN 0018-9510, pp. 1410-1418, doi: 10.1109/TPAS.1974.293871
- [25] MOORE, F. K.; and GREITZER, E. M.: A Theory of Post-Stall Transients in Multistage Axial Compression Systems. ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 108 (1986), pp. 68-76, doi: 10.1115/1.3239887.
- [26] MOHAMMED, M. I.; MAKSOUD, R. M. A.; NOUSSIER, Z. B.; and AMER, F. Z.: Surge Avoidance Using Speed and Valve Methodologies Controlled by PID, Fuzzy and Neural Networks Approaches. International Conference on Computer Engineering & Systems (ICCES), 2011, pp.73-78, doi: 10.1109/ICCES.2011.6141015
- [27] MORINI, M.; PINELLI, M.; AND VENTURINI, M.: Analysis of Biogas Compression System Dynamics. Applied Energy, Vol. 86. (2009), pp. 2466-2475, doi: 10.1016/j.apenergy.2009.03.008
- [28] NORRIS, G., and WAGNER, M.: Boeing 787 Dreamliner. Zenith Press, Minneapolis, 2008. ISBN 978-0-7603-2815-6
- [29] OZPINECI, Burak and TOLBERT, Leon M.: Simulink Implementation of Induction Machine Model – A Modular Approach. IEEE International Conference on Electric Machines and Drives 2003, Vol. 2., pp. 728-734, ISBN 0-7803-7817-2, doi: 10.1109/IEMDC.2003.1210317
- [30] SHEHATA, R. S.; ABDULLAH, H. A.; and AREED, F. F. G.: Variable structure surge control for constant speed centrifugal compressors. Elsevier Journal of Control Engineering Practice, Vol. 17 (2009), pp. 815-833. doi:10.1016/j.conengprac.2009.02.002
- [31] UDDIN, N.; and GRAVDAHL, J. T.: Piston-Actuated Active Surge Control of Centrifugal Compressor Including Integral Action. In: Proceedings of 11th International Conference on Control, Automation and Systems, 2011, ISBN 978-1-4577-0835-0, pp. 991-996.
- [32] ZHAO, D.; BLUNIER, B.; DOU, M.; and MIRAOU, A.: Control of an Ultra High Speed Centrifugal Compressor for the Air Management of Fuel Cell Systems. Industry Applications Society Annual Meeting (IAS), 2012 IEEE, pp.1-8, 7-11 Oct. 2012. doi: 10.1109/IAS.2012.6374007



Novák Mátyás<sup>1</sup> – Békési Bertold<sup>2</sup> – Kárpáti Attila<sup>3</sup> – Zsigmond Gyula<sup>4</sup>

## EGYSZERŰSÍTETT UAV IRÁNYÍTÓ RENDSZER MEGBÍZHATÓSÁGI VIZSGÁLATA<sup>5</sup>

*A cikkben egyszerűsített repülőgép irányító rendszer megbízhatósági elemzésével foglalkozunk. A vizsgálatokban 1+1 típusú tartalékolást tételezünk fel, azaz a rendszer 2 számítógépet és 3 érzékelő csoportot tartalmaz. Minden érzékelő csoportban két egyenértékű érzékelő van. A vizsgálatokat a diszkrét homogén Markov-folyamatok felhasználásával végezzük. Megadjuk a feltételezett rendszer állapotgráfját, majd módszert adunk a fontosabb megbízhatósági jellemzők számítására. A cikk néhány számítási eredmény ismertetésével zárul.*

### INVESTIGATION OF THE RELIABILITY OF UAVs

*This paper deals with the reliability analysis of a simplified control system of an aircraft. In the investigations 1+1 redundancy is assumed, i.e. the system consists of 2 computers and 3 sensor groups. There are two equivalent sensors in every sensor group. The discrete homogenous Markov-process is used in our investigation. We show the state graphs of the hypothetical system, then a method will be given for the calculation of the main features of reliability. At the end the paper brings out some calculation results.*

## 1. A LEGFONTOSABB DEFINÍCIÓK RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA

Minden rendszernek két alapállapota van, ezek: 0 → hibátlan állapot, F → hibás állapot. Redundáns rendszereknél a két alapállapot között köztes állapotok is fellépnek, amikor a rendszer bizonyos részei már hibásak, de a rendszer az eredeti feladatát még el tudja látni. A közbülső állapotokból lehetséges az elmozdulás a további meghibásodások, illetve a 0 állapot (javítás) felé. Számításokkal minden állapotban való tartózkodási valószínűsége meghatározható, mint az idő függvénye, ahol az n-ik állapotban való tartózkodás valószínűsége  $P_n(t)$ . Az egyes állapotok közötti átmeneteket az egyes átmenetekhez tartozó meghibásodási ráták ( $\lambda$ ) és az átlagos javítási idők ( $\mu$ , **MTTR**<sup>6</sup>) határozzák meg. Egy rendszer leginkább ismert megbízhatósági jellemzője az **MTBF**<sup>7</sup> érték, ami a meghibásodások között eltelt idők középértéke. Az MTBF érték a F állapotban való tartózkodás valószínűségével arányos. Gyakorlati esetekben a készülék hasznos élettartama alatt  $\lambda =$  állandó értéket tételezünk fel.  $\lambda$  erős növekedése a hasznos élettartam végét jelzi. [1]

1 doktorandusz, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kar Automatizálási és Alkalmazott Informatika Tanszék, matti@xtigmatic.hu

2 dr; okl. mk. alez. egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztisképző Kar Katonai Üzemeltető Intézet Katonai Repülő Tanszék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

3 dr; egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kar Automatizálási és Alkalmazott Informatika Tanszék, karpai@aut.bme.hu

4 prof. dr; zsigmond.gyula@uni-nke.hu

5 Lektorálta: Prof. Dr. MAkKay Imre egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

<sup>6</sup> Mean Time To Repair

<sup>7</sup> Mean Time Between Failure

Alapesetben:  $\lambda(t) = \lambda$  (const)

$$\lambda = -\frac{dR}{dt} \cdot \frac{1}{R} \rightarrow \frac{R'}{\lambda} + R = 0 \quad (1)$$

$$R = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

$$R_0=1, \text{ és MTBF} = 1/\lambda \quad (3)$$

A másik, gyakran használt definíció, a rendelkezésre állás (**A**), amely annak a valószínűsége, hogy a teljes, javítható rendszer adott időpillanatban működőképes állapotban van. Számítása:

$$A = \text{MTBF}/(\mu + \text{MTBF}) \quad (4)$$

Kritikus esetekben a minősítésre, az adott időtartamra vonatkozó kiesési valószínűséget (SIL<sup>8</sup>) használják. [4][5]

## 2. AZ ÁLTALÁNOS MÓDSZER RÖVID ISMERTETÉSE

Mint ahogy azt fentebb említettük, a diszkrét homogén Markov-folyamatok elméletének alkalmazásával a vizsgált rendszer időbeli viselkedése jól vizsgálható [2, 3]. Az 1. ábrán láthatjuk a vizsgált, n állapotot tartalmazó rendszer állapotgráfjának csomópontjait, valamint az egyes állapotok közötti átmeneteket. Ilyen típusú rendszerek leírása a következő differenciálegyenlet rendszerrel lehetséges:

$$\begin{aligned} P'_0 &= \sum_{i=0}^{F=n-1} a_{0,i} \cdot P_i \\ P'_1 &= \sum_{i=0}^{F=n-1} a_{1,i} \cdot P_i \\ &\vdots \\ P'_{n-2} &= \sum_{i=0}^{F=n-1} a_{n-2,i} \cdot P_i \\ P'_F &= \sum_{i=0}^{F=n-1} a_{F,i} \cdot P_i \end{aligned} \quad (5)$$

ahol:

$P_i$  - az i-ik állapot elérésének valószínűsége;

$a_{ij}$  - pedig a gráf j-ik pontjának az i-ik pontjára gyakorolt hatása az állapot átmenet alatt (esemény sűrűség).

A következő jelölések bevezetésével a rendszeregyenletek egyszerűsödnek:

$$P' = A P \quad (6)$$

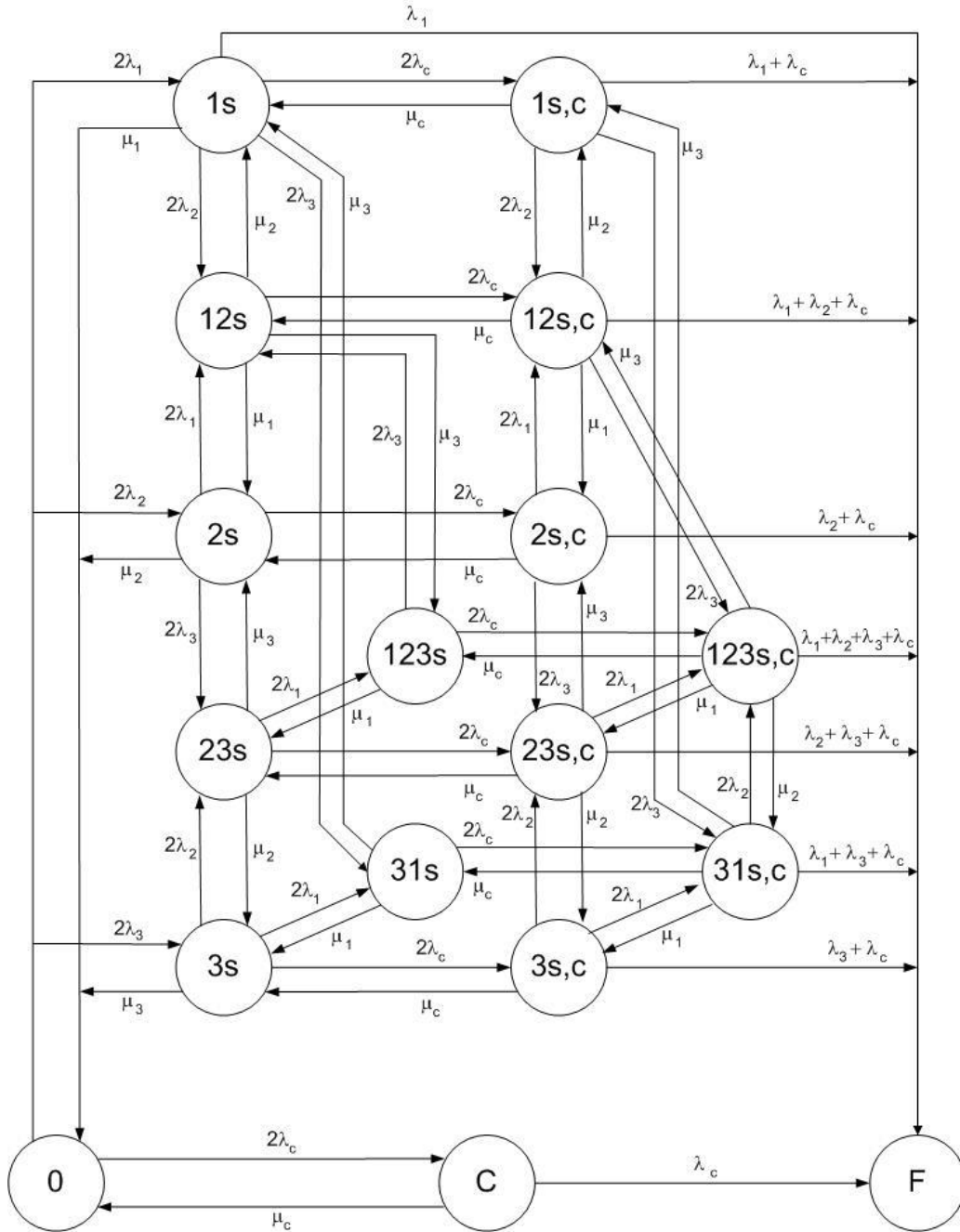
<sup>8</sup> Safety Integrated Level

Az egyenletrendszer integrálva, a különböző állapotokhoz tartozó  $P_i(t)$  függvények meghatározhatók. A  $P_F(t)$  függvény integrálásával, az MTBF érték a következőképpen számítható:

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt, (t = 0 \rightarrow \infty) \quad (7)$$

Az alábbiakban megadott módszert alkalmazva az integrálás elhagyható. A Laplace-transzformáció végrehajtásával a következő összefüggés adódik:

$$s P(s) - e_1 = A P(s) \quad (8)$$



1. ábra A berendezés állapotgráfja

$$P = \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ \vdots \\ P_{n-2} \\ P_F \end{bmatrix}; \quad A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \cdots & a_{0,n-2} & a_{0,F} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \cdots & a_{1,n-2} & a_{1,F} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ a_{n-2,0} & a_{n-2,1} & \cdots & a_{n-2,n-2} & a_{n-2,F} \\ a_{F,0} & a_{F,1} & \cdots & a_{F,n-2} & a_{F,F} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Az egyenlet rendezése után, a  $P(s)$  vektort az alábbi formában kapjuk meg:

$$P(s) = B^{-1} e_1 \quad (10)$$

ahol:  $B = sE - A$  ( $E$  az egységmátrix), és  $e_1^T = [1 \dots 0, 0]$  a kezdeti értékek vektora.

A rendszer MTBF értékének meghatározásához  $P_F(s)$  ismerete szükséges. Az alábbi szorzás végrehajtásával  $P(s)$  vektorból  $P_F(s)$  meghatározható:

$$P_F(s) = e_F^T P(s) = e_F^T \cdot B^{-1} \cdot e_1 \quad (11)$$

ahol:  $e_F^T = [0, 0, \dots, 0, 1]$ .

A (7)-es kifejezést alkalmazva, a rendszer MTBF értékére az alábbi kifejezéssel kapjuk:

$$MTBF = - \frac{d}{ds} (s \cdot e_F^T \cdot B^{-1} \cdot e_1) \Big|_{s=0} \quad (12)$$

Végrehajtva a megfelelő mátrix műveleteket, az eredmény a következő formában írható:

$$MTBF = - \frac{d}{ds} (s \cdot B_{n,1}^{-1}) \Big|_{s=0} \quad (13)$$

ahol:  $B_{n,1}^{-1}$ , a  $B$  mátrix  $[n, 1]$  eleme.

### 3. A VIZSGÁLT RENDSZER

Az 1. ábrán láthatjuk a rendszer megbízhatósági blokk diagramját. A rendszernek 3 redundáns érzékelő csoportja (csoportonként 2 érzékelő) és egy redundáns számítógép csoportja (rendszerenként 2 számítógép) van. A redundancia számszerűen mindig kettő. A gráfot a következő feltételezésekkel készítettük:

- egy hibátlan számítógép esetén lehetőség van a hibás érzékelők kapcsolására;
- az MTTR egyenlő az  $MTTR_{real} +$  átlagos repülési idő;
- egy érzékelő csoporton belüli, két érzékelő meghibásodása esetén, az egész rendszer hibás;
- az állapotok közötti átmeneteket, a meghibásodási ráták ( $\lambda$ ) és az átlagos javítási idők adják;
- $\mu = 1/MTTR$ .

A tartalékolt 3 érzékelős rendszer állapotai a következők:

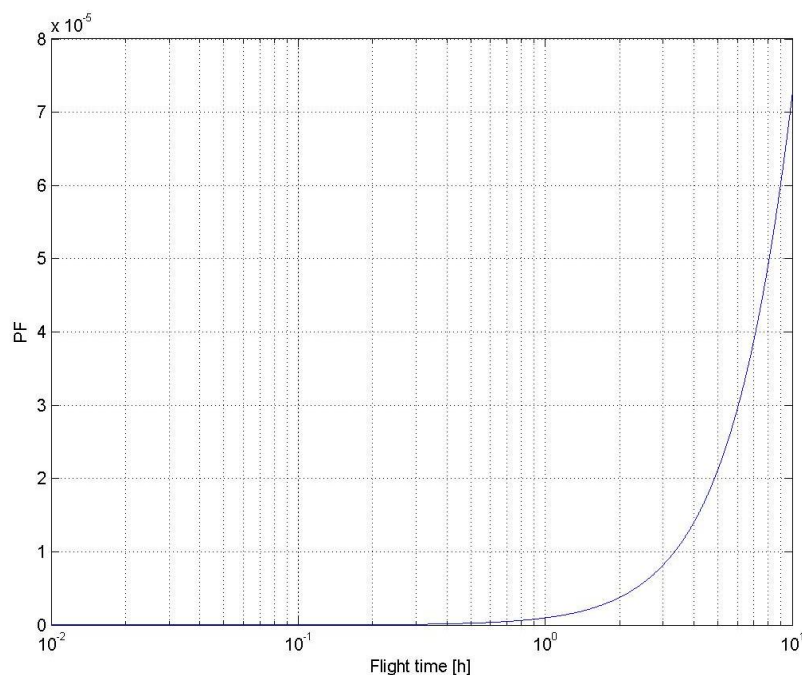
- (0): hibátlan rendszer;
- (F): hibás rendszer;
- (c): valamelyik számítógép meghibásodott;
- (1s), (2s), (3s): az 1., a 2., vagy a 3. érzékelő csoportban egy elem meghibásodott ( $2\lambda_1, 2\lambda_2, 2\lambda_3$ );

- (12s), (23s), (31s): két érzékelő csoportban egy-egy elem meghibásodott;
- 123s: mindhárom érzékelő csoportban egy-egy elem meghibásodott;
- (1s,c), (2s,c), (3s,c): az x. érzékelő csoportból egy elem és az egyik számítógép meghibásodott;
- (12s,c), (23s,c), (31s,c): mindkét érzékelő csoportból egy-egy elem, valamint egy számítógép meghibásodott;
- (123s,c): mindhárom érzékelő csoportból egy-egy elem, továbbá egy számítógép meghibásodott.

#### 4. NÉHÁNY, ELVÉGZETT SZÁMÍTÁS EREDMÉNYEINEK RÖVID ISMERTETÉSE

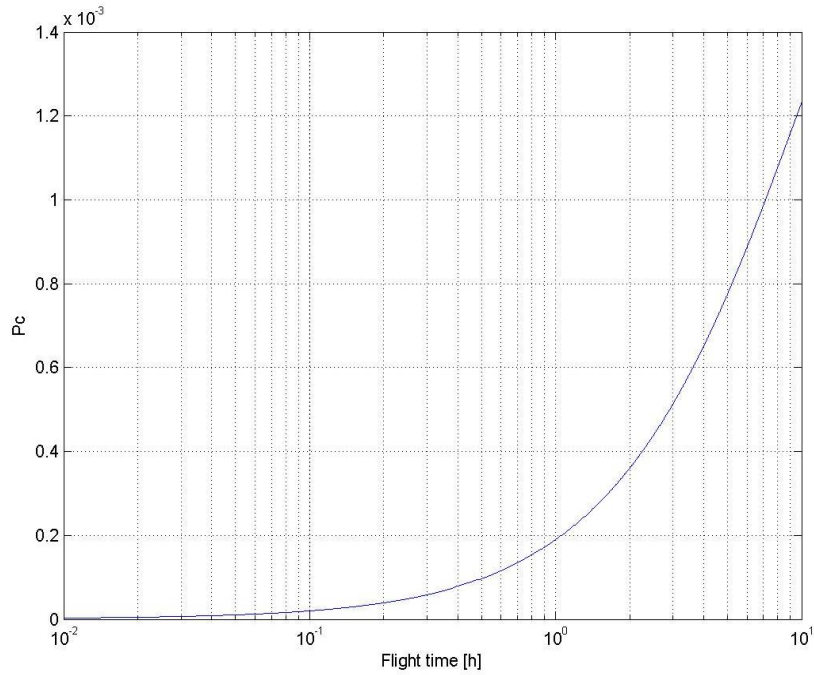
A számítási eredmények ismertetésével célunk elsősorban a módszer hatékonyságának ismertetése. A valószínűségi változók időfüggvényei az (5) állapotegyenlet integrálásával határozhatók meg. A MATLAB segítségével végzett szimuláció bemeneti paraméterei a következők voltak:

- A kiesési hányadosok:  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 10^{-4}/\text{óra}$ ;  $\lambda_C = 10^{-5}/\text{óra}$ ;
- MTTR=10 óra, (10 órás repülési időt feltételezve),  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_C = 1/\text{MTTR} = 0,1/\text{óra}$ .

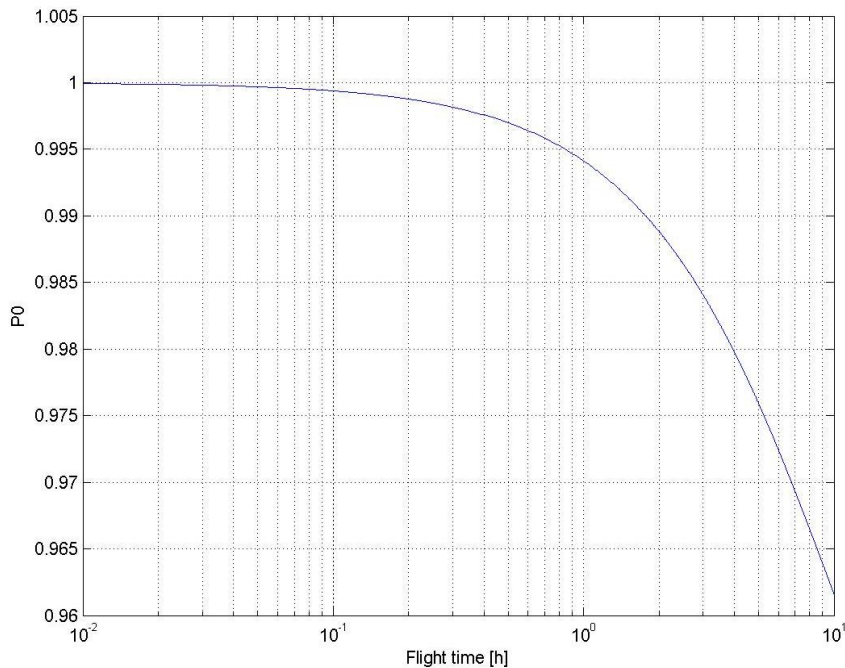


2. ábra PF - a teljesen hibás rendszer kialakulásának valószínűsége



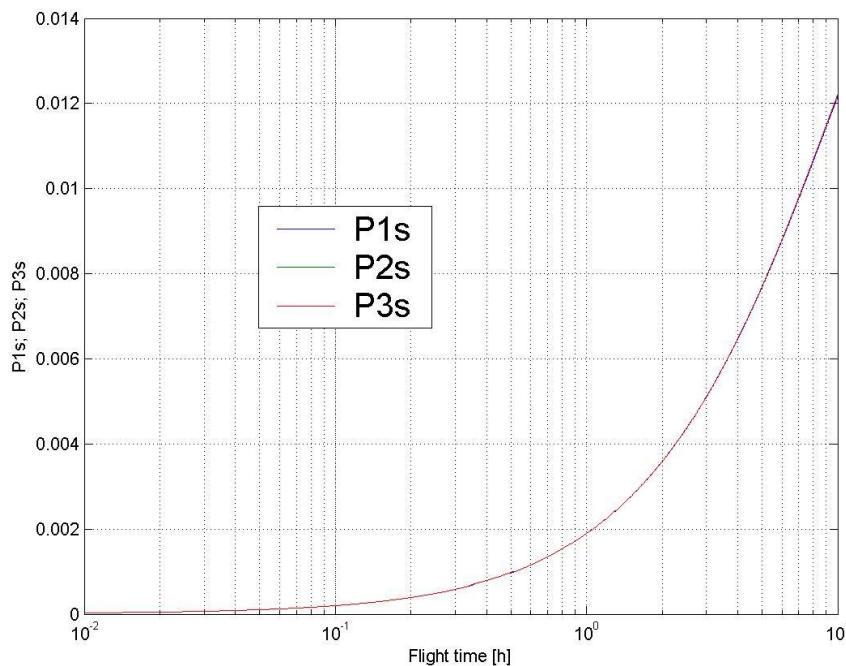


3. ábra Pc - egy számítógép kiesésének valószínűsége



4. ábra P0 - Teljesen hibátlan állapot fennállásának valószínűsége

Az 2-4. ábrák alapján megállapítható, hogy a pilóta nélküli repülőgép teljesen hibátlan állapotban maradási valószínűsége (P0), 10 órás repülési idő után kb. 96%-os. Az üzemképtelen állapotba való jutásának a valószínűsége igen csekély (PF=0,008%) a 10 órás repülési idő leteltekor is. Egy számítógép kiesésének valószínűsége ugyancsak a 10. órában kb. 0,12%.



5. ábra A három érzékelő közül 1-1 db kiesésének valószínűsége.

Az érzékelő csoportok azonos kiesési rátái miatt, bármely érzékelő csoportból egy elem meghibásodási valószínűségének (P1s, P2s, P3s) időfüggvénye azonos. Az első eltelt órától az utolsó óráig (10) megfigyelhetően az érzékelő csoportok bármelyikének kiesési valószínűségében bekövetkező legnagyobb változás (0,2 %  $\rightarrow$  ~1,2 %). Tehát a levegőben töltött 10. órában legfeljebb hatszor nagyobb valószínűséggel hibásodik meg bármelyik érzékelő csoportban egy elem, mint az első órában.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK

A diszkrét homogén Markov-folyamatok alkalmazása hasznos módszer a megbízhatósági folyamatok vizsgálatához, mivel időtartományban a rendszer viselkedését követhetjük nyomon. Hátrányként említhető, hogy az állapotgráfok meglehetősen bonyolultak, de számítógépes programok segítségével gyorsan hasznos eredményekre vezetnek.



**TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások,, A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg."**

**„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”**

**Alprogram: Adatintegráció**

**Kiemelt kutatási terület: A pilóta nélküli Légitűeszközök alkalmazásának Légiközlekedés-biztonsági aspektusai.**



---

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BIROLINI, A.** *Qualität und Zuverlässigkeit technischer Systeme. Theorie, Praxis, Management*, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-NewYork-London-Paris, 1988.
- [2] **KÁRPÁTI, A., SZENTAI, E., IPSITS, I., HERMANN, I.** Computerized reliability study of thyristorized continuous power supply systems. *Problem of Control and Information Theory*. Budapest, 1976. Vol.(5-6), pp.459-471.
- [3] **KÁRPÁTI, A., IPSITS, I.** *Energiaellátó rendszerek megbízhatósága*. Magyar Távközlés, Budapest, 1997. VIII. évf., 8. szám, pp 9-14.
- [4] MIL-STD-721C, *Definitions of Effectiveness Terms for Reliability, Maintainability, Human Factors, and Safety*, 12 June 1981.
- [5] **BÉKÉSI, B., ZSIGMOND, Gy.** An applicable method of analysis of the failures of aircraft systems. *Proceedings of the 11th International Conference, Transport Means, Kaunas*, pp. 226-229, (10. 18-19. 2007.)

## BAYES-ANALÍZIS A KOCKÁZATELEMZÉSBEN, DISZKRÉT VALÓSZÍNŰSÉG ELOSZLÁSOK ALKALMAZÁSA<sup>3</sup>

*Ebben a dolgozatban a Bayes-féle módszer alkalmazási lehetőségét mutatjuk be a kockázatelemzés illetve a mérnöki tervezés problémakörében. A Bayes-féle módszer vonzóereje abban áll, hogy képes egyesíteni a megfigyelésből kapott adatokból valamint az a priori feltevésekből kapott információkat, ezáltal generálva egy a posteriori információt olyan mennyiségekkel kapcsolatban, amelyek a vizsgálatok szempontjából fontosak. A módszer tényleges hatékonyságát az mutatja, hogy az a priori becslésekről az a posteriori becslésekre történő áttérés tetszőlegesen sokszor ismételhető. Ez a módszer egyaránt hatékonyan alkalmazható ritka eseményekkel kapcsolatos mérnöki tervezésben valamint kockázatelemzésben és a tudomány egyéb területein is.*

### **BAYESIAN ANALYSIS IN RISK ASSESSMENT, APPLICATION OF DISCRETE PROBABILITY DISTRIBUTIONS**

*This work discusses the applicability of Bayesian methods to probabilistic risk assessment and engineering design problems. The attraction of Bayesian methods lies in their ability to integrate observed data and prior knowledge to form a posterior distribution estimate of a quantity of interest. Conceptually, Bayesian methods are desirable because they have the property of taking prior estimates and updating them with data over time. This methodology might be useful to engineering managers for rare event risk analysis in other applications and other disciplines as well.*

### **1. Bevezetés**

A Bayes-féle analízis a valószínűség elmélet igen hatékony eszköze, amely módszer napjainkban, különösen a terrorcselekményekkel kapcsolatosan, de egyéb mérnöki tervezési gyakorlatban is egyre elterjedtebben alkalmazott kockázatelemzési módszer [1][2]. A Bayes-elmélet kvalitatíve egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy olyan esetekben is eredménnyel alkalmazható, amikor a vizsgált jelenség nagyon ritka, így a hagyományos gyakorisági analízisen alapuló valószínűségi módszerek csődöt mondanak, mert a statisztikai elemzéshez nem áll rendelkezésre kellő méretű minta. Ritka események pedig tipikusan a kockázatelemzés témakörében fordulnak elő. Ebben az esetben a módszer egy a priori becslésre épül, amely nem elsősorban a tapasztalatból levont következtetéseket tartalmaz, hanem inkább elméleti jellegű megfontolások eredménye. Ezeket a kezdeti becsléseket lehet az analízis során frissíteni, valahányszor a tapasztalat a birtokunkba juttat információkat a vizsgált rendszerrel kapcsolatban. A frissítés pedig elméletileg tetszőlegesen sokszor ismételhető, az alább bemutatott példákban egyszerű matematikai formulák felhasználásával [3]. Ebben a dolgozatban az egyik legfontosabb és legszéleskörűbben alkalmazható diszkrét eloszlás, a binomiális eloszlás és ennek többdimenziós megfelelője, a polinomiális eloszlás kapcsán mutatjuk be az elmélet alkalmazhatóságát.

<sup>1</sup> mk. alezredes, HM Hadfelszerelési és Vagyonfelügyeleti Főosztály, balogh.zsuzsanna@hm.gov.hu

<sup>2</sup> dr; Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Mechatronikai Intézet, hanka.laszlo@gbk.uni-obuda.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Pokorádi László, egyetemi tanár, Debreceni Egyetem, pokoradi@eng.unideb.hu

## 2. A Bayes-analízis alapgondolata

Tegyük fel, hogy egy olyan valószínűségi modellt alkalmazunk, amely egy  $f(x)$  sűrűségfüggvénnyel leírt valószínűség eloszlással adható meg [4][5][6]. Ebben a modellben mindig vannak paraméterek, amelyek a modell leglényegesebb jellemzői, és amelyek változtatása lehetővé teszi a modell pontosítását. Jelölje ezt a paramétert  $\Theta$ , amely lehet skalár, ha egyetlen paramétről van szó,  $\Theta = \theta$ , de lehet vektor is  $\Theta = (\theta_1, \theta_2, \dots)$ , ha a modellben több paraméter szerepel. Ebben az esetben a sűrűségfüggvényt  $f(x|\Theta)$  jelöli, hangsúlyozva a paramétertől való függést. A Bayes-analízis alkalmazásának egyik sarkalatos pontja, hogy a  $\Theta$  paramétert úgy tekintjük, hogy maga is valószínűségi változó, melynek eloszlását jelölje  $\pi(\Theta)$ , ezt nevezzük a priori eloszlásnak. Ha a paraméterek egy  $T$  tartományon vehetnek fel értéket, akkor a Bayes-tétel általános alakja a következő:

$$\pi(\Theta|x) = \frac{f(x|\Theta) \cdot \pi(\Theta)}{f(x)} = \frac{f(x|\Theta) \cdot \pi(\Theta)}{\int_T f(x|\Theta) \cdot \pi(\Theta) d\Theta} \quad (2.1)$$

ahol  $\pi(\Theta|x)$  jelöli az a posteriori eloszlás sűrűségfüggvényét [4,5,6]. Általában a  $\Theta$  valószínűségi változó egy olyan valószínűség eloszlással adott, amely ugyancsak paraméterektől függ, ezeket az elméletben hiperparamétereknek nevezzük. Jelölje most ezeket  $\alpha$ , amely ugyancsak lehet skalár vagy vektor attól függően, hogy hány paraméterrel adott eloszlással modellezzük a  $\Theta$  paramétert. Ezt is kifejezésre kell juttatnunk a jelöléseinkben, ha hangsúlyozni szeretnénk a hiperparaméterek jelenlétét és szerepét. Ekkor a Bayes-tétel általánosabb alakja:

$$\pi(\Theta|x, \alpha) = \frac{f(x|\Theta, \alpha) \cdot \pi(\Theta|\alpha)}{f(x|\alpha)} = \frac{f(x|\Theta, \alpha) \cdot \pi(\Theta|\alpha)}{\int_T f(x|\Theta, \alpha) \cdot \pi(\Theta|\alpha) d\Theta} \quad (2.2)$$

Itt bevezetjük az elméletben szokásos elnevezéseket a  $\pi(\Theta)$ ,  $\pi(\Theta|\alpha)$  az a priori eloszlás, a  $\pi(\Theta|x)$ ,  $\pi(\Theta|x, \alpha)$  az a posteriori eloszlás, és végül az  $f(x|\Theta)$ ,  $f(x|\Theta, \alpha)$  a likelihood függvény [7]. Ezen bevezető után a Bayes-analízis alkalmazási lehetősége illetve az alkalmazás logikája a következőkben áll. Vizsgálunk egy kockázati tényezőt jelentő problémát, amely kockázatot egy valószínűségi változóval írunk le. Ez lehet diszkrét és lehet folytonos eloszlású is. Ebben a dolgozatban a diszkrét eloszlás alkalmazási lehetőségét mutatjuk be. Ezt a valószínűség eloszlást egy likelihood függvénnyel vesszük figyelembe. Ebben a függvényben vannak szabad paraméterek, amelyek az eloszlás jellemző adatai. Tegyük fel, hogy ezekről az adatokról kevés információnk van, ugyanis mint alább kiderül, az elmélet éppen ebben a szituációban alkalmazható gyümölcsözően. Ha kevés az információ az alkalmazott eloszlás paramétereiről, akkor logikus feltevés, hogy tekintsük ezen paramétereket is valószínűségi változónak. Ezen valószínűségi változók is bizonyos újabb paraméterekkel, a hiperparaméterekkel definiált valószínűségi változókkal írhatók le. Kezdetben élünk ezen paraméterekre vonatkozólag kiindulási feltételekkel. Ezen feltételek definiálják az a priori eloszlást. Ezután, a birtokunkba került adatok és a Bayes-tétel (2.1) vagy (2.2) alakja felhasznál-



nálásával frissítjük az a priori eloszlást, áttérünk az a posteriori eloszlásra, ami azt jelenti, hogy ebben a lépésben a hiperparaméterek aktualizált értékét tekintjük paraméternek. Ezek egy újabb információ beérkezésekor ismét a priori adattá válnak, amelyek az említett frissítési eljárással akárhányszor aktualizálhatók.

### 3. Béta a priori-eloszlás és binomiális eloszlás, mint likelihood függvény

Az egyik legfontosabb és leggyakrabban alkalmazott diszkrét eloszlás a binomiális eloszlás:  $\text{Bin}(n, p)$ . Paraméterei az  $n$  pozitív egész szám és a  $p \in [0,1]$  valós szám [4,5,6]. Az általunk vizsgált kockázatelemzési kérdéskörben előfordulhat az alábbi szituációkban:

1. Adott egy rendszer (informatikai, biometrikus, elektronikus, pénzügyi, gazdasági, vagy egy épület, amely épsége az épület részegységeinek sértetlenségén múlik), amelynek alkatrészei, részegységei azonos körülmények között, egymástól függetlenül működnek, és mindegyik meghibásodásának a valószínűsége azonos  $p$  érték. Ez a  $p$  érték ebben az esetben az adott összefüggő rendszer részeivel kapcsolatosan annak valószínűségét adja meg, hogy egy esetleges terrorcselekmény sikeres kimenetelű, vagy nem.

2. Egy adott esemény azonos körülmények között  $n$ -szer ismétlődik egymástól függetlenül, és minden alkalommal  $p$  valószínűséggel következik be egy nemkívánatos esemény. (Azt az esetet, amikor a közelítő vagy teljes azonosság feltevése a modellben túlzottan ideálisnak mondható és így nem alkalmazható, a következő 4. pontban vizsgáljuk.)

A probléma 1. pontbeli modellel történő leírása például a következő esetekben használható:

i) Tekintsünk például egy informatikai hálózatot, amelyet  $n$  db azonos jellemzőkkel adott szerver lát el. Tegyük fel, hogy a hálózat működőképes marad, ha legfeljebb  $k_0$  db szerver meghibásodik, de ennél több meghibásodás a rendszer összeomlását eredményezi.

ii) Tekintsünk egy épületet, amelyet  $n$  db fő szerkezeti elem tart stabilan. A mérnöki tervezés alapján tudjuk, hogy ezek közül  $k_0$  db megsérülhet a teljes kollapszus nélkül.

Világos, hogy mindkét esetben alapvető kérdés a bekövetkezett események száma. Mindkét esetben azt a kérdést tesszük fel, mi a valószínűsége, hogy a rendszerben  $k$  db részegység esetében bekövetkezik egy esemény, illetve ismétlődés során az esemény  $k$  alkalommal sikeres ( $k = 0, 1, 2, \dots, n$ ). Vizsgáljunk tehát egy olyan modellt, amelyben a likelihood függvény binomiális eloszlással adott, ahol modellparaméterek az  $n$  és  $p$ . Nyilvánvaló a probléma természetéből adódóan, hogy a kritikus paraméter ebben az esetben a  $p$ . Mivel  $p \in [0,1]$ , ezért a  $\theta = p$  paraméter modellezésére a priori eloszlásként a legjobb választás a béta eloszlás [4,5,6]. A  $\text{Beta}(\alpha, \beta)$  eloszlás éppen ezen az intervallumon van értelmezve, paraméterei  $\alpha > 0, \beta > 0$ . Hogy mire célunk azzal, hogy „legjobb választás”, az alábbiakból kiderül. A likelihood függvény most tehát binomiális eloszlással adott

$$f(x|\theta) = \binom{n}{x} \theta^x (1-\theta)^{n-x} = \frac{n!}{k!(n-k)!} \theta^x (1-\theta)^{n-x}, \quad (3.1)$$

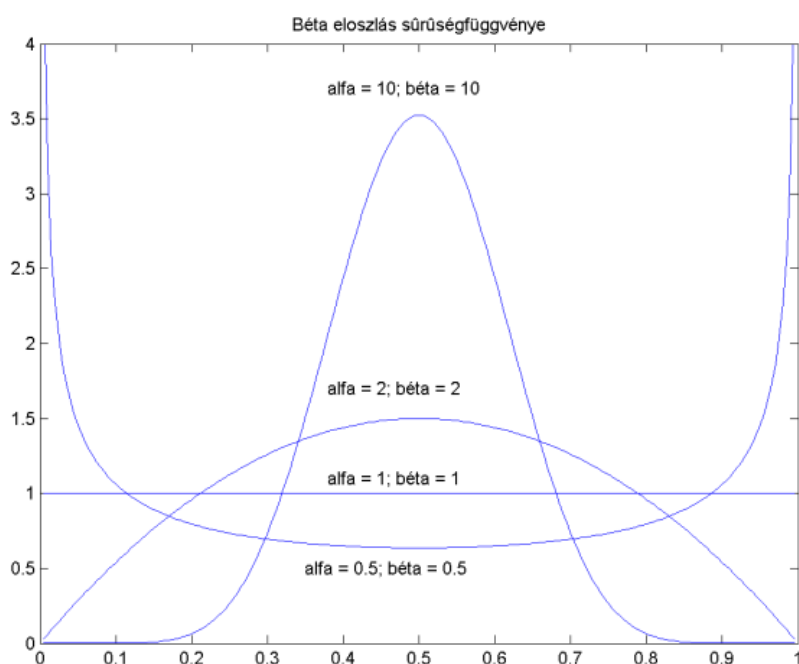
az a priori eloszlás pedig béta eloszlással. A szokásos jelölésekkel:

$$\pi(\theta|\alpha,\beta) = \frac{1}{B(\alpha,\beta)} \theta^{\alpha-1} (1-\theta)^{\beta-1} = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \theta^{\alpha-1} (1-\theta)^{\beta-1}, \quad (3.2)$$

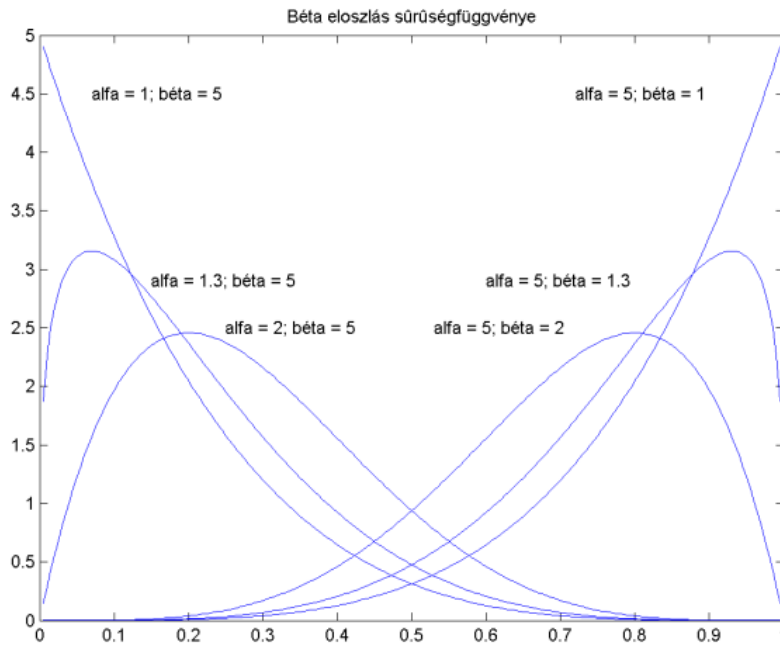
ahol  $\Gamma(x)$  az analízisből ismert gamma függvény [4]. Ebben az esetben tehát a vizsgált problémát a  $p$  modellparaméterrel tudjuk leírni, amelynek az értéke nem ismert. Ezért a  $p$  paramétert béta a priori eloszlással írjuk le, amelynek paraméterei, a hiperparaméterek  $\alpha > 0$  és  $\beta > 0$ . Feltételezünk valamit erről a két paramétről és ezzel kiszámítjuk a likelihood függvény felhasználásával a kérdéses valószínűséget. Ha azonban a birtokunkba kerül néhány adat, akkor frissíteni tudjuk a hiperparaméterek értékét. Ezt illusztráljuk az alábbiakban. Mielőtt azonban alkalmazzuk a Bayes-tételt, megadjuk a béta eloszlás jellemző adatait:

$$E = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}; \quad Var = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2 (\alpha + \beta + 1)}; \quad Mod = \frac{\alpha - 1}{\alpha + \beta - 2}; (\alpha > 1; \beta > 1); \quad (3.3)$$

ahol szokásosan  $E$  jelöli a várható értéket,  $Var$  a szórásnégyzetet (variancia),  $Mod$  a móduoszt. Azért adtunk meg több jellemzőt is, mert bár a gyakorlatban a legtöbbször a várható értéket tekintik pontbecslésként, ugyanolyan joggal használható például a móduoszt és esetleg a medián is, ha ezek léteznek.



1.a) ábra A béta eloszlás sűrűségfüggvénye különböző paraméterek esetén



1.b) ábra A béta eloszlás sűrűségfüggvénye különböző paraméterek esetén

Az 1.a) és b) ábrákon a  $B(\alpha, \beta)$  eloszlás sűrűségfüggvényét ábrázoltuk különböző  $\alpha$  és  $\beta$  hiperparaméterek esetén. Amit hangsúlyozunk, az  $\alpha = \beta$  eset, amikor  $B(\alpha, \alpha)$  sűrűségfüggvénye szimmetrikus az  $x = \frac{1}{2}$  pontra, ez látható az a) ábrán. Ha  $\alpha = 1$ , akkor az egyenes eloszlást kapjuk, ezt használhatjuk akkor, ha semmilyen kezdeti információnk nincs a  $p$  paraméter értékét illetően. Ha  $\alpha > 1$  akkor a sűrűségfüggvénynek maximuma van az  $x = \frac{1}{2}$  helyen, ha pedig  $\alpha < 1$ , akkor ugyanezen a helyen minimum van. Ha olyan információk birtokában vagyunk, amely szerint  $p$  értéke kicsi, közel van 0-hoz, illetve ellenkezőleg, ha  $p$  értéke nagy, közel van az 1-hez, akkor a b) ábrán látható aszimmetrikus eloszlások közül választhatunk.

Alkalmazzuk most a Bayes-tételt, határozzuk meg az a posteriori eloszlást. Ha eltekintünk a nevezőtől, mint normáló tényezőtől, a hiperparamétereket is hangsúlyozva, írhatjuk, hogy:

$$\pi(\theta|x, \alpha, \beta) = f(x|\theta, \alpha, \beta) \cdot \pi(\theta|\alpha, \beta) \sim \frac{n!}{k!(n-k)!} \theta^x (1-\theta)^{n-x} \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \theta^{\alpha-1} (1-\theta)^{\beta-1} \quad (3.4)$$

Ha elvégezzük az összevonásokat, akkor ismét csak eltekintve a konstans szorzóktól, a szokásos jelölésekkel az adódik, hogy

$$\pi(\theta|x, \alpha, \beta) \sim \binom{n}{x} \cdot \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \cdot \theta^{\alpha+x-1} (1-\theta)^{\beta+n-x-1} \sim \frac{1}{B(\alpha+x, \beta+n-x)} \cdot \theta^{\alpha+x-1} (1-\theta)^{\beta+n-x-1} \quad (3.5)$$

Ami ugyancsak béta eloszlás  $\alpha + x$ ,  $\beta + n - x$  paraméterekkel, tehát az a posteriori eloszlás:  $Beta(\alpha + x, \beta + n - x)$ . Az eredmény lényege, hogy ha binomiális eloszlást alkalmazunk likelihood függvényként, és béta eloszlást a priori eloszlásként, az a posteriori eloszlás ugyancsak béta eloszlás. Ez úgy is fogalmazható, hogy a binomiális eloszlás konjugáltja a béta el-

oszlás. Az a posteriori eloszlásból kapjuk a binomiális eloszlás  $p$  paraméterének a frissített értékét. Erre alkalmazható elvileg a bemutatott paraméterek mindegyike, melyeknek aktualizált értéke rendre:

$$E' = \frac{\alpha + x}{\alpha + \beta + n}; \quad Var' = \frac{(\alpha + x)(\beta + n - x)}{(\alpha + \beta + n)^2 (\alpha + \beta + n + 1)}; \quad (3.6)$$

$$Mod' = \frac{\alpha + x - 1}{\alpha + \beta + n - 2}; (\alpha + x > 1; \beta + n - x > 1);$$

A szokásoknak megfelelően irányítsuk figyelmünket a várható értékre. Ekkor a  $p$  paraméter, amely tehát egy nemkívánatos esemény bekövetkezésének a valószínűségét jelenti, és béta eloszlással modellezzük, kezdetben az  $E = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$  a priori becsléssel írható le. Ha ezek után

végzünk  $n$  db megfigyelést, vagy másképpen fogalmazva megfigyelünk egy  $n$  db azonos komponensből álló rendszert, és a megfigyelés eredménye az, hogy  $x$  alkalommal bekövetkezett a nemkívánatos esemény, és eszerint  $n - x$  alkalommal nem következett be, akkor a  $p$  valószínűség frissített értéke  $E' = \frac{\alpha + x}{\alpha + \beta + n}$ . Itt elvégezhetünk egy egyszerű elemzést az a

priori és a posteriori eloszlások összehasonlítására. Vezessük be a  $\lambda = \frac{\alpha + \beta}{\alpha + \beta + n}$  jelölést, ami-

kor is  $1 - \lambda = \frac{n}{\alpha + \beta + n}$ . Ekkor a  $p$  paraméter a posteriori eloszlás alapján – a várható értékkel

becsült – aktualizált értéke felírható az  $E' = \lambda \frac{\alpha}{\alpha + \beta} + (1 - \lambda) \frac{x}{n}$  konvex lineáris kombináció

alakjában, ahol az értelmezés szerint teljesül, hogy  $\lambda \in [0, 1]$ . Ahogyan  $\lambda$  változik 0-tól 1-ig,

$E'$  értéke változik  $\frac{x}{n}$  és  $E$  között. Ha tekintetbe vesszük  $\lambda$  értelmezését, kijelenthetjük a kö-

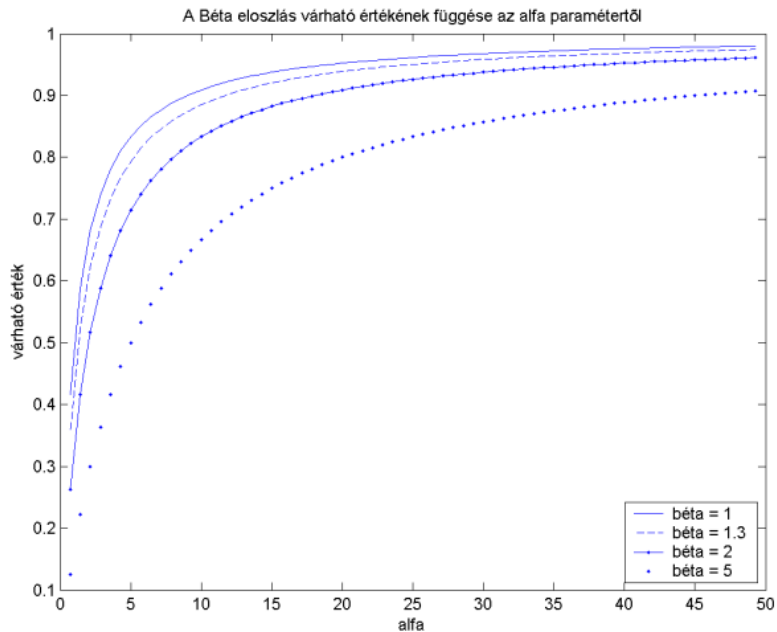
vetkezőket. Mérési adatok nélkül  $\lambda = 1$ , tehát a modellparaméter éppen a béta eloszlás várható értéke,  $p = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$ . Ha növeljük a megfigyelések  $n$  számát,  $\lambda$  értéke csökken, határesetben, ha

$n \rightarrow \infty$ , akkor  $\lambda \rightarrow 0$ . Ebben az esetben  $E' \rightarrow \frac{x}{n}$ , ami éppen a maximum likelihood becslés-

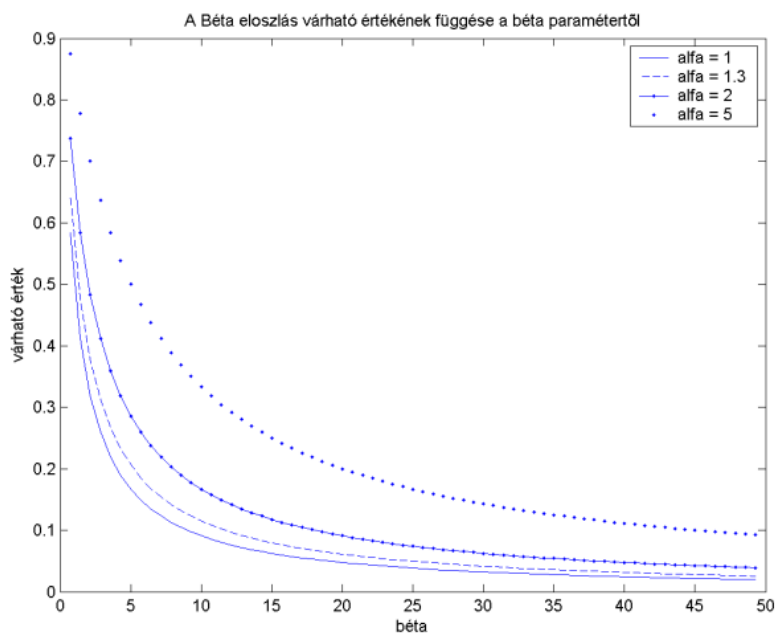
sel kapott érték [7]. Ez azt jelenti, hogy ha sok a mérési adat, egyre kevésbé dominál a szubjektívnek tekinthető a priori béta eloszlás, a szubjektivitásnak egyre kisebb a hatása az a posteriori eloszlásra. Végül ha  $n \rightarrow \infty$ , akkor tekintettel arra, hogy a szórásnégyzet ( $Var$ ) nevezője az  $n$  magasabb fokú polinomja, mint a számláló, következik, hogy  $Var' \rightarrow 0$ , tehát az a posteriori becslés bizonytalansága egyre kisebb. Az elemzés elvégezhető a várható érték helyett a móduszra is, ha az analízis azt mutatja, hogy célszerűbb ez utóbbit használni a  $p$  paraméter pontbecsléseként.

Annak érdekében, hogy könnyebben tudjunk dönteni afelől, hogy mely paraméterekkel adott béta eloszlást célszerű választani, szemléltetjük a 2.a) és b) ábrákon, hogy hogyan függ a vár-

ható érték az egyes paramétereiktől, ha az egyik paraméter értékét (különböző módon) rögzítjük. Ez az elemzés értelem szerűen elvégezhető a módusszal kapcsolatban is, ha úgy döntünk, hogy nem a várható értékkel modellezzük a kérdéses paramétert.



2.a) ábra A béta eloszlás várható értékének függése a paramétereiktől.

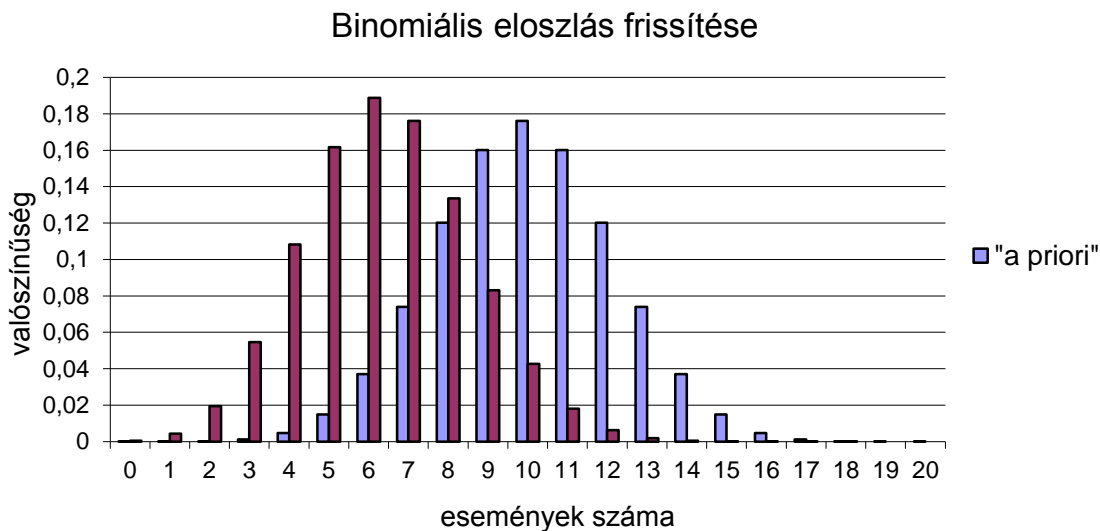


2.b) ábra A béta eloszlás várható értékének függése a paramétereiktől

Tekintsünk egy illusztratív példát amelyben  $n = 20$ , egymástól függetlenül működő, azonos egységből álló rendszert vizsgálunk. Tegyük fel, hogy kezdetben a független egységek meghibásodásának valószínűségéről nincs közelebbi információnk. Alkalmazzuk tehát a priori eloszlásként a Beta(1, 1), egyenletes eloszlást. Ennek alapján a  $p$  paraméter kezdőér-



tékére a  $p = \frac{1}{2}$  értéket kapjuk. Tegyük fel, hogy egy megfigyelés alkalmával azt tapasztaljuk, hogy  $x = 6$  részegység esetében következik be nemkívánatos esemény. Ezzel aktualizálhatjuk a  $p$  paraméterre vonatkozó becslésünket:  $p' = 0,318$ . Az eredeti  $p$  értékhez tartozó binomiális eloszlást valamint a frissített  $p'$  paraméterrel adott eloszlást szemlélteti a 3. ábra. Egy koordinátarendszerben ábrázoltuk mindkét eloszlás hisztogramját, hogy a változás könnyebben összehasonlítható legyen.



3. ábra Az a priori és az a posteriori becslés alapján adódó binomiális eloszlás

Tegyük fel, hogy a rendszer legfeljebb három egység meghibásodása esetén működik zavartalanul. Ha a két eloszlás alapján ezeket kiszámítjuk, azt kapjuk, hogy az első esetben  $P = 0,0012$  míg a frissített paraméterek esetén  $P' = 0,0789$ . Amely adatok ismeretében a kockázat változása számszerűsíthető, az adott esetben azt kapjuk, hogy a kockázat értéke kerekken a 65-szörösére növekedett a kezdeti feltevéseinkhez képest.

#### 4. Dirichlet a priori-eloszlás és polinomiális eloszlás, mint likelihood függvény

Nyilvánvalóan felmerül az igény az előző pontban leírt modell általánosítására arra az esetre, amikor:

1. Egy rendszer komponensei nem azonosak, különböző valószínűséggel hibásodnak meg, bár továbbra is feltesszük, hogy egymástól függetlenül.
2. Események egy sorozata nem azonos körülmények között ismétlődik, így nem vehetünk figyelembe minden eseményhez azonos  $p$  paramétert a bekövetkezés valószínűségéeként.

Az általánosítás kézenfekvő, mind logikailag, mind matematikailag [4,5,6]. A binomiális eloszlás helyett az  $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_k)$  vektorváltozó leírására ennek többdimenziós megfelelőjét a polinomiális eloszlást tekintjük:  $\text{Poli}(n, p_1, p_2, \dots, p_k)$ . Az  $n$  nem negatív egész paraméter ebben az esetben is a megfigyelések számát jelenti, a  $p_i \in [0,1], (i=1,2,\dots,k)$  paraméterek

pedig a  $k$ -db osztályba sorolható események bekövetkezésének valószínűsége,  $\sum_{i=1}^k p_i = 1$ . Ha ezek az események rendre,  $x_1, x_2, \dots, x_k$  alkalommal következnek be, ahol nyilván  $\sum_{i=1}^k x_i = n$ , akkor a polinomiális eloszlásra épülő  $k$ -dimenziós modell, vagyis a likelihood függvény alakja a következő:

$$\ell(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k, n | x_1, x_2, \dots, x_k) = \frac{n!}{\prod_{i=1}^k x_i!} \cdot \prod_{i=1}^k \theta_i^{x_i} = \frac{\left(\sum_{i=1}^k x_i\right)!}{\prod_{i=1}^k x_i!} \cdot \prod_{i=1}^k \theta_i^{x_i} \quad (4.1)$$

ahol a paraméterek vektora  $\Theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) = (p_1, p_2, \dots, p_k)$ . A polinomiális eloszlással kapcsolatosan megjegyezzük, hogy az  $X_i$  valószínűségi változó várható értéke és szórása a következő:

$$E(X_i) = np_i; \text{Var}(X_i) = np_i(1 - p_i) \quad (4.2)$$

A paraméterek eloszlása modellezhető a  $k$ -dimenziós,  $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k)$  hiperparamétervektorral adott Dirichlet-eloszlással, amely a béta eloszlás többdimenziós általánosítása [4]. Az a priori eloszlás tehát a következő:

$$\pi(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k | \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k) = \frac{\Gamma\left(\sum_{i=1}^k \alpha_i\right)}{\prod_{i=1}^k \Gamma(\alpha_i)} \cdot \prod_{i=1}^k \theta_i^{\alpha_i - 1} \quad (4.3)$$

ahol  $\alpha_i > 0, \theta_i > 0; (i = 1, 2, \dots, k)$ , és  $\sum_{i=1}^k \theta_i = 1$ . Az eloszlás jellemzői:

$$E(X_{i_0}) = \frac{\alpha_{i_0}}{\sum_{i=1}^k \alpha_i}; \text{Mod}(X_i) = \frac{\alpha_i - 1}{\alpha_0 - k}, \text{ ha } \alpha_i > 1; \text{Var}(X_i) = \frac{\alpha_i(\alpha_0 - \alpha_i)}{\alpha_0^2(\alpha_0 + 1)}; \text{ ahol } \alpha_0 = \sum_{i=1}^k \alpha_i \quad (4.4)$$

Abban az esetben, ha nincs kezdeti információ a  $p_i$  paraméterekről, amikor tehát nincs okunk egyiket sem kitüntetni a többivel szemben, az egyenletes Dirichlet-eloszlást lehet alkalmazni, amikor is  $\alpha := \alpha_1 = \dots = \alpha_k$ . Alkalmazzuk a Bayes-tételt az a posteriori eloszlás meghatározására. Ha ismét eltekintünk a konstans szorzóktól, azaz a nevezőbeli normalizáló állandótól, akkor kapjuk, hogy

$$\pi(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k | x_1, x_2, \dots, x_k) \sim \prod_{i=1}^k \theta_i^{x_i} \cdot \prod_{i=1}^k \theta_i^{\alpha_i - 1} \sim \prod_{i=1}^k \theta_i^{\alpha_i + x_i - 1} \quad (4.5)$$

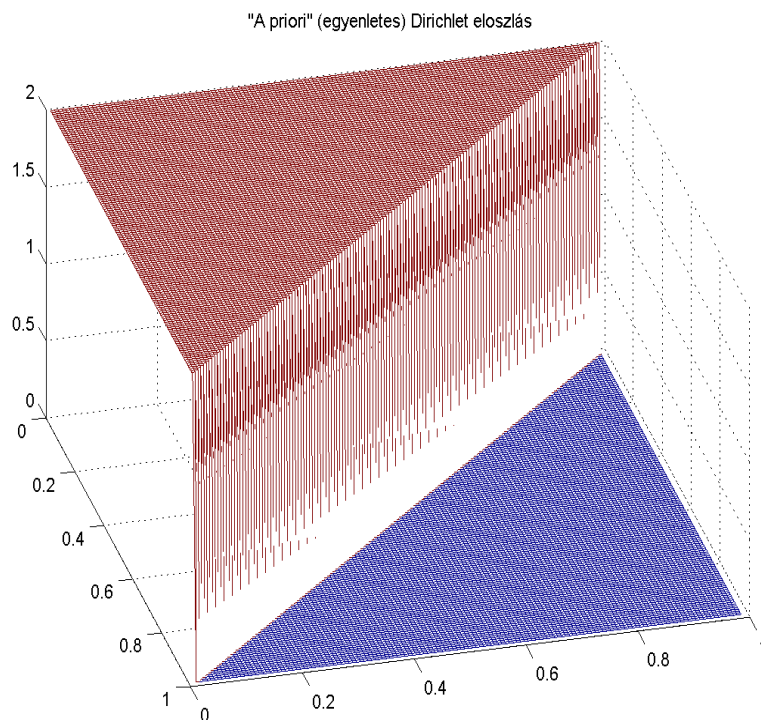
A hiányzó konstansokkal kiegészítve kapjuk egzakt módon az a posteriori eloszlást:

$$\pi(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k | x_1, x_2, \dots, x_k) = \frac{\Gamma\left(\sum_{i=1}^k (\alpha_i + x_i)\right)}{\prod_{i=1}^k \Gamma(\alpha_i + x_i)} \prod_{i=1}^k \theta_i^{\alpha_i + x_i - 1} \quad (4.6)$$

Ez ugyancsak egy Dirichlet-eloszlás. A 3. pontban is alkalmazott terminológiával azt mondhatjuk tehát, hogy a polinomiális eloszlás és a Dirichlet-eloszlás konjugált eloszlások. A megfigyelések figyelembe vételével, más szóval a frissített Dirichlet-eloszlás alapján adódnak a  $p_i$  paraméterek aktualizált értékei, amelyet az eloszlás  $X_i$  valószínűségi változójának várható értékével vagy móduszával becsülhetünk:

$$E'(X_{i_0}) = \frac{\alpha_{i_0} + x_{i_0}}{\sum_{i=1}^k (\alpha_i + x_i)}; \text{Mod}'(X_i) = \frac{\alpha_i + x_i - 1}{\alpha_0 - k}; \text{Var}'(X_i) = \frac{\alpha_0 (\alpha_0 - \alpha_i - x_i)}{\alpha_0^2 (\alpha_0 + 1)}; \alpha_0 = \sum_{i=1}^k (\alpha_i + x_i)$$

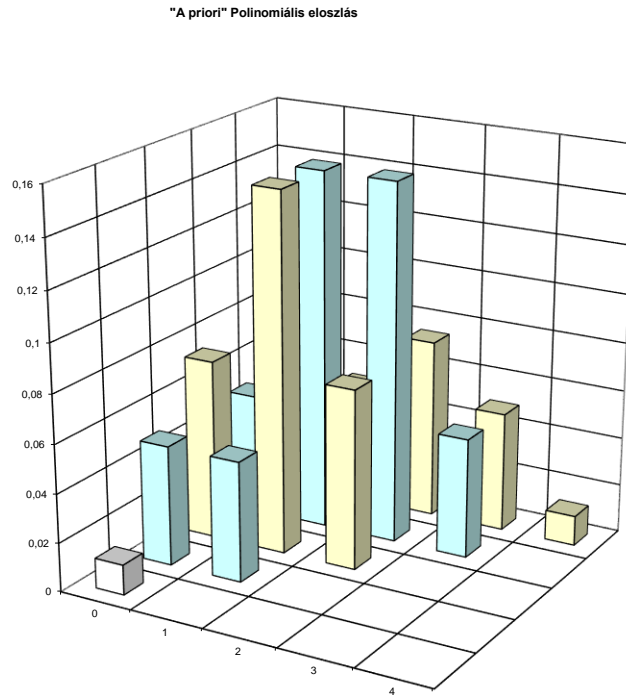
ahol az  $i_0$  rögzített index arra utal, hogy a várható érték számlálójában nem összegzünk. A megfigyelések, felmerült adatok hatása az a posteriori becslésekre vonatkozólag pontosan ugyanúgy elemezhető, mint ahogyan azt a 3. pontban a binomiális eloszlás esetében tettük.



4. ábra Az a priori Dirichlet-eloszlás

Tekintsünk egy illusztráló példát az említett eloszlásokkal kapcsolatban. Annak érdekében, hogy szemléltetni tudjuk az érintett eloszlásokat, a  $k = 3$  esetre szorítkozunk. Tegyük fel tehát, hogy bizonyos események egymástól függetlenül következhetnek be, és a bekövetkezés valószínűsége szerint három osztályba sorolhatók. Az egyes nemkívánatos események valószínűsége rendre  $p_1, p_2$  és  $p_3$ . Tegyük fel az egyszerű áttekinthetőség érdekében, hogy mindössze  $n$

= 4 megfigyelést végzünk, továbbá, hogy az egyes valószínűségekről semmiféle információnk nincs, így az egyenletes a priori Dirichlet-eloszlást tekintjük kiindulópontnak. Ekkor legyen  $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1$ . Az eloszlás peremeloszlásainak várható értéke adja a  $p_i$  paraméterek kezdőértékét. Ez – összhangban az intuitív megközelítéssel – a  $p_i = \frac{1}{3}$  ( $i = 1, 2, 3$ ) értékeket szolgáltatja. Ezek alapján ábrázolhatjuk az a priori Dirichlet-eloszlást és a 3-dimenziós polinomiális eloszlást. Ezeket mutatja a 4. és 5. ábra.



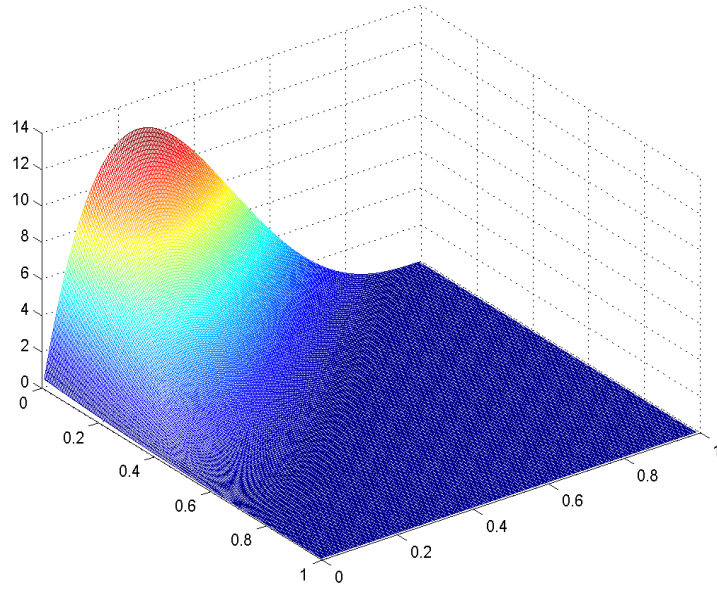
5. ábra Az a priori Dirichlet-eloszlás alapján adódó Polinomiális eloszlás

Tegyük fel, hogy a konkrét megfigyelésünk eredménye a következő: Az  $n = 4$  megfigyelés során a  $p_1$ ,  $p_2$  és  $p_3$  valószínűségű esemény rendre 1, 0, 3 alkalommal következik be. A Bayes-tétel alapján levezetett a posteriori eloszlás paraméterei és az egyes peremeloszlások várható értéke azonnal adódik. Növekvő indexek szerint a frissített eloszlás paramétereinek értéke  $1 + 1 = 2$ ;  $1 + 0 = 1$ ;  $1 + 3 = 4$ , a várható értékek pedig

$$p_1' = \frac{1+1}{3+4} = \frac{2}{7}; \quad p_2' = \frac{1+0}{3+4} = \frac{1}{7}; \quad p_3' = \frac{1+3}{3+4} = \frac{4}{7}.$$

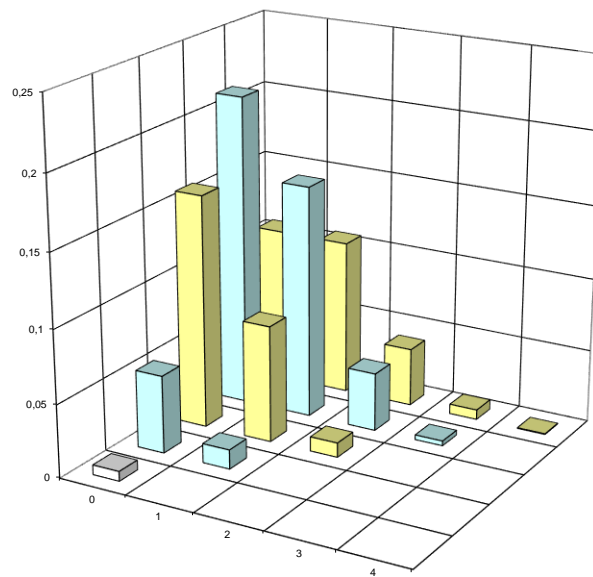
Ha ezekkel a paraméterekkel ábrázoljuk az a posteriori Dirichlet-eloszlást, valamint az aktualizált paraméterekkel adott polinomiális eloszlást, akkor a 6. ábrán látható felületet illetve a 7. ábrán látható hisztogramot kapjuk.

"A posteriori" Dirichlet eloszlás



6. ábra Az a posteriori Dirichlet-eloszlás

"A posteriori" polinomiális eloszlás



7. ábra Az a posteriori Dirichlet-eloszlás alapján adódó Polinomiális eloszlás





A hisztogramokat összehasonlítva látható, hogy az eloszlás megváltozott. A kiinduló és a frissített polinomiális eloszlást numerikus adatokkal adja meg az 1. táblázat.

Polinomiális eloszlás $p_1 = p_2 = p_3 = 1/3$ paraméterekkel						Polinomiális eloszlás $p_1 = 2/7, p_2 = 1/7, p_3 = 4/7$ paraméterekkel					
$k_1 \backslash k_2$	0	1	2	3	4	$k_1 \backslash k_2$	0	1	2	3	4
0	0,0123	0,0494	0,0741	0,0494	0,0123	0	0,1066	0,1066	0,04	0,0067	0,0004
1	0,0494	0,1481	0,1481	0,0494		1	0,2132	0,1599	0,04	0,0033	
2	0,0741	0,1481	0,0741			2	0,1599	0,08	0,01		
3	0,0494	0,0494				3	0,0533	0,0133			
4	0,0123					4	0,0067				

1. táblázat Az a priori és a posteriori polinomiális eloszlás

Az egyszerűbb összehasonlítás érdekében tegyük példaképpen számszerűvé annak valószínűségét, hogy két nemkívánatos esemény külön-külön (melyek valószínűsége rendre  $p_1, p_2$ ) legfeljebb egy alkalommal következik be. (Ezt interpretálhatjuk úgy is, hogy voltaképpen két nemkívánatos eseményről van szó, és  $p_3$  annak az eseménynek a valószínűsége, hogy sem a  $p_1$ , sem a  $p_2$  valószínűségű „nem kívánatos” esemény nem következik be.) Tehát kérdezzük a következőt: Mi a valószínűsége a ( $k_1 \leq 1; k_2 \leq 1$ ) eseménynek. Az a priori becslés, tehát az egyenletes Dirichlet-eloszlás alapján kapott valószínűség az eloszlás ismeretében:  $P = 0,0123 + 0,0494 + 0,0494 + 0,1481 = 0,2592$ . Ha az a posteriori becslés alapján kapott polinomiális eloszlást tekintjük, akkor pedig:  $P' = 0,1066 + 0,2132 + 0,1066 + 0,1599 = 0,5863$ . Eredményünk azt jelenti, hogy a megfigyelések figyelembevételével, a kérdéses esemény valószínűsége, ezzel a kockázat becsült értéke több, mint kétszeresére növekedett.

## 5. Összefoglalás

A Bayes-analízis fentiekben bemutatott alkalmazása kiválóan alkalmas a szubjektív értékítéletek és tapasztalat alapján kapott adatokból leszűrt következtetések összehangolására. A példákban konkrét diszkrét eloszlások egy alkalmazási lehetőségére koncentráltunk, azonban van lehetőség tetszőleges diszkrét és folytonos eloszlások esetén is alkalmazni a Bayes-analízist.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] EZELL, BENNETT, WINTERFELDT, SOKOLOWSKI, COLLINS: Probabilistic Risk Analysis and Terrorism Risk. *Risk analysis*, Vol. 30, No.4, 2010.
- [2] Elisabeth PATÉ-CORNELL, Seth GUIKEMA: Probabilistic Modelling of Terrorist Threats: A System Analysis Approach to Setting Priorities Among Countermeasures. *Military Operations Research*. Vol. 7, No. 4, pp. 5-20. 2002
- [3] BIER, V.M., MOSLEH, A.: The subjective Bayesian approach to Probabilistic Risk Assessment. *Reliability Engineering and System Safety* 23 (1988) 269-275.
- [4] DENKINGER Géza: Valószínűségszámítás. Tankönyvkiadó. Budapest. 1989. ISBN: 963 18 1552 8
- [5] RÉNYI Alfréd: Valószínűségszámítás. Tankönyvkiadó. Budapest, 1981. ISBN: 963175931 8
- [6] William FELLER: Bevezetés a valószínűségszámításba és alkalmazásaiba. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1978. ISBN: 963 10 2070 3
- [7] JÁNOSSY Lajos: A valószínűségelmélet alapjai és néhány alkalmazása: Tankönyvkiadó. Budapest. 1965

### ÁBRÁK

Az ábrákat a szerzők készítették Excel táblázatkezelő illetve a MATLAB szoftver segítségével.

Palik Mátyás<sup>1</sup> – Csermely Ildikó<sup>2</sup>

## A REPÜLŐTEREKRE VONATKOZÓ STRATÉGIAI ZAJTÉRkép – ÉS A ZAJGÁTLÓ VÉDŐÖVEZET SZÁMÍTÁSI METODIKÁJÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA, EGYSÉGESÍTÉSI LEHETŐSÉGEI AZ EURÓPAI UNIÓ JOGRENDJÉBEN<sup>3</sup>

*A légi közlekedés fenntartható fejlődése érdekében olyan intézkedéseket kell bevezetni, amelyekkel csökkenthető a légi járművek által okozott zaj a különösen súlyos zajproblémákkal küzdő repülőtereken és környékükön. A 2002/49/EK irányelvvel összhangban a zajértékeléseknek objektív és mérhető, a tagállamokban egyöntetűen alkalmazott kritériumokon kell alapulniuk. Az adatoknak megbízhatónak, összehasonlíthatónak és az összes érdekelt fél számára hozzáférhetőnek kell lenniük, és azokat átlátható módon kell beszerezni. Az értékeléseknek ki kell térniük a legfrissebb technológia nyomon követésére és az alkalmazandó eljárással kapcsolatos legújabb kutatási eredmények megosztására. Az illetékes hatóságoknak ki kell dolgozniuk a szükséges ellenőrzési és végrehajtási eszközöket. A zajértékeléseket a repülőtér-üzemeltetőtől független külső szervezeteknek kell elvégezniük vagy felügyelniük.*

### **REGARDING TO THE COMPARISON OF THE STANDARD METHOD OF STRATEGIC NOISE MAPPING AND COMPUTING NOISE CONTOURS OF AIRPORTS, TO STANDARDIZE THE OPPORTUNITIES IN LAW OF THE EUROPEAN**

*Sustainable development of air transport necessitates the introduction of measures aimed at reducing the noise from aircraft at and around airports with particular noise problems. In accordance with Directive 2002/49/EC, noise assessments should be based on objective and measurable criteria common to all the Member States. That information must be reliable, obtained in a transparent manner, comparable and accessible to all stakeholders. Assessments should include monitoring of the latest technological developments and exchanges of information on the latest findings concerning the procedures to be employed. Competent authorities should put in place the necessary monitoring and enforcement tools. Noise assessments should be carried out or supervised by outside agencies independent of the airport operator.*

Az első világháború befejezését követően jelentős fejlődésnek indult a polgári légiközlekedés, mely magába foglalja a személy- és teherszállítást egyaránt. E dinamikus fejlődést – amely napjainkig tart – a második világháború ugyan félbeszakította, de az új, korszerű repülőgép típusok kifejlesztésével új lehetőségeket is teremtett a közlekedésben. A második világháború végén tűntek fel a gázturbinás sugárhajtóművek, melyek fokozatosan kiszorították a dugattyús repülőgépmotorokat elsősorban a nagyteljesítményű repülés terén. A mai polgári légi közlekedésben használt repülőgépeket – ritka kivételtől eltérően – kétáramú gázturbinás sugárhajtóművekkel szerelik fel (gyártják). Ezen hajtóművekkel ellátott repülőgépek propulziós (vontatási) hatásfoka jobb, mint az egyáramú gázturbinás sugárhajtóművel rendelkezőké, a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztásuk kevesebb, üzem(elés)ük csendesebb. Jelenleg már nem csak a repülőgép-

<sup>1</sup> dr. egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

<sup>2</sup> csermely.ildiko@gmail.com

<sup>3</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Pokorádi László, egyetemi tanár, Debreceni Egyetem, pokoradi@eng.unideb.hu

gyártóknak, hanem a repülőtereknek is meg kell felelniük a rájuk vonatkozó különböző szigorodó környezetvédelmi előírásoknak. Magyarországon a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi repülőtérén kívül, több vidéki repülőtér is található. Úgy a fővárosi, mind a rendszeresen üzemelő vidéki repülőterekre gyakorta érkeznek azonban bejelentések, amelyekben a légi járművek által keltett zajra panaszkodnak a környéken lakók. Indokoltnak tűnt megvizsgálni, hogy hazánkban és az Európai Unióban milyen módon szabályozzák a szigorodó környezetvédelmi előírások között a repülőterek zajterhelésének kérdéseit, valamint, hogy milyen lehetőségek adódnak a lakosságot érintő repülési zaj csökkentésére.

## A STRATÉGIAI ZAJTÉRKÉPEZÉS METODIKÁJA

A környezeti zaj elleni küzdelem korántsem megfelelő politikáját, annak hiányosságait ismerte fel az Európai Unió illetékes bizottsága, amikor 1996. novemberében kibocsátotta a közösségi zajpolitikáról szóló ún. „Zöld Könyv”-ét, melyben a megtett intézkedéseket és azok eredményeit tekintették át. Megállapították, hogy az eddig követett szabályozási elv – miszerint a környezeti zaj helyi probléma – kezelését minden tagország saját maga intézze. Ezek a szabályozások a gépjárművek, légi járművek, és berendezések maximális zajszintet előíró szabályozásában merültek ki főleg az egységes piacra való törekvés jegyében és így a köztudatban ezeket a rendelkezéseket nem kezelték egy átfogó zajcsökkentési program részeként. A tagállamok kiegészítő szabályok és rendelkezések sokaságát léptették érvénybe, amely ahhoz vezetett, hogy Európa „elzajosodott”. Különösen a közlekedés folyamatos növekedése valamennyi ágban párosulva a városhatárok kitolódásával, a magas zajártalom soha nem látott mértékű térbeli, és időbeni terjedéséhez vezetett. Az Európai Unió szakértői önkritikus helyzetelemzés után felvázolták azokat a szükséges lépéseket, melyekkel a felhalmozódott problémák kezelhetők.

Az intézkedési csomagnak része volt egy olyan keretszabályozás megalkotása is, amely a környezeti zaj kezelésére vonatkozó kötelező előírásokat tartalmazza. Az ezt magába foglaló 2002/49/EK irányelvet 2002. június 25-én fogadták el, melynek kihirdetésére 2002. július 18-án került sor. Az irányelv annak érdekében, hogy a környezeti zaj káros hatásait mérsékelje, egy közös, stratégiai zajtérképezési módszer alkalmazását javasolja annak meghatározására, hogy mennyien szenvednek a környezeti zajtól. Ezek a térképek megjelenítik a meglévő zajterhelés okozta tényleges problémákat, konfliktushelyzeteket, a túllépés mértékét, a túllépéssel érintett lakosság és a zajra érzékeny intézmények, iskolák, kórházak számát.

A „zajtérképezés” kifejezés egy meglévő vagy előre jelzett zajhelyzetre vonatkozó adatok bemutatásának módját jelenti, feltüntetve

- a “stratégiai küszöbértékek” túllépésének eseteit (nem határérték, nem hagyományos hatósági eljárás alapját képezi);
- az adott területen a zajhatásnak kitett emberek számát;
- illetve a zajmutató bizonyos értékeinek kitett lakóhelyek számát az adott agglomeráción/területen belül.

Az irányelv és a magyar szabályozás is

- csak a jelentősebb zajforrásokat veszi figyelembe;
- az előállított adatállomány nagyobb területre vonatkozó, térségi problémákat kezel, az

adatok részletes akusztikai tervezésre nem alkalmasak – kiegészíthetők, de ebben a formában nem alkalmasak;

- a legfontosabb cél: az intézkedési terv megalapozása.

Az uniós tagállamok irányelvben foglalt kötelezettsége, hogy az előírásokat jogrendjükbe építsék, valamint az is, hogy a megadott kritériumok szerint stratégiai zajtérképeket, és intézkedési terveket adott határidőre a Bizottságnak megküldjék.

Ennek alapján:

- rendelkezésre kell, hogy álljon olyan adatbázis Magyarországon, amely áttekintő helyzetképet ad a környezeti zajállapotról – ennek eredménye az lesz, hogy igazán eredményes (hatékony és gazdaságos) zajcsökkentési stratégiát lehet majd kialakítani (végre megszűnik az ezen a területen folyó „tűzoltó munka”);
- megvalósítható lesz a megfelelő lakossági tájékoztatás a környezeti zajállapotról vonatkozóan, mellyel megszűnik a jelenleg gyakori dezinformáció, amely megnehezíti a várostervezés, közlekedésszervezési feladatok végrehajtását;
- nemcsak a zajterhelés nagyságára, a terhelés minősítésére, hanem a lakossági érintettségére vonatkozóan is megbízható adatok állnak majd rendelkezésre;
- egy-egy terület fejlesztéséért, „működtetéséért” felelős szervezet (pl. repülőtér üzemeltető) döntéshozói olyan információkhoz jutnak, amelyek a döntés meghozatalához mindenképp szükségesek – a környezeti zajvédelem szempontjait végre figyelembe tudják majd venni;
- a fejlesztések, tervezések során a várostervező, közlekedéstervező számára olyan eszköz áll rendelkezésre, amely a szakmai tervezéssel egyidejűleg ad megbízhatóan pontos információkat a tervezett változtatás következtében kialakuló környezeti zajállapotról – ezáltal a környezeti zajállapot szempontjait hatékonyan lehet érvényesíteni;
- a stratégiai zajtérkép nemcsak a jelenlegi helyzet bemutatására szolgál, hanem lehetőséget ad jövőbeli – akár hosszú távú – térségi tervezések következményeit is minden érintett szint számára megfelelő formában bemutatni;

Magyarország az irányelvet a környezet védelmének általános szabályairól szóló 1995. évi LIII. Törvény módosítása a 2004. évi LXXVI. törvénnyel, környezeti zaj kezeléséről és értékeléséről szóló 280/2004 (X. 20) Kormány rendelettel, valamint a stratégiai zajtérképek valamint az intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól szóló 25/2004 (XII.20) KvVM rendelettel építette be a jogrendjébe.

Az irányelvet azon repülőterek környezetében kell alkalmazni, amelyeken évente több mint ötvenezer gépmozgás történik. A zajhatás megállapítására az  $L_{den}$  mérőszámot kell alkalmazni, amely a napot három időszakra bontva (nappal, este és éjszaka) külön súlyozva adja meg a zajterhelést. Ennek előnye, hogy az egész napra vonatkozó egyenértékben jobban figyelembe veszi az éjszakai zajesemények különösen zavaró jellegét.

Az  $L_{den}$  decibelben (dB) mért értékét a következő összefüggéssel kell meghatározni:

$$L_{den} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} \left( 12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right)$$

ahol:

- $L_{day}$  az ISO 1996-2:1987 szabvány szerinti hosszú idejű A-súlyozású egyenértékű hangnyomás-szint egy naptári év megítélési idővel, átlagos nap nappali időszakára meghatározva;
- $L_{evening}$  ugyanez, egy átlagos nap esti időszakára meghatározva;
- $L_{night}$  ugyanez, egy átlagos nap éjszakai időszakára meghatározva;

Továbbá adott a nappali időszak időtartama: 12 óra, az esti időszak: 4 óra, az éjszakai időszak: 8 óra; és adott a nappali időszak kezdete (ami egyúttal meghatározza a további időszakok kezdetét) helyi idő szerint 07:00 óra.

Ez a mértékegység az egyenértékű zajszinteket veszi alapul, csupán súlyozásában különbözik a Magyarországon a törvénymódosításig alkalmazott egyenértékű zajszinttől. Valamint az irányelv külön egyenértékű zajszintet, külön mérőszámot, az  $L_{night}$ -ot alkalmazza az éjszakai zajhatások megállapítására. Ez gyakorlatilag az  $L_{den}$  éjszakai összetevőjének felel meg és segítségével az éjszakai zajhelyzet önmagában is jellemezhető.

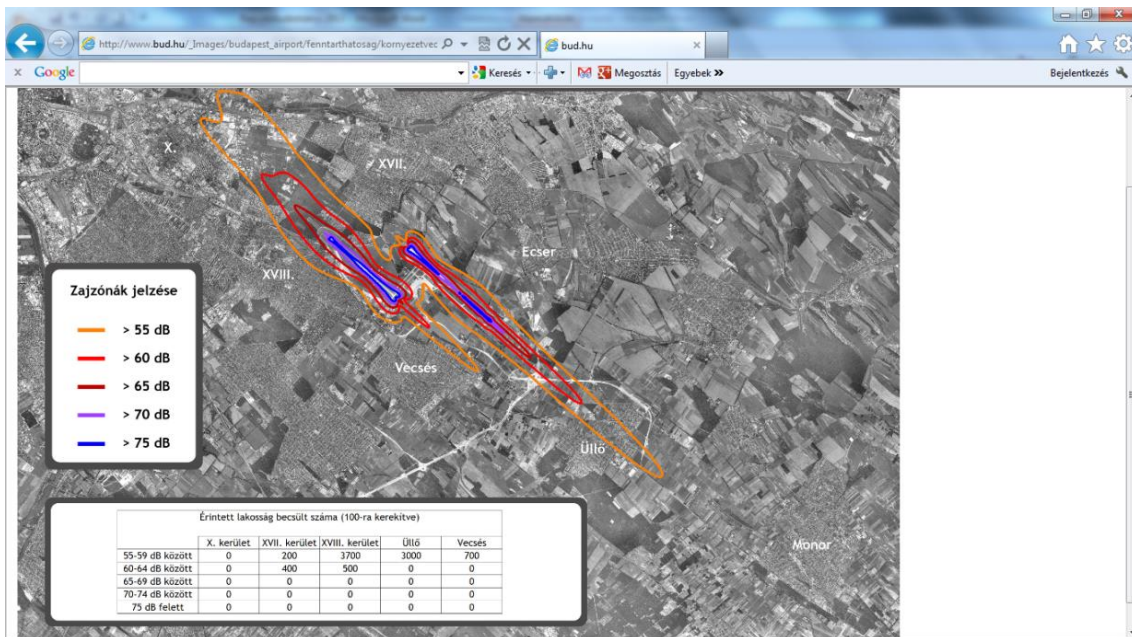
A repülési zaj meghatározásához szükség van a pályagörbék geometriai adataira, forgalmi adatokra, a fel- és a leszállási műveletekre a 3 napszak szerinti bontásban, a repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének hasznosításának és megszüntetésének részletes műszaki szabályairól szóló 18/1997. (X.11.). KHVM- KTM rendelet melléklete szerinti repülőgép kategóriákra, ezen belül:

- az egyes futópályákra, ezen belül;
- az egyes küszöbökre, ezen belül;
- a repülési pályákra.

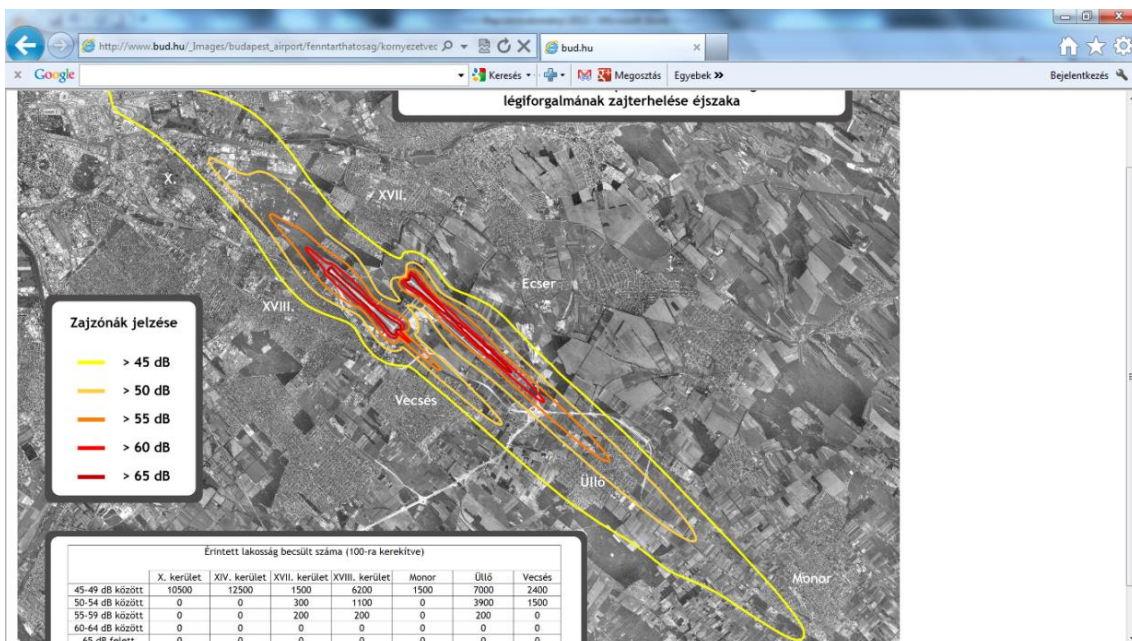
A spektrális zajemisszió és repülési profil a német AZB módszer honosításával a KTI Rt Környezetvédelmi és Akusztikai Tagozata által közzétett módszer alapján a 18/1997 (X.11) KHVM-KTM rendeletben előírt normatívák szerint kerülnek megadásra



## Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér 2011. évi adatokra épülő stratégiai zajtérképe



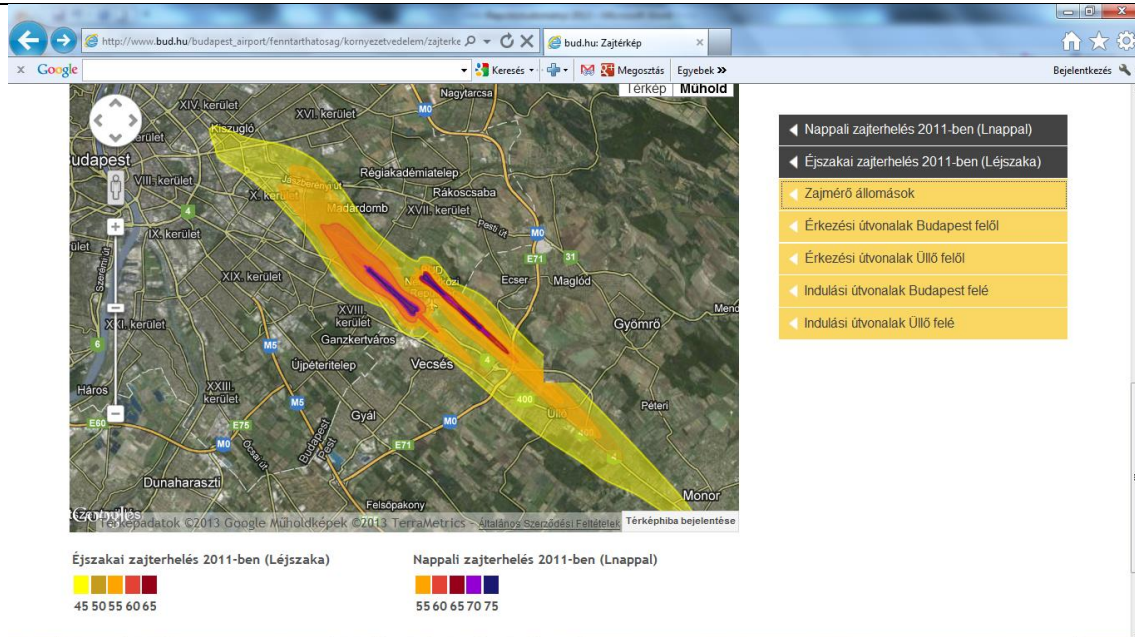
1. ábra A Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér 2011. évben megvalósult légiforgalmi zajterhelése nappal érintettségi adatokkal<sup>4</sup>



2. ábra Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér 2011. évben megvalósult légiforgalmi zajterhelése éjszaka érintettségi adatokkal<sup>5</sup>

<sup>4</sup> [http://www.bud.hu/\\_Images/budapest\\_airport/fenntarthatosag/kornyezetvedelem/zajterkep/000001581\\_Inappal\\_kicsi.jpg](http://www.bud.hu/_Images/budapest_airport/fenntarthatosag/kornyezetvedelem/zajterkep/000001581_Inappal_kicsi.jpg)

<sup>5</sup> [http://www.bud.hu/\\_Images/budapest\\_airport/fenntarthatosag/kornyezetvedelem/zajterkep/000001580\\_lejszaka\\_kicsi.jpg](http://www.bud.hu/_Images/budapest_airport/fenntarthatosag/kornyezetvedelem/zajterkep/000001580_lejszaka_kicsi.jpg)



3. ábra Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér 2011. évben megvalósult légitforgalmi zajterhelése nappal és éjszaka<sup>6</sup>

### A repülőterek zajgátló védőövezetének meghatározása

Mivel a légitforgalom évente átlagosan 5%-kal nő, ezért hiába szorgalmazzák az egyre csendesebb repülőgépek üzemeltetését, a két egymással ellentétes folyamat azt eredményezné, hogy a zaj a repülőterek környékén nem csökkenne, hanem nőne. Ezért a hazai jogrendben a repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezet kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének szabályairól szóló 176/1997.(X.11.) Kormányrendelet a zajgátló védőövezetek kialakításáról rendelkezik, amely meghatározza, hogy hol mit szabad, illetve nem szabad építeni, és milyen zajszennyezésre lehet ott számítani. A definíció szerint a zajgátló védőövezet egy olyan terület egység, amely a repülőtér határain kívül esik, de az ott jelentkező zajhatás az adott területen a környezeti zaj-és rezgésterhelési határértékek megállapításáról szóló 27/2008. (XII. 3.) KVM-EüM együttes rendelet 3. mellékletében meghatározott közlekedési zajterhelési határértéket túllépi, azaz ahol szükség van valamilyen intézkedésre az érintett terület védelmében.

A zajgátló védőövezetet a légiközlekedési hatóság határozatban jelöli ki, amely tartalmazza annak határait, az érvényességének időtartamát, korlátozó feltételeit, a hatóság által jóváhagyott számításokat, és egyéb kötelezettségeket, határidőket (pl. zajmonitor rendszer kiépítése, környezetkímélő repülőtér-használati rend kialakítása). A zajgátló védőövezetek költségeit az állami repülések által okozott zajterhelés arányában a központi költségvetés, egyébként pedig a repülőtér üzemeltetője fedezi.

A repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének részletes műszaki szabályairól szóló 18 /1997. (X.11) KHVM–KTM rendelettel a zajgátló védőövezet számítási módszerét határozta meg a jogalkotó.

Ebben a számítási módszerben az egyenértékű zajszint  $Leq$  mérőszámot kell alkalmazni a repülőtér környékén kialakuló zajhelyzet jellemzésére. Ez egy olyan számérték, amely a repülőtér

<sup>6</sup> [http://www.bud.hu/budapest\\_airport/fenntarthatosag/kornyezetvedelem/zajterkep](http://www.bud.hu/budapest_airport/fenntarthatosag/kornyezetvedelem/zajterkep)

környékén egy adott pontban a zajhatást átlagosan jól jellemzi. Ennek tartalmaznia kell a légi járművek földi és légi mozgásából adódó zajhatásokat, és a többi földi eredetű zajt is. Figyelembe kell venni hozzá a különböző gépkategóriák által kibocsátott zajt, és ezeket megfelelő átlagolási eljárások segítségével kell összegezni. Ha kellően sok pontban kiszámításra került a repülőtér környezetében az egyenértékű zajszint, akkor a köztes pontokban interpolálással meg lehet határozni a zajszinteket, majd ki lehet jelölni az ún. zajkontúrokat, azaz az egyes zajszintekhez tartozó isophon görbéket. Egy isophon görbe az azonos zajszintű pontokat köti össze. A görbék összessége a földrajzi térképen kiadja, hogy az egyes területeket milyen zajterhelés ér. E térképek segítségével jelölhetők ki ezek után a zajgátló védőövezetek, vagyis azok a területek, ahol a zajhatás túllépi az arra a területre törvényileg maximálisan megengedett értéket.

Övezet	Számított mértékadó zajterhelés [ $L_{eq}$ , M, dB (A)] nappal (06-22 <sup>h</sup> )	Számított mértékadó zajterhelés [ $L_{eq}$ , M, dB (A)] éjszaka (22-06 <sup>h</sup> )
A jelű övezet:	$L_{eq}, M > 75$	$L_{eq}, M > 65$
B jelű övezet:	$75 \geq L_{eq}, M > 70$	$65 \geq L_{eq}, M > 60$
C jelű övezet:	$70 \geq L_{eq}, M > 65$	$60 \geq L_{eq}, M > 55$
D jelű övezet:	$65 \geq L_{eq}, M > 60$	$55 \geq L_{eq}, M > 50$
E jelű övezet:	$60 \geq L_{eq}, M > 55$	$50 \geq L_{eq}, M > 45$

1. táblázat: Az övezetek kijelölésekor figyelembe veendő zajszintek

Magyarországon használt egyenértékű zajszint számításának során első lépésben meg kell határozni a vizsgált ponton (a repülőtér környezetének valamely pontján) az *i*-edik zajeseményhez tartozó A-súlyozású zajeseményszintet ( $L_{AE,i}$  dB(A)).

$$L_{AE,i} = L_{Amax,i} + 10 \cdot \lg\left(\frac{p_i^i}{2 \cdot T_0}\right)$$

ahol:

- $L_{Amax,i}$  a vizsgált ponton az *i*. zajeseményhez tartozó, számítással meghatározandó maximális A hangnyomásszint (dB(A)),
- $p_i$  a vizsgált ponton az *i*-edik zajeseményhez tartozó átrepülési idő (s).
- $T_0$   $T_0=1$  sec vonatkoztatási idő.

Ezen  $L_{AE,i}$  zajeseményszintek kiszámításához figyelembe kell venni az egyes repülőgépkategóriák normatív zajkibocsátási adatait, a repülési profil adatait, a pályagörbék szórási tartományát, a légköri hangcsillapítás normatív adatait, és 15° látószög alatt végzett repülésekre a terep befolyását a hangterjedésre.

Ezután a levegőben végzett gépmozgásokra vonatkozó egyenértékű zajterhelést az alábbiak szerint kell kiszámítani:

$$L_{eq,R} = 10 \cdot \lg\left(\frac{T_0}{T_m} \cdot \sum_i 10^{0,1 \cdot L_{AE,i}}\right)$$



ahol:

- $i$  az összegzés futóindexe az illető ponton a  $T_m$  megítélési időn belül figyelembe vett összes légi járműmozgásra nézve,
- $L_{AE,i}$  a már meghatározott, a vizsgált ponton az  $i$ . zajeseményhez tartozó A-súlyozású zajesemény szint (dB(A)),
- $T_m$  a megítélési idő, amely az az időtartam, amire a mértékadó műveletszámot meghatározták (s),
- $T_0$   $T_0 = 1$  sec vonatkoztatási idő.

A földön végzett műveletekből származó zajterhelést a zajgátló védőövezet egy pontján így kell meghatározni:

$$L_{eq,F} = 10 \cdot \lg\left(\frac{1}{T_m} \cdot \sum_k T_k \cdot 10^{0,1 \cdot L_{Aeq,k}}\right)$$

ahol:

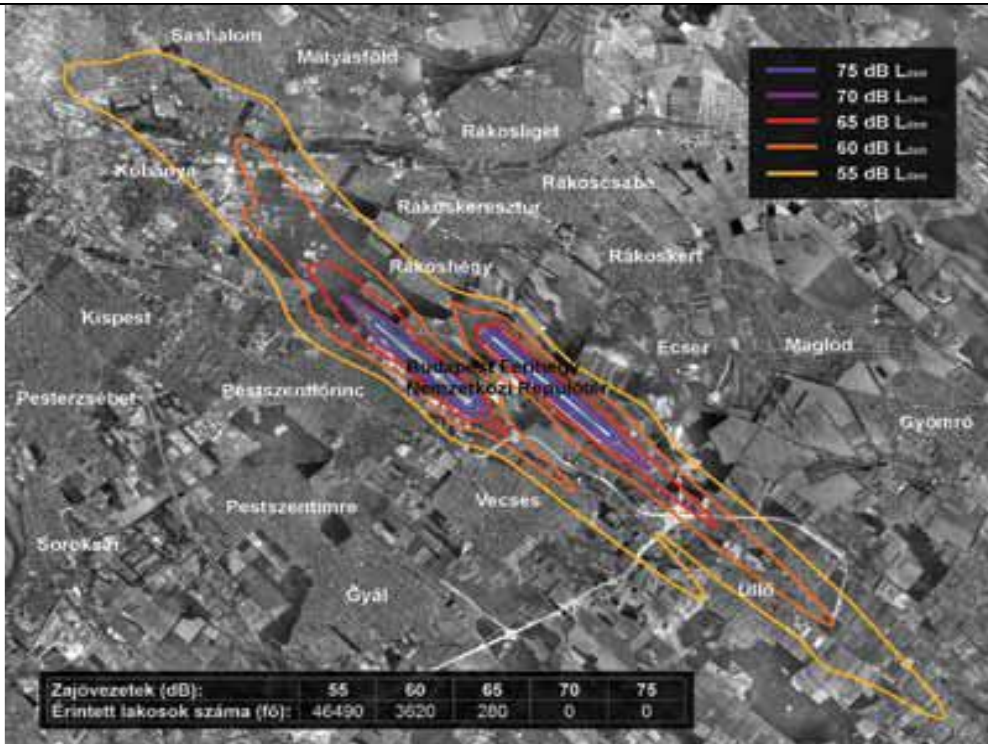
- $k$  az egyes, egymástól eltérő, számításba vett, földön végzett művelet-típusok futóindexe,
- $L_{Aeq,k}$  a  $k$ -adik földi művelettípusnak a  $T_i$  időtartamra vonatkozó egyenértékű A-hangnyomásszintje a vizsgált ponton; értékét a földi hangterjedés és – árnyékoló berendezések alkalmazása esetén az árnyékoló hatás figyelembevételével kell meghatározni (dB(A)),
- $T_k$  a  $k$ -adik típusú, földön végzett műveletből származó zajesemények összegzett hatásideje a teljes  $T_m$  megítélési idő alatt (s),
- $T_m$  megítélési idő, azonos az amely az az időtartam, amire a mértékadó műveletszámot meghatározták (s),

Végül a mértékadó terhelést ezen a ponton, a kapott eredményekből az alábbiak szerint lehet

$$L_{eq,M} = 10 \cdot \lg(10^{0,1 \cdot L_{eq,R}} + 10^{0,1 \cdot L_{eq,F}})$$

Ez tehát az az egyenértékű zajszint, amelyek alapján a zajkontúrokat fel lehet rajzolni.

Minden országban egységes gyakorlat, hogy a zajgátló védőterület határait egy előrebecsült távlati repülőtéri forgalomra, számítással határozzák meg. Magyarországon a számításához szükséges mértékadó forgalmat a következő tíz év előrebecsült forgalmi adataiból kell megállapítani. A mértékadó műveletszám a következő tíz év legnagyobb zajterhelését eredményező évében a legnagyobb zajterheléssel járó hat hónap összes forgalma. A megfigyelési időt 16 órára, éjszaka 8 órára választják. A zajszinteket „A” súlyozósűrővel értékelik.



4. ábra Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér 2009-ben kijelölt, nem jogerős zajgátló védőövezete<sup>7</sup>

A fentiek alapján összevetve a stratégiai zajtérkép módszertanát (1-3. ábra) a zajgátló védőövezet számítási metodikájával (4. ábra) akkor egyértelműen kiderül, hogy a két módszer nagymértékben eltérő eredményeket hoz a valós zajterhelés meghatározásában.

A zajgátló védőövezet számítása során használt egyenértékű zajszint ( $L_{eq}$ ) - amihez hasonló egyébként számos ország zajmérési mértékegysége - nem reprezentálja kellő mértékben a repülési zaj zavaró hatását, de a zajterhelési határértékkel történő összevetését a hazai jogrendben az értékelési módszer lehetővé teszi annak ellenére, hogy 10 évre előre becsült adatokkal kerül meghatározásra a repülőtér egyenértékű zajterhelése. A társadalommal való kapcsolattartás lényeges, meghatározó eleme lehetne, ha a zajterhelés mérőszámát sikerülne jobban kapcsolatba hozni a tényleges zavarás mértékével. Hiszen a repülőtér környezetében lakó polgár az egyes repülések zaját hallja, és hiába tudja esetleg, hogy az előírt  $L_{eq}$  értékeket betartják: azok a megítélési időre vonatkoznak, és nem veszik figyelembe a repülések szakaszos jellegéből adódó különösen zavaró hatást. További gond, hogy az átlagember számára a zajszennyezés mértékegysége nehezen érthető. A lakosság számára nehezen feldolgozható a mérőszám "megítélési időre" vonatkozó jellege, és így érdemben nem tudnak mit kezdeni vele.

Ugyanakkor a stratégiai zajtérképek alapján olyan információkat nyerhetünk környezetünkről, amelyek segítségével az egyes területek zajvédelmi helyzete reálisan összehasonlítható. A zajtérkép egy adott pontjának értékelésekor azonban figyelembe kell venni, hogy a számítás éves átlagos adatokból indul ki és bizonyos egyszerűsítéseket tartalmaz. A zajtérképek eredményei mérésrel nem ellenőrizhetők vissza. A stratégiai zajtérképek eredményei az eltérő zajmutatók ( $L_{den}$  és  $L_{éjjel}$  helyett,  $L_{AM}$  megítélési szint) és értékelési módszerek miatt nem vethetők össze a

<sup>7</sup> [http://www.bud.hu/?iPath=/view/&documentview\\_type=open&documentview\\_site=529&documentview\\_id=548&articleid\\_site=529](http://www.bud.hu/?iPath=/view/&documentview_type=open&documentview_site=529&documentview_id=548&articleid_site=529)



zajterhelési határértékkel. A határértékeknek való megfelelést a jellemző, azaz a leggyakrabban előforduló állapot figyelembevételével, műszeres vizsgálattal kell ellenőrizni.

Ugyanakkor Az  $L_{den}$  a tapasztalatok szerint már valamivel jobban kifejezi a zavarás mértékét, hiszen figyelembe veszi azt, hogy az éjszakai zaj zavaróbban hat a nappali zajnál, s így más súlyozással számítja a nappali, az esti és az éjszakai zajt. Ez az előírányozott mérőszám annyiban jobb korábbi magyarországi mértékegységénél, hogy ezt a nappali – éjszakai különbséget nem hagyja figyelmen kívül.

Ezt mutatja az a tény is, hogy az Európai Bizottság a zajvédelemmel összefüggő üzemeltetési korlátozások tekintetében javasolta a 2002/30/EK irányelv hatályon kívül helyezését és új irányelvvel való felváltását, amely irányelvben 2002/49/EK irányelvvel összhangban a zajértékeléseknek objektív és mérhető, a tagállamokban egyöntetűen alkalmazott kritériumokon kell alapulniuk. Az adatoknak megbízhatónak, összehasonlíthatónak és az összes érdekelt fél számára hozzáférhetőnek kell lenniük, és azokat átlátható módon kell beszerezni. Az értékeléseknek ki kell térniük a legfrissebb technológia nyomán követésére és az alkalmazandó eljárással kapcsolatos legújabb kutatási eredmények megosztására. A megállapodás nyomán összességében olyan európai keret jön létre, amely a polgárok számára lehetőséget biztosít arra, hogy a döntéshozók tudomására hozzák véleményüket, a nemzeti hatóságok számára előírja, hogy a döntéshozatal során mely világos szempontokat kell szem előtt tartaniuk, ennek köszönhetően a repülőgépek üzemben tartói nagyobb fokú kiszámíthatóságot és jogbiztonságot élvezhetnek, a Bizottság a nemzetközi kötelezettségekkel összhangban ellenőrizheti a folyamat minőségét, a lényegi döntések meghozatala pedig tagállami hatáskörben marad.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Somogyi Rita: Légiközlekedési zajmennyiségek mérése, számítása és értékelése. BME - Diplomamunka 2004.
- [2] Közlekedés Tudományi Intézet: Stratégiai zajtérképezés- Fő közlekedési létesítmények leíró dokumentáció 2007.
- [3] Az Európai Parlament és a Tanács 2002/49/EK IRÁNYELVE (2002. június 25.) a környezeti zaj értékeléséről és kezeléséről.
- [4] Dr. Sobor Ákos – dr. Becske Loránd: Nemzetközi kitekintés a repülési zaj szabályozására. Akusztikai Szemle, 2010.
- [5] Az Unió repülőterein a zajvédelemmel összefüggő üzemeltetési korlátozások bevezetésére vonatkozó szabályok és eljárások megállapításáról a kiegyensúlyozott megközelítés jegyében és a 2002/30/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről szóló európai parlamenti és tanácsi rendelet tervezet
- [6] A repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezet kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének szabályairól szóló a176/1997.(X.11.). Kormányrendelet
- [7] A repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének hasznosításának és megszüntetésének részletes műszaki szabályairól szóló 18/1997. (X.11.). KHVM- KTM rendelet
- [8] A környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról szóló 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet
- [9] A környezeti zaj értékeléséről és kezeléséről szóló 280/2004 (X. 20) Korm. rendelet
- [10] A stratégiai zajtérképek, valamint az intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól szóló 25/2004 (XII. 20.) KvVM rendelet.
- [11] [http://www.bud.hu/budapest\\_airport/fenntarthatosag/kornyezetvedelem/zajvedelem](http://www.bud.hu/budapest_airport/fenntarthatosag/kornyezetvedelem/zajvedelem) (2013-03-03)

Ványa László<sup>1</sup>

## HOGYAN VÉDEKEZZÜNK A DRÓNOK ELLEN?<sup>2</sup>

2013 februárjában az Associated Press emberei Maliban, Timbuktuban egy al-Kaida harcosok által elfoglalt épületben találtak egy dokumentumot. Az eredetit és az angol fordítását a világsajtó közzétette. A szerzője Abdullah bin Mohammed, az al-Kaida parancsnoka az Arab-félszigeten. A 22 pont leírja, hogy lehet rejtőzni a drónok ellen, hogy lehet zavarni a kommunikációs rendszerüket, hogy kell elrettenteni a kémeket és hogy kellene a világ közvéleményét a dróntámadások ellen hangolni. Jelen cikk szerzője bemutatja ezt a talált dokumentumot és elemzés alá veti az ajánlásokat a felderítés és elektronikai hadviselés szemszögéből.

### HOW GUARD AGAINST DRONES?

A document was found by the people of Associated Press in buildings recently occupied by al-Qaida fighters in Timbuktu, Mali in February of 2013. The original and the translated in English version was publicized in world press. The writer was Abdullah bin Mohammed the senior commander of al-Qaida in the Arabian Peninsula. The al-Qaida 22 tip on how to hide from drones, how jam their communication system, how deterring the spies and how can Islamic countries tuning the public opinion of world against drone attacks. The author of article presents this paper and analyses recommendations from angle intelligence and electronic warfare.

### BEVEZETÉS

2013. február 23-án a magyar sajtóban is megjelent egy hír arról, hogy az Associated Press munkatársai Malin olyan dokumentumokat találtak, amelyben a pilóta nélküli repülőgépekkel – más szóhasználatban drónokkal – szembeni védekezés módszerei, ajánlott eljárásai olvashatók. [1] Az arabul írt, fénymásolással terjesztet írást angolra fordítva közzétette a The Telegraph is, majd nagyon sok ország is továbbközölte [2], és a világhálón megtalálható az eredeti arab nyelvű dokumentum, valamint annak angol fordítása is egy pdf fájlban. [3]

Amellett, hogy a huszonekét pontba szedett ajánlás egy pontját magának Oszama bin Ladennek tulajdonítják, a katonai célú robottechnikai eszközök kutatói, tervezői és alkalmazói számára valóban érdekes témának tűnhetnek az ellenük való védelem kérdései a szembenálló fél, az üldözött szervezetek emberei szemével nézve. Hogy mennyire élet-halál kérdésévé vált a drónok elleni védekezés, azt jól mutatják azok a légi csapások, amelyek hírei hétről-hétre bejárják a világsajtót

E cikk célja, hogy bemutassa a drónokkal vívott háború jelen körülményeit, értékelje az ajánlásokat és ahol lehet, megoldásokat javasoljon a védelmi rendszabályok semlegesítésére. A rendszabályok 1-22-ig számozottak, az eredeti sorrendjükben fogjuk áttekinteni őket.

<sup>1</sup> okl. mk. alezredes, PhD, Nemzeti Közszerológálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Informatikai és Elektronikai Hadviselés Tanszék habilitált egyetemi docense. vanya.laszlo@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. okl. mk. ezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közszerológálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék

## A SIKERES DRÓNCSAPÁSOK

A dróntámadások nevezhetők talán az egyik valóban sikeres harcformának, amióta az Egyesült Államok és szövetségesei megkezdték a 2001. szeptember 11-e utáni terroristák elleni nyílt háborújukat Afganisztánban és Pakisztánban. A szárazföldi műveletek a beinvestált költségekkel és bevetett erővel, eszközökkel, láthatóan nem hozták meg az arányosan elvárható eredményt. Megszülettek az olyan fogalmak, mint az „aszimmetrikus hadviselés”, a „láthatatlan ellenség”, amelyek magyarázni igyekeztek azt például, hogy miért teljesen alkalmatlan egy reguláris, nehéz technikával felszerelt és erre kiképzett hadsereg a hegyekben kis csoportokban portyázó, lesből támadó, hadijogi egyezményekre fittyet hányó lázadók, vagy terroristának nevezett csoportok elleni harcra.

A helyi tapasztalatok alapján változtak a harceljárások, az erők megóvása érdekében hozott szabályozók és lényegesen megváltoztak az alkalmazott technikai eszközökkel szemben támasztott követelmények is. A korábban felderítési célokra Irakban, vagy akár Jugoszláviában használt pilóta nélküli repülőgépek széles körű alkalmazást nyertek ebben a háborúban is, de számtalan esetben a felfedéstől a csapás kiváltásáig eltelt idő alatt a célok, a feltételezett terroristák, azok járművei eltűntek a hegyekben, barlangokban, így a beérkező csapásmérő repülőgépek sikertelenül tértek vissza.

Erre a viszonylag hosszú reakcióidőre a pilóta nélküli repülőgépek felfegyverzése adta meg a megfelelő választ. A Predator, mint alapmodell, több változatban is alkalmassá vált rakéták hordozására és így a távolról végrehajtott irányítási, felderítési tevékenység kiegészült a döntéssel és a csapás azonnali kiváltásának lehetőségével. Először a CIA hajtott végre ilyen támadásokat Pakisztánban terrorista célpontok ellen, és az aszimmetrikus hadviselésre mintegy válaszként az amerikai hadsereg drónjai bizonyultak a leghatékonyabb eszköznek a pontszerű célok, terrorista csoportok, parancsnokok likvidálásában. Nézzünk egy önkényesen kiragadott hírsort a magyar sajtóból:

- „Négy fegyverrel végeztek drónok Pakisztánban” – 2012. 01. 21. MTI hír a hvg.hu-n [4];
- „Drón ölt meg nyolc embert Észak-Vazirisztánban” – 2012. 02. 08. MTI hír a hvg.hu-n [5];
- „Amerikai dróncsapás Pakisztánban” – 2012. 02. 09. MTI hír a hvg.hu-n [6].

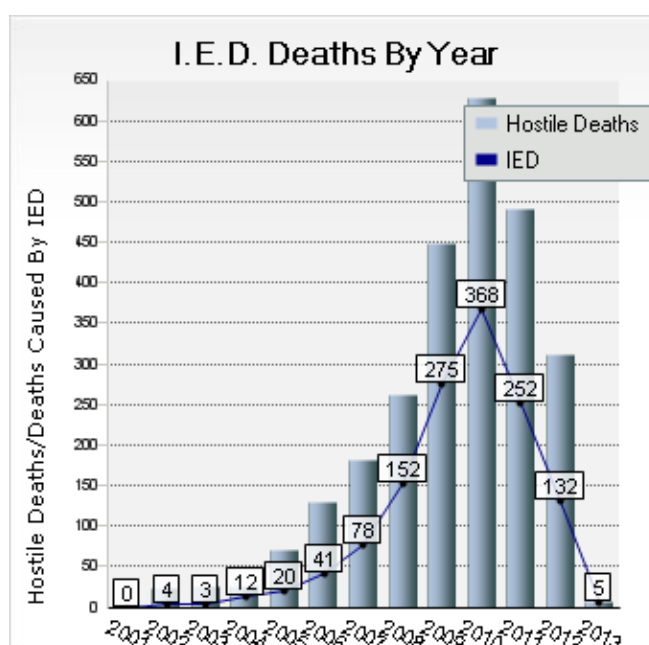
A rövid híreket elolvasva feltűnhet az a szófordulat, hogy szinte mindegyikben előfordul a „feltételezett terrorista”, „feltételezett milicista”, vagy „feltételezett iszlamista fegyveres”, kifejezés, vagyis objektíve nem is biztos minden esetben, hogy a sajtóhír mögötti események fedik a tényeket, mert egy piacra mért csapásban miért is csak a fegyveres milicisták esnek áldozatul? Ennél megbízhatóbb a hír, ha megerősítés is érkezik a terrorista szervezetek részéről, pl. egy-egy vezető, parancsnok likvidálása nyomán. Ilyen hírek is bőven érkeznek:

- „*Drónok végeztek egy pakisztáni al-Kaida-parancsnokkal*” – 2012. 02. 09. MTI hír a hvg.hu-n [7], amikor is Badar Manszúr, az al-Kaida nemzetközi terrorszervezet pakisztáni hadműveleti főnöke esett áldozatul;
- „*Az al-Kaida második emberét akarták megölni*” – 2012. 06. 05. MTI hír a hvg.hu-n [8], bár később egy megállapíthatatlan időben készült videóval igyekeztek bizonygatni, hogy Abu Jahia al-Líbi túlélte a csapást, ami egy már máskor is eljátszott színjáték is lehetett [9];
- „*Dróncsapásban likvidáltak egy tálib vezért*” – 2013. 01. 03. MTI hír a hvg.hu-n [10].

A hírek sora hosszan folytatható lenne és ezen példák a teljesség igénye nélkül magát a folyamatot kívánták illusztrálni. A siker nem volt mindig felhőtlen, mert pl. amikor 2011 novemberében a NATO tévedésből mért csapást pakisztáni őrhelyekre, 24 pakisztáni katona esett áldozatul akkor megfagyott a légkör az afgán kormány és az USA között, a drónok repüléseit is felfüggesztették. [4]

A drónok légi csapásai és folyamatos fenyegetésük ugyanazt a kiszolgáltatott, jószerével tehetetlen érzést válthatták ki az ellenállókból, amit a nemzetközi erők csapatai éreztek az állandósult IED<sup>3</sup> fenyegetések és orvtámadások miatt. Az aszimmetrikus hadviselés rendkívül hatékony terror eszközei, az IED-k okozták sok éven át a nemzetközi erők emberveszteségének mintegy felét okozták, de igen nagyszámú polgári áldozatot is szedtek.

A NATO jelentős erőfeszítéseinek, technikai eszközök sokaságának napjainkra összehangolt alkalmazásával úgy tűnik jelentősen vissza tudta szorítani ezen eszközök hatékony alkalmazását, és az elesettek száma összességében is csökkenő tendenciát mutat, mint ahogy az a 2013. március 10-i adatokat tartalmazó 1. ábrán is jól érzékelhető.



1. ábra Az Operation Enduring Freedom műveletben elesettek száma és az IED-k részesedése [11]

Természetesen ez a tendencia a helyzet normalizálódásának is köszönhető lehet, amit alátámasztanak azok a tervek, amelyek szerint a csapatokat megkezdték Afganisztánból kivonni.

## A huszonkét ajánlás

Az Associated Press emberei Jemenben talált dokumentuma a rajta feltüntetett keltezés alapján 2011. június 17-én kelt, az iszlám időszámítás szerint 1432-ben. Aláírója Abdullah bin Mohammed volt. Az írás első része arra hívja fel a figyelmet, hogy milyen fontos megérteni az amerikai hadsereg drónokkal vívott háborújának stratégiáját, hogy hatékonyan lehessen ellenük harcolni.

A drónok megjelenésének okai között elsősorban az elégtelen számú támadó célú repülőgépet –

<sup>3</sup> Improvised Explosive Devices – improvizált robbanóeszközök, más elnevezéssel házi készítésű bombák, útszéli bombák.

pl. F-16-ot, és a megfelelő számú haderő meglétét jelöli meg. Indoklása szerint az amerikai haderő a háború tíz éve alatt kimerült, az elszenvedett emberveszteségeket úgy a Kongresszus, mint a nyilvános sajtó egyre kevésbé tolerálja. Ez ha nem is vezetett a háború feladásához, de mindenképpen más formát kellett találni, amely jóval kisebb emberveszteséggel járható. Erre a drónok igen jó megoldásnak mutatkoztak, hiszen ahogy a szerző szemléletesen kifejezte, a „*hozzátok haza a fiainkat!*” helyett, senki sem kiabálja az utcán, hogy „*hozzátok haza a repülőgépeinket!*”.

Az árakat összevetve, egy F-15 Eagle árából mintegy 1000 drón árát becsüli, egy Predator 10 millió USD árát az F-16 350 millió USD-vel hasonlítja össze, vagy akár egy F-4 Phantom egy feltöltésével mintegy 200 drón üzemanyag szükségletét viszonyítja. Egy Tornado pilóta 1 millió Fontba kerülő kiképzéséhez képest a három hónapos drón kezelői kiképzés szinte semmi, így az amerikaiak részéről teljesen indokoltnak értékeli a drónokkal vívott háborúra való egyre nagyobb mértékű áttérést.

Miután e rövid indoklással nyilvánvalóvá válhatott az olvasók számára, hogy az USA hosszabb távra rendezkedhet be erre a harcmodorra, ezért szervezettebben kell fellépni ellene, meg kell találni a hatékony ellenintézkedéseket. A szerző ezeket három fő csoportra osztotta:

- a közvéleményt rá kell hangolni, hogy ellent lehet állni ezeknek a támadásoknak;
- elrettenteni a kémeket, besúgókat és
- a megtévesztés taktikáját kell alkalmazni.

E bevezetés után 22 pontba szedve konkrét tanácsok, teendők, szabályok következtek, amelyeket részletesebben megvizsgálunk a továbbiakban.

Az első pontban egy orosz gyártmányú „Sky Grabber”-nek nevezett eszközre hívja fel szerző a figyelmet, amely segítségével a drónok frekvenciáira behatolva kifürkészhető azok szándéka, küldetése. A piacon beszerezhető 2.595 dolláros eszköz használatához számítógépes tudás szükséges. Az interneten magát a szoftvert mintegy 25 dollárra becsülik, amit egy műholdas jelek vételére szolgáló antenna és tuner (vevőkészülék) egészít ki ahhoz, hogy a drónok műholdas kommunikációs csatornájába behatolhassanak, majd a kódolt adásokat megfejtsék. Ezt már Irakban az MQ-1 Predator video csatornájának lehallgatására is alkalmazták. Az interneten megtalálható a SkyGrabber szoftver és PC kiegészítő modul, amely napjainkra 200 dollár alatti áron megvásárolható és az ismertetője szerint alkalmas műholdas adatok letöltésére és lementésére a számítógépre. [12]

A második pont egy orosz gyártmányú „Racal” nevű berendezésre utal, amellyel a mudzsahedinek sikeres megoldást találtak a drónokat irányító frekvenciák zavarására, összeköttetések megszakítására. Erre egyértelmű információkat, konkrét berendezést nem találtam, valószínűleg ez az eszköz fedőnéven, általánosan használt becenevén ismert, de részletesebb adat nem áll rendelkezésre. Egy világos azonban, vannak a régióban orosz zavaróeszközök, amelyek képesek ezen sávok zavarására.

A harmadik tanács szerint üvegcserpeket kell a járművek, épületek tetején szétszórni minden valószínűség szerint az optikai eszközök működésének akadályozására.

A negyedik mód jól képzett mesterlövészek alkalmazását tanácsolja, mivel a drónok viszonylag alacsonyan repülnek, bár a hat kilométer alatti magasságot elég soknak tűnik még mesterlövész puskával is. Csak példaképpen a Gepárd M1 mesterlövész puska célzott lőtávolsága 2000 m [13].



Az ötödik és hatodik pont a kommunikációra használatos frekvenciák zavarását tanácsolja, amely olyan régi eszközök, berendezések folyamatos, 24 órás működtetésével valósíthatók meg, mint amilyeneket a jugoszláv hadsereg is használt az elektronikai felderítő, hírközlő eszközök zavarására, példaként megemlítve a mikrohullámú sütőből készített zavarókat. Ennek valóban lehet komoly zavaró hatása, bár semmiképpen nem beszélhetünk egy tervezett ellentévékenységről, ez a megoldás a frekvenciaspektrumbeli zűrzavart képes fokozni, elvonni a SIGINT<sup>4</sup> erők figyelmét, növelni a spektrum telítettségét.

A hetedik pont nem tanácsolja az állandóhelyű vezetési pontok használatát, ami teljesen észszerű, mivel a személyek és járművek rendszeres mozgása bizonyosan felfedi a rendeltetést, és egyre nagyobb valószínűséggel vonja oda a csapás kiváltását.

A nyolcadik szabály a drónok által jól belátható területek feletti berepülés észlelésekor figyelmeztetés kiadására szólítja fel az ott tartózkodókat, hogy mindenféle mozgást szüntessenek be. Ez a rendszabály is jól mutatja, hogy tisztában lehetnek a képfelderítés, képkiértékelések módszereivel, amikor is a változásdetektálás az egyik legáltalánosabb eljárás, történjen ez valós időben, pl. mozgó célok kiválasztására képes radarokkal (MTI<sup>5</sup>), vagy utófeldolgozással, képek összevetésével.

A kilenc-tizenegyedik pont a rejtőzködésre ad tanácsokat. Kerülni kell a besugározható területeket és ez ellen a vastag fák lombozata alá való rejtőzködés vagy épületek árnyékába való rejtőzködés jó védelmet nyújthat. Ez a tanács is helytálló, bár a gyér növényzetű, hegyi vidékeken Afganisztánban nem tipikus a vastagtörzsű, nagy lombozatú erdőség. A radarok és az optikai eszközök számára rosszul átlátható lombkorona alá eredményesen képesek a lézer radarok, más néven lidarok belátni, egy lidarral rendelkező repülőgép előtt a lombkorona sem nyújt megfelelő álcázó képességet.

A tizenkettedik rendszabály a vezeték nélküli eszközök teljes kisugárzás tilalmát javasolja, ami elsősorban a drónok átrepülésének időszakára vonatkozik. Ez tökéletesen érthető, mivel a készenléti üzemben dolgozó berendezések is sugároznak jeleket, ld. a mobil telefonokat, műholdas telefonokat. Már 1996 áprilisában egy műholdas telefon jeleinek bemérésével sikerült megtalálni Dzsohar Dudajevet, aki előbb az orosz hadsereg tábornoka, majd később Csecsenföld első elnöke volt és az első csecsen háborúban egy önrá vezetésű orosz rakéta támadásának áldozata lett [14].

A tizenharmadik ajánlás szerint a járműveket el kell hagyni és távol maradni tőlük, különösen támadások idején, aminek az az egyszerű indoka, hogy elsősorban a járműmozgások detektálása, mozgásuk nyomon követése előzi meg a csapásokat közvetlenül.

A következő három tanács a drónok becsapása érdekében több be és kijárat használatát ajánlja, amelyek közül a földalatti létesítmények további előnyöket adnak, mivel a fedélzeti támadó fegyverek elsősorban szilánkhatásúak, élőerő elleniek és nem épületek ellen hatékony rombolók.

Nagyon lényegesnek és fontosnak ítélni a tizenhetedik pont, amely kémelhárító csoportok megalakítását írja elő, akik a kémek és ügynökök felkutatását végeznék. A drónokkal vívott háború a külső szemlélők számára úgy is tűnhet, hogy a fedélzeti berendezések információi

---

<sup>4</sup> SIGINT – Signal Intelligence – jelfelderítés, amely a kommunikációs és nem kommunikációs jelek felderítését is magába foglalja.

<sup>5</sup> MTI – Moving Target Indication – mozgó cél kiválasztás



alapján hoz az irányító pont döntést a csapásmérésre. Ez a kép működőképes egy nyílt terepen közlekedő jármű és az abban ülők tevékenységének megfigyelése nyomán – pl. egy IED elhelyezése közben – kiváltott csapásnál. A dróntámadások egy része azonban nem ilyen, hanem egy-egy településen lévő ház, vagy akár egy piactér ellen irányul, ahol is „feltételezett” fegyveres csoportok, vagy vezetők tartózkodnak. Ennek konkrét megállapítására a magasból nem sok esély van és ilyenkor kellene azok az ügynökök, kémek, akik meggyőződve a helyzetről, megjelölik a konkrét célokat, „hívják a csapást”. Ezzel a módszerrel a terroristák is tisztában vannak, így nagy fontosságot kell tulajdonítaniuk a kémek elhárításának.

A tizennyolcadik ajánlás babák, szobrok, hamis célalakok kihelyezését tanácsolja nyílt területekre az ellenséges felderítés megtévesztése érdekében. Ez nem túl sokáig hatékony rendszabály, hiszen a korábban már említett változásdetektálás hamar felfedi ezek mozdulatlanságát, nem is beszélve esetleg az infravörös tartományú képeken mutatott élettelenységükről. Ha persze ezt az egy bábu-egy rossz helyre kiváltott csapás ár-haszon arányával szemléljük, akkor ez lehet egy bőven megtérülő kísérlet is.

A járművet követő drónok észlelésének esetére ad ajánlást a tizenkilencedik pont. Ilyenkor azonnal el kell hagyni a járművet és mindenkinek más irányba kell eltávolodni tőle, mivel a drón nem tud mindenkit követni ez után. Ez is hasznos ajánlás, mert a csapásnak valóban csak akkor lesz hatékony eredménye, ha még a járműben tartózkodnak a célszemélyek.

A huszadik ajánlás a felderítéssel szemben használható természetes akadályok, mint erdőben vagy akár üregben való meghúzódást tanácsolja rejtőzködés céljára, aminek céljáról hasznáról korábban már volt szó.

A huszonegyedik ajánlás a sűrűn célterületté váló területekre füstök létrehozását javasolja, amit például az autógumik égésével lehet előállítani. Ez a megoldás a látható fény tartományában lehet hatékony, azonban az infravörös hullámhosszakon kevésbé, illetve a radarok ellen teljesen hatástalan.

Az utolsó, huszonkettedik szabály ismét a kommunikációs eszközök használatának tilalmára vonatkozik, mivel az ellenség a vezetőket, vagy más keresett személyeket a hangjuk alapján képes azonosítani és a helyzetüket bemérni. Ez tulajdonképpen azonos a tizenkettedik szabállyal és a nagyon keresett vezetők esetében hosszú időn át, nagy energiák befektetését sem kímélő, ún. bármi áron való felkutatásuk egyik eljárása. A várt eredmény, ti. a megtalálásuk és likvidálásuk megéri a nagy energia befektetést, amire több alkalommal már volt is példa.

A pontok után még egy-egy bekezdésben Abdullah bin Mohammed ír a kémek elrettentéséről és arról, miként lehetne akár a nyugati állampolgárok elrablásával és más módszerekkel felhívni a közvélemény figyelmét és rákényszeríteni az amerikaiakat a drónokkal folytatott háború korlátozására, vagy befejezésére.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A huszonkét pontba szedett ajánlásról összességében azt lehet mondani, hogy a leírása egyfajta gyors összefoglalónak készülhetett, mivel többször ismétlődő, egymást átfedő szabályok rendezetlen felsorolása. Nincs semmilyen folyamatszerű megközelítés, nem épül semmilyen idő- vagy más logikai rendre.



Az idő eddig nemigen igazolta azokat a reményeket, amelyek a dróntámadások felhagyásához vezettek volna, sőt 2012-13-ban ezek meglehetősen nagy hatékonysággal működtek. Egyet azonban sikerült elérni, a világ közvéleményét egyre inkább foglalkoztatja a drónok háborúja és már nemzetközi szervezetek is vizsgálódnak. Az ENSZ Ben Emmersont, a terrorizmussal és az emberi jogokkal foglalkozó szakértőjét bízta meg Pakisztán és még két másik ország panasza alapján az amerikai dróntámadások vizsgálatával, mivel szerintük ezekben ártatlan civilek is áldozatul estek [15].

És hogy a történet itt bizonyosan nem fog véget érni, arra a sajtóban egyre több hangot kapó aggodalom az intő jel, miszerint mi lesz, ha a terroristák is tömegesen jutnak majd hozzá ehhez a technológiához és vetik be a drónok akár kisméretű változatait. Ezen riasztó jelzéseket nem csak katonai szakértők vetették már eddig is fel konferenciákon – ld. Prof. Dr. Makkay Imre: FPV repülés kérdőjelekkel c. előadását a 12. Robothadviselés konferencián, vagy példaként említhető John Horgan: Légből kapott robotok című cikke a National Geographic folyóiratban [16]. Mindenki figyelmébe ajánlható.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KOVÁCS N. László: Így védekeznek a drónok ellen a terroristák. <http://mno.hu/lapszemle/igy-vedekeznek-a-dronok-ellen-a-terroristak-1140805> (2013. 03. 02.)
- [2] Al-Qaeda's 22 tips for dodging drone attacks: the list in full <http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/al-qaeda/9886673/Al-Qaedas-22-tips-for-dodging-drone-attacks-the-list-in-full.html> (2013. 03. 02.)
- [3] The Al-Qaida Papers – Drones. [http://hosted.ap.org/specials/interactives/\\_international/\\_pdfs/al-qaida-papers-drones.pdf](http://hosted.ap.org/specials/interactives/_international/_pdfs/al-qaida-papers-drones.pdf) (2013. 03. 02.)
- [4] MTI: Négy fegyverrel végeztek drónok Pakisztánban [http://hvg.hu/vilag/20120111\\_pakisztan\\_drontamadas](http://hvg.hu/vilag/20120111_pakisztan_drontamadas) (2013. 03. 09.)
- [5] MTI: Drón ölt meg nyolc embert Észak-Vazirisztánban [http://hvg.hu/vilag/20120208\\_drontamadas\\_pakisztan](http://hvg.hu/vilag/20120208_drontamadas_pakisztan) (2013. 03. 09.)
- [6] MTI: Amerikai drónsapás Pakisztánban. [http://hvg.hu/vilag/20120209\\_drontamadas\\_pakisztan](http://hvg.hu/vilag/20120209_drontamadas_pakisztan) (2013. 03. 09.)
- [7] MTI: Drónok végeztek egy pakisztáni al-Kaida-parancsnokkal. [http://hvg.hu/vilag/20120209\\_al\\_kaida\\_pakisztan](http://hvg.hu/vilag/20120209_al_kaida_pakisztan) (2013. 03. 09.)
- [8] MTI: Az al-Kaida második emberét akarták megölni. [http://hvg.hu/vilag/20120605\\_al\\_kaida\\_celpont](http://hvg.hu/vilag/20120605_al_kaida_celpont) (2013. 03. 09.)
- [9] MTI: Videó került fel a netre a meggyilkolt al-Kaida vezéről [http://hvg.hu/vilag/20120613\\_al\\_kaida\\_video](http://hvg.hu/vilag/20120613_al_kaida_video) (2013. 03. 09.)
- [10] MTI: Drónsapásban likvidáltak egy tálib vezetőt [http://hvg.hu/vilag/20130103\\_Droncsapasban\\_likvidáltak\\_egy\\_talib\\_vezer](http://hvg.hu/vilag/20130103_Droncsapasban_likvidáltak_egy_talib_vezer) (2013. 03. 09.)
- [11] Operation Enduring Freedom. <http://icasualties.org/oef/> (2013. 03. 10.)
- [12] SkyGrabber <http://www.skygrabber.com/en/index.php> (2013. 03. 10.)
- [13] SERO cég honlapja, GM1 mesterlövész puska adatai. <http://www.sero.hu/spec/m1.htm> (2013. 03. 10.)
- [14] Dzsohar Dudajev [http://hu.wikipedia.org/wiki/Dzsohar\\_Dudajev](http://hu.wikipedia.org/wiki/Dzsohar_Dudajev) (2013. 03. 10.)
- [15] MTI: ENSZ-szakértő vizsgálja az amerikai dróntámadásokat [http://hvg.hu/vilag/20130124\\_ensz\\_szakerto\\_vizsgalat](http://hvg.hu/vilag/20130124_ensz_szakerto_vizsgalat) (2013. 03. 10.)
- [16] John HORGAN: Légből kapott robotok. National Geographic 2013. március. National Geographic Magyarország, Budapest, 2013. pp. 68-81. HU-ISSN 1589-3669

Forray László<sup>1</sup> – Geröcs Imre<sup>2</sup>

## A MAGYAR KÜLÖNLEGES MŰVELETI ERŐK ALKALMAZÁSÁNAK MÓDSZEREI A KRITIKUS INFRASTRUKTÚRA BIZTOSÍTÁSA ÉRDEKÉBEN<sup>34</sup>

*Ez a tanulmány a különleges erők NATO keretein belül történő alkalmazásának lehetőségeit vizsgálja a kritikus infrastruktúrával kapcsolatos műveletekben, illetve bemutatja e műveletekben való részvételük jogi hátterét. A dolgozat során a műveleti környezet, a szervezet és a konkrét feladat kerül kifejtésre, majd konklúzióként a fent említett szervezet képességeiből adódó lehetőségek kerülnek megállapításra. A szerzők a különleges erők és azok feladatának korrelációját vizsgálják, kutatják. Dr. Forray alezredes a Magyar Különleges Erők kiképzésének, felkészítésének, bevetésének lehetőségeit kutatva szerezte meg doktori fokozatát. Geröcs százados, korábbi különleges műveleti katoná, a haderő kritikus összetevőit vizsgálja – különös tekintettel a katonai erőket kiszolgáló energia hálózatra.*

### **DEFENDING CRITICAL INFRASTRUCTURE WITH SOF**

*This study will introduce the legal background and the opportunities of Special Forces employment in Critical Infrastructure Operations within the framework of NATO. The environment, the organization and the actual work to be done will be investigated and conclusion will arise about the options raised by the special capabilities of such units. The authors are researching the correlation of special operation forces and their mission. Dr. Forray earns his PhD by researching the employment and training of Hungarian Special Forces. Mr. Geröcs, former SOF researching the critical components – especially energy system – of using military force.*

## A MAGYAR KÜLÖNLEGES MŰVELETI ERŐK JELLEGE

A különleges műveleti képesség kialakítása Magyarországon a 21. század első éveiben kezdődött meg, és a kijelölt az állomány 2008-ra készen állt az Afganisztánban történő éles harci bevetésre. Az ISAF égisze alatt napjainkig, nagyon kevés nemzeti megköötéssel tevékenykedve, a Magyar Honvédség 34. Bercsényi László Különleges Műveleti Zászlóalj, különleges műveleti csoportjai értékes tapasztalatokat gyűjtöttek és gyűjtenek a mai napig is az aszimmetrikus hadviselés területén. Ahogyan a világ országainak a különleges erői, úgy a magyar különleges erők is erősokszorozó hatással bírnak. Ez azt jelenti, hogy ezek a csapatok több fajta képességet használnak és hasznosítanak a harcban, mint a más hagyományos erők. Ezt a befogadó nemzeti erők állományának kiképzésével, vezetésével és felszereléssel történő ellátásával, valamint nem

<sup>1</sup>Dr. Forray László alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti Támogató Tanszék forray.laszlo@uni-nke.hu

<sup>2</sup>Geröcs Imre százados, szakoktató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti Támogató Tanszék, gerocs.imre@uni-nke.hu

<sup>3</sup> A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001számú „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” című pályázat keretében: A „Civil-katonai partnerség” alprogram „Humánvédelem- békeműveleti és vészhelyzet-kezelési eljárások fejlesztése, kiemelt kutatási terület (KKT) támogatásával készült.

<sup>4</sup> Lektorálta: Dr. Dunai Pál alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, dunai.pal@uni-nke.hu



konvencionális fogásokat, módszereket, illetve eljárásokat, harcászatot alkalmazva valósítják meg. Ezen speciális képességek közé tartozik többek közt a magas szintű egészségügyi ellátó képesség – ez leginkább harctéri elsősegélynyújtásban valósul meg – műszaki szakértelem, kommunikáció és átfogó fegyverzettechnikai ismeretek.

A különleges műveleti erők katonáit arra képezik ki, hogy saját vagy barátságos erőktől távol, kisalegységekben működjenek. Ezek az erők úgy vannak felszerelve, hogy kíméletlen környezeti tényezők között is képesek legyenek hosszabb időn keresztül feladatuk kivitelezésére. A különleges erők műveleti elemének egyedi képessége még az adott működési környezet előzetes értékelése, elemzése és az azt befolyásoló körülmények vizsgálata.

Afganisztánban a hálózat-központú hadviselés nyújtotta lehetőségeket megtapasztalva és később gyakorlatba sikeresen alkalmazva azokat, napjainkra a magyar különleges műveleti erők alegységei képesek a műveleti területen egymástól függetlenül, minimális előljárói irányítással, önállóan, a parancsnok elképzelését követve, a számukra meghatározott műveleteket végrehajtani.

Megállapítható, hogy a magyar különleges műveleti erők elsajátították a fent említett képességeket és széleskörű tapasztalatokat szereztek több válságövezetben, kijelenthetjük, hogy rendeltetését tekintve a legnagyobb haszonnal akkor jár alkalmazásuk, ha már békeidőben bevetik ezeket az erőket.

## KÜLÖNLEGES MŰVELETI ERŐK C4I<sup>5</sup> RENDSZERE

Különleges képességekkel végrehajtott különleges feladatok nem konvencionális vezetési, irányítási, kommunikációs (híradó), számítástechnikai és hírszerző (felderítő) rendszer működtetésén alapulnak. A különleges erők – hagyományos erőkkel ellentétben – a parancsnoki lánc minden szintjén rendelkeznek összekötő elemekkel, ami jelentősen növeli a műveletek pontosságát és hatékonyságát.

A hagyományos haderő szervezete vertikális. A feladatot az előljáró parancsnokságon tervezik meg, amit az alárendelt csapatok hajtanak végre. A XXI. században a harc megvívásának változó körülményeit figyelembe véve ez a szervezeti felépítés nem a legmegfelelőbb. A szemben álló fél horizontálisan szervezett erőivel szemben a különleges műveleti erők hasonlóan szervezett csapatai képesek hatékonyan felvenni a harcot.

A vertikálisan szervezett haderő túl lassúnak és komplikáltnak bizonyul, valamint a helyi konfrontációkat sem képes megfelelően kezelni, ami a modern nem lineáris hadviselésben kulcsfontosságú tényező lehet. Ezt felismerve és ehhez alkalmazkodva alakították ki a különleges műveleti erők szervezeti felépítését, ami már horizontális elemeket is tartalmaz. Ez legjobban a különleges műveleti erők vezetési és irányítási rendszerében nyilvánul meg.

A vezetés, irányítás és más szektorok egy szervezetbe való integrálásának igénye a modern hadviselés profiljának aszimmetrikus jellegével, az információ fölényen alapuló hatásalapú műveletek elterjedésével egyre sürgetőbbé vált. Napjainkban a magyar különleges műveleti erők képesek a vezetési, irányítási, kommunikációs, számítógépes és komplex felderítő rendszereket és szektorokat egy szervezetbe integrálni, amivel nagymértékben növelik reagáló képességüket.

A számítógépre és műholdas eszközökre támaszkodó kommunikációnak köszönhetően, ami

---

<sup>5</sup>Command, Control, Communications, Computers and Intelligence (C4I)



szerves része a C4I rendszernek, a magyar különleges műveleti erők aktív szereplői az információs korszaknak.

## A KRITIKUS INFRASTRUKTÚRÁK VÉDELME

Kritikus infrastruktúrák<sup>6</sup> (KI), „olyan egymással összekapcsolódó, interaktív és egymástól kölcsönös függésben lévő infrastruktúra elemek, létesítmények, szolgáltatások, rendszerek és folyamatok hálózata, amelyek az ország (lakosság, gazdaság és kormányzat) működése szempontjából létfontosságúak, érdemi szerepük van egy társadalmilag elvárt minimális szintű jogbiztonság, közbiztonság, nemzetbiztonság, gazdasági működőképesség, közegészségügyi és környezeti állapot fenntartásában, és ezért meg kell felelniük az alapvető biztonsági, nemzetbiztonsági követelményeknek”.<sup>7</sup> Ezen elemek információs, vagy fizikai támadásával valamennyi nemzetközi KI működése akadályozható, illetve a modern nemzetállam működése rövid idő alatt részben vagy egészben megbénítható. Ebből adódó közigazgatási, környezeti és egészségügyi következmények súlyosak és visszafordíthatatlanok lehetnek.

A KI védelme magába foglalja a kormányok, a tulajdonosok és a rendszerek üzemeltetői által szervezett és kivitelezett programokat, projekteket, interakciókat és tevékenységeket, amiket az adott infrastruktúra túlélő képességének növelése érdekében foganatosítottak.

Minden nemzetállam saját céljai, történelme és készleteinek lehetőségei alapján határozza meg kritikus infrastruktúráját.

Magyarország tíz nemzeti KI szektort határozott meg<sup>8</sup>, név szerint:

1. energia;
2. infokommunikációs technológiák;
3. közlekedés;
4. víz;
5. élelmiszer;
6. egészségügy;
7. pénzügy;
8. ipar;
9. jogrend – kormányzat;
10. közbiztonság – védelem.

A KI veszélyeztető tényezők köre meglehetősen tág, ide tartoznak a következők:

- fegyveres konfliktusok (pl. háború, fegyveres csoportok támadása, polgárháború) során rövid idő alatt működésképtelenné válhatnak nemzeti kritikus infrastruktúrák;
- természeti eredetű veszélyek (árvíz, belvíz, földrengés, földcsuszamlás, erdőtüz, szélsőséges időjárási viszonyok);
- technológiai veszélyek, balesetek melyek helytelen emberi beavatkozás, mulasztás, figyelmetlenség, vagy technikai, konstrukciós hibák miatt történnek.

<sup>6</sup>Critical Infrastructures (CI)

<sup>7</sup> 2080/2008. (VI.30.) Kormányhatározat a KI Védelem Nemzeti Programjáról.

<sup>8</sup> 2080/2008. (VI.30.) Kormányhatározat a KI Védelem Nemzeti Programjáról.



A NATO-ban (CEP – Civil Emergency Planning, SCEPC – Senior Civil Emergency Planning Committee)<sup>9</sup> és az Európai Unióban is (EPCIP-GreenBook)<sup>10</sup> léteznek a KI meghatározására és védelmére irányuló programok.

### **Kritikus információs infrastruktúra**

A kritikus infrastruktúra védelmének döntő fontosságú eleme a kritikus információs infrastruktúra<sup>11</sup> (KII) védelme. Az információs korszakban, amiben létezünk, életünknek nincs olyan területe, ahonnan hiányozna a számítástechnika. Az összes KI működésképtelen lenne az információs technológia hiányában.

KII az a hálózat, ami a modern társadalom számára nagy jelentőséggel bíró információkat készít, szállítja, illetve felhasználja. Ezen hálózatok fenntartása elengedhetetlenül szükséges egy modern állam működéséhez. Egy ország kritikus információs infrastruktúrájának sérülése komoly biztonsági kockázatokkal járhat.

## **EXPEDÍCIÓS ERŐK**

A NATO sokat változott az elmúlt 10 évben. A tagállamok expedíciós erőket fejlesztenek. Ezeknek az erőknek békét kell építeni, kikényszeríteni, teremteni, vagy fenntartani egy ismeretlen, a helyi lakosok (vagy azok egy részének) bizalmatlanságával terhelt környezetben.

Amikor a KI védelméről beszélünk, mindenképpen olyan kontextusban kell azt tennünk, amiben a külföldön alkalmazott erők (ebben az esetben a különleges műveleti erők) képesek beazonosítani azt, annak helyét meghatározni, és szükség esetén az infrastruktúrák biztosításában részt vállalni. Szükséges, hogy megértsék a befogadó nemzet kormányának, de legfőképpen lakosainak értelmezését a kritikus infrastruktúrával kapcsolatosan.

### **A különleges műveleti erők szerepe a KI védelmében**

A magyar különleges műveleti erők jelenleg is aktívan részt vesznek az afganisztáni műveletekben. Ebben a műveleti környezetben a csoportoknak és irányítóiknak egy gyorsan változó információs környezetben kell működniük. Feladatuk az aszimmetrikus hadviselésből adódó kihívások leküzdése, a gerilla taktikákra, technikákra, és eljárásokra való felkészülés.

Az ECI<sup>12</sup> – European Critical Infrastructure – eljárás módját felhasználva a különleges műveleti erők képesek műveleti területeiken a KI beazonosítására. Annak ellenére, hogy ez a módszer a nemzeti és az EU-s kritikus infrastruktúrák meghatározására szolgál, alapkonceptiója iránymutatást adhat a különleges műveleti erők ilyen szerepben történő alkalmazásában.

---

<sup>9</sup> Több információ a szervezetről itt: [http://www.nato.int/cps/en/SID-60CDAE4C-6CC494CD/natolive/topics\\_50093.htm](http://www.nato.int/cps/en/SID-60CDAE4C-6CC494CD/natolive/topics_50093.htm) (2013.01.20)

<sup>10</sup> Bővebb információ:

[http://europa.eu/legislation\\_summaries/justice\\_freedom\\_security/fight\\_against\\_terrorism/133260\\_en.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/justice_freedom_security/fight_against_terrorism/133260_en.htm) (2013.01.20)

<sup>11</sup> Critical Information Infrastructure (CII)

12 COUNCIL DIRECTIVE 2008/114/EC of 8 December 2008 on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:345:0075:0082:EN:PDF> (2013.01.20)

Különleges műveleti csapatok alkalmazása KI védelmi műveletekben kettős jellegű. Egyrésztől ezek az erők saját infrastruktúrájukat is üzemeltetik, aminek biztosításáról gondoskodni kell. Másrésztől képesnek kell lenniük ezt a tudást átadni támogató tevékenységük közben.

Saját infrastruktúrájuk legérzékenyebb elemei az utánpótlási lánc, illetve az általuk használt információs technológia. Ezek a csapatok barátságos erőktől távol működnek, gyakran ellenséges környezetben. A misszió szempontjából kritikus eszközök, lőszer, valamint az élelem utánpótlásáról gondoskodni kell annak érdekében, hogy harcértéküket megfelelő szinten tartsák és a feladatot képesek legyenek végrehajtani.

A műveleti környezet ismerete és megértése a legfontosabb alappillére a különleges műveleteknek. A Maslow<sup>13</sup> piramist felhasználva a különleges műveleti erők képesek megtalálni, beazonosítani, és hatást gyakorolni a befogadó nemzet kritikus infrastruktúrájára. Ez magába foglalja a környezet elemzését, a befogadó nemzet vonatkozó nézeteinek megismerését, a lakosság számára legfontosabb KI szektor beazonosítását, KI hibáinak megtalálását, KI rendszer felmérését és szükséges esetben javaslat tételt a változtatások érdekében.



1. ábra Maslow-piramis

## A kritikus infrastruktúra védelmének lépései

A befogadó nemzet kritikus infrastruktúrájának elemzése során a különleges műveleti erők megismerik a környezetet, tanulmányozzák a szektorokat és megállapítják a kritériumokat.

*Kritikus infrastruktúra védelem:* mindazon programok, kölcsönhatások és tevékenységek, amelyeket az állam, az üzemeltetők, a tulajdonosok használnak a kritikus infrastruktúrájuk védelmére.

*Kritikus infrastruktúra képesség:* a kritikus infrastruktúra zavarainak, vagy szétzúzásának megakadályozására való felkészülés, csökkentés, védelem, reagálás és a helyreállítás képessége.

<sup>13</sup>[http://www.ektf.hu/hefoppalyazat/pszielmal/maslow\\_motivcis\\_piramisa.html](http://www.ektf.hu/hefoppalyazat/pszielmal/maslow_motivcis_piramisa.html).(2013.01.20)

Az országoknál szereplő kritikus infrastruktúrához sorolható főbb ágazatok és szektorok gazdasági, államigazgatási, illetve infrastrukturális szakterületek:

- informatikai és kommunikációs rendszerek;
- szállítás és közlekedés;
- közegészségügy;
- élelmiszer ellátás;
- távközlési szektor;
- műsorszórás;
- katasztrófavédelem;
- postai szolgáltatás;
- információs, tájékoztató szolgáltatások;
- energiatermelés és elosztás;
- honvédelem, védelmi ipar, fegyveres erők;
- bank-és pénzügyi szektor;
- közjólét;
- jogrend;
- vegyi- és biotechnológiai ipar;
- nukleáris erőművek;
- rendészeti szektor;
- szállítás és közlekedés;
- polgári védelem;
- terror és szuperterror (ABV) elleni védelem;
- közigazgatás, közszolgáltatás;
- vízellátás-közművek.

KI védelmének lépései:

1. célok meghatározása;
2. kritikus infrastruktúra beazonosítása;
3. kritikus információs infrastruktúra beazonosítása;
4. prioritások meghatározása;
5. gyengeségek és kockázatok beazonosítása;
6. tevékenység megtervezése;
7. végrehajtás.

Az első lépésben ki kell deríteni, melyek a kritikus szektorok. A Maslow piramis használata leegyszerűsíti ezt a folyamatot. Fontos, hogy ez az elemzés alapos legyen, tartalmazza hogyan működnek a szektorok, rendszerek, alrendszerek a mindennapokban. A megfelelő célok meghatározása nagy jelentőséggel bír, hiszen az egész tervezés ezen alapszik.

Miután a célok kijelölésre kerültek a különleges műveleti erőknél ki kell deríteni miért tartják a helyiek az adott infrastruktúrát kritikusnak, valamint a szemben álló fél hogyan kezeli ezt a szektort. Ebben a lépésben kell a különleges műveleti erőknél a műveleti területen az adott szektorra vonatkozó fizikai bizonyítékokat megtalálniuk. A vizsgálatnak ki kell térnie a szociális funkciókra is.

Harmadik lépésben elemzik a beazonosított KI információs rendszereit. A szemben álló fél

megértésének fontos momentuma ez az aszimmetrikus hadviselés keretein belül.

Mindezek után a különleges műveleti erők elkezdik vizsgálni, milyen következményekkel járna a kijelölt KI/KII megrongálódása. E tevékenység során a helyi lakosságra gyakorolt várható hatásokat kiemelten kezelve kerülnek kijelölésre a prioritások. A kijelölt KI megrongálódásából következő másodlagos kockázatok is elemzésre kerülnek az előkészület e fázisában.

A hatodik pontban az előbb meghatározott prioritások alapján minden egyes KI/KII -t vizsgálat alá vetnek. A fizikai és információs gyenge pontokat és kockázatokat meghatározzák. Idáig tart a tervezés fázisa. Ezek a tervek a szemben álló fél támadó tevékenysége észlelésekor realizálódnak.

A különleges műveleti erők, mint a haderő erősokszorozó komponense a befogadó nemzet szakértőivel szoros együttműködésben hajtja végre a KI/KII védelmét. Elsődleges feladatuk a tanácsadás és kiképzés területén valósul meg.

### **Saját kritikus infrastruktúra/kritikus információs infrastruktúra védelme**

A KI/KII védelme szempontjából létezik egy másfajta megközelítés. A különleges műveleti erők széles körben alkalmaznak információs technológiát. A saját KI/KII védelme ugyanolyan fontossággal bír, mint a befogadó nemzetnek nyújtott tanácsadó tevékenység. Bevetés előtt, misszió előtti felkészítés keretein belül minden különleges műveleti csapatnak keresztül kell mennie egy feladat specifikus tervezési folyamaton annak érdekében, hogy képes legyen megvédeni a feladat szempontjából kritikus felszerelést és infrastruktúrát.

### **Konklúzió**

Ebben a tanulmányban a különleges műveleti erők a kritikus infrastruktúrák védelmében betöltött lehetséges szerepei kerültek elemzésre. Megállapítható, hogy a harcedzett és tapasztalt magyar különleges műveleti erők képesek a befogadó nemzeteknek támogatást nyújtani a KI/KII védelme során. Ebben a cikkben kifejtésre kerültek a KI/KII elemzésének lépései, azonban a különleges műveleti erők vonatkozásában szükséges a téma további elmélyültebb vizsgálata.

### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] 2080/2008. (VI.30.) Kormányhatározat a KI Védelem Nemzeti Programjáról.
- [2] Nyt. szám: 94/658: Különleges Műveleti Erők Alkalmazási Irányelvei. MH ÖHP. 2008.
- [3] COUNCIL DIRECTIVE 2008/114/EC of 8 December 2008 on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of their need to improve their protection.
- [4] 1249/2010.(XI.19.)Korm. Határozat az EU KI kijelöléséről.
- [5] 2112/2004 (V.7.) Korm. határozat a terrorizmus elleni küzdelem aktuális feladatairól 17606/04.sz. EU. Nyilatkozat és Akcióterv
- [6] 2080/2008. (VI.30) Korm. határozat a Kritikus Infrastruktúra Védelem Nemzeti Programjáról
- [7] A katasztrófavédelemmel összefüggő 2007. évi feladatokról szóló 1/2007. (III.29.) Kormányzati Koordinációs Bizottság határozat.
- [8] Zöld könyv- Magyarország ( KI védelmére vonatkozó nemzeti program ).
- [9] 2011. évi CXXVIII. törvény A katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról.
- [10] Dr. KOVÁCS László: Kritikus információs infrastruktúrák. Egyetemi jegyzet. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest 2007.





Sápi Lajos Zoltán<sup>1</sup>

## A MAGYAR KATONAI UAV<sup>2</sup> KEZELŐK KOMPETENCIÁI<sup>3</sup>

*A magyar katonai UAV kezelő kompetenciáinak vizsgálata, amely szorosan kapcsolódik az Új Széchenyi Terv „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat, "Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások" Adatintegráció alprogram, A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálat"-hoz. A kompetenciák meghatározása jelenti azt a lépést, amit minden szervezetnek meg kell tenni ha alkalmazkodni kíván a változó környezethez. A szervezet céljainak elérése csak sikeres dolgozókkal lehetséges. A sikeres dolgozó a kompetenciái megegyeznek a szervezet által elvárt kompetenciákkal. A katonáknál a siker néha a túlélést jelenti, különösen missziós területen. Ezért fontos tudni az adott munkakör kompetenciáit, mert ez nem csak a sikert jelentheti, hanem a túlélést is.*

### **HUNGARIAN MILITARY UAV OPERATORS' COMPETENCES**

*The definition of the competences means that step what it is necessary to make all organisations if he wishes to adapt to the changing environmen. The achievement of the organisation's task only with successful employees it's possible. The successful employee his competences are equal to the competences expected by the organization. The success means the survival sometimes at the soldiers, on a particularly missionary area. Because of this important to know the competences of the given scope of activities because this not may report the success only but the survival.*

## BEVEZETÉS

A huszonegyedik század első évtizede után a világ változásának gyorsaságát érezhetjük. A hálózatos, internetes világ olyan mennyiségű információt zúdít ránk, amit elképzelni se tudtunk ezelőtt 20-30 évvel. Fenekestül fordult fel ez a világ a huszadik század 80-as éveire képest. Új környezet alakult ki, ami új kihívásokat állít elénk az élet minden területén. Az egyén és a szervezetek ehhez az új hálózatos világhoz alkalmazkodnak, vagy legalábbis próbálnak alkalmazkodni. Aki nem tud lépést tartani a változó világ követelményeivel, az nem csak hogy lemarad a változás élvonalától, de egyéni és szervezeti szinten is romlanak az életfeltételei. Hatékonyság, kompetencia, érzelmi intelligencia, információ technológia, digitális nemzedék stb. csak néhány címszó, ami jellemezheti a mostani világot. Hogy ki mennyit ért meg és ki mennyit képes ebből elsajátítani, használni ma már ez határozza meg az emberek és a szervezetek életét. A fejlődés felgyorsult ez által az egyéni és szervezeti változásoknak is gyorsulniuk kellett. A tudomány ma már a szervezetfejlesztésben és a szervezetben dolgozó emberek fejlesztésében látja az új világhoz való megfelelés módját. A fejlesztés és tanulás folyamatos és állandó egyéni és szervezeti szinten is. Minden szervezet egyénekből áll, akik a szervezet keretei között valósítják meg a szervezet célját. A szervezeti cél megvalósítása a környezet gyors változása miatt folyamatos problémákat generál. A problémák a változások gyorsasága miatt jönnek

1 alezredes, Nemzeti Közszerződési Egyetem Katonai Repülő Tanszék, sapi.lajos@uni-nke.hu

2 unmanned aerial vehicle

3 Lektorálta: Dudás Zoltán PhD, a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat, "Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások" Adatintegráció alprogram, A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata és a szabályozói környezet meghatározása" c. kiemelt kutatási terület vezetője, dudasz.zoltan@uni-nke.hu

létre még pedig amiatt, hogy a szervezet működési környezete és a szervezet között nincs tartós egyensúly. Az egyensúlyi helyzet csak pillanatnyi vagy rövid idejű, ami arra kényszeríti a szervezetet, hogy folyamatosan reagáljon a változó feltételekre. Ez az oka, hogy a szervezeteknek állandóan és gyorsan kell változniuk. A szervezetek változása a szervezetben dolgozó egyén változása nem csak a szervezet működési kereteinek az átírása. Manapság a sikeres szervezetek a dolgozók képzésébe fektetnek. Egy becslés alapján<sup>4</sup>, aki a termelő eszközök fejlesztésébe fektet be az a termelékenységét 4%-kal növeli, aki a dolgozók képzettségét növeli 10%-kal az 8,5%-kal növeli a termelékenységet.

A Magyar Honvédség a huszonegyedik század első évtizedének végére többé kevésbé megfelel a digitális világ kihívásainak. A digitális eszközök használata általánossá vált. A mai kor fegyveres küzdelmeinek jellemzői között megjelentek olyan eszközök, amik információ technológiai ismeretek nélkül nem használható. A precíziós fegyverek, digitális katona, információs hadviselés olyan kulcs kifejezések, amik jellemzik a mai kor fegyveres küzdelmeit. A Honvédség digitális képességei próbálnak lépést tartani az új kor kihívásaival, de az ország gazdasági nehézségei akadályozzák ezt a folyamatot. Üdítő kivétel a rövid hatótávolságú távirányított repülő eszközök területe. A Honvédség által beszerzett rövid hatótávolságú távirányított eszköz a Skylark 1-LE. Ennek az eszköznek a kezelői (operátorok) voltak a vizsgálatom alanyai. A kezelőkkel folytatott interjúk alapján készítettem el az operátorok munka kompetenciáit.



1. ábra Skylark 1-LE

## KOMPETENCIA

A kompetencia manapság ismert kifejezés. A gyerek az iskolában kompetencia felmérést ír, olvas, számol, stb. Ebből kiindulva azt hihetné az ember, hogy a kompetencia fogalma vagy a kompetencia értelmezése viszonylag egyszerű feladat. Nem így van! A kompetencia fogalma nem egységesen értelmezett. Többféle kompetencia fogalom létezik a tudományos életben, így a kompetencia egyér-

---

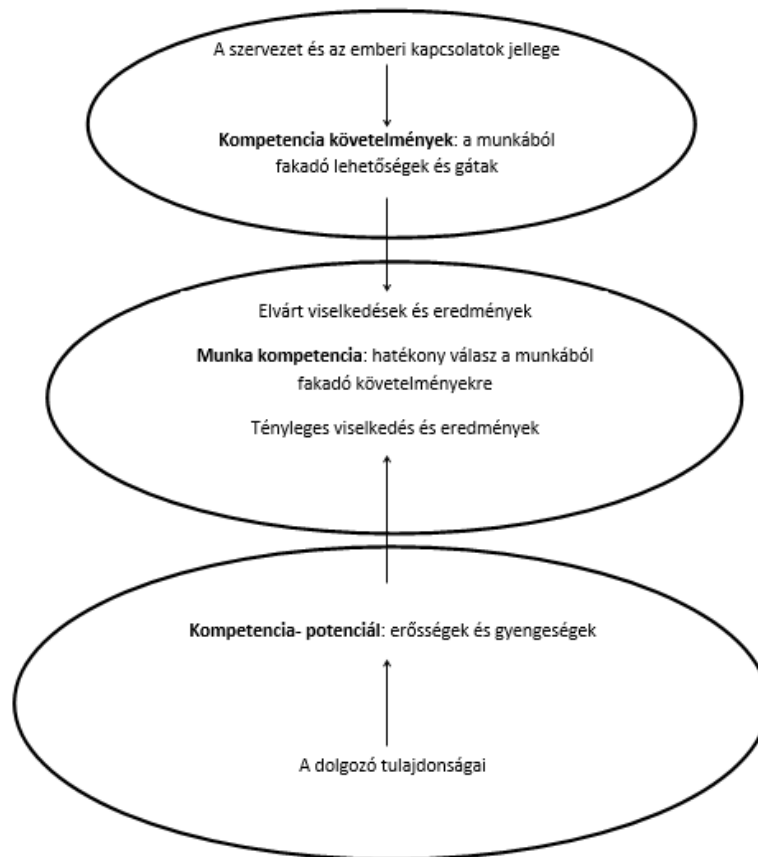
<sup>4</sup> A cikkben szereplő számok nem tudományos kutatás eredményei, ha nem vállalt vezetők becslései alapján kialakított értékek. Azt érzékeltetik, hogy a humán tőkébe történő befektetés több profitot termel a technikai fejlesztésnél. Klein B, Klein S,(2006): A szervezet lelke, EDGE 2000, Budapest 17. o.

telmü fogalmi meghatározására még várni kell. A fogalom értelmezésére azonban nyugodtan vállalkozhatom, mert ebben a kérdésben viszonylag egységes a tudomány álláspontja. Nézzük hogyan értelmezhető ez a „rejtélyes” kompetencia. Klein Balázs és Klein Sándor A szervezet lelke<sup>5</sup> művében a kompetencia értelmezését kapcsolatként írja le. A kapcsolat a képesség, személyiség, motiváció, tudás között áll fenn. Ennek a négy összetevőnek a viselkedésiformákban történő megnyilvánulása-ként mutatják be a kompetenciát. A pedagógiai szakirodalom a valamire való alkalmasságot, rutinokat, képességet, készséget, ismereteket és motiváltságot a kompetencia szóhasználattal jelöli. A kompetencia e két értelmezése szinte ugyan az. Én azonban tennék még egy kiegészítést az értelmezéshez. A kompetenciákat mindig abban az adott környezetben kell értelmezni ahol, megjelenik. A kompetencia megnyilvánuló környezetének a szerepe és fontossága elengedhetetlen az értelmezéshez. Miért annyira fontos a környezet? A következő példa segít a megértésben. Vegyük például azt, hogy a példa egyén kiváló számolási képességgel rendelkezik. Állandóan és önállóan fejleszti tudását, keresi más emberek társaságát megnyerő, bizalmat ébreszt másokban és jól kommunikál. Ezek alapján a számolási képességet kamatoztathatja, mint iskolai matematika tanár. A számolási képessége, mint matematika tanári kompetencia nyilvánul meg. Ugyanezek a fent említett viselkedési megnyilvánulások lehetnek egy szerencsejátékos leírása is csak itt a környezet a póker szalon. Természetesen nincs kizárva az, hogy a szerencsejátékos matematika tanár. A környezet meghatározza, hogy a kompetencia megnyilvánulása milyen célt szolgál. Tehát röviden összefoglalva a kompetenciák emberi viselkedéseket írnak le egy adott környezetben egy kitűzött cél elérése érdekében. A cél elérése az alapja a kompetencia meghatározási módszereknek. A kompetenciákat két féle képen határozhatjuk meg a célelérését tekintve. Az első az elérendő célhoz keressük meg a kompetenciákat a második a meglévő kompetenciákhoz keresünk célt. Mind a kettő járható út, előnyökkel és hátrányokkal. Jelen esetünkben az operátorok kompetenciáinak meghatározása az elérendő célhoz történt. Ha egy szervezetben kívánunk valakit foglalkoztatni, akkor a szervezeti cél kell, hogy iránymutató legyen. A szervezet céljának megvalósításához keresek embert, aki rendelkezik azokkal a kompetenciákkal, amikre a szervezet céljának eléréséhez szükség van. Vagy ha nem rendelkezik vele, akkor a kompetenciákat képzéssel kialakítom. A képzési idő meghatározása sok egyéb mindentől függ, és nem tárgya ennek az írásnak. Mondjuk azt, hogy a képzés egy optimális időn belül eredményes kell, hogy legyen. A képzési idő leteltével a kiképzettnek sikeresnek kell lennie a szervezeti cél megvalósítását értve sikerességen. A szervezeti cél sikeres megvalósítása a munka kompetencia, amit a szervezet elvárt viselkedésben fogalmaz meg. Az elvárt viselkedés pedig az elvégzendő munkából indul ki és a dolgozónak rendelkeznie kell a sikeres cél megvalósításhoz szükséges viselkedés repertoárral. A munkából fakadó kihívások, amikre a dolgozónak sikeresen kell válaszolni a tevékenysége során. Ebből az következik, hogy a dolgozó tényleges viselkedési repertoárja egybe kell, essen az elvárt viselkedéssel. Az elvárt viselkedésnek azonban a munka céljának elérését garantálnia kell. A kompetencia vizsgálatoknál azt kell vizsgálni, hogy a munka célját milyen viselkedéssel lehet sikeresen teljesíteni. A következő 2. számú<sup>6</sup> ábrán grafikusán is ábrázolva vannak a kapcsolatok. Az ábrán jól látszik, hogy a szervezet célját valósítja meg a dolgozó, hogy rendelkezik a szervezet által elvárt kompetenciákkal. A kompetencia ezek alapján értelmezhető a sikeres dolgozói megnyilvánulásként és a szervezeti siker feltételeként is. A kompetencia a siker megnyilvánulása. A kompetencia ezért vált fontos tényezővé

<sup>5</sup> Klein B, Klein S,(2006): A szervezet lelke, EDGE 2000, Budapest

<sup>6</sup> Klein B, Klein S,(2006): A szervezet lelke, EDGE 2000, Budapest 92.o.

a munka és az oktatás világában. Aki megfelelő kompetenciákkal rendelkezik az adott munka területén az sikeres lesz és az alkalmazó szervezet is sikeressé válik általa.



2. ábra A szervezet és a dolgozó összehangolása a hatékonyság érdekében(középpütt a "munkakompetencia" fogalmával

## RÖVID HATÓTÁVOLSÁGÚ TÁVIRÁNYÍTOTT ESZKÖZ A SKYLARK 1-LE KEZELŐINEK MUNKA KOMPETENCIÁI

Az operátorok kompetenciáihoz meghatározásához a következő lépéseket tettem meg:

1. nemzetközi, UAV-val kapcsolatos, kutatási összefoglalókat és konferenciák kiadványait tanulmányoztam
2. a kompetencia témakörében hazai és angol nyelvű szakirodalmat dolgoztam fel
3. az interneten megjelenő hazai és más országok hadseregeinek UAV-val kapcsolatos cikkeket olvastam és tanulmányoztam
4. kompetencia meghatározáshoz interjúkat készítettem magyar katonai UAV oktatókkal

A nemzetközi és a hazai írások sok hasonlóságot mutattak az UAV alkalmazás területén. A legfőbb hasonlóság az volt, hogy a UAV kezelők kompetenciáiról nem írtak szinte semmit. A kezelőkről csak ember-gép kapcsolatban beszéltek. A kutatások abba az irányban haladnak, hogy a UAV technikát milyen ergonómia elvek mentén kell kialakítani, hogy a kezelő személy vagy személyek minél kevesebb hibát vétsenek. Az értelmezésükben a fő hangsúlyt ez a nézet hatá-

rozta meg. Az másik általános vélekedés az UAV kezelőkről az volt, hogy az operátorok munkáját és kiképzését vagy légi járművezetőnek vagy repülésirányítónak aposztrofálták. Természetesen ez az összehasonlítás tévesnek bizonyult és erre hamar rájöttek. Azt azonban, hogy miben különbözik az UAV kezelő a légi járművezetőtől illetve a repülésirányítótól már nem taglalták. Csak egyszerűen az új technika téves megközelítéseként tévhitnek titulálták. A magyarázat azonban elmaradt. A szakirodalom tanulmányozása során még is jutottam néhány eredményre. A kutatási eredmények arra engednek következtetni, hogy a UAV kezelőknek nem kell rendelkezniük semmilyen különleges képességgel vagy kompetenciával. A kiképzésüket a technika ismerete és kezelésének tökéletesítése fedi le. Annál az UAV technikánál, aminél repülési készségek szükségesek azoknál a technikánál az előzetes már meglévő légi jármű vezetői készségek érvényesülnek. A repülői készségek szintjét, amit egy ilyen technika igényel a kereskedelmi repülőgépeket vezető légi jármű vezetők szintjében határozták meg. Ez a szint nincs pontosan meghatározva a kutatási összefoglalókban, de a szövegből úgy vehető ki, hogy ez a szint könnyű kategóriába tartozó motoros kis repülőgépeknek felel meg, amelynek a vezetése nem jelent komoly kihívást. A másik, amit megemlítenek a volt harci pilóták harci tapasztalatainak a felhasználhatósága az UAV irányítása során. Ezt a képességet a taktikai érzék kifejezéssel írták le. A kiválasztásnál ez a két tényezőt ajánlották a kiválasztók figyelmébe avval a megjegyzéssel, hogy a repülési képességek a harci pilóták és a repülési tapasztalattal nem rendelkező operátorok teljesítménye között csak a taktikai érzék billentette a harci pilóták javára a mérleget<sup>7</sup>. Ebben a témakörben csak pár kutatás születet. Ha értékelni akarom, hogy miért nem voltak ilyen irányú vizsgálatok akkor azt kel mondanom, azért mert az UVA tervező cégek és kutatók az emberi beavatkozást az UAV repülése és feladat végrehajtása során a lehető legminimálisabbra tervezték és tervezik. Az emberi beavatkozás csak abban esetben vizsgálták a szimulációkban, mikor a technikai rendszer nem volt képes a probléma felismerésére és megoldására. Ebből az is következik, hogy ezeket a technikai rendszereket kezelni illetve irányítani könnyű és szinte bárkit ki lehet képezni kezelőnek. Az alkalmasság kérdését sem a kompetenciák szintjén kezelik. A vizsgálatok az alkalmasság szintjén a drog, alkoholfogyasztás és olyan egyéni tulajdonságok mentén zajlik, amiket nem humán faktoros, hanem pszichológia aspektusból vizsgáltak. (Figyelem. fáradság, hibázás stb.) A pszichológiai vizsgálatok és egyéb megközelítések azt aspektust vizsgálták, hogy a munkakörnyezet mennyire szolgálja a repülések során a repülésbiztonságot. A repülési biztonság volt és lesz az alapvető területe a vizsgálatoknak.

A katonai alkalmazás területén sem jobb a helyzet a kompetencia vizsgálatánál. A katonai alkalmazásnál is a technikai megközelítés az fő irányvonal. A technikai megoldások itt is nagyfokú önállóságot biztosítanak az UAV-knak. Az ember szerepe a katonai alkalmazásnál is csak az UAV-k feladat végrehajtásának csak bizonyos szakaszaiban történik meg. A szakaszos emberi beavatkozás a bevetés idejéhez képest csekély. A nagy hatótávolságú UAV-k esetében a leg nyilvánvalóbb ez a tény. A kis hatótávolságú UAV-k estén az emberi beavatkozás számbeli mennyisége közel hasonló, mint a nagyhatótávolságuknál. Mi következik ebből? Ebből az következik, hogy UAV kezelők kompetenciái nem az UAV, mint technikai eszköz alkalmazásában kell keresni, hanem a szervezeti környezetben. A szervezeti környezet emberi környezet, amiben a munkát kell végezni. Aki képes a munkavégzést sikerre vinni a szervezeti. Humán

---

<sup>7</sup> Erwin, S. I.(2004).Should unmannedcombat aircraft be piloted only by fighter pilots?National Defence, 89 (November) 30.



környezetben az a kompetens dolgozó.

A Honvédség, mint már említettem, használ UAV-eket. Felderítési célokra a Skylark 1-LE rövid hatótávolságú távirányított eszközt és a Meteor 3MA célrepülőgépet. Jelen kutatásomban csak a Skylark 1-LE rövid hatótávolságú távirányított eszköz kezelőinek kompetencia vizsgálatát végeztem el.



3. ábra METEOR 3MA

## A SKYLARK 1-LE RÖVID HATÓTÁVOLSÁGÚ TÁVIRÁNYÍTOTT ESZKÖZ KEZELŐINEK KOMPETENCIA VIZSGÁLATI MÓDSZERE

A kezelők kompetencia vizsgálata a fent említettek indokán nem a technika kezelésére koncentrált, hanem a technika alkalmazási környezetére.

A Skylark 1 LE kisméretű, harcászati megfigyelő és felderítő pilóta nélküli repülőgép, melyet Izraelben fejlesztett ki az Elbit. A kisméretű és könnyű repülőgép gyalogosan is szállítható, kézzel, kiegészítő szerszámok nélkül össze- és szét szerelhető. Kézből, gumikötél segítségével indítható. Meghajtása villanymotorral hajtott vonólégsavarral történik. Felszerelhető nappali üzemű televíziós (CCD) és éjszakai üzemű infravörös (FLIR) kamerával, az általa felvett képet valós időben képes az irányító állomásra küldeni. Az irányító állomás rendszerint egyszemélyes, ütésálló speciálisan felszerelt és kialakított notebook. A nagy állásszögű, áteséssel végződő

manőverek miatti földbecsapódástól a törzs alá beépített, felfújható légszák védi meg. Hatósugara 10–15 km<sup>8</sup>

A vizsgálatot kompetencia alapú riportok megcsinálásával végeztem. A vizsgálatot nehezítette, hogy a kezelők száma korlátozott Magyarországon. Akik teljesen kiképzettek és oktatók is azok még kevesebben vannak, összesen hárman. Én a két legtapasztaltabb missziót többször is megjárt oktatókkal készítettem interjút. Az interjú egy kötetlen beszélgetés formájában zajlott. A két interjú között közel 6 hónap telt el. Mind két interjúban a kérdések a következő témakörökre koncentráltak:

5. a munka célja;
6. kiválogatási és alkalmassági szempontok, kritériumok;
7. az eredményes munkához szükséges viselkedések;
8. motiváció a munkában.

Az első kérdés a munka céljának a meghatározására vonatkozott, amire a következő választ kaptam:

*„... ha a munkámmal akár egy katonatársam életet is megmenthetem, akkor jól dolgoztam.”*

A munkaköri leírások nem tartalmazznak ilyen cél meghatározást, de azt gondolom, e fent idézett mondat többet mond, mint a hivatalos iratok. Egyébként ez a mondat akár a munka filozófiájának is felfogható. A válaszadók ezt a választ a lehető legkomolyabban és teljes meggyőződéssel mondták szinte szó szerint ugyan azt. Ez a mondat jól kifejezi azt elhivatottságot amit a UAV szakasz mint szervezet képvisel. Aki a kiválogatás vagy kiképzés ideje alatt nem azonosul evvel a nézettel az nem lesz, a szakasz része a többiek nem fogadják be.

A második kérdés a kiválogatás és alkalmasság

A beosztás ellátásához a katonai alkalmasság a kiinduló alap. Más alkalmasságra való kritériumot egy elbeszélgetéskor vizsgálnak, de elmondható az, hogy nincsenek olyan különleges képességek, amit felétlenül kellene a beosztáshoz. A felvételi beszélgetés során az informatikában való jártasság, amit vizsgálnak, illetve rákérdeznek. A technika kezelése Windows alapú szoftverrel történik. A szoftver használatához kell az informatikában való jártasság. Az ismeretek és kezelés szintje az alapfokú szoftver kezelői ismereteknek fele meg. A második, amire rákérdeznek az, hogy van-e valamilyen repülési tapasztalata. Itt elsősorban arról érdeklődnek, hogy a jelentkező rendelkezik-e modellező vagy bármilyen légi jármű vezetői tapasztalattal. Az erre a kérdésre adott válasz nem kritérium követelmény. Ráadásul az UAV irányításához sem kell ehhez érteni. Viszont a gyakorló gépet, tehát nem a Skylark 1 LE-t már irányítani kell, és ennek az összetörésének elkerülése fontos szempont. Természetesen pénzügyi szempont.

A harmadik kérdés a munka kompetenciákra kérdezett rá.

Az első és legfontosabb kompetencia a csapatmunka. A kezelők háromfős csoportokban tevékenykednek. A csoport tagjai egymással állandó kapcsolatot tartanak fenn. A csoport sikeres munkájához minden csoporttag azonos mértékben járul hozzá. Ezt az azonos hozzájárulás magyarázatra szorul. A csoport tagja nem azonos feladatot végeznek a csoporton belül. A csoporton

---

<sup>8</sup> [http://hu.wikipedia.org/wiki/Skylark\\_I](http://hu.wikipedia.org/wiki/Skylark_I) letöltve 2013.03.10.



belül van egy parancsnok tehát egy hierarchikus, katonás rendszerben dolgoznak. A csoport minden tagjának meg van a saját feladata és saját felelőssége. Ez a felelősség döntési joggal ruházta fel a csoporttagot. A többi csoporttag, még ha parancsnok is teljes egészében elfogadja a csoporttag felelősségi körében hozott döntéseket és eszerint cselekszenek. A csoporttagok között teljes bizalom van és teljes elfogadás a másik csoporttag munkája és személye iránt. A csoportban nincsenek konfliktusok sem a csoport munkaideje alatt sem azon kívül. A csoport teljesen zárt egységet alkot. A csoportban a mély emberi kapcsolatok az élet egyéb területei is kihatással vannak. A csoport tagjainak egymással való kapcsolatát a következő szavakkal írták le „olyan, mint a család, egy másik család”. A csoportra tanulás szokásai is sajátosak. A csoport mindig tanul. Saját munkamódszereit állandóan ellenőrzi és változtatja, ha eredményesebb módszert talál. Nem csak a saját tapasztalatokat használják fel, hanem más csoportok tapasztalatait is. A tanulási folyamat is csoportos kielemezi a hibákat és a sikereket is. A csoport összetartás nagyon erős de ez hátránnyá válik mikor a csoportból valaki távozik. Ilyenkor az eltávozott csoporttagot nehéz az új emberrel pótolni. Ilyen esetekben egy teljesen új csoportot kell felépíteni. A csoportokban nincs szerepe a nemiségnek a nők és férfiak teljesen egyenrangúak. A stressz és az elviselése a stressz alatt végzett munka szintén fontos munka kompetencia. A stressz elviselése és a hibátlan munkavégzés alap feltétele a csoport eredményes munkájának, ezért aki a kiképzésen nem képes stresszes helyzetekben jól teljesíteni nem lehet sem kezelő sem a alegység tagja. A stressz helyzetekben való meg nem felelés az alkalmatlanság mutatója. Érdekes tény, hogy a stressz tűrést nem mérik az orvosi alkalmassági vizsgálatokon, amikor UAV kezelőket vizsgálnak.

A negyedik kérdés a munka motivációra kérdezett rá. A kezelők, de nem csak Ők hanem a csoport más tagjai is, motivációja egybe esik a munka céljával. A munka céljának teljes elfogadása és átélése, ami jellemzi ezeket az embereket. A motiváltságot a kiképzés ideje alatt az oktatók figyelik. A motiváltság olyan viselkedésben nyilvánul meg, mint a foglalkozások alatti és a foglalkozások utáni kérdések és tájékoztatások információk kérése. A szabadidőben történő a munkához kapcsolódó anyagok írott, elektronikus tanulmányozása a kár a családdal eltöltött idő rovására is.

## ÖSSZEGRÖZÉS

A magyar katonai UAV kezelők kompetencia vizsgálatával feltártam azokat a kompetenciákat, amik biztosítják a katonai szervezet céljának a sikeres megvalósítását. Ez nem a technika kezelésének még tökéletesebbé tétele, hanem a csoport a munkacsoport munkájának a hatékonyabbá tételében rejlik. A jól kiképzett csoport a csoporton belüli emberi kapcsolatok miatt hatékony és sikeres. Ebből az következik, hogy a kiképzési folyamatba be kell építeni a csoportképzés és a csoporton belüli szerepek és a csoporton belüli kommunikáció ismereteit. Fontosnak tartom megjegyezni, hogy az önismeret és az érzelmi intelligencia fejlesztése is kell ahhoz, hogy a csoport fejlesztése sikeres legyen. Ezeket nagyon gyorsan be kell építeni az UAV kezelők kiképzésébe.

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] PALIK M.: Pilóta nélküli légi jármű rendszerek légi felderítésre történő alkalmazásának lehetőségei a légi-erő haderőnem repülőcsapatai katonai műveleteiben. (PhD értekezés, 2007 Budapest, ZMNE);
- [2] DR. DUDÁS ZOLTÁN - DR. RESTÁS ÁGOSTON: Nemzetközi példák az UAV repülés emberi tényezőit érintő jogi szabályozásra az RPAS 2012 konferencia tapasztalatai alapján (Redpüléstudományi közlemények, XXIV évfolyam 2012 3. szám, ISSN: HU ISSN 1789-770X);
- [3] Stanag 4670 (Edition 1) Recommended guidance for the training of designated unmanned aerial vehicle operator (Nato Standardization Agency, NSA/0381[2009]-JAIS/4670);
- [4] FEKETE Cs. - PALIK M.: A hazai UAV kezelő személyzet képzésének tapasztalatai. (Redpüléstudományi közlemények, XXIV évfolyam 2012 2. szám, ISSN: HU ISSN 1789-770X);
- [5] KLEIN B, KLEIN S,(2006) : A szervezet lelke, EDGE 2000, Budapest
- [6] L. M. SPENCER, S.M.SPENCER : Competence at Work: Models for Superior Performance, John Wiley &sons, Inc, 1993 New York
- [7] ERWIN,S.I.(2004).Should unmannedcombat aircraft be piloted only by fighter pilots?National Defence,89(November)30



Horváth József<sup>1</sup>

## A REPÜLÉSIRÁNYÍTÁS ELEKTRONIKAI ZAVARÁSA<sup>2</sup>

*A világszerte alkalmazásban lévő kommunikációs, navigációs és egyéb elektronikai rendszerek megkönnyítik életünket, állandó használatuk számunkra már természetes. Fontos kiemelni, hogy ezen rendszerek azonban nem sérthetetlenek, a szakemberek számára könnyen támadhatóak. Cikkemben szeretnék egy áttekintést nyújtani az elektronikai zavaróberendezések repülésirányítással kapcsolatos hatásairól. Röviden bemutatom az elektronikai hadviselést, az elektronikai zavarás alapjait, a jogszabályi környezetet, az alkalmazott eszközöket, majd elemzem a repülés érintett területeit és az elektronikai zavarás elleni védekezést.*

### **ELECTRONIC JAMMING OF THE FLIGHT CONTROL**

*Throughout the world the used communication, navigation and other electronic systems make our everyday life easier, permanent use of these systems is evident for us. Important to highlight, that these systems are not inviolable, for the experts is easy to attack them. In my article I would like to provide an overview about the effect of the electronic jamming systems in connection with the flight control. I describe briefly the electronic warfare, the basic of the electronic jamming, the legal environment, the jammers, and I analyse the affected area of the flight control and the defense against the electronic jamming.*

## BEVEZETÉS

Az elektronikai zavarást számos területen alkalmazzák, katonai körökben a legismertebb az improvizált robbanóeszközök elleni harc (közismert angol kifejezéssel Counter-Improvised Explosive Device, C-IED), melynél a robbantás mobiltelefonnal vagy egyéb más, rádiófrekvenciás jel vételére alkalmas eszközzel történő indításának megakadályozása a feladat. A polgári életben a leggyakrabban színházi előadások, értekezletek során megszólaló telefonok elnyomására használják. Egyre több forrásból hallható, hogy ezen eszközök megjelentek az iskolákban is a digitális puskázás megakadályozására, például egy német iskolában „Játékelrontó”-nak elnevezett elektronikai zavaróeszközt használnak erre. [1]

Cikkemben az elektronikai zavarás polgári és katonai repülésirányítás elleni alkalmazásának lehetőségeit elemzem. A cikk egyes részeiben ötvöződnek a katonai definíciók és leírások a polgári életben alkalmazottakkal azért, hogy ezzel is elősegítsem a téma könnyebb feldolgozását mindenki számára.

Fontos kiemelni, hogy amennyiben a zavaróeszközöket a repülésirányítás folyamatának megzavarására használják és a repülést irányító, illetve repülőgépet vezető személyzet nincs kellően felkészítve ilyen helyzetekre, súlyos katasztrófa bekövetkezésével és nagymértékű emberáldozattal számolhatunk.

---

1 mk. őrnagy, MH ÖHP FEF, horvath0101@gmail.com

2 Lektorálta: Prof. Dr. Haig Zsolt mk. zeds, egyetemi tanár, Nemzeti Közszerződési Egyetem, haig.zsolt@uni-nke.hu





## I. ELEKTRONIKAI ZAVARÁS

### Elektronikai zavarás

„Az elektronikai hadviselés azon katonai tevékenység, amely az elektromágneses energiát felhasználva meghatározza, felderíti, csökkenti vagy megakadályozza a frekvenciaspektrum ellenség részéről történő használatát és biztosítja annak a saját csapatok általi hatékony alkalmazását. Területei az elektronikai támogató tevékenység, az elektronikai ellentevékenység és az elektronikai védelem. Az elektronikai ellentevékenység az elektronikai hadviselés azon területe, amely magába foglalja az elektromágneses és irányított energiák kisugárzását abból a célból, hogy megakadályozza vagy csökkentse az elektromágneses spektrum ellenség által való hatékony használatát. Az elektronikai ellentevékenység egyik területe az elektronikai zavarás. Az elektronikai zavarás az elektromágneses energia szándékos kisugárzását, visszasugárzását vagy visszaverését jelenti azzal a céllal, hogy megakadályozzuk az ellenség elektronikai eszközeinek vagy rendszereinek hatékony működését.” [2]

### Az elektronikai zavarással kapcsolatos jogszabályi környezet Magyarországon

Magyarországon a zavaró eszközök körének meghatározása a polgári és katonai alkalmazás vonatkozásában is a haditechnikai eszközök és szolgáltatások kivételének, behozatalának, transzferjének és tranzitjának engedélyezéséről, valamint a vállalkozások tanúsításáról szóló 160/2011. (VIII. 18.) számú Kormányrendelet alapján történik, ahol a jogalkotó a zavaró eszközök közé az alábbi eszközöket sorolja:

*„Jelen pont, engedélyezés alá vonja mindazokat a termékeket, eszközöket, technológiákat, szoftvereket, ezek alkatrészeit, és tartozékait, amelyek ezen rendelet XXVI. fejezet 1., 2. és 3. pontjaiban felsorolt eszközök zavarására, működésük felfüggesztésére, illetve lehetetlenné tételére terveztek, állítottak elő, így különösen:*

- a) rádiófrekvenciás zavaró adók;*
- b) vezetékes zavaró adók;*
- c) akusztikus zaj generátorok;*
- d) lézer- vagy infravörös sugárzással működő zavaró adók;*
- e) elektronikai eszközök tönkretételére tervezett, előállított berendezések;*
- f) informatikai eszközök zavarására tervezett, előállított eszközök, szoftverek;*
- g) biztonsági rendszerek zavarására tervezett, előállított eszközök.” [3]*

A fenti rendelet meghatározza, hogy mi tartozik a zavaró eszközök közé, azonban az eszközök használatának módját nem.

Ezzel az elektronikus hírközlésről szóló 2003. évi C. törvény foglalkozik az alábbiak szerint:

*„Elektronikus hírközlő berendezést, nagyfrekvenciás berendezést, valamint minden olyan berendezést amely működése közben nagyfrekvenciás jelet vagy mellékhatást kelt, továbbá azokat a villamos vagy elektronikus alkatrészeket tartalmazó berendezéseket (a továbbiakban együtt: villamos vagy elektronikus berendezés), amelyek alkalmasak arra, hogy elektromágneses zavart okozzanak, vagy amelyek működésére ilyen zavar hatással*



lehet, úgy kell üzemben tartani, hogy az más, zavarérzékenység szempontjából egyébként megfelelő villamos vagy elektronikus berendezés működésében zavart ne okozzon.” [4]

## Elektronikai zavartípusok bemutatása

Elektronikai zavar minden olyan jelenség, amely az adott elektronikai vevőeszközökön a hasznos jel vételét akadályozza vagy teljes mértékben meggátolja, esetünkben radarokra és kommunikációs eszközökre vonatkoztatva. Megkülönböztetünk természetes és mesterséges zavarforrásokat. Természetes zavarforrások például a kozmikus sugárzás, a villám és egyéb légköri jelenségek. Mesterséges eredetű zavarforrás az elektromágneses elven működő készülék üzemszerű, vagy hibás működése során keletkező és a környezetbe kijutó jel. Ilyenek pl. a nagyfeszültségű energetikai hálózat, a rádió és TV adók, nagyáramú kapcsolók, motorok, stb. [5] A dolgozatban az aktív eszközökkel létrehozott elektronikai zavarás hatásai kerülnek elemzésre. [6]

Annak mértékét, hogy az elektronikai zavaró jel és a hasznos jel milyen arányban áll egymással, számos tényező befolyásolja. Ezek között vannak adóoldali jellemzők (pl. adó teljesítménye, adó és vevőkészülék közötti szakaszcsillapítás, stb.), vevőoldali jellemzők (vevőantenna nyeresége az adó és a zavaró felé, stb.) illetve a zavaróoldalra vonatkozó jellemzők (zavaróadó teljesítménye, stb.) Az elektronikai zavarokat hatékonyságuk (amelyet a vétel pontjában az elektronikai zavar és a hasznos jel energiaszintjének aránya alapján határoznak meg) alapján három csoportba sorolják, lehet gyenge, közepes és erős. Ennek meghatározásában van segítségünkre a lefogási tényező. A lefogási tényező a vevőeszközön megjelenő hasznos jel és zavaró jel teljesítményének viszonyát adja meg az alábbiak szerint:

$$K = \frac{P_{\text{zavaró jel}}}{P_{\text{hasznos jel}}} \quad (1)$$

K: lefogási tényező,  $P_{\text{zavaró jel}}$ : zavaró jel teljesítménye,  $P_{\text{hasznos jel}}$ : hasznos jel teljesítménye

Amennyiben:  $K \gg 1$ , a zavarás erős, sikeres;

$K = 1$ , a zavarás közepes, a zavart eszköz valószínűleg még elegendő hasznos jelszintet vesz a működéséhez;

$K \ll 1$ , a zavarás gyenge, nem hatásos, a zavart eszköz biztosan elegendő hasznos jelszintet vesz a működéséhez.

Itt kell megemlíteni a  $K_z$  (az adott üzemmódhoz tartozó előírt arány) fogalmát. A  $K_z$  értékét a  $K$  értékével összehasonlítva megkapjuk, hogy a zavarás valóban sikeres-e. Ez akkor igaz, amennyiben a  $K$  értéke nagyobb, mint  $K_z$  értéke. [7]

## Elektronikai zavaróeszközök

Az elektronikai zavaróeszközök beszerzése többféle szempont alapján lehetséges, attól függően, hogy hol, milyen célra szeretnénk alkalmazni és milyen pénzügyi keretből gazdálkodhatunk. Ezen ismervek alapján válogathatunk a piacon fellelhető számos gyártó egyszerűbb vagy bonyolultabb technikai megoldásokat is alkalmazó, ezáltal több szolgáltatást nyújtó termékei közül. Az egyszerűbb eszközök általában egy fixen beállított frekvencia zavarására képesek

egy be-kikapcsoló gombbal működtetve, míg a jó minőségű eszközök már több frekvenciatartomány zavarására alkalmasak különböző teljesítményű jelet sugározva.

Az elektronikai zavaróeszközök csoportosítása sokféle szempont alapján lehetséges, a cikkben az alábbi - saját tapasztalataimon alapuló - szempontokat vettem figyelembe:

- felhasználói csoportok szerint:
  - polgári célokra készített;
  - katonai és rendvédelmi erők számára készített eszközök.

A két csoport eszközei között nehéz vizsgálni a különbséget, mivel a katonai és rendvédelmi szervek részére szállított eszközök pontos specifikációja nem kerül nyilvánosságra, azt minden szervezet gondosan őrzi. A lényeges az, hogy ezen eszközök a polgári életben is kapható típusok több szolgáltatást nyújtó vagy stabilabb kivitelben készülő változatai, melyeket a gyártó cég a megrendelő igényei alapján módosít.

A polgári célra készített eszközök az alábbiak szerint tovább csoportosíthatóak:

- hordmód/telepítés módja szerint:
  - kézi;
  - hordozható;



1. ábra Hordozható elektronikai zavaróeszköz egy börtönön belül elhelyezve [8]

- gépjárműbe épített;
- fixen telepített eszközök;



2. ábra Fixen telepített elektronikai zavaróeszköz egy börtön külső falánál [9]

- Hatótávolság szerint:
  - kis hatótávolságú (maximum 10 méter);
  - közepes távolságú (maximum 100 méter);
  - nagy hatótávolságú (100-500 méter);

A hatótávolságot számos körülmény (domborzati viszonyok, építmények) befolyásolja.

- Alkalmazási cél (amely a frekvenciatartományt is meghatározza):
  - rádiótelefon zavaró;
  - GPS zavaró;
  - Bluetooth – Wi-Fi zavaró;
  - videó zavaró (pl. kémkamerák);
  - valamint ezek kombinációja;
- Áramellátás módja szerint:
  - elem vagy akkumulátor;
  - hálózati táplálás;
  - gépjármű tápellátó rendszer (esetleg aggregátor);

Az eszközök áramellátásának módja függ az eszközök méretétől és telepítés módjától. Általánosságban elmondható, hogy az elemről vagy akkumulátorról, illetve a hálózatról történő üzemeltetés a legtöbb esetben biztosított.

Katonai és rendvédelmi erők számára készített eszközök elemzése esetén a fenti csoportosítás további szempontokkal bővíthető, így például az alkalmazási célnál megjelenik a rádiótechnikai eszközök zavarása.

## II. ELEKTRONIKAI ZAVARÁS A REPÜLÉSIRÁNYÍTÁSBAN

### **A repülésirányítás elektronikai zavarással történő támadásának realitása**

A repülésirányítás ellen irányuló zavarásokra lehet példákat találni, azonban azt nehéz felbecsülni, hogy mennyire reális egy ilyen jellegű támadás végrehajtása. Emiatt ennek lehetőségét nem szabad figyelmen kívül hagyni és a rendszerek fejlesztése esetén a megfelelő védelmet is biztosítani kell.

Nem szándékosan a repülésirányítás ellen irányult annak a gépjárművezetőnek a tevékenysége,



aki egy olcsó zavarókészüléket vásárolt magának – feltehetően rádiótelefonok zavarására – és azt üzemeltette az utazásai során. Azonban amikor a napi útjai során elhaladt a New Jersey-ben lévő Newark repülőtér közelében, eszközével zavarta a repülőtér GPS vevőit. [10]

Napjainkban azonban nemcsak egyedi felhasználók által használt eszközökkel történt zavarásról lehet információt találni, függetlenül attól, hogy az ilyen feladatra alkalmazható eszközök ára, mérete egyre kisebb és az interneten számos helyről beszerezhetőek. Több olyan példa is található, amely azt bizonyítja, hogy az ilyen tevékenységet magasabb szinten elfogadják vagy legalábbis nem tesznek meg minden szükséges lépést annak megszüntetésére.

2012. április 28 és május 6. között ötszáznál is több Dél-Koreába tartó vagy onnan induló repülőgép, valamint 120 hajó is jelezte, hogy GPS készüléke nem volt használható, a jel erősség nulla szintű volt. Dél-Korea állítása szerint a zavaró kisugárzás Észak-Korea egyik határmenti városából történt. Az ilyen jellegű tevékenység emberi életet veszélyeztet közvetlenül. Ez a példa mutatja be valójában azt, hogy mire lehet képes egy ilyen támadás. Amennyiben ezt egy kritikus helyen alkalmazzák, pl. egy szorosban vagy sekély medrű vizeken történő közlekedést gátolják ezzel, nagyon rövid idő alatt jelentős problémát okozhatnak. [11]

### **Repülésirányítás zavarásának lehetőségei**

Az elektronikai zavarás alkalmazásának egyik legnagyobb veszélyt rejtő lehetősége, amennyiben a repülésirányításban alkalmazott frekvenciák ellen használják. Nemcsak az áldozatok valószínűsíthetően magas száma, hanem a támadás által a hozzátartozókra és a közvéleményre kifejtett pszichológiai hatása miatt is.

A repülésirányítás vonatkozásában a kommunikációs rendszerek (irányítótorony – repülőgép személyzet vagy két repülőgép személyzete között), valamint a rádiólokációs rendszerek (földi telepítésű illetve a repülőgépen telepített) vannak veszélyben. A rádiólokációs rendszerek olyan frekvenciatartományokban működnek, amelyek zavarása az interneten beszerezhető egyszerűbb eszközökkel nehezen valósítható meg.

A kommunikációs célú rendszerek elemzésénél fontos, hogy repülőterek által használt frekvenciák megtalálhatóak nyílt forrásokban, mint az a 3. ábrán is látható. A probléma az, hogy hiába titkosított az ezen frekvenciákon folytatott kommunikáció a nagyobb repülőterek esetében, az elektronikai zavarás szempontjából hamar kiismerhetőek a legfontosabb jellemzők.





Azonosító	Hívójel	Frekvencia
LHCC	Budapest Control	133.200
LOVV	Wien Radar	134.350
LJLA	Ljubljana Radar	135.275
LDZO	Zagreb Center	129.650
LYBA	Beograd Center	135.350
LRBB	Bucharest Radar	122.025
UKLV	Lvov Center	128.000
LZBB	Bratislava Control	134.725

TMA	Magassági határ	Légtér	Irányító	Frekvencia
Budapest	2000	FL195	C	LHBP_APP 129.700
Wien	5500	FL245	C	LOWW_APP 128.200
Kosice	1000	9500	D	LZKZ_APP 119.850

3. ábra TMA irányítói frekvenciák és a területi irányító központok elnevezései és frekvenciái [12]

A radarrendszerek rövid elemzéséhez példaként a HungaroControl rendszerét ismertetem, ahol a légiforgalmi irányítók a Magyar Automated and Integrated Air Traffic Control System (a továbbiakban MATIAS) elnevezésű légi navigációs rendszerrel dolgoznak.

Ez a rendszer minden szükséges információt elektronikusan biztosít a légiforgalmi irányítók számára. Rossz látási viszonyok esetén a rendszer részét képező radarberendezések nyújtanak segítséget munkájukhoz, amelyekkel minden, a repülőtér felelősségi területén lévő légi jármű mozgása követhető, legyen az földön vagy levegőben. [13]

„Magyarországon az ellenőrzött légtérben – a többszörös radarfedés követelménye miatt – három helyen működik polgári légtérelenőrző radar. Budapest-Ferihegyen egy közelkörzeti (TAR) radar-komplexum található, amely passzív elsődleges („primer”) és nagy pontosságú, szabványos aktív másodlagos („szekunder”) radarberendezésekből áll. Kőrishegyén és Püspökladány mellett egy-egy nagy hatótávolságú primer és szabványos szekunder (MSR) radarberendezés működik. A primer és a szekunder radarantennák azonos tengelyre kerültek felszerelésre, ezért szinkronizáltan együtt forognak, adatfeldolgozó berendezéseik pedig duplikáltak. A „primer” radarok passzív rendszerek, a légi jármű pontos helykoordinátáit (távolságát és oldalszögét) mérik. A „monopulse” másodlagos berendezések a légi járművek fedélzetén elhelyezett válaszjel-adó lekérdezésével az azonosító kódot, a gép által mért magasságot és nagy pontosságú helykoordinátákat küldenek a feldolgozó rendszereknek. Mindhárom radarállomás duplikált radaradat-feldolgozó egységgel rendelkezik, és a feldolgozott információkat nagysebességű modemes és mikrohullámú vonalon keresztül továbbítja az irányító központnak.” [14]

A fenti leírásból kivehető, hogy számos technikai meghibásodás ellen védett a repülésirányítás rendszere és ez valamilyen szinten biztosít zavarás elleni védelmet is, azonban nem elsődlegesen erre a problémára fókuszálnak.

## A zavarás megvalósítása

A polgári és katonai repülésirányítással kapcsolatos elektronikai zavarás lehetőségének bemutatására a Magyar Honvédség eszközeinek bevonásával évente megtartott NEWFIP<sup>3</sup> keretén belüli gyakorlat tapasztalatait használom fel. Ezen elemzéssel kettő célom van. Egyrészt bemutatom, hogy a NATO erőknél rendelkezésre állnak a hatékony elektronikai zavaráshoz szükséges eszközök, másrészt pedig azt mutatom be, hogy szükséges a polgári és katonai repülésirányítás zavarását vizsgálni, mivel az a megfelelő eszköz birtokában bárki által végrehajtható.

A Magyar Honvédség NATINADS<sup>4</sup> feladatba bevont erői részvételével megrendezésre kerülő elektronikai hadviselési gyakorlaton az elektronikus zavarást repülőgépekre szerelt zavaró konténerekkel, úgynevezett POD-okkal biztosítják (4. ábra), melyek az előzetes egyeztetések alapján kerültek felprogramozásra. A zavaró POD-ok többféle típusú elektronikus zavar generálására képesek, ezen különböző zavarok radarkijelzőkön látható hatásainak néhány példája a 5. ábrán látható. [15]



4. ábra COBHAM Aviation repülőgépe és a szárny alá függesztett zavarókonténer (POD) [16]



5. ábra Aktív zajzavar, aszinkron és szinkron válaszimpulzus-zavar az SzT-68U/M<sup>5</sup> képernyőjén [17]

A megfelelő paraméterek ismeretében lehetséges a POD-ok beprogramozása hatásos zavarásra, és ha nem is teljes mértékben fogják le a céleszközöket, a kezelők munkáját képesek bonyolulttá tenni.

A fenti példából jól látható, hogy amennyiben a szándék meg van erre, a repülésirányítás rendszere is zavarható, a zavaráshoz szükséges rendszerek megszerezhetőek. Fontos az is, hogy a zavaróeszközök helyének meghatározása egy ilyen tevékenységre felkészületlen szervezetnél esélytelen.

<sup>3</sup> NATO Electronic Warfare Integration Program

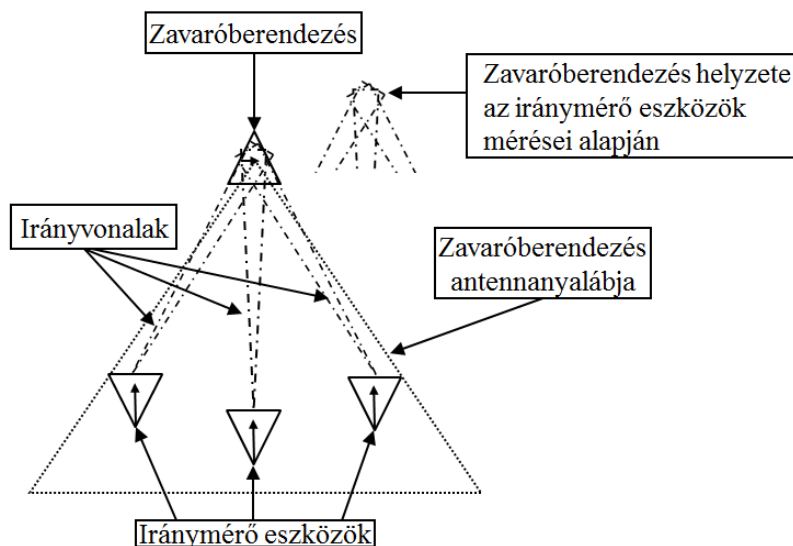
<sup>4</sup> NATO Integrated Air Defence System

<sup>5</sup> SzT-68U/M – Közepes hatótávolságú „D-F” sávú radarállomás

## Védekezési lehetőségek az elektronikai zavarás ellen

A védekezési lehetőségek egyik lehetséges megoldása az, hogy az elektronikai zavarás észlelésekor a zavarást kibocsátó eszköz megtalálására koncentrálunk és ehhez szükséges eszközt szerzünk be vagy olyan céget alkalmazunk, amely rendelkezik ilyen eszközzel. A nemzeti frekvenciafelosztás megállapításáról szóló 15/2012. (XII. 29.) Nemzeti Média és Hírközlési Hatóság rendelet 2 §. határozza meg a rádió-iránymérés fogalmát az alábbiak szerint: „olyan rádiómeghatározás, amely a rádióhullámok vételét használja fel valamely állomás vagy tárgy irányának meghatározására. Rádiómeghatározás: valamely tárgy helyének, sebességének vagy más jellemzőinek meghatározása, vagy az ezekre vonatkozó adatok megszerzése a rádióhullámok terjedési sajátosságainak segítségével” [18].

Figyelembe kell venni azt is, hogy a zavaróeszköz pontos helyének meghatározásához 3 felderítő/iránymérő eszköz alkalmazása szükséges, így a háromszögelés módszerével nagy pontossággal meghatározható a zavaróadó helye. Az országok hadseregei számára alapvető fontosságúak ezen eszközök, azonban már a polgári életben is elérhetőek olyan cégek, melyek rendelkeznek ilyen feladatra alkalmas eszközökkel. A 6. ábrán látható, hogy a 3 felderítő/iránymérő eszköz által generált, a zavaróadó felé mutató irányvonal - amelyek azt mutatják meg, hogy a felderítő/iránymérő eszközök a saját helyzetükhöz képest hol érzékelik a zavarás eredőpontját - metszéspontja adja meg a zavaróadó települési helyét. [19], [20]



6. ábra Rádióiránymérés elvi vázlata<sup>6</sup>

Lehetőség van az észlelt zavar jelentésére a Nemzeti Média és Hírközlési Hatóság felé, amelynek illetékes szerve az alábbiak szerint végzi tevékenységét:

„17.1.3.2. Rádióellenőrző és zavarvizsgálati osztály

a. Működteti a mérőszolgálat mobil mérőrendszerekből álló rádióellenőrző és zavarvizsgáló integrált rendszerét.

<sup>6</sup> Saját szerkesztésű ábra.

- b. Ellenőrzi és felügyeli, saját feladatkörében, valamint a Frekvencia- és azonosítógazdálkodási főosztály felkérésére a polgári rádió-berendezések, rádióállomások és hálózatok engedélynek való megfelelését.*
- c. A KFGH kezdeményezésére elvégzi a nem polgári célú frekvenciagazdálkodásnak a rádiózavar elhárítással, az ellenőrzéssel, a rádiómegfigyeléssel és az adatszolgáltatással kapcsolatos hatósági tevékenységeinek ellátásához szükséges rádió-mérőszolgálati feladatokat.*
- d. Ellenőrzi az üzemben tartott rádióberendezéseket, rádióállomásokat és hálózatokat. Méri és ellenőrzi a műsorszóró szolgáltatás műszaki, minőségi, ellátottsági jellemzőit.*
- e. Méri és ellenőrzi a mobil-szélessávú szolgáltatás műszaki, minőségi és ellátottsági jellemzőit.*
- f. Felderíti és behatárolja az engedély nélküli rádióadásokat. Kivizsgálja a műsorvételi és a rádió-hálózatok közötti zavarokat és intézkedik azok elhárítására.*
- g. EMC méréseket végez a rádiószolgálatok zavarmentes működése érdekében.*
- h. A zavarelhárítás érdekében lefolytatja a törvényben meghatározott hatósági eljárásokat.*
- i. Felkérésre összehangolt méréseket végez a nemzetközi zavarok kivizsgálására és részt vesz rádióellenőrző programok végrehajtásában.” [21]*

A repülésirányítás rendszere támadhatóságának elemzésekor két terület került bemutatásra. Az első a gép/gépek és a torony közötti kommunikáció volt. Ennek zavarása esetén a rendszer kiváltása nehezen valósítható meg, erre alkalmazzák a katonai körökben „chattermark” eljárást, melynek lényege az előzetesen megbeszélt frekvenciák folyamatos változtatása. [22], [23]

A radarrendszerek zavarás esetén történő kiváltása, helyettesítése már könnyebben megválaszolható kérdésnek tűnik, mivel a jelenleg alkalmazott radarok már több frekvencián üzemelnek, megfelelő módon kiépített tartalékrendszerekkel és beépített zavarszűrő berendezésekkel rendelkeznek, azaz hatásos zavarásuk nehéz. Alternatív megoldás lehet az is, hogy a polgári rendszerek zavarása esetén a katonai repülésirányító szolgálat is képes a repülőgépek pontos helyzetének meghatározására, illetve további feladatokban történő segítségnyújtásra.

## ÖSSZEGZÉS

A cikk témájául egy, a repülés iránt érdeklődők számára kevésbé látható témát választottam. Ráműtöttem arra, hogy a polgári és katonai repülésirányítás elektronikai zavaróeszközökkel történő zavarása megfelelő mérnöki ismeret birtokában végrehajtható, és sajnálatos módon az eszközök beszerzése sem jelent akadályt, hiszen számos internetes oldalon is elérhetőek. A NEWFIP keretén belül szervezett gyakorlat ismertetésével bemutattam, hogy a NATO erők számára a polgári és katonai repülésirányítás zavarásához szükséges eszközök rendelkezésre állnak. Ki kell emelni azt is, hogy az elektronikai zavarás ilyen jellegű alkalmazása leghatásosabban a technikailag kevésbé fejlett helyeken tervezhető, mivel ebben az esetben nem állnak rendelkezésre tartalék rendszerek. Itt olyan területek is szóba jöhetnek például, ahol magyar katonák is teljesítenek szolgálatot (Afganisztán stb). A téma azért is fontos, mert a terrorizmus elleni harc átítatja mindennapjainkat, azonban kijelenthető, hogy szerencsére az elektronikai



zavarás ilyen jellegű felhasználására még nem volt példa és remélhetően nem is lesz.

Az elektronikai zavarás elleni védekezés első lépéseként véleményem szerint a felelős szervezeteknek fokozott figyelmet kell fordítaniuk az elektronikai zavaróeszközök interneten keresztül, jelenleg ellenőrizetlen kereskedelmére. Az elektronikai zavarás hatásainak minimalizálása érdekében pedig nagy hangsúlyt kell fektetni a megelőzésre, ami esetünkben a személyi állomány felkészítését, a már meglévő rendszerek esetében a tartalékrendszerek kialakítását jelenti illetve fontos a védelmi lehetőségek beépítése már a tervezés megfelelő fázisaiban.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Zavaróeszköz az elektronikus puskázás ellen. (2007. 09. 25.) url: [http://www.sg.hu/cikkek/55098/zavaroeszkoz\\_az\\_elektronikus\\_puskazas\\_ellen](http://www.sg.hu/cikkek/55098/zavaroeszkoz_az_elektronikus_puskazas_ellen) (2012. 10. 07.)
- [2] Dr. Haig Zsolt alezredes – Dr. Várhegyi István nyá. ezredes: A vezetési hadviselés alapjai. ZMNE, Egyetemi jegyzet, Budapest, 2000.
- [3] 160/2011. (VIII. 18.) számú, a haditechnikai eszközök és szolgáltatások kivitelének, behozatalának, transzferjének és tranzitjának engedélyezéséről, valamint a vállalkozások tanúsításáról szóló Kormány rendelet, XXVI. fejezet 4. pont.
- [4] Az elektronikus hírközlésről szóló 2003. évi C. törvény, 56. § (1) bekezdés.
- [5] Szűcs László: Mérési segédlet RF zavarkibocsátás és zavarérzékenység méréshez. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2011.
- [6] Dr. Haig Zsolt alezredes – Dr. Várhegyi István nyá. ezredes: A vezetési hadviselés alapjai. ZMNE, Egyetemi jegyzet, Budapest, 2000.
- [7] Dr. Ványa László: A pilóta nélküli repülőket fedélzetén alkalmazott zavaró berendezések és a zavarhatékony-ság kérdései. Repüléstudományi közlemények. 2006. 2. szám
- [8] Jammers for prisons. url: <http://www.magnumtelecom.com/Pages/gb/jail.html> (2012. 10. 07.)
- [9] Jammers for prisons. url: <http://www.magnumtelecom.com/Pages/gb/jail.html> (2012. 10. 07.)
- [10] No jam tomorrow. (2011. 03. 11.) url: <http://www.economist.com/node/18304246> (2012. 10. 12.)
- [11] Nagy Balázs András: Kiberháborúba készül Korea? (2012. 05. 12.) url: [http://www.mobilityport.hu/hirek/20120512/kiberhaboruba\\_keszul\\_korea/](http://www.mobilityport.hu/hirek/20120512/kiberhaboruba_keszul_korea/) (2012. 10. 12.)
- [12] Kósa Gergely: LHBP APP/CTR kézikönyv. url: [http://www.iva.hu/wp-content/uploads/2010/02/ivaohu\\_atc2.pdf](http://www.iva.hu/wp-content/uploads/2010/02/ivaohu_atc2.pdf) (2012. 10. 13.)
- [13] Hungarocontrol: Technikai háttér. url: <http://iranyitokepzes.hungarocontrol.hu/az-iranyitok-feladata/technikai-hatter> (2012. 10. 07.)
- [14] Hungarocontrol: Radarkorszerűsítés. url: [http://www.hungarocontrol.hu/radarkorszerusites?\\_subid=1](http://www.hungarocontrol.hu/radarkorszerusites?_subid=1) (2012. 10. 07.)
- [15] Bozsóki Attila: A légvédelmi rakétacsapatok Elektronikai hadviselési felkészítésének tapasztalatai a 2005. évi NATO gyakorlat alapján url: [http://portal.zmne.hu/download/bjkmk/bsz/bszemle2009/2/08\\_bozsoki.pdf](http://portal.zmne.hu/download/bjkmk/bsz/bszemle2009/2/08_bozsoki.pdf) (2012. 10. 12.)
- [16] NEWFIP 2012 Iron Guard 3 (2012. 06. 21.) url: [http://www.jetfly.hu/rovaatok/legter/mh59/galeria/newfip\\_2012\\_iron\\_guard\\_3/](http://www.jetfly.hu/rovaatok/legter/mh59/galeria/newfip_2012_iron_guard_3/) (2013. 02. 26.)
- [17] Bozsóki Attila: A légvédelmi rakétacsapatok Elektronikai hadviselési felkészítésének tapasztalatai a 2005. évi NATO gyakorlat alapján Bolyai szemle. 2009. XVIII. évf. 2. szám.
- [18] A nemzeti frekvenciafelosztás megállapításáról szóló 15/2012. (XII. 29.) NMHH rendelet
- [19] A nemzeti frekvenciafelosztás megállapításáról szóló 15/2012. (XII. 29.) NMHH rendelet
- [20] Fent Marianne: A rádióiránymérés formaváltozásai hazánkban a rádiótechnika fejlődésének tükrében. 2011. url: [http://www.ardf.hu/arc/2010/docs/rim\\_diplm.pdf](http://www.ardf.hu/arc/2010/docs/rim_diplm.pdf) (2013. 02. 26.)
- [21] SzMSz a Rádióellenőrző és zavarvizsgáló osztályról. url: <http://nmhh.hu/tart/szervezet/156> (2012. 10. 12.)
- [22] Joint Publication 3-13.1 Electronic Warfare (2007. 01. 25.) url: [http://www.bits.de/NRANEU/others/jp-doctrine/jp3\\_13\\_1\(07\).pdf](http://www.bits.de/NRANEU/others/jp-doctrine/jp3_13_1(07).pdf) (2013. 01. 25.)
- [23] Zord Gábor: Aminek van értelme: NEWFIP 09. (2009.11.08) url: [http://legiero.blog.hu/2009/11/08/aminek\\_van\\_ertelme\\_newip\\_09](http://legiero.blog.hu/2009/11/08/aminek_van_ertelme_newip_09) (2013. 01. 25.)



Kovács-Coskun Tünde<sup>1</sup> – Völgyi Bálint<sup>2</sup> – Sikari-Nágl István<sup>3</sup>

## PLATTÍROZOTT ALUMÍNIUM-ACÉL LEMEZ KORRÓZIÓS VISELKEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA<sup>4</sup>

*A kontaktkorrózió jelensége olyan esetekben figyelhető meg, amikor két egymástól eltérő potenciálú fém összeépítése történik, a közük kerülő elektrolit hatására elektronáramlás kezdődik meg, ami a kisebb potenciálú fém fogyását okozza. A kontaktkorróziós jelenség kialakulása többféle módon megakadályozható. A gyakorlatban számos problémát, jelentős anyagi károkat okoz a korrózióknak ez a megjelenési formája. Ebben a cikkben egy jól alkalmazható megoldást szeretnénk bemutatni a kontaktkorróziós jelenség elkerülésére. Kísérleteinkben alumínium –acél anyagpárosítást robbantásos plat-tírozással hoztunk létre. A plattírozással létrehozott anyagpárosítás esetén a különböző fémek közé nem kerülhet elektrolit, mert közöttük kohéziós kapcsolat jön létre, így kontaktkorróziós jelenség sem jöhet létre.*

### **PREVENTION WAYS OF THE CONTACT CORROSION PHENOMENON**

*The contact corrosion phenomenon is observed in which two different potentials metal can be assembled in presence of electrolyte. This phenomenon can be prevented in several ways. In practice the manifestation of this corrosion is causes a number of problems and significant financial damage. In this article we would like to present a solution well suited to avoid contact corrosion phenomena. In our experiments, we made aluminium plated steel by explosion cladding. This technology got a composite material, what is absolutely different than many poor metals. Between the components it finds a cohesive joint what prevent this composite against the corrosion.*

## BEVEZETÉS

A kontaktkorrózió jelenségére igen jó példa az USS Independence nevű, LCS 2 típusú alumínium törzszű hadihajó esete. A hajó acélból készült meghajtási rendszerében 2010. januárjában, fedezték fel a kontaktkorróziót. A hadihajók darabonként 680 millió USD-ba kerültek, az üzemeltetésük évi 36,6 millió USD a haditengerészet számára az eredeti költségvetés szerint. A tervezett élettartamuk 25 év<sup>5</sup>.

A hiba felfedezésekor le akarták állítani a gyártást, de végül a javítást választották a hajók szárazdokkolásának, valamint a meghajtási rendszer kulcselemeinek szétszerelése árán.

A korróziós jelenségek áttekintése során a szakirodalomban egyértelműen megtalálható azon fémek listája melyeket nem ajánlott összeépíteni, mert közöttük korrózió léphet fel. A fémek elektrokémiai potenciálját ismerve kiszámítható azok potenciál különbsége, ebből pedig következtetni

<sup>1</sup> Óbudai Egyetem, főiskolai docens, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

<sup>2</sup> Óbudai Egyetem, egyetemi hallgató

<sup>3</sup> Óbudai Egyetem, egyetemi hallgató

<sup>4</sup> Lektorálta: Prof. dr Lukács László, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, lukacs.laszlo@uni-nke.hu

<sup>5</sup> David LERMAN & Tony CAPACCIO: Navy Finds 'Aggressive' Corrosion on New Ship; Bloomberg, 2011.06.7.

<http://www.bloomberg.com/news/2011-06-17/navy-finds-aggressive-corrosion-on-austal-s-combat-ship-1-.html>; (2012.11.09.)

lehet a korróziós ellenállásukra vagy hajlamukra<sup>6</sup>.

A kontaktkorrózió elkerülhető megfelelő anyagpáros választásával, vagy olyan konstrukciós kialakítással, amely esetében a két különböző fém közé nem kerülhet elektrolit. Ilyen lehetőség a plattírozott lemezek alkalmazása, melyek egymással kohéziós kapcsolatban vannak, így közük nem kerülhet elektrolit. Természetesen az így kialakított lemezek, alkatrészek csupasz széleit védeni kell, de ez minimális felületet jelent.

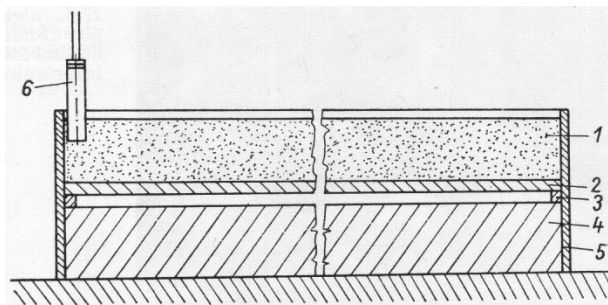
A robbantásos plattírozással olyan anyagpárosítások is létrehozhatóak, melyek már technológiával nem hozhatók létre. A kész plattírozott lemezt tovább lehet hengerelni, az így létrehozott kompozit anyag mechanikai tulajdonságai pedig eltérnek az azt felépítő fémek tulajdonságaitól<sup>7, 8</sup>.

A robbantásos plattírozás vagy borítás technológiája a kötéstechológiai szempontból hegesztésnek tekinthető, mert a két összekapcsolt fém között kohéziós kapcsolat jön létre. A kialakuló kötés alakja és tulajdonságai jellegzetesek<sup>9</sup>.

A plattírozott lemezek minősítése roncsolásos és roncsolás mentes vizsgálatokkal is elvégezhető, jelenleg a gyakorlatban ultrahangos vizsgálatokkal minősítik<sup>10</sup>.

## ROBBANTÁSOS PLATTÍROZÁS

A robbantásos plattírozásnál a burkolólemez (repülő lemez), az alaplemez és a robbanóanyag, gyutacs elvi elrendezését az 1. ábra mutatja be.



1. ábra Acél-alumínium plattírozás elvi elrendezése

1 robbanóanyag; 2 burkolólemez (acél); 3 távtartó; 4 alaplemez (alumínium); 5 prespán lemez keret;  
6 villamos gyutacs<sup>5</sup>

A plattírozáshoz alkalmazott anyagpárból a borító acéllemez 2mm vastagságú (S235JR) ötvözetlen

<sup>6</sup> Forrás: ORGOVÁN László szerk.: Felületvédelmi kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1989. pp.27-34.

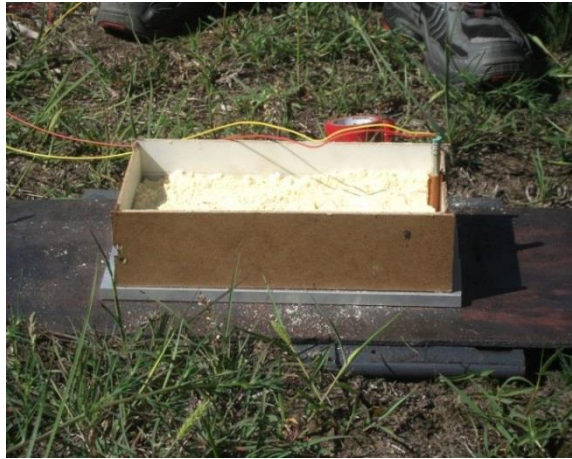
<sup>7</sup> Forrás: SZALAY András – PUSKÁS József: Nemesfém-takarékos érintkezőanyagok előállítása robbantásos plattírozással; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982, pp. 172-177.

<sup>8</sup> Forrás: BAGYINSZKI Gyula - BITAY Enikő: Hegesztéstechnika I., EME, Kolozsvár, 2010. pp.38.

<sup>9</sup> Forrás: SZUNYOGH László szerk.: Hegesztés és rokon technológiák, Kézikönyv; GTE, Budapest, 2007

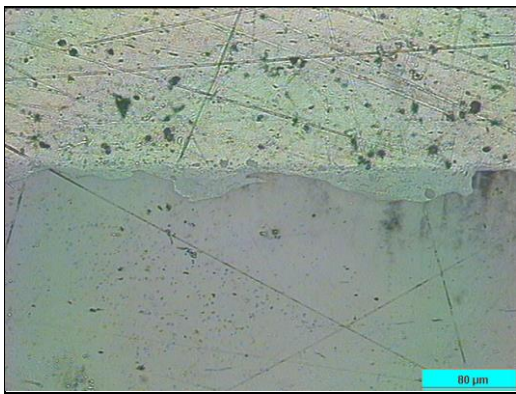
<sup>10</sup> Forrás: Kovács-Coskun, T. Völgyi, B. Sikari-Nágl I. Robbantásos plattírozású fémlemezek szerkezetének vizsgálati lehetőségei, Műszaki Katonai Közlemény XXII. évf. különsz. 2012. pp.140-144.

szerkezeti acél, a borított alumínium lemez pedig 99,5% tisztaságú (1050A) 10mm vastagságú alap lemez volt.



2. ábra plattírozás elrendezés<sup>11</sup>

A robbantáshoz PERMON 10T ammóniumnitrát alapú, TNT bázisú, kezelés biztos robbanóport alkalmaztunk. A 2. ábra mutatja a robbantásos plattírozás elrendezését, a repülő és alaplemezek távolságát kerettel biztosítottuk, mely a robbanóport is megfelelő helyzetben tartotta. A kapott plattírozott lemez kötési zónáját a 3. ábra mikroszkópos felvétele mutatja. Jól látható, hogy kohéziós kapcsolat jött létre a két fém között. A plattírozott kötésekre jellemző hullám alaktól eltér a kötészóna alakja.



3. Ábra A hosszirányú metszet egy 100x-os nagyítása<sup>12</sup>



4. ábra A kész plattírozott lemez

A mikroszkópos felvételen azonban jól látható, hogy a két fém között egy átmeneti réteg jött létre,

<sup>11</sup> Forrás: KOVÁCS-COSKUN Tünde - VÖLGYI Bálint – SIKARI-NÁGL István: Robbantásos plattírozású fémlemezek szerkezetének vizsgálati lehetőségei; A „Fúrás-robbantástechnika 2012” c. konferencia előadásai, Balatonkenese, pp. 2012, 149-152.

<sup>12</sup> Forrás: VÖLGYI, B. SIKARI-NÁGL I. I. Robbantással plattírozott acél/alumínium lemezpár keménységvizsgálata, Műszaki Katonai Közlöny XXII. évf. 3. szám 2012. pp. 119-143

melyben a két fém keveredik.

Természetesen ebben a zónában az alumínium felületén létrejött oxidrétegből, melyet a robbantásos plattírozás előtt nem sikerült teljesen eltávolítani, intermetallikus vegyületek is találhatóak. A 4. Ábra mutatja az elkészült plattírozott lemezt, melyen látható, hogy a robbantás hatására az alaplemez megfolyt.

## PLATTÍROZOTT LEMEZEK VIZSGÁLATAI

### Keménységmérés

Elvégeztük a plattírozott lemezek keménységmérését valamint kémiai elemzését is. A vizsgálatokból kiderült, hogy a plattírozás során a robbantásból adódó alakváltozás következtében, mind az acél, mind az alumínium keménysége növekedett, a kötészóna egyes területein, feltételezhetően az intermetallikus szigetekben pedig a keménység értéke meghaladta mindkét fém keménységét. A keménységet 1,2kg terheléssel Vickers elvű mikrokeménységméréssel határoztuk meg.

Keménységmérés helye	Mikrokeménység (HV <sub>1,2</sub> )
Borító lemez (acél)	161,8
Kötészóna	228,1
Alaplemez (alumínium)	91,3

1.táblázat A robbantás utáni keménységek átlaga a plattírozott lemez rétegeiben

A plattírozás előtti keménység az acél lemez esetén 120HV volt, míg az alumínium lemezénél 30HV. A keménység növekedése tehát jelentős mértékűnek tekinthető.

### Korróziós kísérletek

A korróziós vizsgálatokat vizes sóoldattal (36% NaCl, 40 °C) végeztük. A próbatesteket a sóoldatban 30 napon keresztül bemeztve tartottuk. A kísérlethez mind a plattírozott lemezből, mind pedig az alumínium és az acél lemezekből kivágott próbatesteket használtuk.

Az acél (S235) 2 mm vastagságú lemezből 3x5 mm darabokat munkáltunk ki. a 10 mm vastag alumínium lemezből azonos méretű 3x5 mm nagyságú próbatesteket vágunk ki. A plattírozott lemezből a többi próbatesttel egyező méretű 3x5 mm darabot vettünk ki.

A kísérletek során számítottunk arra, hogy korrózió során anyagvesztéget tapasztalunk ezért a próbatesteket megmértük a vizsgálat kezdetekor és a végén. A tömeg mérésére Kern 0,1 mg pontosságú analitikai mérleget használtunk. A tömegvesztéget csak az acél próbatestek esetén tapasztaltunk, ez magyarázható azzal, hogy a kísérletben részvevő két fém közül a vasalapú korróziója indul el a tengervíz elektrolitban. Az ötvözetlen alumínium normál hidrogénelektrodra vonat-



kozott potenciálkülönbsége mesterséges tengervíz elektrolitban  $-0,667\text{ V}$ , míg a szénacél potenciálkülönbsége  $-0,307\text{ V}$ <sup>13</sup>.

$$-0,667\text{ V} - (-0,307\text{ V}) = -0,36\text{ V}$$

Az irodalom szerint összeépíthető, ha potenciálkülönbségük abszolút értéke kisebb, mint  $0,25\text{ V}$ . Az alumínium és a vasötvözet (acél) esetében az összeépítés nem javasolt, mivel a potenciálkülönbség abszolútértéke  $0,36\text{ V}$ . A mért tömegvesztésekből számított átlagos százalékos korróziós veszteség  $0,0615\%$ . Ez  $1\text{ t}$  acélszerkezet esetében már  $61,5\text{ dkg}$  tengervíz elektrolit esetében  $30\text{ nap}$  alatt. Acél és alumínium ötvözetek összeépítése nem javasolt.



5. ábra Korróziós kísérlet mesterséges tengervízben<sup>14</sup>

## KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálatok elvégzése után megállapítottuk, hogy a korróziós folyamat megindult az elektrolitban. Az acél próbatestek anyagvesztése tömegméréssel kimutatható. A plattírozott próbatestek esetében megfigyeltük, hogy az elektrolit nem tudott bejutni a két fém közé ezért korróziós jelenséget nem tapasztaltunk. Mérési eredmények alapján levonhatjuk azt a következtetést, hogy ha az összeépítendő alumínium és acél anyagpárt plattírozással kötjük, akkor nem kerülhet elektrolit a két fém közé, ezáltal elkerülhető kontaktkorróziós jelenség. További vizsgálatokat szükséges végezni azonban annak megállapítására, hogy mi történik akkor, ha a különálló, illetve plattírozott elektrolitba merülő lemezekre feszültséget kapcsolunk, ugyanis ez felgyorsíthatja a korróziós jelenséget.

<sup>13</sup> ORGOVÁN László szerk.: Felületvédelmi kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1989. pp.27-34.

<sup>14</sup> KOVÁCS-COSKUN, T. VÖLGYI, B. SIKARI-NÁGL I. Kontaktkorróziós jelenség tanulmányozása acél alumínium párosításánál, Műszaki Tudományos Füzetek FMTU 2013. Kolozsvár pp.201-204.





## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A SZERZŐK KÖSZÖNETET MONDANAK HARASZTI FERENCNEK (ÓBUDAI EGYETEM) A KORRÓZIÓS VIZSGÁLATOK SORÁN NYÚJTOTT SEGÍTSÉGÉÉRT VALAMINT SZALAY ANDRÁSNAK (S-METALLTECH 98 ANYAGTECHNOLÓGIAI KUTATÓ-FEJLESZTŐ KFT.) ÉS LUKÁCS LÁSZLÓNAK A ROBBANTÁSOS PLATTÍROZÁS KÖRÜLMÉNYEINEK BIZTOSÍTÁSÁÉRT.

*A cikk a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások című projekt keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.*

*The project was realized through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund (TÁMOP-4.2.1. B -11/2/KMR-2011-0001).*

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] David LERMAN & Tony CAPACCIO: Navy Finds ‘Aggressive’ Corrosion on New Ship; Bloomberg, 2011. 06 7. <http://www.bloomberg.com/news/2011-06-17/navy-finds-aggressive-corrosion-on-austal-s-combat-ship-1-.html>; (2012.11.09.)
- [2] ORGOVÁN László szerk.: Felületvédelmi kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1989. pp.27-34.
- [3] SZALAY András – PUSKÁS József: Nemesfém-takarékos érintkező anyagok előállítás a robbantásos plattírozással; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982, pp. 172-177.
- [4] BAGYINSZKI Gyula - BITAY Enikő: Hegesztéstechnika I., EME, Kolozsvár, 2010. pp.38.
- [5] SZUNYOGH László szerk.: Hegesztés és rokon technológiák, Kézikönyv; GTE, Budapest, 2007.
- [6] KOVÁCS-COSKUN, T. VÖLGYI, B. SIKARI-NÁGL I. Robbantásos plattírozású fémlamezek szerkezetének vizsgálati lehetőségei, Műszaki Katonai Közlöny XXII. évf. különszám 2012. pp.140-144.
- [7] VÖLGYI, B. SIKARI-NÁGL I I. Robbantással plattírozott acél/alumínium lemezpár keménységvizsgálata, Műszaki Katonai Közlöny XXII. évf. 3. szám 2012. pp. 119-143.
- [8] KOVÁCS-COSKUN, T. VÖLGYI, B. SIKARI-NÁGL I. Kontaktkorróziós jelenség tanulmányozása acél alumínium párosításánál, Műszaki Tudományos Füzetek FMTU 2013. Kolozsvár pp. 201-204.



Kovács Tibor<sup>1</sup>

## **A KATONAI TÁBOROK – KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A REPÜLŐTEREK ÉS A HOZZÁJUK KAPCSOLÓDÓ LÉTESÍTMÉNYEK – ROBBANTÁSOS CSELEKMÉNYEK ELLENI VÉDELMI BIZTOSÍTÓ ÚJSZERŰ FELSZERELÉSEK ÉS ANYAGOK<sup>2</sup>**

*A NATO és ezen belül a Magyar Honvédség (MH) szerepvállalása a nemzetközi békeműveletekben sürgető szükség-szerűséggé teszi a katonai erők megóvása (Force Protection<sup>3</sup>) feladatai új lehetőségeinek kutatását. E terület speciális feladatát jelenti a repülőterek és létesítményeik védelmét biztosító adminisztratív, technikai/műszaki és szervezeti lehetőségek kutatása, amelynek ki kell terjednie a terrorista és más támadások megelőzése lehetőségei vizsgálatára is. Külön hangsúlyossá válik e feladat, ha figyelembe vesszük a NATO és más nemzetközi szervezetek által vezetett többnemzeti, öszhaderőnemi, expedíciós műveletek<sup>4</sup> légiszállítási igényeit, a légiszállítások infrastrukturális vonzatát. Hazánk vonatkozásában e kérdéskörnek az ad külön hangsúlyt, hogy 2012. október 01-től – a NATO felkérésére – hat hónapon keresztül az MH (mintegy 230 katonával) látja el a kabuli nemzetközi repülőtér őrzés-védelmét.*

### **INNOVATIVE EQUIPMENT AND MATERIALS OF MILITARY CAMPS – WITH SPECIAL REGARDS TO THE AIRPORTS AND RELATED FACILITIES – FOR THE PREVENTION OF BLAST ATTACK AND REDUCTION OF BLAST EFFECTS**

*The international peacekeeping operations of NATO including HDF (Hungarian Defense Forces) sets obligately the Force Protection of these forces against of the terrorist's and other one's attacks. Important areas of this task are the somatic protection of the camps, prophylaxis of the various attacks and reduction of these actions'. Within we have to focus to the explosively assassinates and protection against the effects of these. The special task of this protection is to research the administrative, technical/technological and organizational defense facilities of airports. This task emphatic, because the air-transport needing of the multi-national, expeditionary operations led by NATO and other international organizations are great. For us, this issue is particularly pronounced, because since Oct. 01. 2012. – by NATO request – over six months Hungarian soldiers performs the airport guarding of Kabul International Airport.*

<sup>1</sup>Dr. habil. ny. mk. ezredes, címzetes egyetemi tanár, kovacs.tibor@nke-uni.hu

<sup>2</sup>Dr. Kovács Zoltán mk. alez. egyetemi docens, Nemzeti Közsolgálati Egyetem, kovacs.zoltan@uni-nke.hu

<sup>3</sup>„Az FP mindazon rendszabályok és eljárások összessége, amelyek végrehajtásának célja, hogy csökkentsék a saját személyi állomány, a létesítmények, a felszerelések, a hadműveletek és az információk sérülékenységét bármilyen ellenséggel és fenyegetéssel szemben minden helyzetben, ezzel megőrizve a saját cselekvési szabadságot és a saját haderők műveleti hatékonyságát. E célok a kockázati tényezők helyes és folyamatos kezelésével érhetőek el. Kovács Tibor: A túlélőképesség fokozásának műszaki feladatai. Megjelent: Hadtudomány 2004/1. 114-122. oldal  
<sup>4</sup>„Az expedíció egy katonai művelet, amely fegyveres erő által kerül végrehajtásra annak érdekében, hogy feladatát egy külföldi ország területén végrehajtsa. A katonai feladat rendkívül változatos lehet. (humanitárius műveletek, természeti katasztrófák elhárításában való részvétel, nemzetiségi törekvések okozta válsághelyzet megoldásában való részvétel, béketeremtés, békefenntartás, külföldön, stb. Végül is a szó önállóan, vagy az expedíciót tartalmazó kifejezés valamilyen szinten azt sugallja, hogy egy katonai feladatot kell megoldani, nem a saját országunkban, hanem valahol külföldön és mindenképpen ez egy ideiglenes állapot lehet, ami a feladat végrehajtásával véget ér.” Forrás: Sticz László-Csák Zoltán: Az expedíciós képesség és műveletek tartalmi elemeinek vizsgálata. Forrás:<http://habitatio.blogspot.hu/2011/02/expediciok.html> Megnyitva: 2013. 03. 05.

## NÉHÁNY GONDOLAT A KATONAI REPÜLŐTEREKRŐL

Mindenekelőtt tisztáznunk kell, hogy mi is az repülőtér. A repülőtér alapvetően egy olyan sík terület, amely biztosítani tudja a repülőgépek biztonságos üzemeltetéséhez szükséges legalapvetőbb szolgáltatásokat. Legfontosabb eleme a futópálya, amely a repülőgépek le- és felszállásához szükséges akadálymentes nekifutási utat szolgáltatja. A repülőterek területén rendszerint még egyéb építmények is találhatóak. Ezek általában a raktározási, karbantartási célra épített hangárok; az ezeket a futópályával összekötő guruló utak; a légi közlekedés biztonságát szolgáló irányítótorony; valamint egyéb mérő és irányító eszközök, műtárgyak (rádiólokátorok, jelzőfények, meteorológiai eszközök, jelzőablák stb.).

A repülőterek lehetnek polgári, kereskedelmi, katonai vagy vegyes használatúak. A katonai repülőterek általában kiegészülnek egy kényszerleszálló (tartalék) mezővel, mely egy közeli, felszállópálya nagyságú füves vagy betonozott terület.

A katonai repülőterek – rendeltetésük és használatuk sajátosságaiból adódóan – eltérő vonásokkal, paraméterekkel és felépítéssel rendelkeznek az egyéb hasonló rendeltetésű létesítményekhez, és egymáshoz viszonyítva is. Mivel e cikk témája a katonai-, illetve a kettős rendeltetésű expedíciós (katonai és polgári) repülőterekkel kapcsolatos, a következőekben ezekről ejtek néhány szót.

### **Expedíciós rendeltetésű katonai repülőterek<sup>5</sup>**

Külszolgálataim alatt két, teljesen katonai „expedíciós rendeltetésű” repülőtéren volt szerencsém hosszabb-rövidebb ideig szolgálni/tartózkodni. Az egyik az SFOR (Stabilisation Force – Stabilizációs Erő) időszakában a francia vezetésű, mostari Multi National Division (South) – MND(S) (Többnemzetiségű Hadosztály – Dél) volt, ahol is – a mostari rombolt „Öreghíd” köveinek kiemelése alatt voltunk elhelyezve.

A hadosztály törzs, a közvetlenek, a harcoló alegységek egy része, valamint a kiszolgálók számára berendezett tábor a mostari polgári repülőtér mellett (amely ekkor már csak, mint katonai repülőtér működött) települt. A repülőtér biztosította a táborban elhelyezett francia, német, olasz, spanyol, marokkói erők utánszállítását, logisztikai ellátását, a merev- és forgószárnyas repülőeszközök működését, míg a tábor – többek között – a repülő- és földi kiszolgáló személyzet elhelyezését és ellátását.

A másikkal iraki külszolgálatom alatt ismerkedtem meg. Ez a baladi<sup>6</sup> katonai repülőtér volt, ahol átutazásom nehézségei miatt, több mint egy hetet töltöttem el. A baladi repülőtér – az amerikai erő kivonása előtt – egyben 36 000 amerikai katona laktanyájaként is szolgált. „Tizenegy-

---

<sup>5</sup> Jelenleg ilyen, hivatalosan elfogadott fogalom nincs, de a cikk bevezetője és az első részben felvázoltak érthetővé teszik e fogalmat. Mind e mellett meg kell jegyezni, hogy a nemzetközi sajtó is használ hasonló kifejezéseket. „Magas rangú katonai vezetők szerint a tárgyalások középpontjában az Al Dhafra katonai repülőtér áll, mely Abu Dhabitól 32 km-re, délre található, nem mellesleg pedig az amerikai 380. expedíciós wing és egy francia légierős különítmény támaszpontjává is szolgál.” Forrás: Haditechnikai Kerekasztal – Typhoonokat telepítene a Perzsa-öböl térségébe Nagy-Britannia. <http://htka.hu/2012/11/02/typhoonokat-telepitene-a-perzsa-obol-tersegebe-nagy-britannia/> (2013. 02. 17.)

<sup>6</sup>Balad Bagdadtól mintegy 90 kilométerre Szamarától délre, a Tigris folyó partján fekvő település.

ezer láb hosszú<sup>7</sup> kifutópályával rendelkezik, ezért lett éveken át az egyik legfontosabb amerikai logisztikai központ Irakban és a legforgalmasabb repülőterek egyike az egész világon: 2006-ban havi átlagban 27 500 le- és felszállást bonyolított, s ezzel a második helyre került a londoni Heathrow mögött. Egyben ez volt a Victory Base mögött a második legnépesebb laktanya, ahol Irak legjobban felszerelt – 98 %-os túlélési rátával dicsekedhető – kórháza található.”<sup>8</sup>

Amint az e rövid bemutatásokból kitűnik, az „expedíciós katonai repülőterek” jellemzője, hogy szinte kivétel nélkül valamilyen (kisebb-nagyobb, de általában nagyobb) katonai bázis települ közvetlen szomszédságukban, és a tábor valamint a repülőtér szerves egységet képez, amely kihat az őrzés-védelem feladatai megszervezésére, végrehajtására is.

### **Kettős rendeltetésű expedíciós repülőterek**

Úgy gondolom, hogy ha most Magyarországon valaki kettős rendeltetésű (katonai-polgári), expedíciós repülőtérrel tesz említést, többségünk a kabuli nemzetközi repülőtérre asszociál.

„A Kabul központjától hat kilométerre északra található repülőtér vegyes felhasználású, katonai és civil feladatokat egyaránt ellát. Afganisztán legfontosabb légikikötője, ahol az évi utasforgalom meghaladja a kétmillió főt. A repülőtér jelenleg NATO parancsnokság alatt működik, a szövetséges erők féléves periódusokban látják el szolgálati feladataikat.”<sup>9</sup>

Az óriási személy- és teherforgalmat lebonyolító kabuli nemzetközi repülőtér kicsi, de annál forgalmasabb részét képezi az APRON–8 névre hallgató zóna, vagyis a katonai repülőgépek és a helikopterek rakodó- és parkoló területe.

Az ISAF<sup>10</sup> itt, ebben a zónában végzi katonái fogadását és útnak indítását, valamint a hadi felszerelések is e ponton keresztül érkeznek Afganisztánba, illetve indulnak innen.

Ahhoz, hogy az itt dolgozók feladataikat zavartalanul végezhessék, szükség van a repülőtér őrzés-védelmét ellátó katonák munkájára. A katonák szolgálnak a beléptető pontokon, ellenőrzik a belépni szándékozók jogosultságát, átvizsgálják a járműveket; magyarul: megteremtik a feltételeket ahhoz, hogy a bázis területén dolgozók probléma nélkül végezhessék mindennapi munkájukat.

Az előzőekből megállapítható, hogy (az igen érintőlegesen) bemutatott „expedíciós” repülőterek között igen markáns eltérések mutatkoznak, amelyek hatással vannak a repülőterek és a hozzájuk kapcsolódó létesítmények, táborok őrzés-védelmének tervezésére, szervezésére és végrehajtására is. Míg a katonai rendeltetésű repülőtereknél – a hozzájuk kapcsolódó tábor, és esetenként az ott telepített logisztikai központ miatt – a terület nagysága és a funkcionális szervezeti egységek elkülönítése, addig a kettős rendeltetésű repülőtereknél a katonai és civil – utas és cargo – forgalom elkülönítése, valamint a kettős funkció szétválasztása jelenti az elsődleges feladatot.

Az előzőek ellenére kijelenthető, hogy a feladatok közötti különbségek alapvetően az őrzés-védelem érdekében felhasznált anyagok és eszközök típusára nincsenek hatással, az eltérések az eszközök és anyagok felhasználási helyében és mennyiségében mutathatók ki.

---

7 kb. 3350 méter.

8 Forrás: Iraki kézen a Bálád légibázis. <http://nepszava.com/2011/11/amerika/iraki-kezen-a-balad-legibazis.html> (2013. 03. 02.)

9 [www.hirado.hu/Hirek/2013/03/04/12/Afganisztanba\\_indul\\_a\\_kabuli\\_repter\\_orzeset\\_ellato\\_kontingens.aspx](http://www.hirado.hu/Hirek/2013/03/04/12/Afganisztanba_indul_a_kabuli_repter_orzeset_ellato_kontingens.aspx) (2013. 02. 27.)

10 International Security Assistance Force – Nemzetközi Biztonsági Közreműködő Erő

E megállapításból kiindulva a következőkben röviden összefoglalom az expedíciós repülőterek (és a hozzájuk kapcsolódó létesítmények) elleni – elsősorban robbantásos – merényletek végrehajtásának jellemzőit, az objektumok védelmének feladatait, majd bemutatom azon újszerű eszközöket és anyagokat melyek e feladatok végrehajtása során eredményesen alkalmazhatóak.

## **Az expedíciós repülőterek és a hozzájuk tartozó létesítmények elleni merényletek végrehajtásának jellemzői**

Az expedíciós repülőterek ellen elkövetett merényletek alapvető megvalósítási formái az alábbiak lehetnek<sup>11</sup>:

- aknavetőkkal, különböző típusú rakétákkal történő belövések;
- beszivárgással elkövetett merényletek;
- az öngyilkos merénylők által elkövetett robbantások;
- a járművekre mágneses módszerrel felerősített robbanótöltetek indítása;
- a gépjárművek rak- és utasterében elrejtett nagymennyiségű robbanóanyaggal elkövetett pusztítások.

Az expedíciós erők által üzemeltetett és védett repülőterek elleni támadások leggyakoribb megvalósulási formája a különböző tűzeszközökkel történő belövés. Mivel a támadóknak nem kell megközelíteniük a célobjektumot, nem kell átesniük a kötelező átvizsgálásokon, e módszer jelenleg a legelterjedtebb a katonai repülőterek elleni támadások során.<sup>12</sup>

A beszivárgással elkövetett merényletek szintén számos esetben fordultak és fordulnak elő, hiszen ennek sikeres végrehajtása esetében a merénylőnek – az előző elkövetési móddal szemben – nagyobb esélye van a célobjektum, vagy a célszemély megsemmisítésére. „Afganisztán-szerte növekszik az úgynevezett „green on blue” támadások száma is, amikor az ellenség beöltözik a szövetséges erők egyenruhájába (általában az afgán hadsereg uniformisába), majd beszivárognak a NATO-erők közé és merényletet követnek el. Ilyen támadásról 2007-ben még csak két esetben érkezett hír, míg idén már negyvenháromat követtek el”.<sup>13</sup>

Az öngyilkos merénylők által elkövetett merényleteknek több megvalósulási formája van, de első lépésként itt is a célterületre történő bejutás (beszivárgás) a cél, majd annak sikere esetén következik be a robbanóanyag indítása. „...*gondot jelent az újfajta öngyilkos merényletre alkalmas ruházat megjelenése is, amelyet robbanóvegyülettel itatnak át, és csak egy apró, néhány centiméteres, így nehezen felfedezhető gyújtószerkezetet tartalmaz*”.<sup>14</sup>

A járművekre mágneses módszerrel felerősített robbanótöltetek alkalmazása már sokkal nagyobb veszélyt jelent mind a gépjárműben tartózkodókra, mind – egy esetleges rosszul szer-

---

11 A fejezet saját impresszióim, a fellelhető szakirodalom és a kabuli repülőter őrzés-védelmét ellátó magyar kontingens tapasztalatai alapján került összeállításra.

12 Lásd „Egyre több a feladata a kabuli repülőter magyar őreinek”

<http://akadalymentes.kormany.hu/hu/honvedelmi-miniszterium/vedelepoltikaert-es-tervezesert-felelos-helyettes-allamtitkarsag/hirek/egyre-tobb-a-feladata-a-kabuli-repuloter-magyar-oreinek>

13 Lásd u.o.

14 Lásd u.o.





vezett és végrehajtott beléptetés esetén – az adott objektumban (repülőtéren, táborban) elhelyezett személyi állományra. E merényletek jellemzője, hogy a mágneses felerősítésnek köszönhetően a robbanóanyag elhelyezésére sor kerülhetett a lassú városi forgalomban (például motorkerékpárról, a gépjármű mellett elhaladva), vagy a feladat végrehajtás területén várakozó, (például minisztériumok parkolójában) a saját erők által őrizetlenül hagyott gépkocsik vonatkozásában. Az így elhelyezett töltetek indítása vagy időzítéssel, vagy távirányítással valósul meg. Az elhelyezett robbanóanyag tömege alapvetően „nem jelentős” (maximum 1,0 kilogramm), de hatását a gépjármű üzemanyaga, az utastérben lévő lőszer robbanása jelentősen képes felerősíteni.

A repülőterek elleni robbantásos merényletek legveszélyesebb formája a gépjárművek rak- és utasterében elrejtett nagymennyiségű robbanóanyaggal elkövetett támadások. E merényleteknek alapvetően két formáját különböztethetjük meg:

- a robbanótöltet bejuttatása a célterületre (repülőtér);
- nagy tömegű robbanóanyag minél közelebbi robbantása a célterülethez (repülőtérhez).

Az első esetben a merénylők célja az, hogy a jelentős (de még elrejthető) mennyiségű robbanóanyagot bejutassák a védett objektumba és ott azt a kijelölt célterületnél indítsák azt.

A második esetben a cél az, – bízva a robbanóanyag mennyiségében, annak pusztító hatásában – hogy minél közelebb vigyék azt a repülőtérhez, majd azt indítva minél nagyobb pusztítást végezzenek, minél jobban demoralizálják az ott elhelyezett erőket. E kivitelezést erősíti meg az alábbi beszámoló is. *„A kabuli repülőtér közelében egy öngyilkos terrorista pokolgépet rejtő autójával belerohant egy mikrobuszba, amelyben - egyes adatok szerint - légitársaságok külföldi alkalmazottai tartózkodtak. A robbanás következtében 13 személy életét vesztette. A mikrobusz utasain kívül meghalt két gyalogos is.”*<sup>15</sup>

### **A repülőterek és a hozzájuk tartozó objektumok védelmének feladatai a merényletek megvalósulási formái tükrében**

E résznél mindenképpen hangsúlyoznom kell, hogy a repülőterek fizikai (és egyéb) védelme elsősorban nem a robbantásos merényletek hatásai csökkentésére, hanem minden esetben azok megelőzésére kell, hogy irányuljanak.

A védelem (megelőzés) legfontosabb elemei az alábbiak:

- a repülőtér külső, a funkcionálisan elkülönülő létesítmények belső határainak kijelölése és hatásos fizikai védelme;
- a beléptető pontok körültekintő kialakítása;
- a beléptetés alapos megszervezése;
- a nem robbanó műszaki zárrendszer kialakítása;
- a fegyveres őrség lépcsőzetes elhelyezése;
- a belső biztonsági zónák kialakítása;
- az épületek (konténerek) megerősítése;
- fedezékek kialakítása;

---

15 Forrás: Oroszország hangja - [http://hungarian.ruvr.ru/2012\\_09\\_18/88551521/](http://hungarian.ruvr.ru/2012_09_18/88551521/) Letöltve 2013. 03. 05.

- a riasztási rendszer megszervezése és működtetése.

A repülőterek határait minden esetben jól láthatóan körül kell határolni. Természetesen e határ kijelölését nem csak a különböző anyagokból elkészített kerítések és akadályok kialakítása, hanem a figyelemfelkeltő és figyelmeztető táblák kihelyezése, a forgalom „előszűrését” végző áteresztő pontok működtetése és más rendszabályok bevezetése (például járőrök alkalmazása) is magába foglalja.



1. ábra Helikopterbázis kialakítás Irakban

A beléptető pontok körültekintő, biztonságos kialakításánál – a helyi lehetőségek figyelembe vételével – az alábbi rendező elveket kell figyelembe venni:

- a táborhoz (vezetési ponthoz) közvetlenül vezető út helyesi kialakítása;
- a gépjárművek várakozási területének kijelölése;
- a gépjárművek és személyek átvizsgálási pontjának kijelölése és berendezése;
- tüzelőállások kiépítése;
- nem robbanó műszaki zárrendszer telepítése.

A beléptető pontok fontos elemét képezik a különböző típusú nem robbanó műszaki záruk, akadályok, melyek (a teljesség igénye nélkül) az alábbiak lehetnek:

- fém és vasbeton harcokosi akasztók az út vonalvezetésének megváltoztatására, a forgalom lassítására;
- „Jersey” vasbeton akadályok a forgalom terelésére, útirányok lezárására, az utak vonalvezetésének módosítására;
- különböző típusú megállító akadályok (mobil és stacioner tuskés útzárak, mobil és stacioner utakadályok, stb.) a táborba történő nem kívánt behajtás megakadályozására;

- különböző típusú sorompók a behajtások szabályozására;
- lassítók és fekvőrendőrök a beléptető pont megközelítési sebességének csökkentésére, a repülőtéri forgalom biztonságának növelésére.

A belső biztonsági zónát a repülőtér üzemeltetési sajátosságai szerint, a funkcionalitás elvének betartásával kell kialakítani. További feladatot jelent, hogy a repülőtér és az esetleg hozzátartozó táborban, logisztikai központban az elhelyezési épületeket, (konténereket), a közösségi épületeket (étkezdék, mosodák, zárt sportlétesítmények, stb.), a fegyver és lőszer-raktárak, üzemanyag tárolók, az energia központok telepítési helyeit szintén belépési jogosultság szerint kell szeparálni.



2. ábra Lezárt terület Balad repülőtéren

A közösségi épületek és a vezetési pontok épületeinek tetőszerkezetét lehetőség szerint speciális, robbanásálló szerkezetből alakítsuk ki. Sajnos e szerkezetek nagyon drágák, építésük időigényes, és elsősorban a meredek röppályájú (például aknavető) tűzeszközök lövedékei ellen nyújtanak védelmet.

Fontos feladatként jelentkezik a vasbeton fedezékek kialakítása, amelyek az őrség, a kiszolgáló személyzet, valamint a közösségi épületek közelében tartózkodók részére nyújtanak védelmet a robbanásokból származó káros hatásokkal, a lövedékekkel és a repeszekkel szemben.

A következőkben – a cikk címével összhangban – bemutatom azon újszerű eszközöket és anyagokat, amelyeket e feladatok sikeres végrehajtása érdekében fejlesztettek ki.



## A KATONAI TÁBOROK – KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A REPÜLŐTEREK ÉS A HOZZÁJUK KAPCSOLÓDÓ LÉTESÍTMÉNYEK – ROBBANTÁSOS CSELEKMÉNYEK ELLENI VÉDELMI BIZTOSÍTÓ ÚJSZERŰ ANYAGOK ÉS FELSZERELÉSEK

E fejezetnél mindenekelőtt hangsúlyoznom kell, hogy a NATO, de elsősorban az Amerikai Védelmi Minisztérium (Department of Defense – DoD) által kiadott utasításokban és segédletekben a katonai táborok és repülőterek üzemeltetésénél és kiszolgálásánál is az FP előírásai dominálnak. E kiadványokban külön hangsúlyt kap a védelmi építmények kialakítása, azok anyagainak és eszközeinek felhasználása. Bármilyen furcsán hangzik, e tekintetben még mindig a „T” falak<sup>16</sup> a HESCO bástyák<sup>17</sup>, vagy mint a jó öreg homokzsákos megoldások élveznek elsőbbséget. Mivel ezen anyagok és felépítmények alkalmazása a szakirodalomban jól feldolgozottak, felhasználásukról csak érintőlegesen – a téma megértése szempontjából szükséges mértékben – ejtek szót.

A cikk és e fejezet címében megfogalmazottakkal összhangban, a továbbiakban az „újszerű” védelmi építményekről és az ezekhez, valamint a különböző átvizsgálásokhoz szükséges anyagokról és eszközökről ejtek szót.

### **Védelmi létesítmények**

Az FP alapelveinek megfelelően – bármilyen katonai feladatot tekintve – az élőerő megóvása az elsődleges cél. A katonai- vagy kettős rendeltetésű repülőterek vonatkozásában e feladat kiterjed az átvonuló csapatok, a kiszolgáló személyzet és az őrzés-védelem feladatait ellátó katonák védelmére, amelyre az alábbi építmények kialakítását javasolják.

### **Hullámlemezes fém fedezék, fal (Corrugated Metal Reinforcements)<sup>18</sup>**

A szerkezet kialakítása alapvetően nem sok eltérést mutat a HESCO bástyákkal szemben, viszont kialakításából, anyagából adódóan lényegesen nagyobb védelmi képességgel rendelkezik annál. A hullámlemezes fém fedezéket kerítésként, támfalként, vagy fedezékek kialakításánál használhatjuk. Előnye, hogy a gyártó képes – a kívánt építmény paramétereinek megfelelően – összeszerelve és feltöltve, vagy csak a kívánt méretben – helyszíni összeszereléssel – a megrendelt elemeket leszállítani. Az anyag erősségéből adódóan a hullámlemezéből készült fém fedezék (fal) – a megfelelő kialakítás mellett – képes ellenállni a (60-120 mm-es) aknavető gránát közeli becsapódásának, sőt - a bemutatott teszteredmények alapján – nagyban csökkenti az RPG-7 páncéltörő rakéta pusztító hatását is. Mint azt a gyártó megjegyzi, a többoldalú felhasználást szem előtt tartva a hullámlemezes falat – a HESCO bástyához hasonlóan más feladatoknál (például útzárak kialakításánál) is felhasználhatjuk.

### **Elemes rendszerű vasbeton fal (Modular Reinforced Concrete Wall)**

16 Bővebben a: [www.t-walls-of-kuwait-iraq.com](http://www.t-walls-of-kuwait-iraq.com) weboldalon.

17 Lásd Szabó Sándor, Kovács Tibor: Új HESCO építmények című cikkét. Forrás: <http://hbk.uninke.hu/downloads/kiadvanyok/mkk.uninke.hu/pdfanyagok2012september/02%20UJ%20HESCO%20EPITMENYEK.pdf>

18 Lásd: Joint Forward Operations Base (JFOB) Force Protection Handbook. A publication of the Joint Staff J3 Deputy Directorate for Antiterrorism/Homeland Defense Antiterrorism/Force Protection Division. Second printing 2006. 8-11. oldalt

Ha ezt az „újszerű” védelmi építményt tekintjük, megállapíthatjuk, hogy a „T” falak továbbfejlesztett változatával állunk szemben. Az eltérés az elemek méretében és a felhasználási javaslatban mutatkozik meg. Felhasználására a leírások az alábbi javaslatot teszik:

- az emberek, a járművek fizikai védelme;
- a beláthatóság megakadályozása;
- a gépjármű forgalom szabályozása;
- építmények falazatának kialakítása.



3. ábra Különböző építmények kialakítása modulrendszerű vasbeton elemekből<sup>19</sup>

Mint az a fotókból is megállapítható, az elemes rendszerű vasbeton fal alkalmazási lehetősége lényegesen meghaladja a „T” falakét, viszont drágábbak, összeszerelésük speciális felszerelést és szaktudást igényel.

### **Üvegszál megerősítésű fal fa tartószerkezettel tartószerkezet (E-glass and U-Picket Walls - EUW)**

Természetes nem új, viszont a katonai felhasználásban újszerűnek számít, az üvegszál felhasználása, amelyet – a forgalmazó az építmény szerkezetéhez megfelelő méretben – szállít. A különböző méretben legyártott elemek elsősorban a személyi állomány védelme érdekében kialakított építményeknél kerülnek felhasználásra. Az üvegszál elemek könnyű megmunkálhatósága biztosítja a sokrétű felhasználhatóságot. A különböző méretnek, a könnyű súlynak köszönhetően mind épületen belüli, mind épületen kívüli védelmi építmények kialakítására alkalmas. Az EUW elsősorban a HESCO bástyák kiváltására alkalmas, de a méretválaszték miatt felhasználása sokkal szélesebb körű. Természetesen az üvegszál fal (a szállítási, a beszerelési költségeket figyelembe véve) nagyon drága, de védelmi képessége – „az ár értékarányt” figyelembe véve – meglehetősen jó.

### **Helikopter fedezék (Helicopter Revetments)**

A nyílt területen elhelyezett helikopterek – földi védelme érdekében – HESCO bástyákból, homokzsákokból, fa szerkezeti elemekből, de akár talajból is helikopter fedezékeket alakíthatunk ki. A megoldás újszerűsége nem a felhasznált eszközben és anyagban mutatkozik meg,

<sup>19</sup> Forrás: [http://www.tatasteelconstruction.com/en/products/modular\\_and\\_light\\_steel/bi-steel/](http://www.tatasteelconstruction.com/en/products/modular_and_light_steel/bi-steel/) (2013. 03.10.)



hanem abban, hogy a kézikönyvek és leírások pontos utasítást nyújtanak ahhoz, hogy egy adott típusú helikopterhez – pl. Apache/Blackhawk, Kiowa Warrior, Cobra, stb. – mekkora és milyen módon kialakított fedezéket kell kiépítenünk. E fedezékek megfelelő védelmet nyújtanak a kézi fegyverek tüze, valamint a kollektív fegyverek lövedékeinek repeszhatásai ellen akkor, amikor a repülő eszközök a legsebezhetőbbek, azaz a földön.



4. ábra Fa szerkezeti elemekből kialakított helikopter fedezékek

### **Műanyag burkolatú talajfeltöltésű ládából készült fal (Plastic Bin Soil Revetment Wall - PBSRW)**

Lényegében a szerkezet kifejlesztéséhez szintén a HESCO bástya adott ötletet. A két szerkezet közötti lényegi eltérés a méretben<sup>20</sup>, az összeszerelésben és a felhasználási lehetőségekben mutatkozik meg. Míg a HESCO bástya elsődlegesen külső (kerítés, fedezék, stb.) alkalmazásra került kifejlesztésre, addig a PBSRW belső védelmi feladatokat hivatott ellátni. Ennek megfelelően kiválóan alkalmas különböző közösségi létesítmények (terminálok, étkezdék, irodák, stb. szekcióinak kialakítására, a bent tartózkodók szeparált védelmére. Méretéből következően összeszerelése könnyű. Anyagának és a talajfeltöltésnek köszönhetően ellenáll a 60-120 milliméteres aknavető gránátok repeszeinek, nagyban csökkenti a robbantásos cselekmények káros hatásait.

### **Faszerkezetű válaszfal (Wooden Partition Wall – WPW)**

A faszerkezetű válaszfal szintén beltéri alkalmazásra került kifejlesztésre. A WPW valamivel több, mint 7,5 centiméteres rétegelt falemezből került kialakításra. A lemezeket csavarokkal fogták össze annak érdekében, hogy az így kialakított üreg talajjal feltölthető legyen. A válaszfalakat átmenő csavarokkal kell a padlózathoz rögzíteni annak érdekében, hogy egy esetlegesen bekövetkező robbanás, vagy más támadás hatására ne mozduljanak el, ne boruljanak fel. A PBSRW-hez hasonlóan szintén kiválóan alkalmas különböző közösségi létesítmények szekcióinak kialakítására, a bent tartózkodók szeparált védelmére. A végrehajtott teszteredmények szerint a faszerkezetű válaszfal lényegesen lecsökkenti a 120 milliméteres aknavető-gránát repeszeinek pusztító, valamint a robbantásos cselekmények káros hatásait.

### **Földfelszínre telepített fedezékek (Overhead Cover, Duck&Cover)**

A különböző – a személyi állomány védelmét biztosító – földfelszínre telepített védelmi

<sup>20</sup> Egy műanyag burkolatú talajfeltöltésű láda megközelítőleg 210 centiméter széles, 150 centiméter magas és mintegy 25 centiméter széles.

építmények nem újszerűek, ennek ellenére – megerősítésük, kialakításuk új elveit figyelembe véve úgy gondolom, hogy mégis illik róluk néhány szót ejteni. A fedezékek kialakításához felhasznált anyagok igen széles skálán (fa, fém, vasbeton, geotextília, vagy ezek kombinációja) mozoghatnak. A katonai repülőtereken, a hozzájuk kapcsolódó létesítményeknél, táboroknál a mobil vasbeton fedezékek használata élvez elsőbbséget. Ezek védelmi képessége – elsősorban az anyag erősségének köszönhetően – jónak mondható. Mindezek ellenére továbbfejlesztésükre, védelmi képességük növelésére – a földbeágyazott építmények talajfeltöltésének védőhatását reprodukálva – kialakításuk továbbgondolásra került. Éppen ezért a meglévő vasbeton fedezékek oldalait egy rétegben, tetőszerkezetét két rétegben megerősítik. Az oldalak megerősítése általában homokzsákokkal, míg a földem egy robbantást kiváltó réteggel (predetonation layer) és egy fedő vagy teherelosztó réteggel (shielding layer) kerül megerősítésre. A robbantás kiváltó réteg általában nagy szilárdságú fémszerkezet, míg a teherelosztó réteg általában homokzsák, vagy geotextília. Az építmények rendeltetése alapján e védelmi létesítményeket két kategóriába sorolják, úgymint „belső védelmi létesítmények – Internal Protection” valamint „külső védelmi létesítmények – External Protection”. Az első esetben (Internal Protection) a létesítmény nem a fedezék szerepét tölti be, hanem olyan közösségi helyiség (étkezdé, katonai bolt, edzőterem, stb.) ahol a védelem a tömegesen együtttartózkodó személyi állomány sérülését hivatott szolgálni, míg a második esetben (External Protection) a szabadban feladatot végrehajtóknak biztosít lehetőséget a védelemre. Manapság a fedő (vagy teherelosztó) réteget habpanelből alakítják ki, amely a számos elvégzett kísérlet alapján megfelelő védelmet biztosít a harctéri fegyverek hatásával szemben. Mind e mellett meg kell jegyezni, hogy a hab vastagságát szilárdságtani szempontból nehéz kategorizálni (mérétezni), így a különböző fegyverek esetleges pusztító hatása sem kiszámítható.



5. ábra Duck&Cover homokzsák megerősítéssel

## Utólagosan felszerelhető védőtető (SEAhut Overhead Cover Retrofit - SOCR)

A nyílt védelmi építmények megerősítésére, védelmi képességük növelésére fejlesztették ki az „utólagosan felszerelhető védő tetőt”. A tető – mint a védelmi építmények része – alapvetően egy 3 rétegű üvegszálból készült<sup>21</sup> teherviselő födém. Kiválóan alkalmas nyílt védelmi építmények befedésére, vagy a különböző szerkezeti elemekből épített létesítmények utólagos fedésére. Nevét a „South East Asia hut” (délkelet ázsiai kunyhó) elnevezés rövidítéséből kapta, amely a tetőszerkezet formájának kialakítására utal. A szabvány harctéri építési szerkezet (Theater Construction Management System - TCMS) 4,9x8,8 méteres elemekből áll. A szerkezeti elemek méretéhez igazodó acél tartószerkezet biztosítja az elemek rögzítését. Természetesen mind a tetőelemek, mind az acél tartószerkezet a helyszínen – az építmény méretéhez igazodva – vágható, szabható. Elméletben a tetőszerkezet ellenáll a 120 milliméteres aknavető gránát közvetlen találatának, de ennél nagyobb űrméretű fegyver lövedékének hatása ellen nem lett kipróbálva.

A szakirodalmat áttekintve a különböző védelmi építmények, a kialakításukhoz szükséges anyagok és elvek felsorolását folytathatnám, hiszen még nem esett szó:

- a sátrak védelme érdekében kialakított eszközökről és anyagokról;
- részletesen a személyi óvóhelyekről, a védett logisztikai építményekről és a megerősített hangárokról;
- a többrendeltetésű védelmi komplexumokról;
- a fedezéssel kombinált tüzelőállásokról;
- a meglévő épületek (építmények) megerősítéséről.



6. ábra Átvonuló szállás védelmi kialakítás Balad repülőtéren

<sup>21</sup> Lásd E-glasses



Mivel e téma – a védelmi építmények, azok kialakításával kapcsolatos elvek és eljárások sokszínűsége miatt – igen szerteágazó, a következőkben (szintén nem a teljesség igényével) röviden kitérek a repülőterek és a hozzájuk kapcsolódó létesítmények védelmét biztosító újszerű anyagok bemutatására.

## **A katonai táborok védelme során felhasználható újszerű eszközök**

### ***Talajmegerősítő eszközök***

Az alap nélküli építmények kialakításánál, tábori utak építésénél, térburkolatok kialakításánál eredményesen használhatjuk a különböző típusú talajmegerősítő eszközöket, amelyek anyaga, kialakítása, méretválasztéka lehetővé teszi a szükséges térburkolat kialakítását. A katonai alkalmazásban legismertebb, a katonai követelményeknek leginkább megfelelő talajmegerősítő eszközök az alábbiak:

- az AM2 Landing Mat – „Partraszálló Hely” megnevezésű hullámlemez elem, különböző méretben;
- a Geocell Cellular Confinement System (Sands and Soils with CBR Greater than 4%) – panel rendszerű, cellás kialakítású geo rács;
- a Dura-Base Material – nedves talajok megerősítésére szolgáló, szellőztető rendszerű műanyag elem;
- az Operational Foldable Fiberglass Mat – összecukható üvegszálal talajmegerősítő lemez;
- az Ace Glass Reinforced Mat – üvegszállal megerősített talajjavító elem.



7. ábra Útmegerősítés AM2 Landing Mat-tal



8. ábra Útmegegerősítés Dura Base Mat-tal

Ezen anyagok katonai alkalmazás során kipróbáltak. A felhasználás célja szerint az elemek a gyártók által kiadott mérettáblázat alapján megrendelhetők.<sup>22</sup>

Mivel a védelmi építmények anyagaira a „Védelmi létesítmények” alfejezetnél részletesen kitértem, valamint a nem robbanó műszaki záruk e cikkemnek nem témája, a továbbiakban azon eszközöket és anyagokat mutatom be, amelyek a repülőtérre történő beléptetést, a zónák közötti mozgást teszik biztonságosabbá.

### ***Forgalomirányító, ellenőrző, detektáló eszközök***

#### **Forgalomirányító felszerelés – REF<sup>23</sup> Escalation of Force (EOF) Kit**

A készlet az amerikai haderő expedíciós műveleteihez lett kifejlesztve annak érdekében, hogy csökkentse – mind a polgári, mind a katonai – áldozatok számát.<sup>24</sup> A közelmúlt katonai műveletei bebizonyították, hogy a békeműveletek egyik legnagyobb veszélyforrása a közlekedés. Ennek megfelelően e készlet arra lett kifejlesztve, hogy a béketámogató műveletekben résztvevő katonai erők (elsősorban a járőrök, a beléptető- és ellenőrző-áteresztő pontoknál szolgálatot teljesítők), valamint a velük kapcsolatba lévő (vagy ott tartózkodó) polgári lakosság közlekedésből származó sérülését minimalizálják. A feladat jellegéből adódóan a DLA<sup>25</sup> megbízása alapján kifejlesztésre került az alcímben megnevezett készlet, melynek két típusát különböztetjük meg, úgymint:

- ellenőrző-áteresztő (Traffic Control Point/ Check Point) pontok készlete;
- szállítmánykísérő (convoy kits) készlet.

22 Bővebben: Joint contingency Operations Base (JCOB) Force Protection Handbook (GTA 90-01-010). A publication of the Joint Staff J3 Deputy Directorate for Antiterrorism/Homeland Defense Antiterrorism/Force Protection Division. October 2007. 5-1.-5-7.

23 REF – Rapid Equipping Force – könnyű felszerelésű erő.

24 Bővebben: <http://www.adsinc.com/company/solutions/kits-systems/eof-kits>. Letöltve: 2013. 03. 08.

25 DLA – Defense Logistics Agency – Amerikai Védelmi Logisztikai Ügynökség.





	Ellenőrző-áteresztő pont eszközei	Szállítmánykísérő felszerelés eszközei
Sziréna	-	2 db
Hangszóró	-	1 db
Zöld jelzőlámpa	1 db	4 db
Közlekedési lámpa	2 db	-
Forgalom elterelő kúp	6 db	-
Tüskés útakadály	1 db	-
„Fekvőrendőr”	2 db	-
Fegyverre szerelhető zseblámpa	-	4 db
Reflektor/keresőlámpa	-	2 db
Szakutasítás <sup>26</sup>	8 db	8 db
Forgalomirányító tárcsa	2 db	-

Természetesen a készlet – mint azt a gyakorlati tapasztalatok is bizonyítják – eredményesen használhatóak a repülőterek forgalmának irányítása során is.

### **Ellenőrző-áteresztő pont felszerelés – ECP/Deliberate Check Point Kit**

Általában az előzőekben bemutatott forgalomirányító felszereléssel együtt kerül alkalmazásra. A készlet az alábbi eszközökből áll:

- térvilágító felszerelés;
- generátor;
- hangosbeszélő (megafon);
- kézilámpák;
- kézi fémkereső detektor;
- kereső (átvizsgáló) tükrök;
- ellenőrző-áteresztő pont jelzések (táblák);
- gyorstelepítésű drótakadályok;
- audiovizuális jelzőeszközök (sziréna, lézer jelzőfény, stb).

A készletben lévő eszközök mennyisége változó, nagyban függ az ellenőrző-áteresztő pont méretétől, felépítésétől, a forgalom intenzitásától, stb.

### **Expedíciós csomag – Expeditionary Pack**

A csomag (készlet) érdekessége, hogy elsősorban nem eszközöket, hanem – a váratlan külszolgálati feladatokra történő elvonulás során – kézikönyveket, adatbázisokat, szakutasításokat tartalmaz, amelyek hasznos információkkal szolgálnak a beléptető pontokon szolgálatot teljesítőknek. A csomag az alábbi segédleteket és anyagokat tartalmazza:

- CVS27 ellenőrző program használati utasítás (nyomtatott, laminált kivitel);
- CVS ellenőrző program használati utasítás (DVD-n);
- a DoD28által kiadott gépjármű átvizsgálást segítő ellenőrző lista;
- az USMC29 FMFRP 7-37 számú utasítása a gépjárművekben elhelyezett robbanóesz-

26A fordítás nem pontos, talán az „emlékeztető” pontosabb kifejezés, de a GTA (Graphic Training Aids) Cards kifejezés (szó szerint grafikus emlékeztető eszköz) számos dolgot jelenthet.

27 Számítógépes Gépjármű Ellenőrző Rendszer – Computer Vehicle System – CVS.

28Az Amerikai Egyesült Államok Védelmi minisztériuma (Department of Defense).

29Az Amerikai Egyesült Államok Tengerészgyalogos Hadteste – United States Marine Corps – USMC.

közök felderítésére;

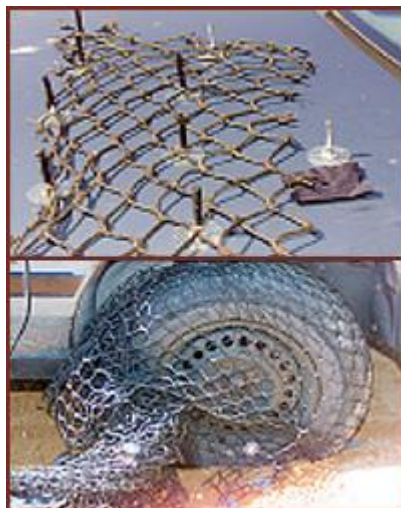
- az USN30/USMC közös kiadványa az antiterrorista támadások elleni FP védelemről.

A szakutasítások és segédletek mellett természetesen a készlet – a robbanóeszközök felkutatásához szükséges eszközöket is tartalmazza, amelyek az alábbiak:

- zseblámpával megvilágított átvizsgáló tükör (2 db);
- átvizsgáló tükör megvilágítás nélkül (1 db);
- teleszkópos átvizsgáló tükör (2 db);
- lámpacsomag;
- világító berendezés;
- infravörös éjjellátó készülék;
- robbanóanyag detektáló készülék;
- az időjárás hatásainak ellenálló csomagoló láda.

### **Járművek elleni könnyű megállító felszerelés – Vehicle Light Arresting Device (VLAD)**

A VLAD az ideiglenes jelleggel működtetett ellenőrző-áteresztő pontok hatásos feltartóztató akadály. Kialakításából, tömegéből adódóan alkalmas arra, hogy két személy telepíthesse azt és az eszköz segítségével bármilyen közúti járművet megállítson. Az akadály nem más, mint egy tüskékkel ellátott erős drótháló, amely extrém megállító erővel rendelkezik. A megállító hatást úgy fejt ki, hogy amennyiben az átjáróban kifektetett VLAD-ra a gépjármű ráhajt, az a tüskéivel a kerekbe hatol, kiszúrja azt, valamint a kerékre felcsavarodva lassítja a gépjármű mozgását, vagy teljesen lehetetlenné teszi az út folytatását.



9. ábra: A VLAD feltartóztató hatása<sup>31</sup>

### **Hordozható gépjármű elleni akadály – Portable Vehicle Arresting Barrier (PVAB)**

A PVAB egy olyan „nem halálos” műszaki akadály, amely meggátolja az illetéktelen kerekes járművek behatolását a védett területre. A felszerelés a rögzítő oszlopokból és az úttesten keresztben kifeszített, nagy szakítószilárdságú hálóból áll. Az oszlopok helyes rögzítése, vala-

30Az Amerikai Egyesült Államok haditengerészete

31[http://www.pica.army.mil/pmccs/combatmunitions/nonlethalsys/nonlethalcasnet/counterper/4nlc\\_vlad.htm](http://www.pica.army.mil/pmccs/combatmunitions/nonlethalsys/nonlethalcasnet/counterper/4nlc_vlad.htm)

mint a háló szakítószilárdsága biztosítja, hogy a kerekes járművek csak a háló leengedése után legyenek képesek útjukat a védett terület felé folytatni.



10. ábra PVAB megállító hatása<sup>32</sup>

### Tactical UAV<sup>33</sup>

Ezen repülő eszközök kiválóan alkalmasak a nagy területen elhelyezkedő repülőterek határainak folyamatos ellenőrzésére. A robotrepülőgépek között a legkisebbnek számító eszköz 18 kilogrammos tömegével képes elérni a 27 kilométer óránkénti sebességet és a több mint 1500 méteres repülési magasságot. Tömegükből adódóan mintegy 15 órás folyamatos működésre képesek. E kisméretű repülő eszközök – méretükből, hatótávolságuk limitációjából, kifejlesztésük sajátosságaiból adódóan kiválóan alkalmasak nagy területű katonai objektumok határainak ellenőrzésére.

A robbanószerkezetek detektálására, hatástalanítására és megsemmisítésére szintén különböző típusú készletek kerültek kifejlesztésre. Ezek közül – a repülőtéri alkalmazás lehetőségeit is figyelembe véve – említést érdemel a **Remote Access Kit (RAK)**<sup>34</sup> amely a robbanószerkezetek elmozdítását, a megsemmisítés helyére történő elmozgatásukat hivatottak biztosítani.

Összeállítását tekintve sokkal sokoldalúbb és hasznosabb a **robbanóanyag felderítő készlet**, amely a robbanóanyagok és eszközök (pl. aknák) gépjárművekben való robbanószerkezetek felkutatására került kifejlesztésre. A készlet többek között az alábbi eszközöket tartalmazza:

<sup>32</sup><https://www.google.hu/search?q=portable+vehicle+arresting+barrier&hl=hu&client=firefox-a&rls=org.mozilla>

<sup>33</sup> Unmanned Aerial Vehicle - pilóta nélküli repülőgép

<sup>34</sup> Szabad fordításban: távoli hozzáférést biztosító felszerelés. A felszerelés összeállításának elveit, a felhasznált anyagokat tekintve nagy hasonlóságot mutat az MH-ban rendszeresített aknamező felderítő és megsemmiítő készlethez.

- kézi fémdetektor;
- kihúzható nyelvű átvizsgáló tükrök különböző méretben;
- aknaszonda;
- lézeres távmérő;
- antisztatikus kiemelő villa;
- antisztatikus aknahorog;
- drótvágó;
- zseblámpák
- akkumulátoros csavarhúzó.

A készlet – a benne elhelyezett eszközöknek köszönhetően – kiválóan alkalmas a gépjárművekben elhelyezett robbanószerkezetek felkutatására és eltávolítására.

### **Hőérzékelő kamerák – Thermo Vision Cameras**

Ez az eszköz elektronikusan érzékeli az adott objektum és a benne elhelyezett tárgyak közötti hőmérséklet különbséget. A készülék alkalmas gépjárművek, személyek, csomagok és járőrözési területek átvizsgálására. Érzékenységükre jellemző, hogy az elrejtett fegyvert vagy bombát akár több, mint egy méter vastag takaróréteg alatt is kimutathatják, de nem képesek az erősen fényvisszaverő felületek (pl. üveg) alatt elrejtett szerkezeteket detektálni.

## **ÖSSZEGZÉS**

Mivel az expedíciós műveletek száma nem csökken, sőt a jövőben – a jelenlegi tendenciákat figyelembe véve – az Afrikai Unió (AU) felkéréseit és az Európai Unió (EU) aktívabb részvételét tekintve – csak növekedni fog<sup>35</sup> ezért a NATO tagországoknak, így hazánknak is fel kell készülnie a repülőterek, azok létesítményei és a hozzájuk tartozó katonai táborok védelmére, a speciális FP feladatok végrehajtására. Természetese e téma igen nagy és szerteágazó, így ebben a cikkben csak arra vállalkoztam, hogy bemutassam azon új felszereléseket és anyagokat, amelyek megítélésem szerint e feladatok (a katonai- és kettős rendeltetésű repülőterek védelme) végrehajtása során (is) eredményesen alkalmazhatóak.

Természetesen az előzőekben bemutatott anyagok, szerkezetek és eszközök csak kiragadott példák azon felszerelések halmazából, amelyek katonai alkalmazásra, az FP feladatok minél sikeresebb végrehajtása érdekében kerültek kifejlesztésre. Az is nyilvánvaló, hogy ezek döntő többsége nem csak a katonai repülőterek védelmére lett kifejlesztve, de ott is eredményesen alkalmazhatóak. Remélem, hogy e rövid cikkel sikerült egy olyan gondolatébresztő áttekintést adnom arról, hogy – az MH jövőbeli expedíciós szerepvállalásának változása, új feladatok megjelenése esetén – milyen eszközökkel és anyagokkal oldhatjuk meg feladatainkat, illetve milyen készletek összeállítása válhat szükségessé.

---

<sup>35</sup>Lásd: CONSILIUM – EU Operations. Forrás: <http://www.consilium.europa.eu/eeas/security-defence/eu-operations?lang=hu> Megnyitva: 2013. 03. 05.

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] KOVÁCS Tibor: A túlélőképesség fokozásának műszaki feladatai, *Hadtudomány* 2004/1. 114-122. oldal.
- [2] STICZ László-CSÁK Zoltán: Az expedíciós képesség és műveletek tartalmi elemeinek vizsgálata, <http://habitatio.blogspot.hu/2011/02/expediciok.html> (2013. 03. 05.)
- [3] Haditechnikai Kerekasztal – Typhoonokat telepítene a Perzsa-öböl térségébe Nagy-Britannia, <http://htka.hu/2012/11/02/typhoonokat-telepitene-a-perzsa-obol-tersegebe-nagy-britannia/> (2013. 02. 17.)
- [4] Iraki kézen a Bálád légibázis, <http://nepszava.com/2011/11/amerika/iraki-kezen-a-balad-legibazis.html> (2013. 03. 02.)
- [5] [www.hirado.hu/Hirek/2013/03/04/12/Afganisztanba\\_indul\\_a\\_kabuli\\_repter\\_orzeset\\_ellato\\_kontingens.aspx](http://www.hirado.hu/Hirek/2013/03/04/12/Afganisztanba_indul_a_kabuli_repter_orzeset_ellato_kontingens.aspx) (2013. 02. 27.)
- [6] „Egyre több a feladata a kabuli repülőtér magyar őreinek”  
<http://akadalymentes.kormany.hu/hu/honvedelmi-miniszterium/vedelempolitikaert-es-tervezesert-felelos-helyettes-allamtitkarsag/hirek/egyre-tobb-a-feladata-a-kabuli-repuloter-magyar-oreinek>, (2013. 03. 07.)
- [7] Oroszország hangja - [http://hungarian.ruvr.ru/2012\\_09\\_18/88551521/](http://hungarian.ruvr.ru/2012_09_18/88551521/) (2013. 03. 05.)
- [8] [www.t-walls-of-kuwait-iraq.com](http://www.t-walls-of-kuwait-iraq.com) (2012. 12. 18)
- [9] SZABÓ Sándor, KOVÁCS Tibor: Új HESCO építmények, <http://hkk.uni-nke.hu/downloads/kiadvanyok/mkk.uninke.hu/pdfanyagok2012september/02%20UJ%20HESCO%20EPI-TMENYEK.pdf> (2013. 03. 04)
- [10] Joint Forward Operations Base (JFOB) Force Protection Handbook. A publication of the Joint Staff J3 Deputy Directorate for Antiterrorism/Homeland Defense Antiterrorism/Force Protection Division. Second printing 2006. 8-11. oldal.
- [11] [http://www.tatasteelconstruction.com/en/products/modular\\_and\\_light\\_steel/bi-steel/](http://www.tatasteelconstruction.com/en/products/modular_and_light_steel/bi-steel/) (2013. 03.10.)
- [12] Joint contingency Operations Base (JCOB) Force Protection Handbook (GTA 90-01-010). A publication of the Joint Staff J3 Deputy Directorate for Antiterrorism/Homeland Defense Antiterrorism/Force Protection Division. October 2007. 5-1.-5-7.
- [13] <http://www.adsinc.com/company/solutions/kits-systems/eof-kits>. (2013. 03. 08.)
- [14] [http://www.pica.army.mil/pmccs/combammunitions/nonlethalsys/nonlethalcapset/counterper/4nlc\\_vlad.htm](http://www.pica.army.mil/pmccs/combammunitions/nonlethalsys/nonlethalcapset/counterper/4nlc_vlad.htm) (2013. 03. 11.)
- [15] <https://www.google.hu/search?q=portable+vehicle+arresting+barrier&hl=hu&client=firefox-a&rls=org.mozilla> (2013. 03. 11.)
- [16] CONSILIUM – EU Operations, <http://www.consilium.europa.eu/eeas/security-defence/eu-operations?lang=hu> (2013. 03. 05.)



Dudás Zoltán<sup>1</sup>

## A HUMÁN TÉNYEZŐK ÉS A CRM ELVEK JELENTŐSÉGE A TÁVIRÁNYÍTÁSÚ PILÓTANÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK MŰVELETEIBEN<sup>2</sup>

*A pilótanélküli távirányítású repülés a repülés az egyik legdinamikusabban fejlődő területe. A RPA-k alkalmazói köre a repülés egyre nagyobb részét érinti. A repülési ágazat technikai fejlődése és az eszközök terjedése olyan sebességgel, amit a szabályozás csak lemaradással tud követni. Az RPA számos alkalmazási módja közül egyik esetében sem garantálható a műveletek biztonsága a rendszerek elemeinek - így az emberi tényezőnek - alapos vizsgálata és elemzése nélkül. A tanulmány a TEM módszernek segítségével megkísérli feltárni az RPA alkalmazás humán tényezőinek sajátosságait, valamint a veszélyforrások vizsgálatán keresztül, a személyzet által elkövethető alkalmazás specifikus hibákat. Végezetül javaslatot tesz a hibák kivédésére a CRM kiképzés módszereinek az RPA személyzetre való adaptációja útján.*

### **RELEVANCE OF HUMAN FACTORS AND CRM PRINCIPLES IN RPA OPERATIONS**

*The unmanned remotely piloted aviation is one of the most dynamically developing branches within the global aviation domain. The Remotely Piloted Aircraft operators take a growing percentage of the total number of aviation operators. The technical development is so rapid these days, that the regulation simply cannot keep up with. RPAS has several applications, but their safety could not be guaranteed without a proper scrutiny an analysis of each system elements, even the human elements. Using the TEM idea this paper attempts to unveil the typical HF features of RPA ops. Examining the threats and the possible RPA specific human errors, CRM adaptation for RPA personnel is advised.*

## BEVEZETÉS

A távirányítású repülés fejlődése napjainkban egyre gyakrabban veti fel a biztonság kérdését. Bár az eszközök elterjedése és felhasználása a repülés számos területén, így a polgári és az állami szférában is egyre jelentősebb, a kifinomult eszközök mögött még nem minden esetben láthatók a hagyományos pilótás repüléshez hasonló biztonsági garanciák, mint például a jogilag szabályozott üzemeltetés, képzés és hatósági engedélyezés. Bár maguk az eszközök, a távirányítású repülőgépek és helikopterek technikailag egyre fejlettebbek, egyre megfizethetőbbek, ezért a felhasználók számára egyre elérhetőbbek, a felhasználás módjai és szabályai csak részben kidolgozottak. A felhasználó személyzet, esetleg más személyek sérülésének kockázatát is magában hordozó önképzéssel, vagy a gyártó által eszközhöz kínált éppen elegendő szintű elméleti és gyakorlati képzést nyújtó tanfolyamok útján juthat ismeretekhez és jártassághoz. Tekintve, hogy az ilyen eszközök alkalmazóival szemben támasztott elméleti követelménynek csupán néhány élenjáró országban vannak kézzelfoghatóan jelen, a távirányítású repülés integrációja a hagyományos repülés rendszerébe napjainkban még nem reális célkitűzés. Az RPA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dr. Dudás Zoltán ny. alezredes, KKT vezető, [dudas.zoltan@uni-nke.hu](mailto:dudas.zoltan@uni-nke.hu)

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Dunai Pál alez; egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, [dunai.pal@uni-nke.hu](mailto:dunai.pal@uni-nke.hu)

<sup>3</sup> Remotely Piloted Aircraft: Távirányítású repülőgép



üzemeltetésének biztonsági szintje ugyanis a technikai és a humán faktor oldaláról sem mérhető a hagyományos repülés rendszere szolgáltatotta biztonság szintjéhez.

Egyszerűbben fogalmazva, néhány kivételtől eltekintve a ma távirányítású repülőgépei a ma RPA pilótáival a ma hatályos szabályok szerint nem emelkedhetnének levegőbe.

A távirányítású repülés fejlődésébe hasonló utat jár be, mint a hajdani pilótás repülés. Analóg módon először az eszköz fejlesztése van a középpontban, a szabályokra, a személyzettel szembeni követelményeknek és a képzésnek kidolgozására a fejlődés egy másik fokán, később kerül sor. Ez a „később” – tekintve az eszközök gyors terjedését, valamint a világ számos repülésügyi szervezete által megfogalmazott igényt az RPAS<sup>4</sup>-nak a hagyományos repüléssel való mielőbbi integrációjára- nincs messze, minden bizonnyal még ebben az évtizedben eljön. Az integráció nem kevesebbről szól, mint az RPAS repülésbiztonságának harmonizációjáról a technikai és a humán faktor vonatkozásában. Utóbbi esetében a lemaradás nagyobb, hiszen míg a technikai fejlesztés az iparág elsődleges gazdasági érdeke, addig az alkalmazókat érintő szabályozás elősegítése gazdasági értelemben csak másodlagos igény.

## A PILÓTANÉLKÜLI RENDSZEREK REPÜLSÉSBIZTONSÁGI ELEMZÉSE

A repülés, így a távirányítású repülés rendszerének biztonság alapú elemzésére számos módszer létezik. Ezek közös vonása a repülésben, mint rendszerben felbukkanó hiányosságok felderítésével és felszámolásával a biztonsági kockázat enyhítésére való törekvés. Az olyan biztonságirányítási rendszerek, mint az elterjedt SMS<sup>5</sup> vagy a speciálisan a légiforgalmi szakterület biztonsági felmérésére megalkotott SAM<sup>6</sup>, kiemelt tényezőként veszi számításba a rendszer emberi elemeit, mind a kockázat előállítás, mind a megelőzés alanyaként. Az emberi hiba természetes velejárója minden tevékenységnek, így a biztonságra kifejezetten érzékeny repülésnek is. Számtalan légiközlekedési esemény bekövetkeztéhez járul hozzá a repülés rendszerében megbúvó tökéletlenség, melyet a legtöbbször emberi hibaként azonosítanak. A tevékenység – ebben az esetben a repülés- kimenetele ekkor eltér annak tervezett eredményétől. Ez önmagában még nem jelenti, hogy a repülés biztonsága vesztes mértékben csökken, de több eltérő hiba együttállása folytán baleset, vagy valamilyen kevésbé súlyos esemény következhet be. Az emberi hiba koncepciója számos kutatás eredményeként különböző elméletek képében látott napvilágot. Ezek közül a legismertebbek egyike a SHEL(L) modell, mely tulajdonképp a hagyományos EGK (ember-gép környezet) modell többdimenziós kifejtése, amelyben az emberi elem ún. Liveness-ként jelenik meg és nem csupán önmagában, de a repülést megvalósító szervezeti (légitársaság, repülőklub, légierő stb.) tényezők, mint emberi interakciók oldaláról is értelmezést nyer. Széles körben ismert a kigondoló Reason nevével jelzett modell is, amely tulajdonképp az emberi hiba háttér okait mutatja be egy eseményvizsgálati kronológián keresztül, komoly szerepet szánva az emberi hiba megelőzésének a képzés, a technológia és szabályok finomításának módszerével. Míg az előbbi esetében a kulcs az emberi elem minél jobb minőségű

<sup>4</sup> RPAS Remotely piloted Aircraft System: Távirányítású repülőgép rendszer

<sup>5</sup> SMS Safety Management System: Repülésbiztonság irányítási rendszer

<sup>6</sup> SAM Safety Assessment Methodology: Biztonság értékelési módszer



kapcsolódása a rendszer egyes elemeihez, addig utóbbi az emberi hiba kivédését tartja elsődlegesnek. Fontos megjegyezni, hogy az emberi hiba elavult értelmezésében az ember a repülés rendszerében nem más, mint statisztikákkal bizonyítottan a légiközlekedési események legfőbb okozója, *szükséges rossz*.

E felfogás szerint tehát, az alapvetően biztonságos technikai rendszert az emberi elemtől óvni kell, egyre modernebb automatizált berendezések használatával, ergonómiával, berendezések és rendszerek újratervezésével, szerepét a rendszer működésében csökkenteni kell. Mindennek ellenére az emberi hiba a rendszer része maradt.

Ezzel szemben áll a modern felfogás, mely szerint a repülés komplex rendszere önmagában nem biztonságos. Ahhoz, hogy az legyen, a különböző rendszercélok egyidejű kielégítése érdekében emberi kreativitásra és intelligenciára van szükség. Eszerint, az emberi hiba nem a rendszer véletlenszerű káros működése, hanem a rendszerben megbúvó problémák következménye. Ilyen nézőpontból a légiközlekedési események vizsgálatának nem vég-, hanem kiinduló pontja az ember hiba, ahogyan azt Reason modellje is alátámasztja.

Hollnagel és Amalberti<sup>7</sup> kutatásai szerint az emberi hiba három megközelítésből értelmezhető:

1. Az emberi hiba nem más, mint ok, ezért annak folyamatára, tehát az emberi tevékenységre kell koncentrálni (Reason analógia);
2. Az emberi hiba nem más, mint esemény, ezért a következményre tekintet nélkül annak kialakulása érdemel figyelmet (Rasmussen analógia);
3. Az emberi hiba valaminek a következménye, mely valamely további következményt okoz.

Az emberi hiba modern felfogása rávilágít arra, hogy a merev biztonságfelfogás, ahol a hiba elleni küzdelmen van a hangsúly, irreális kihívások elé állítja a repülésben tevékenykedő személyzetet. Az emberi hiba három féle felfogása közül a harmadik mutat rá a tényre, hogy a repülés rendszerében tevékenykedők tettei egyszersmind előfeltételei mások tevékenységének. Változó, információszegény, ellentmondásos operatív körülmények között hibátlan tevékenység nem várható el, így a tökéletes biztonság reálisan nem célozható meg. A repülés rendszere ezért dinamikusan alakuló és egyben tökéletlen, hiszen a koránt sem hibátlan emberi tevékenység által válik működőképessé. Ami a távirányítású repülést illeti, az emberi hiba lehetősége és jelentősége a hagyományos repüléshez viszonyítva lényegesen nagyobb, hiszen a tevékenység biztonságát támogató emberi döntések mögött rendelkezésre álló tudás, gyakorlat és szabályok mennyisége, a repülési ágazat újszerűsége, rövidebb történelme okán kisebb, mint a pilótás repülés esetében.

## AZ RPA PILÓTÁK HIBÁZÁSÁNAK RASMUSSEN-I MEGKÖZELÍTÉSE

Az emberi hibázás viselkedés lapú megközelítését a dán Rasmussen<sup>8</sup> dolgozta ki. Alapvetően három szintet különböztet meg, ahol a tevékenység hibázáshoz vezethet:

- jártasság szintjén, ahol a begyakorolt tevékenységet szinte gondolkodás nélkül, csekély

<sup>7</sup> Human Factors/CRM in Aviation, (Content book), Joint Aviation Authority Training Organisation, 2012. Hoofddorp, 111.o.

<sup>8</sup> Human Factors/CRM in Aviation, (Content book), Joint Aviation Authority Training Organisation, 2012. Hoofddorp, 102. o.

figyelemmel hajtják végre;

- a szabályokon alapuló szinten, ahol bizonyos feladatok vonatkozásában, a szituáció felmérését követően tudatosan alkalmaznak egyes megtanult szabályokat;
- a tudáson alapuló szinten, ahol a megszerzett ismeretek és tapasztalat használható fel, mivel a szituáció új és váratlan volta miatt kész megoldási eljárások nem állnak rendelkezésre.

Látható, hogy Rasmussen SRK modellje a repülésre is alkalmazható, a tevékenység elemei a légijármű, az RPA irányításának folyamatában megfeleltethetők a vázolt szintek valamelyikének. Ennek megfelelően az RPA pilóta hibázási hajlama három szinten olvasható ki.

### **Az RPA pilóta hibázási lehetőségei a jártasság szintjén**

Az SRK modell hagyományosan három hibatípust különböztet meg a jártasság szintjén. Ezek: az elvételek, kihagyások és téves cselekvések, melyek az emlékezetet, az érzékelést és észlelést, valamint a manuális tevékenységeket érinthetik. A pilótás repülésben legyen az hagyományos, vagy távirányítású az előbbieket a kiképzéssel, a megfelelő mennyiségű gyakorlással vannak összefüggésben. Felmerül továbbá a pilóta figyelme és koncentráció képessége, érzékelésének minősége is, mely hasonló hibákhoz vezethet és az RPA repülésére való alkalmasság és fittség kérdését veti fel.

Tipikus hiba, például a jártasság nem megfelelő szintjére utaló tévesztéses hiba. Ez a nem megfelelő kormány szerv kitérítésével, vagy a megfelelő kormány szerv nem megfelelő idejű és mértékű kitérítésével valósul meg. Ide sorolható a jellegzetesen direkt külsőpilótás irányítási mód esetén a pilóta irányába mozgó RPA csűrőkormányinak felcserélése.

További érzékelési hiba lehetőséget jelent a direkt külsőpilótás irányítási mód esetében az RPA haladási irányának illetőleg térbeli pozíciójának helytelen megítélése a repülőgép körvonalai alapján. Belsőpilótás direkt irányítási mód esetén a háromdimenziós tér kétdimenziós képernyőn való értelmezése jelent problémát, ahol a térbeli helyzet, távolságok és irányok vizuális megbecslése a korlátozott látótér és képfelbontás miatt megnehezül.

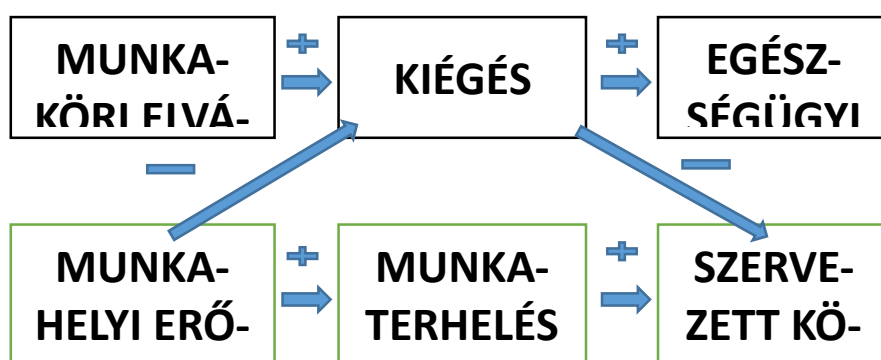
A hibák a gyakorlat szintjén típusosak, akár csak a további két szinten. Párhuzamosságok fedezhetők fel a nagy RPA-k és a nagytávolságú repüléseket végrehajtó hagyományos repülés személyzetének hibái esetében. Ilyenkor gyakori a figyelem csökkenése, amit a robotpilóta üzemmódon az RPA esetében az autonóm üzemmódon való hosszabb idejű repülés okoz, mivel mindkét esetben problémás lehet a felügyeleti irányítási módról a direkt irányítási módra való áttérés. A figyelem és a helyzettudat helyreállítása ilyenkor időbe telhet, ami teret engedhet egyes ellenőrzési lépések elvételének, vagy információ elmulasztásának. Említést érdemel továbbá a rutinszerű cselekvések biztonságra káros megjelenése légijármű típusok közti váltás esetében, amikor azok eltérő repülési sajátosságait a személyzet figyelmen kívül hagyja.

Szintén ezek közé hibaforrások közé tartozik a túlságosan hosszú, monoton repülési feladatokat nap, mint napteljesítő RPA személyzetek túlfáradása. Ezt a feladatok generálta stressz okozza, mely hosszabb távon a Burn-out<sup>9</sup>, vagy kiegészé szindrómának nevezett tünet együtteshez vezet.

<sup>9</sup> Burn-out syndrome: Kiegészé szindróma

A kiégés alapvető oka a stressz, melyet számos tényező külön- külön, de együttesen is létrehozhat. Összetevőit számos szakmában elsősorban az úgynevezett segítő szakmák esetében fedezhetők fel. Nincs ez másként a nagytávolságú RPA irányító személyzetek esetében sem, akik munkájukból adódóan fásultágról, érdektelenségről számolnak be<sup>10</sup>. Az ilyen UAV-k irányító személyzete műszakjait hasonlóan a légiforgalmi irányítókhoz, egyhangúan, és helyhez kötötten tölti.

A kiégést itt feltehetően nem csupán a nagy felelősség generálta stressz okozza, hanem a harci cselekmények látványa, melyet a személyzetnek a felderítő rendszereken keresztül figyelni kell. Csapásmérési feladatot végrehajtó UAV-k irányító személyzete hasonlóan a segítő szakmák művelőihez (orvos, rendőr, tűzoltó stb.) magával a csapás közvetlen pusztításával, borzalmával is közvetlenül szembesül, ami lélektanilag rendkívül igénybe veszi az erre nem kondicionált személyzetet. Hasonló lélekpróbáló eseményekkel szembesülhet a rendészeti, katasztrófavédelmi célú RPA alkalmazás személyzete is. A norvég Martinussen és Richardsen<sup>11</sup> az elmúlt évtizedben például a légiforgalmi irányítók esetében kutatta a kiégésre hajlamosító tényezőket. A légiforgalmi irányítók folyamatos időkényszer alatt, kiemelkedő felelősséggel járó a sokszor monoton munkát végeznek, tehát elméletileg a kiégésre hajlamosnak kellene lenniük, mégis a kutatások arra az eredményre jutottak, hogy esetükben a kiégés esélye nem nagyobb, mint más szakmák művelői esetében. Ezt az eredményt azzal magyarázzák, hogy a légiforgalmi irányítók kiválogatása, kiképzése annyira alapos, hogy az képessé teszi őket olyan tevékenység elvégzésére is, mely az egyénnel szemben kiemelkedően magas elvárásokat támaszt. Ez persze nem jelenti azt, hogy az irányítók immunisak lennének a hagyományos stressz tényezőkkel szemben, mint munkaköri elvárások és a munkahelyi erőforrások közti konfliktus, vagy a monotonia, és az állandó teljesítmény kényszer. Ugyanakkor a kutatás megállapította, hogy a szervezeti tényezők sokszor komolyabb hatást gyakorolnak a szakemberekre, mint maga a tényleges munka. A kiégés következményei nem csak az egyén, hanem a szervezet számára is rendkívül károsak, hiszen mindkettő teljesítménye csökken, ugyanakkor a kiégést kísérő érdektelenség a repülésbiztonságot veszélyforrásokkal szemben is állandósulhat.



1. ábra: A kiégés folyamata és következményei

Az említett kutatás tanulsága az RPA pilóták szempontjából az, hogy kiválogatásuknál és kiképzésükénél olyan szempontokat is figyelembe kell venni, mely túlmutatnak akár a hagyományos pilóták, akár a légiforgalmi irányítók alkalmassági kritériumain és kompetenciáin. Egyes

<sup>10</sup> Martinussen M., Hunter R.D: Aviation psychology and Human Factors, CRC Press USA 2010., 130.o.

<sup>11</sup> Szerk: Szerző Martinussen M., Hunter R.D . nyomán





kutatások, mint például az amerikai légierő vizsgálata<sup>12</sup> arra mutat rá, hogy az UAV repülések során elkövetett hibák jelentős része a jártasság szintjéről ered. Ezek a hibák javarészt az alapvető repülési képességeket érintik, de jelentős rész jelentenek köztük az a repülési eljárásokhoz kötődő hibák is.

Az UAV pilóták kiválogatási és képzési rendszere a haderónemek közt lényeges eltéréseket mutat, hiszen a Légierő harci tapasztalattal rendelkező volt pilótákat, a Haditengerészet pedig átlagos az UAV irányítására kiképzett katonákat alkalmaz ebben a szerepkörben. A tanulmány arra következtetésre jut, hogy például a Predator repüléséhez a harci pilóták számára a mintegy 150–200 órányi repülési gyakorlat az alapvető manőverek megtanulásánál előnyt jelent, de a kisebb jártasságú UAV pilóták esetében ez a pozitív transzfer már nem tapasztalható. A tapasztalt harci pilóták ugyanakkor szimulált műveleti körülmények között semmivel sem teljesítenek jobban, mint kevésbé tapasztalta társaik. A repülés egyes fázisaiban, mint például a fel és leszállásnál a hagyományos pilótáknak újra kell tanulni a repülést, hiszen az nem hajtható végre a megszokott módon, mivel a pilótás repüléssel ellentétben a perifériás látás és a vesztibuláris apparátus a külső pilótás manőverekben nincs a pilóta segítségére. A kutatás viszont vizsgálta és ugyanezen manőverek esetében kimutatta a számítógépes játékokkal való gyakorlás pozitív hatásait.

### **Az RPA pilóta hibázási lehetőségei a szabályok szintén**

Az Rasmussen SRK modelljének<sup>13</sup> középső szintje a szabályokban konzervált biztonság érvényesülésének problémái körül forog. A szabályoknak Reason is nagy jelentőséget tulajdonít amennyiben azok konkrét kereteket támasztanak a hibás emberi cselekvésekkel szemben. A szabályok nézete szerint védelmi vonalak, melyek a hiba kifejlődésének útját állják. A szabályok közé nem csupán a jogszabályok tartoznak, hanem minden olyan előírás, eljárás, és egyéb a repülési szekvenciát érintő folyamatelírás is, amely a repülés folyamatában a *bizonytalanság elkerülést* célozza.

Bármennyire is hasznosak a szabályok szerepüket nem szabad túlbecsülni. Egyrészt a szabályokat emberek alkotják, így azok csupán annyi bölcsességet, alaposágot és tudást tükröznek, amennyit alkotójuk beléjük helyez.

Az emberi tökéletlenség folytán a szabályok sem lehetnek tökéletesek és így nem garantálhatnak teljes biztonságot. A szabály a Reason-i értelmezése annyival bővíthető ki, hogy a szabály a védelem utolsó vonala, ha úgy tetszik a biztonság végső határa. Másrészt nem kisebbítve a szabályok fontosságát, meg kell jegyezzük, hogy a biztonság érdekében, felhasználva az emberi tényezőben rejlő kreativitást és rugalmasságot az SRK magasabb szintjein a személyzetnek képesnek kell lennie meghaladni a szabályokat, amennyiben a helyzet azt indokolja.

Rasmussen a szabályok szintjén alapvetően két hibatípust különböztet meg. Az egyiket a jártasság

---

<sup>12</sup>THOMPSON William T.: (USAF Safety Center. Predator mishap report; 2004) U.S. Military Unmanned Aerial Vehicle Mishaps: Assessment of the Role of Human Factors Using Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) Terra Health, Incorporated March 2005 17 o.

<sup>13</sup> Rasmussen modelljének három szintje, ahol az emberi hibát értelmezi: Skill, Rule, Knowledge, vagyis Gyakorlat, Szabály, Ismeret.

szintjén elkövetett észlelési, helyzetértékelési hiba vezet fel, mely nem egy adekvát szabály alkalmazásához vezet. Tehát az szabály nem arra a szituációra ad választ, amelyben alkalmazzák.

A másik lehetőség, hogy a szabály ugyan létezik, de nem a megfelelő szituációban alkalmazzák, vagy a szabályt megfelelő szituációban, de helytelenül alkalmazzák. Vagyis, a jártasság a szabályok (eljárások) alkalmazásában nem kellő mélységű, így a végrehajtás lépései közé hiba csúszik, esetleg egy-egy lépés kimarad. Gyakorlati lehetőség az is, amikor a szabály nem létezik, vagy a szabály nem ismert.

Ami az RPA személyzet szabály alkalmazási problematikáját illeti megállapítható, hogy mindhárom hibatípus elképzelhető, sőt azok kombináció is. Hogy hol, mikor, milyen mértékben fordulhatnak elő ezek a hibák, azt egyrésztől a speciálisan a szakterület szabályozottsága dönti el, másrésztől pedig az, hogy az RPA pilótája milyen szakmai háttérrel rendelkezik. A szakterület szabályozottsága nemzetközi és hazai szinte is hiányos. Egyszerűbb azokat a pontokat megjelölni, ahol egyáltalán létezik szabályozás. Európa nyugati részén komoly lépéseket tesznek a légjárművek kategorizálására, és a felhasználás szabályainak kidolgozására, ám mindeddig még a legegyszerűbb kategorizálás kérdésében sem sikerült egységes szabályozást kidolgozni. Országonként mások és mások az alkalmazás feltételei, melyek hol szigorúbbak, hol engedékenyebbek<sup>14</sup>.

Ami az RPA pilóták szakmai háttérét illeti, a megfelelő szabályok alkalmazása tekintetében elkövethető hibákat a hagyományos pilótás repülés köréből kikerülő személyzet, illetőleg a teljesen kezdő, a repülés világa által meg nem érintett személyzet esetében érdemes megvizsgálni. Előbbieknél az alapos háttérismeretek, melyek természetesen a szabályokra is kiterjednek, jelenhetnek egyfajta pozitív transzfert, hiszen a két szakterület műveléséhez szükséges szakmai tudásanyag erős átfedést mutat. Ugyanakkor, egy olyan szabályozási szempontból hiányos környezetben, mint amilyenben a távirányítású repülés megvalósul, kérdéses hogy nem káros-e a hagyományos repülés normáit alkalmazni. A ma szabályozása ugyanis egyrésztől túlzottan szigorú, másrésztől – a szakterület részleges szabályozottsága okán- túlzottan megengedő. A határ meghúzása az engedélyhez nem kötött modellrepülőgép és az RPA között, mely a legszigorúbb szabályozások szerint csak a hagyományos légitforgalomtól hermetikusan elszigetelve üzemeltethető, meglehetősen szubjektív.

Ilyen szabályozási környezetben az alkalmazás maga teremti meg kvázi szabályait, az alkalmazók mindennapi gyakorlata, annak praktikus szempontjai alapján. Mivel az alkalmazók a többféle háttérrel rendelkeznek, az alkalmazás kvázi szabályai is eltérők lesznek.

A volt pilóta a hagyományos repülés szabályaira, tapasztalataira épít majd, míg a repülési múlttal nem rendelkezők valószínűleg saját praktikus megfontolásaikra alapozzák repülési szokásaikat. Ez utóbbi esetében tekintve, hogy a szabályok részben hiányoznak, a repülés körül meghozandó döntéseket kevés szabály, ismeret támogatja majd.

Ilyen körülmények között az emberi hiba egyik különleges formájának a szabálysértésnek értelmezése is megbicsaklik. Hiszen, ha nincs szabály, akkor a szabálysértés sem lehetséges. A

---

<sup>14</sup> Dr. Dudás Zoltán- Dr. Restás Ágoston: Nemzetközi példák az UV repülés emberi tényezőit érintő jogi szabályozásra az RPAS 2012 konferencia tapasztalatai alapján, Repüléstudományi Közlemények, 2012/3. sz. 1-10. o.

szabálysértés lehetetlensége önmagában még nem jelentene gondot, ám az emberi hiba elhatárolása, vagyis súlyosságának megítélése problematikusvá válik és a hibákból levonható következtetések nem lehetnek teljesek és a későbbi hibák kivédésére irányuló korrekciós törekvések pedig célt téveszthetnek. Ha mégsem, úgy célszerű a Dekker<sup>15</sup> által felvázolt három lehetséges hiba ok felderítése és elemzése.

Ezek:

- az emberi tévedés pillanata, hol és mit kellett volna másként tenni, vagy elkerülni;
- azoknak az elszalasztott információknak, adatoknak a megtalálása, amik később kritikusnak bizonyultak;
- a lehetséges káros következmények, melyek előre láthatók és elkerülhetők (lettek volna).

### **Tévedések a tudáson alapulón szinten**

Az összetett emberi tevékenység, így a repülés az SRK modell alapján, három szinten valósul meg, ezek közül az egyik legérdekesebb a tudásalapú szint. Olyan új szituációkban, amikor a tevékenységünket nem támogatják szabályok, vagy a csekély tapasztalatunk miatt azok számunkra ismeretlenek, tudásunkra támaszkodunk a feladatok megoldásában. A hibázás lehetősége ezen a szinten igen nagy, hiszen az emberi ismeretek téra csak korlátozott számú analógiát tartalmazhat az adott újszerű szituáció megoldására, ráadásul a felhasználandó ismeretek előhívása a szituáció újszerűségéből fakadó stressz alatt megnehezülhet. Hozzáadva ehhez a repüléstől elválaszthatatlan időkénszert is a körülmények nehezen megoldható kombinációja áll elő. A tudásalapú hibák szempontjából legsebezhetőbbek azok a pilóták akik: Kevés tapasztalattal és kevés ismerettel rendelkeznek, ezáltal:

- nem látják át a szituáció komplexitását;
- információ befogadó és feldolgozó képességük lassú;
- figyelmük részleges, nem terjed ki a repülés és a környezet egészére;
- helyzettudatuk inadekvát;
- tévesen ítélik meg a megoldási lehetőségeket és kockázatot;
- egyetlen korábban megtanult megoldáshoz ragaszkodnak.

A fentiek alapján jól látható, hogy a tudáson alapuló szinten születő megoldások helyessége, vagy helytelensége szempontjából a kezdő RPA pilóták a legsebezhetőbbek. Ebből a megfontolásból veszélyeztetettek lehetnek a volt légi jármű vezetők is, akik hajlamosak lehetnek a hagyományos pilótás repülés jól bevált és kiérlelt gyakorlatához ragaszkodni annak ellenére, hogy a távirányítású repülés sajátosságai alapvetően térnek el az általuk megszokottaktól.

Mindezek mellett az RPA személyzete többféle lehetséges célcsoportból is kikerülhet. Ez jelenthet pozitív és negatív transzfert egyaránt. Az alkalmasság szempontjai, melyeket vizsgálni kell Cohn szerint<sup>16</sup> a következők:

- életkor és nem;
- fizikai jellemzők (pl. látás);

---

<sup>15</sup> Human Factors/CRM in Aviation, (Content book), Joint Aviation Authority Training Organisation, 2012. Hoofddorp, 102. o.

<sup>16</sup> Cohn V. Joseph: Training Evaluation of virtual environments, Routledge New York 2011. 85. o.

- nyelvtudás;
- képzettség.
- ismeretek, képességek;
- gyakorlati idő;
- munkakultúra;
- motiváció;
- hozzáállás;
- érdeklődés.

A fentiek alapvetően két analógia mentén, a *pilóta* és a *légiforgalmi irányító* analógia mentén dolgozhatók fel, melyek mellé még továbbiak is felzárkózhatnak olyanok, mint a *modellező*, vagy *számítógépes játékos* analógiák.

Ha hibamentesség szempontjából vizsgáljuk az RPA személyzet ideális célcsoportját ezek mind-egyikében találhatunk megfelelő részképességeket: a pilóta általános repülési ismereteit és gyakorlatát, a légiforgalmi irányító gyors információ feldolgozási és légtér áttekintési képességét, a modellező kifinomult manuális képességeit, a számítógépes játékos kétdimenziós felületen szerzett jártasságát. Az RPA pilótának sok egyéb mellett ezeket a részképességeket kell tudni egyesíteni. Látható tehát, hogy az RPA személyzet kiképzésének ezeket a területeket célszerű megcéloznia, amennyiben a tudásalapú és a jártasság alapú hibák számát csökkenteni szeretnénk.

## AZ RPA REPÜLÉS TEM<sup>17</sup> MÓDSZER SZERINTI VIZSGÁLATA

Az SRK modell alapján meghatározhatók azok a feltételek, amelyek belső módon az emberi tényező oldaláról, a viselkedés szempontjából elősegítik a távirányítású rendszerek biztonságos működését. Ezzel azonban a repülésbiztonságra kockázatot jelentő tényezőknek csupán egy része írható le. Ahhoz, hogy a távirányítású repülés egészére legyünk képesek következtetéseket levonni, egy a rendszer egészét a külső és belső fenyegetettség szempontjait is megjelenítő módszerre van szükség.

### A TEM módszer alapjai

A TEM módszer<sup>18</sup> a humán faktor szemszögéből vizsgálja azokat a lehetséges kihívásokat (veszélyforrásokat), melyekkel a személyzetnek a repülés során meg kell birkóznia, ugyanakkor nem feledkeznek meg a személyzet által elkövethető hibákról és az azokat kiváltó tényezőkről sem. Célja megtalálni és azonosítani azokat a mindennapi tevékenységekben mielőtt, balesethez vezetnének. Ennek eléréséhez egyfelől proaktív stratégiákat kell kidolgozni a felderített veszélyforrások leküzdésére, másfelől aktívan kutatni a hibák elhárításának lehetőségeit.

A módszer a veszélyforrásokat négy szempont szerint elemzi. Ezek:

- külső (szervezeten kívüli) veszélyforrások;
- belső (szervezeten, személyzeten belüli) veszélyforrások;

<sup>17</sup> Threat and Error Management, a biztonságot fenyegető kihívások és az emberi hibák kezelésére építő biztonságirányítási rendszer.

<sup>18</sup> Human Factors/CRM in Aviation, (Content book), Joint Aviation Authority Training Organisation, 2012. Hoofddorp, 103.o.

- hibák elhárítási módjai (SMS, CRM etc.);
- hibák lehetséges kimenetele (elhárított következmény, baleset, kvázi baleset, rendelkezés etc.).

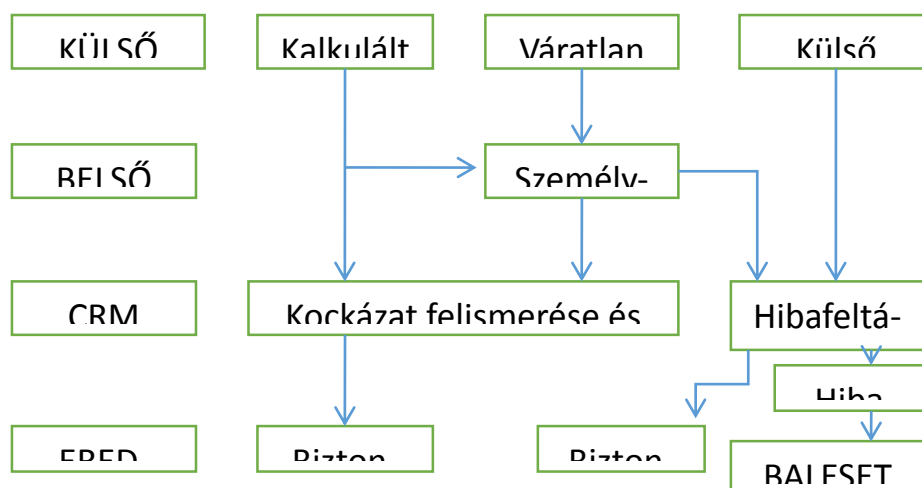
A belső és külső veszélyforrásoknak természetesen további felosztása is lehetséges. Amennyiben az emberi hibákat, mint veszélyforrásokat vizsgáljuk. Súlyosságukat tekintve azok felfoghatók úgy is, mint:

- a szabályok szándékolt figyelmen kívül hagyása (szabálysértés);
- eljárásbeli hibák (Rasmussen-i szinteken);
- kommunikációs hibák (személyzetén és szervezeten belül);
- jártasságalapú hibák (SRK modell S szintjén);
- operatív szinten hozott hibás döntések.

### A TEM működése

A TEM a fentiekben bemutatott módon két veszélyforrás csoportot különböztet meg. Ezek attól függően, hogy az üzemeltető szervezetben, vagy azon kívül keletkeznek külső, vagy belső fenyegetésként jelennek meg.

Fenyegetésként (veszélyforrásként) kell értelmezni minden olyan kalkulálható, vagy látens hibát és eseményt, mely a légi jármű személyzetének befolyásán kívül esik és a repülés komplexitását olyan mértékben növeli meg, hogy a biztonság fenntartása érdekében a személyzet vagy a szervezet részéről valamilyen válaszlépés kiváltása indokolt. A veszélyforrások egy része látható, érzékelhető (időjárás, terep, repülőtér állapota), egy másik része viszont rejtve van jelen (légi jármű kialakítási vagy eljárás tervezési problémák, munkafeltételek, vezetési, munkaszervezési problémák) és a szervezetben fennálló valamilyen működési problémákra utalnak. Hibaként a személyzet helytelen döntéseit, illetve az üzemeltető szervezet nem megfelelő döntését kell számba venni.



2. ábra A veszélyforrások és hibák kezelési rendszere<sup>19</sup>

Amint az ábra is mutatja, a kalkulált kockázatot primer módon a személyzet a CRM elveinek

<sup>19</sup> Human Factors/CRM in Aviation, (Presentation book), Joint Aviation Authority Training Organisation, 2012. Hoofddorp, 202.



megfelelően kezeli. Ez két módon valósulhat meg. Először, a személyzet hibája nélkül a repülés tapasztalatait levonva és az eljárásokba építve. Másodszor, a személyzet hibájának észlelése és saját korrekciója útján. Ezzel párhuzamosan repülésbiztonsági rendszerébe juttatott információ alapján a szervezet is végez kockázatkezelést és amennyiben a hibafeltárás megtörténik és a korrekciós intézkedések helyesek, a biztonság helyreáll. A váratlan kockázatok, melyeket elsősorban a látens tényezőkből erednek, nagyobb részben vezetnek a személyzet hibájához. A hiba korrekciója az előbb vázolt módon, a személyzet és szervezet szintjén megy végbe.

### **A távirányítású repülés célszerű vizsgálati kritériumai (TEM szerint)**

A távirányítású repülés hagyományos légiközlekedésbe való integrációjának első lépése a repülési forma rendszerének ezen belül a távirányítású eszköz személyzetével és üzemeltetőjével szemben támasztott követelményeknek aprólékos leírása. Hasonlóan a pilótás repüléshez, a távirányítású repülés egészének megértéséhez, azt rendszerként kell megvizsgálni. A rendszer elemei a hagyományos felosztásnak megfelelően: a környezeti tényezők, a technikai tényezők és az emberi tényezők, melyek a repülési feladatban egyesülve biztosítják a repülés sikerességét és biztonságát.

Az EGK+F (ember-gép- környezet-feladat) modell ebben az esetben is megállja a helyét, ám tekintettel a hagyományos repülési formához képest megmutatózó különbségekre, a vizsgálhatóság szempontjait alapul véve a tényezők bizonyos egyszerűsítésére lehet szükség. Amennyiben az RPA legelterjedtebb feladatkörét tekintjük, a vizsgálódás alapjának a felderítő küldetést célszerű alapul venni. Ez a felhasználási forma bár a felderítés objektumait illetően változatos (katonai, rendészeti, katasztrófavédelmi etc.) mégis módszereiben az eszközzel, valamint a kezelő személyzettel kapcsolatban a felderítés objektumaira tekintet nélkül viszonylagosan egyöntetű igényeket támaszt. A környezet vonatkozásában az értelmezést célszerű a szűkebb természeti környezetre korlátozni, melyben a repülés végbemegy.

A környezet behatárolásánál ugyanakkor érdemes szempontként azt is rögzíteni, hogy a légtér, amelyben a repülés folyik a légiközlekedés hagyományos szereplőitől elkülöníti-e a távirányítású repülőgépet, illetőleg annak repülése a földfelszín, annak létesítményeit illetően jelent-e bármilyen biztonsági kockázatot.

Az RPA, tehát a légi jármű esetében az egyszerűsítés több szempont figyelembe vételével valósulhat meg. A vizsgálat oldaláról nem az eszköz méretét célszerű alapul venni, – bár az alapvető repülésbiztonsági faktorok között a légi jármű tömege és energiatartalma kockázati tényezőt jelenthet – hanem elsődlegesen sokkal inkább az irányítási mód kiválasztása tűnik indokoltnak. Az alkalmazás mikéntjét elsősorban ez határozza meg, hiszen a látástávolságon belüli (VLoS<sup>20</sup>) és azon kívüli (BVL<sup>21</sup>) repülés természetében más és más repülésszervezési, végrehajtási, képzési és biztonsági igényeket támaszt. Általánosságban az mondható el, hogy ma a nagytávolságú távirányítású rendszerek képviselik, mind a legfejlettebb technikát, mind a legkidolgozottabb elméleti hátteret a repülési ágazaton belül. A vizsgálatnak tárgyát illetően, ezért a kis- vagy közepes távolságú távirányítású rendszerek nagyobb fejlesztési lehetőségeket jelentenek.

A rendszer humán elemeit tekintve, a vizsgálat kereteinek meghatározásakor elsősorban azt kell

<sup>20</sup> Visual Line of Sight: Látóhatár

<sup>21</sup> Beyond Visual Line of Sight: Látóhatáron túli

rögzíteni, hogy az RPA repülését szervező, koordináló, végrehajtó személyzet feladata (munkaköre) milyen ismereteket, képességeket, jártasságokat igényel. Erre a kérdésre az RPA irányító személyzet kompetenciáinak pontos meghatározása, illetve munkakörének teljes mélységű vizsgálata adhat választ. Az azonban ennek megléte nélkül is belátható, hogy az RPA repülését megvalósító személy ismereteit, képességeit és jogi-szakmai felelősségét tekintve leginkább a pilótához áll közel, mindannak ellenére, hogy egyes részfeladatai átfedést mutatnak más légiközlekedési szakterületekkel is. A nemzetközi szabályozásban erre, tehát az RPA személyzet légi jármű vezetőként való azonosítására találhatók példák, melyet a több európai ország által bevezetett, az RPA irányítóját egyértelműen a pilóták körébe emelő brit BNUC repülési engedély testesít meg legkésebben. A BNUC és egyéb hasonló személyzet kategorizálási és engedélyezési struktúra az RPA repülés kockázati szintjéhez igazítja az irányító személyzet szükséges jártasságának és képzettségének szintjét. A hivatkozott struktúra annak elismerését jelenti, hogy az RPA személyzetét jogilag és szakmailag pilótának kell tekinteni, aki a repülés vonatkozásában a hagyományos pilótával egyenértékű felelősséggel bír, felel a repülés biztonságos végrehajtásáért és a szabályok betartásáért.

### **Az RPA repülését befolyásoló külső és belső veszélyforrások**

A távirányítású repülőgép személyzete, illetőleg az üzemeltető szervezet a fenti vizsgálati kritériumok alapján következő kihívásokkal néz szembe:

Külső veszélyforrások:

- környezeti feltételek;
- a szakterület szabályozatlansága;
- eljárások kidolgozatlansága;
- biztonsági szempontok gyenge érvényesítése (légi járművek tervezése, védőruházat etc.)

Belső kihívások:

- a lehetséges személyzet változatos háttere;
- kiképzési, kiválasztási hiányosságok;
- kevés tapasztalat, kevés ismeret;
- biztonsági megfontolások figyelmen kívül hagyása.

Ami külső kihívásokat illeti, a legnagyobb problémát a szabályozási környezet és az RPA repülés mesterségbeli alapjainak részleges kidolgozottsága jelenti. Az RPA személyzet munkája, mint szakma akkor kerülhet igazán elismerésre, ha a vele szemben álló követelményeket, úgy is mint az egészségügyi alkalmassági, elméleti és gyakorlati képzettségi követelmények szabályokban kerülnek rögzítésre. Az így körülhatárolt alkalmassági kör és a szakmai feladatok által behatárolt munkakör alapján határozhatók meg a szükséges ismeretek, készségek és jártasságok. Ezek nélkül az RPA személyzete a belső kihívásoknak sem lesz képes megfelelni.

A belső kihívások egy jelentős része komoly emberi hibákat generálhat. A nem, vagy rosszul szabályozott kiválogatási és képzési rendszer egyenes utat jelent az emberi hibákhoz, mellyel a személyzetnek magának, valamint az üzemeltető szervezetnek kellene megbirkóznia.

Ám amennyiben a szervezet a megfelelő tudásnak vagy akaratnak nincs birtokában a veszélyforrások azonosítását és a hibák rendezését nagy nehézségek árán tudja majd végrehajtani.

## A külső és belső kihívások leküzdése

Az emberi tényezőt érintő kihívások leküzdésének módszerei közül a kiképzést érdemes kiemelni. Az elméleti kiképzés feladata az RPA személyzet munkájának szakmai megalapozása, felkészítés minden olyan körülményre, helyzetre, mellyel a műveletek során a személyzet szembesülhet. Az általános repülési ismereteken kívül az emberi hiba leküzdésének legkézenfekvőbb módszereként a CRM<sup>22</sup> kínálkozik. A CRM nem más, mint az emberi hiba kezelésének módszertára. Arra irányul, hogy az emberi tényezőben rejlő potenciált optimálisan legyünk képesek kihasználni a biztonság és a műveletek sikere érdekében. A CRM a következő képességek fejlesztését célozza:

- vezetői képességek;
- helyzetismeret, helyzet tudat kifejlesztése,
- helyes döntéshozatal képessége;
- kommunikációs képességek.

Fontos megjegyezni, hogy a CRM, illetve az arra irányuló kiképzés nem megszünteti, hanem kezeli az emberi hibákat. Olyan eszközöket biztosít a személyzet és a szervezet számára, melyekkel az emberi hibák észlelhetővé válnak még abban a stádiumban, maikor nem okozzák a biztonság közvetlen sérelmét. A CRM tehát a humán faktor oldaláról a repülésbiztonság proaktív eszközét jelenti.

CRM<sup>23</sup> kiképzés céljai mindemellett:

- az RPA személyzete valamint az üzemeltető szervezet számára bemutatni az emberi tényező szerepét és hatását a repülésbiztonságra;
- megtanítani az emberi tényező alkalmazás specifikus sajátosságait, és lehetőségeit a balesetek elkerülésében technikai és emberi hiba esetén;
- olyan stabil tudást és hozzáállást kialakítani, mely a tevékenység teljes spektrumában képes a potenciális balesetek megelőzésében való részvételre;
- a munkakörnyezet fejlesztése a személyzet egésze számára;
- elősegíteni a személyzet hibáinak megelőzését vezetés részéről.

Ami az RPA pilóták gyakorlati felkészítését illeti, abban a szimulátorok alkalmazásának kérdéseit érdemesnek figyelni. Az UAV repülés amerikai víziója<sup>24</sup>, mely a 2000-es években látott napvilágot és 25 éves távlatban mutatja a be a pilótánélküli rendszerek fejlődését és kihívásait sok szempontból érdekes megállapításokat tesz a repülésbiztonság, valamint a pilótaképzés gazdaságosságát illetően. Megállapítja, hogy az emberi tényezőtől fakadó hibák az UAV repülésének ugyanolyan velejárái, mint a pilótás repülésnek és várhatóan a helyzet nem is fog változni. A békeidőben elvesztett repülőgépek mintegy 70 százaléka esetében állapították meg az emberi tényezőre visszavezethető okokat. Ez a szám a repülőgépek fejlesztése, a kiképzés javítása, az eljárások finomítása ellenére maradt változatlan az elmúlt években. Az amerikai nézőpont szerint három lehetőség adódik a repülésbiztonsági mutatók javítására. Ezt a rendszerek autonómiájának

<sup>22</sup> Crew Resource Management

<sup>23</sup> CAP 737 Crew Resource Management (CRM) Training Guidance For Flight Crew, CRM Instructors (CRMIS) and CRM Instructor Examiners (CRMIES) 4/1, www.caa.co.uk

<sup>24</sup> Unmanned ariel vehicles roadmap 2000-2025, Office of Secratry of Defense USA 2001. 54.o.



növelése, a rendszerek „tanítása” a szoftverek folyamatos fejlesztésével, valamint a légi jármű meghibásodások kiküszöbölése útján látják megoldhatónak. Ugyanakkor nem feledkeznek meg az UAV személyzetről sem. Az UAV kezelő személyzetének kiképzési tematikáját úgy tartják célszerűnek kialakítani, hogy abban a szimulátorok alkalmazása nagy részben váltsa ki a hagyományos gyakorló repüléseket és a virtuális valóság felhasználásának útján a repülés, a küldetés minden fázisa begyakorolható, a repülési jártasság pedig fenntartható legyen.

## ÖSSZEZGÉS

A távirányítású repülőgépek személyzete, hasonlóan a hagyományos pilótás repülés személyzetéhez kulcstényező a repülésbiztonság garantálásában. Felelősségük természete és terjedelme is megegyezik. Ám amíg a hagyományos légiközlekedésben tevékenykedő személyzet szakmailag és jogilag jól körülhatárolt követelmények mentén végzi munkáját, addig a távirányítású repülés személyzete csupán a repülésbiztonságért viselt felelősségen osztozik. A távirányítású rendszerek pilótái esetében a kiválogatás, kiképzés és hatósági engedélyezés egységes kereteinek meghatározása küszöbön álló feladatot jelent a nemzeti és közösségi szabályozás számára. A keretszabályok megalkotásához a távirányítású repülési ágazat szakmai specifikumainak lefektetése szükséges. Ennek szerves részét kell képeznie a biztonságért felelős személyzetet érintő kérdéseknek is. Az RPAS biztonságos integrációja a légiközlekedésbe csak így valósulhat meg. A repülési ágazat szakmai alapjainak letételekor célszerű olyan már meglévő és működő, az RPAS számára adaptálható elméletek, biztonságirányítási és hibakezelési rendszerek alkalmazása, mint az SRK modell, a TEM vagy a CRM.

***A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” pályázat keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.***

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] CAP 737 Crew Resource Management (CRM) Training Guidance For Flight Crew, CRM Instructors and CRM Instructor-Examiners, www.caa.co.uk, 4.1. fejezet
- [2] COHN. V. Joseph: Training Evaluation of virtual environments, Routledge New York 2011. ISBN 978-0-8058-6293-5, 85. o.
- [3] Dr. DUDÁS Z. - Dr. RESTÁS Á.: Nemzetközi példák az UV repülés emberi tényezőit érintő jogi szabályozásra az RPAS 2012 konferencia tapasztalatai alapján, NKE Repüléstudományi Közlemények, 2012/3. sz. 1-10. o.
- [4] Human Factors/CRM in Aviation, (Presentation book), Joint Aviation Authority Training Organisation, 2012. Hoofddorp 220. o.
- [5] Human Factors/CRM in Aviation, (Content book), Joint Aviation Authority Training Organisation, 2012. Hoofddorp 102, 103, 111. o.
- [6] MARTINUSSEN M., HUNTER R.D. : Aviation psychology and Human Factors, CRC Press USA 2010. ISBN 978-1-4398-0853-6, 130-132. o.
- [7] Unmanned Ariel Vehicles Roadmap 2000-2025, Office of Secratry of Defense USA 2001. 54.o.
- [8] THOMPSON William T., HEALTH Terra: (USAF Safety Center. Predator mishap report; 2004) U.S. Military Unmanned Aerial Vehicle Mishaps: Assessment of the Role of Human Factors Using Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) 2005. 17. o.



Domján Károly<sup>1</sup>

## AZ UAV OPERÁTOROK KIVÁLOGATÁSÁNAK ÉS KIKÉPZÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI, MOBIL SZIMULÁTOR KONZOLOKKAL<sup>2</sup>

*A költséghatékonyság elvét követve létrehozásra került egy mobil szimulátor konzol. A megépített konzol segítségével az UAV személyzet kiválogatása és a kiképzése rugalmassá és könnyen megvalósíthatóvá válik. Az eszköz nemcsak a szükséges hardvereket tartalmazza, az igényeknek megfelelő szimulátorokkal is telepítve van. A széleskörű gyakoroltathatóság és az eltérő méretű és alkalmazhatóságú pilóta nélküli repülőeszközök miatt, RC és belső kamerás vezérlés egyaránt gyakorolható. A rendszer kerek egésze miatt, egy az eszköz teljes kihasználtságához tartozó kiképzési tematika és multimédiás interaktív jegyzet rendszer is integrálásra került. A rendszerszintű felügyelet és a távsegítség lehetősége miatt Help Desk szolgáltatás is biztosított. A konzol az időközben felmerülő igényekhez szoftveresen és hardveresen egyaránt igazítható. Mindezek a fejlesztések megtartják a költség hatékonyságot.*

### **THE SELECTION AND TRAINING OF UAV OPERATORS FACILITIES, WITH THE MOBIL SIMULATOR CONSOL**

*We made a special Flight Control Consol System following the low cost criteria. By using the simulator the selection and training of UAV personnel will be effective and flexible. The simulator consol contains a high performance notebook, and two special simulator software installed to the equipment. The consol is usable in internal view mode, and RC model mode as well. The Flight Control Consol contains a special Flight control system Saitek X-52 Pro, and a Hitec Optic-5 RC control consol. A Multimedia Interactive Handbook is made and installed to the consol. This program contains lots of special information, so we can use the consol easily setting all simulators program in the equipment. A non-stop help desk service belongs to the consol mounted with the remote desktop.*

### A KUTATÁS ÁLTAL TÁRGYALT TÉMAKÖRÖK

- Az UAV irányításának problémái és azok megszüntetésének lehetőségei.
- A Pilótánélküli robot repülőgépek személyzetével szemben támasztott alapkövetelmények.
- A kiképzés és gyakorlás rugalmas megvalósítására szolgáló szimulátor konzol és annak fejlesztési lehetőségei.
- A Virtuális Légtér mint elméleti és gyakorlati képzési helyszín
- A Multimédiás Interaktív kézikönyv

<sup>1</sup> kutató, a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat, „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” Adatintegráció alprogram, A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata és a szabályozói környezet meghatározása? c. kiemelt kutatási terület kutatója, és a Blue Sky Virtuális Repülő Klub elnöke, domjan.karoly74@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Dudás Zoltán PhD, a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat, „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” Adatintegráció alprogram, A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata és a szabályozói környezet meghatározása? c. kiemelt kutatási terület vezetője, dudas.zoltan@uni-nke.hu





## AZ UAV IRÁNYÍTÁSÁNAK PROBLÉMÁI ÉS AZOK MEGSZÜNTETÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

Az UAV-k (pilóta nélküli robot repülőgépek) ugyan viszonylag kis számban fordulnak elő a mindennapokban és a légterekben, de fejlődésük és felhasználási területük napról napra nagyobb teret hódít. A felhasználásuknak a lehetősége olyan széleskörű, hogy a közeljövőben feltétlenül szükségessé válik ezen eszközök üzemeltetésének szabályozása. Ha azt is figyelembe vesszük, hogy bizonyos típusok mérete és üzemeltetési környezete sem elhanyagolható, a légügyi törvények vonatkozó pontjait ki kell terjeszteni ezen eszközökre is. Természetesen az UAV eszközöket kategorizálni kell, néhány fontos paraméterük szerint. Az egyik ilyen besorolási kategóriát a méretbeli vagy a tömegre meghatározott határértékek adhatják. Ezen kívül fontos még annak vizsgálata is, hogy ezek a távirányítású légi járművek milyen üzemeltetési környezetre lettek kialakítva. Azaz üzemeltetési magasságuk érinti-e az ellenőrzött légtereket. Természetesen még sok más dolgot is figyelembe kell vennünk, de e két említett kategória prioritása egyértelmű. A méretük és az üzemi környezetük egyaránt potenciálisan veszélyessé teszi az UAV-k használatát. Megfelelő szabályozás mellett a felmerülő veszélyek nagymértékben kiküszöbölhetők, ezáltal alkalmazásuk biztonságosabbá válhat.

A következő problémát tárgyalva megállapíthatjuk, hogy az UAV-k vezetése, irányítása igen összetett feladat. Egyes elméletek szerint az ember alkotta irányító személyzetet ki kell, és ki lehet hagyni a rendszerből. Ezen elméletek a szoftverekbe vetett bizalmon alapulnak. Eszerint olyan komoly vezérlőprogram alkotható meg, mely minden esetben a megfelelő eljárás alapján irányítja a gépeket. A program egyaránt képes a navigációra több különálló rendszer segítségével és a vészhelyzeteket is kellő módon megoldja. Azonban a történelem folyamán már számtalan olyan esettel is találkozhattunk, ahol a túlzott automatizálás kudarcot vallott és bebizonyította, hogy az emberi tényező kihagyhatatlan a beavatkozást illetően.

Ezt bizonyítja az az eset is, ami egy Airbus A320 tesztrepülésén következett be<sup>3</sup>. Az ilyen és ehhez hasonló esetek bebizonyították, hogy a komolyabb pilóta nélküli repülőgépek irányításához az operátor vagy irányító személyzet elengedhetetlen. Azonban az erre a feladatra alkalmas személyek kiválogatása és kiképzése sem egyszerű feladat. Nem szabad figyelmen kívül hagynunk azt az alaptevényt, hogy egy repülőgép vezető az általa vezetett repülő eszköz vezetőfülkéjében helyezkedik el, és így az ő vonatkoztatási rendszere megegyezik a légi járművével. A pilóta a gép minden elmozdulásának közvetlen részese és a beavatkozásainak eredményét is azonnal érzi. Minden érzékszerve közvetlenül segíti a repülő eszközzel történő manőverezésben. Tájékozódásában is egyaránt nagy segítség, hogy a pilóta és a repülőgépe vonatkoztatási rendszere megegyezik. Az UAV operátorok helyzete viszont teljesen más. Ezen problémákra keresett megoldások, következtetések, főként empirikus megfigyeléseken alapszanak. A kezelőszemélyzetek egy konzol előtt vagy egy konzol room-ban ülnek egy mozdulatlan vonatkoztatási rendszerben.

Amit vizuálisan érzékelnek, az egy 2 dimenziós megjelenítés. Ugyanakkor az általuk irányított repülő eszköz egy 3 dimenziós környezetben mozgó 6 szabadságfokkal rendelkező repülőgép.

<sup>3</sup> National Geographic: Légi katasztrófák Airbus A320, Zuhanó népszerűség, 1988.06.26



Ezen kézenfekvő tény azonnal rámutat arra, hogy egy pilóta nélküli légi jármű irányítása miért nehéz és többszörösen összetett feladat.

A probléma megoldása is többlépcsős kiképzést igényel, viszont a kiképzést megelőzve egy kiválogatási tematikát is ki kell dolgozni. Az érzékszervek és az agyi kapacitás ilyen mértékű leterheltsége miatt nem mindenki alkalmas az UAV irányítására és az azzal végrehajtandó feladat végrehajtására. Feltétlenül szükséges, hogy a kezelőszemélyzet rendelkezzen ugyanazokkal a képzettségekkel, mint a repülőgép vezetők.

A feltárt problémák kiküszöbölésére tehát egy megfelelő és a feladatok igényei szerint folyamatosan variálható illetve fejleszhető kiképző konzolra van szükség.

Több éves tapasztalat és egy virtuális légtér üzemeltetése támasztja alá az elméletemet<sup>4</sup>. A Virtuális Légtér nyújtotta szimulációs lehetőségekről egy korábbi publikációmban már esett szó. Az alaptételek azóta sem változtak, csak a kihasználási lehetőségek bővültek. Ezen lehetőségek szélesebb körű kiaknázásában lehet segítségünkre a kiképző konzol. Ez önmagában még kevés, mert egy gondosan felépített eljárási rendre és egy kiképzési tematikára is szükség van. Az általunk kialakított konzol részletes leírásáról azonban majd a későbbiekben lesz szó.

## A PILÓTANÉLKÜLI ROBOT REPÜLŐGÉPEK SZEMÉLYZETÉVEL SZEMBEN TÁMASZTOTT ALAPKÖVETELMÉNYEK

Az elméleti képzés az operátorok számára is kihagyhatatlan. Megfelelő ismeretekkel kell rendelkezniük az Aerodinamika, a Repülés mechanika, a Navigáció, a Repülés meteorológia és a gyakorlati repülés témaköreiben egyaránt.

Az elméleti témakörök gyűjteményét egy könyvhöz hasonló módon, megfelelő grafikai effektekkel kezdtem kialakítani<sup>5</sup>. Ezen kialakítások alkalmazhatósága olyan tapasztalatokra épül, melyeket egy a hallgatók és oktatók számára is egyértelműen felhasználható jegyzetgyűjtemény szoftver bizonyít. A szoftver általam készített keretrendszert és megjelenítést tartalmaz.

Az aerodinamika szükségessége a repüléselmélet alapjaként fogható fel. Az alapfokú ismeretei nélkül a repülőgép vezetése nem elsajátítható. A levegő áramlástan alaptételei, az impulzus tétel, a felhajtóerő tétele és az áramlástan jellemzők ismerete egyaránt fontos. A határréteg kialakulása, a lamináris és turbulens áramlás valamint a repülőgépekre ható erők ismerete a biztosítéka annak, hogy az operátorok tisztában legyenek azzal, hogy mitől repül egy gép, vagy mitől nem. A repülőgép vezetése közben az aerodinamika törvényeinek ismerete készségi szintű kell, hogy legyen.

A repülés mechanika tárgykör oktatásával megismertethetőek a repülő eszközök irányításáért felelős kormányzervek, a fel- és leszállást segítő szárny mechanizációs eszközök. Minden UAV operátor számára elengedhetetlen, hogy tisztában legyen a tervezési és építési konstrukciókkal,

<sup>4</sup> Domján Károly: A szimulátorok kialakulásának szükségessége. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok 2005/2

<sup>5</sup> Domján Károly: Interaktív tananyag tanároknak, hallgatóknak egyaránt. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok 2011/3



aminek köszönhető a repülőgépek stabilitása vagy instabilitása.

A stabilitási jellemzők ismerete segíthet az operátoroknak, a váratlan külső behatások kivédésében.

A navigációs eljárások ismerete a kézi irányítás esetén elengedhetetlen. A repülő eszközök fedélzeti rendszerei igen nagy pontossággal navigálnak, ugyanakkor speciális feladatok végrehajtása, vagy váratlan események bekövetkezése szükségessé teheti a kézi beavatkozást. Ebben az esetben viszont nem szabad elfelejteni, hogy általában a nagy látószögű rögzített nézetű kameraképet közvetít a légi jármű. Ahogy már arról esett szó ez nem csak a kézi irányítást teszi bonyolulttá, de a navigálást is nagymértékben megnehezíti.

A repülés meteorológia több különböző kódrendszert alkalmaz. Ezek visszafejtésével viszont gyorsan, nagy pontossággal megadja a pillanatnyi és a közeli jövőre várható időjárást. A szél-erősség minden repülő eszközre hatással van, de ennek mértéke erősen függ a légi jármű méretétől. Az UAV-k méretei igen eltérőek lehetnek, ugyanakkor az átlag viszonylag kisméretűnek tekinthető, Az időjárási jelenségek hatása ezeknél a repülőgépeknél fokozottan jelentkeznek.

A gyakorlati repülés szükségessége saját tapasztalatok alapján, igen jelentősnek mondható. A kezelő személyzet olyan rálátást kap a repülőgép vezetésére, ami segíti az UAV-k irányításában. A gyakorlati repülés főbb mozdulatainak, eljárásainak készség szintű elsajátítása azonban egy szimulátorban is elsajátítható. Természetesen a szimulátorok között is különbséget kell tennünk. Egy valódi méretű szimulátor kabin, megfelelő látószögű és felbontású kép megjelenítéssel képes az agyat valamint az érzékszerveket úgy befolyásolni, hogy a kiválasztott alany számára az élmény valóságnak tűnjön.

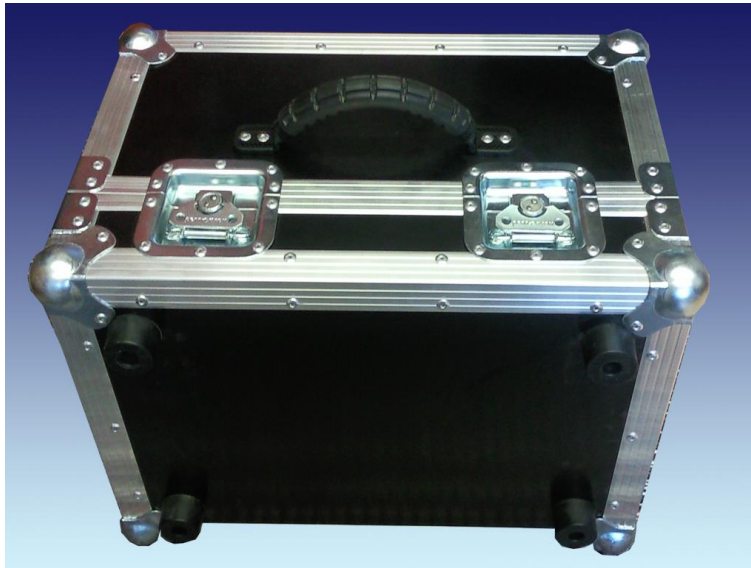
## A KIVÁLOGATÁS, KIKÉPZÉS ÉS GYAKORLÁS RUGALMAS MEGVALÓSÍTÁSÁRA SZOLGÁLÓ SZIMULÁTOR KONZOL ÉS ANNAK FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI

A mai gazdasági viszonyok mellett nem hagyhatjuk figyelmen kívül a költség hatékonyságot. A szimulátorok építése nem csak költséges, de nagy helyigényű is. Ahhoz, hogy ezeket a problémákat kiküszöböljük, újfajta ötletes megoldásokat kell találni. Az alacsony bekerülési és fenntartási költségek mellett a mobilitás is egyre fontosabb szempont. Ehhez azonban nem csak speciális hardverre, de speciális szoftverekre is szükség van. Az általam létrehozott konzol olyan tulajdonságokkal bír, melyek az imént felsorolt alapkövetelményeknek megfelel. Nem csak jól kihasználható, de többcélúan és rugalmasan, a felhasználás közben felmerült igényeknek megfelelően, folyamatosan fejleszhető. A hardver és a szoftver kiválasztása az alap igények szerint történt, ugyanakkor számolva azzal, hogy menet közben újabb speciális igények is felmerülhetnek.

A konzol egyaránt képes a leendő és kiképzendő UAV operátorok kiválogatására, kiképzésére és gyakoroltatására. Az a szempont is figyelembe lett véve, hogy az eszköz hordozható és bárhol felhasználható legyen. Kialakítása mindemellett rendkívül ötletes, és a külső sérülések ellen is rendkívül ellenálló. Az alapvető igények szerint a konzol nemcsak a belső kamerás UAV-k kezelésének gyakorlására alkalmas, de egyaránt használható RC repülőgépekre is.

Ezt egy speciális szoftver és egy speciális RC konzol teszi lehetővé. Az RC távvezérlő egy

speciális USB kábel segítségével kapcsolódik a szimulátor szoftverhez, de önmagában is alkalmas RC modell vezetésére.



1. ábra A szimulátor konzol

A konzol egy keményfalú táska, melynek külső borítása jól ellenáll az esetleges sérüléseknek. A táska sarkai és élei speciálisan erősítettek úgynevezett Flight Case jellegű. Zárszerkezete is biztosított, így a véletlen kinyílás jól kiküszöbölhető. A belső borítás egy speciális szivacs betétből áll, mely nemcsak megvédi a táskában elhelyezett hardver eszközöket, de azok elmozdulását is megakadályozza. A mobil konzol tartalmaz egy nagyteljesítményű Notebook-ot egy Flight Control System-et, és egy RC távvezérlőt. A Notebook teljesítménye a Microsoft Flight Simulátor X szimulátor program futtatására lett méretezve. A program sajátossága, hogy nagy hardver igénye mellett igen komoly grafikai megjelenítésre képes. Ez a teljesítmény lehetővé teszi, hogy a későbbiekben felmerülő igények szerint egyéb más szimulátor szoftvereket is futtathasson. A Notebook-hoz csatlakoztatott Flight Control System különálló botkormányból és egy ugyancsak különálló gázkar konzolból áll. Ergonómiai szempontból igen jó kialakítású vezérlő. Az ergonómiailag kellőképpen kialakított eszköz a leendő személyzetek kiválogatásában és kiképzésében igen nagy előnyt jelent.



2. ábra A szimulátor konzol tartalma

A konzol által biztosított mobilitás megkönnyíti mind a kiválogatást, mind a kiképzést. A doboz stabilitásának köszönhetően a konzol szinte bárhol beüzemelhető, és stabilan üzemeltethető. A teljes kihasználhatósághoz internet kapcsolat szükséges, de a szimulátorok, a kiválogatási, kiképzési tematika of-line módban is teljes mértékig elérhető. A tematika kialakítása és az elméleti segédanyagok multimédiás interaktív formátumban lettek kidolgozva, biztosítva ezzel a távoktatás lehetőségét is. A rendszergazda funkciók, a rendszerüzemeltetés és karbantartás távolról is végrehajtható. Mindemellett a konzol üzemeltetésével kapcsolatban állandó elérésű Help Desk is biztosítva van. A rendszer szintű felügyelet és beavatkozási képesség mellett, a szimulátorok beállításával kapcsolatos segítségnyújtás is biztosított. A Microsoft Flight Simulator X verziójának köszönhetően, a program rugalmasan tesztre szabható és szinte minden felmerülő igényt kielégít. A szoftver felépítésének köszönhetően, bár nem teljesen nyílt forráskódú, mégis viszonylag könnyedén programozható. A konzol lefed bizonyos kutatási területeket is, így például speciális orvosi vizsgálatokat is végre lehet hajtani az eszközzel. Az eszköz iránti igény igen nagy és széleskörű. Speciális feladatok begyakorlására megtervezésére és végrehajthatóságára, a honvédség, a katasztrófavédelem, a légirendészet és más speciális egységek egyaránt igényt tartanak. A szimulátor speciális beállításai úgy lettek elmentve, hogy nemcsak a feladatrendszereknek, de a szükséges repülőgép típusoknak is megfelelnek. A file rendszer struktúrájának köszönhetően, olyan mappa rendszer lett létrehozva, mely biztosítja, a speciális fájlok feltöltésének lehetőségét távolról is és FTP szerverről is. Mivel a konzol elsősorban az UAV-k miatt lett létrehozva, joggal merülnek fel olyan igények, hogy a valódi UAV a szimulátorba is integrálható legyen. Bármilyen repülőgép típus beszerezhető, vagy megépíthető a programhoz. A szimulátor rugalmasságát ez is nagymértékben biztosítja. Erre nemcsak a kiválogatásnál, de a kiképzésnél és a gyakorlásnál is egyaránt szükség van. A leendő operátorok kiválogatásánál, és a kiképzésüknél is más-más beállítás szükséges.

Ezek a beállítások kiterjednek a realiztikusság szimulálására, és így a repülőgépek vezethetőségére egyaránt.

A kiválogatás szempontjait több összetevő alapján kell meghatározni. A jelentkezők között egyaránt lehetnek már képzett pilóták, a szimulátor repülésben járatos, úgynevezett virtuális pilóták,



és olyanok is, akik szinte sohasem használták még ki a szimulátorok nyújtotta lehetőségeket. Ezen csoportokat külön- külön szempontok alapján kell szűrni. Alapvető feltételezés, hogy egy gyakorlott pilóta, illetve azok akik gyakorlott szimulátor felhasználók, azok előnyben vannak, és a kiválogatásnál nagy valószínűséggel jobban szerepelnek egy képzetlen jelentkezőhöz képest, de ez sokszor nem így van. A gyakorlottság lehet előny, de lehet hátrány is. A gyakorlott személyek rendelkeznek számtalan berögzöttséggel, és ez nem mindig előnyös. Ezen képességek objektív értékelésére komoly kiválogatási tematika szükséges. A kiválogatási tematikának tartalmaznia kell jó néhány speciális szempontot. Ezek egyike repülő orvosi kategória és kifejezetten ilyen szakemberek bedolgozását igényli. A másik szempont, hogy gyakorló pilóta, lehetőség szerint oktató is bedolgozza a saját szakmai tapasztalatait a tematikába. A konzol által nyújtott lehetőségek kihasználására, egy informatikában és a szimulátor kezelésében járatos szakember támogatása szükséges. A kiválogatási procedúra lebonyolítása után egy pontos kiértékelés szükséges ahhoz, hogy a végső válogatás megtörténjen. A mért paraméterek pontos rendszerezése után, jó megközelítéssel, a legalkalmasabbak prioritást élveznek.

A kiképzés rendszere egy pontosan összeállított kiképzési tematikát igényel, mely modul rendszerű. Így a képességeknek megfelelően személyre szabható a képzési rendszer. Az elméleti és a gyakorlati képzés több módszerrel is kivitelezhető. Végrehajtása lehet csoportos vagy egyéni, helyi illetve távoktatásos. A helyi képzésekben és a távoktatásban is nagy segítséget nyújt a konzol, mert egy projektor segítségével a multimédiás elméleti segédanyag, és a szimulátor egyaránt megjeleníthető a csoport számára. A konzolon keresztül olyan speciális gyakorlati távoktatás is megvalósítható, mely real time (valós idejű), ugyanakkor két vagy több helyen tartózkodó személyek között biztosítható. A szimulátor specialitása, hogy képes egy virtuális légtérhez kapcsolódni, melyben szinkronizált adatkapcsolat biztosított. Egy kifejezetten ilyen repülésekre specializálódott Virtuális Repülő Klub saját légtér szervere állandó elérést biztosít. Ilyen a Blue Sky Virtuális Repülő Klub is. Ehhez a kiképzési project-hez is ez az egyesület biztosítja a folyamatos elérhetőséget. A gyakorlati távkiképzés a virtuális légtéren belül úgy is biztosítható, hogy az oktató és a növendék egy repülőgépben ül, és a vezérlést bármikor oda-vissza átadhatják egymás között. Ez a rugalmasság mind térben, mind pedig időben elhanyagolhatatlan. A kiképzés folyamatosan nyomon követhető és felügyelt. Az egyesület weboldala olyan adatbázissal rendelkezik, mely pontosan méri, kezeli, és számon tartja a repült időt és a feladatokat.

A gyakoroltatás rendszere szintén rászabható a konzolra, a virtuális légtérre, és az erre a célra elkészített Training tematikára. Mivel az UAV-vezetése összetett feladat, a szimulátoron eltöltött repült idő csak segíti annak a képességnek az elmélyülését, mely képesség birtokában a korlátozott megjelenítés ellenére is magabiztos a repülő eszköz vezetése. Az operátorok természetesen több segítséget is megkapnak annak érdekében, hogy az eszköz irányítása és navigálása pontos legyen. Mindezen rendszerek ellenére a gyakoroltatás lépcsőzetessége igen fontos.

Az egymásra épülő rendszerek mindegyike nagy jártasságot igényel. A gyakorlásra specializált feladatrendszerek, a legeltérőbbek lehetnek. A valóságban nagy biztonsággal végrehajtott speciális feladatok kivitelezésének minősége, erősen függ a gyakorló feladatok végrehajtásának számától. Az ismétlési szám növekedésével a készség szintű képességek egyre inkább bevésődnek, elmélyülnek.



## A VIRTUÁLIS LÉGTÉR<sup>6</sup> MINT ELMÉLETI ÉS GYAKORLATI KÉPZÉSI HELYSZÍN

A szimulátoros repülés egyik nagy előnye, különösen az UAV-k tekintetében, hogy a szimulátor által megjelenített kép, csak viszonylag kis mértékben tér el a valódi kamera által közvetített képtől. Ennek köszönhetően a valósághű szimuláció professzionális gyakorlási és tanulási lehetőséget biztosít, a repülőgép vezetése pedig szinte teljesen megegyezik a valódi repülőgéppel. Mind a szimulátorban, mind a valódi konzol room-ban, egy vagy több képernyő előtt ülnek az operátorok és ennek a megegyezésnek az előnyeként, a vezérlők használata is valósághű. A szimuláció még magasabb szintjét, a már említett Virtuális Légtér, esetünkben a BLUE SKY biztosítja. A légteret egy nagyteljesítményű szerver biztosítja a nap 24 órájában. A belépés jelszóval védett, így az illetéktelen részvétel kizárt. A virtuális légtér szinkronizálja a csatlakozó klienseket, így az adatkapcsolat folyamatos. A szinkronizált adatkapcsolat lehetővé tesz olyan feladat végrehajtásokat, melyek alapján ketten is tudnak egy gépben ülni, vagy többgépes kötelékrepülést is végre lehet hajtani. A hardver erősségétől függ, hogy folyamatosan minimum 25 fps képfrissítés fenntartható-e, de ebben az esetben a látott kép teljesen folyamatos. Több gépes vagy kötelékrepülés esetén ennek igen fontos jelentősége van. A légtérhez az egyesület tagjai is bármikor csatlakozni tudnak, így az általuk generált légi forgalom élővé teszi ezt a cyber teret. A valódi légtér sem üres, így ez a forgalom is csak növeli a szimuláció realisztikusságát. A légteret egy weboldal is támogatja, mely külön adatbázist tartalmaz, így nemcsak a flight plan-eket (repülési terveket), a pír-eket (Pilot Report, repülés utáni jelentés), de a virtuálisan repült repülőgépek üzemidejét és a pilóták repült idejét is egyaránt rögzíti, nyilvántartja és megjeleníti a web felületen. A vizuális kapcsolat mint tudjuk csak egy csatorna, és ez a repülésben még kevés. Az audio kapcsolatot a szerveren futó rádiószerver program biztosítja, így a közvetlen hangkapcsolat is megvalósított. Létrehozott csatornák biztosítják a frekvenciák szerinti elkülönítést. A program egyik fő jellemzője, hogy a szimulátorban repült légi jármű rádió konzolján beállított frekvenciára átvált a program, és biztosítja az azonos frekvencián lévők közötti folyamatos hangkapcsolatot. A repülési tervek, és a repülés utáni jelentések leadását is a weboldal biztosítja. A légteret egy másodlagos kliens szoftver is kiegészíti, mely biztosít egy olyan url csatornát, amelyen real time-ban megjelenítésre kerül a leadott repülési terv, és a repülőgép pillanatnyi pozíciója és repülési paraméterei. Ennek az opciónak köszönhetően a virtuális légtér telítettségéről már úgy is képet kapunk, hogy a szimulátorba még be sem léptünk, illetve fizikailag a légtérhez még nem csatlakoztunk.

### A MULTIMÉDIÁS INTERAKTÍV KÉZIKÖNYV

A kézikönyv a konzolhoz tartozó fontos kiegészítés mely segíti a szimulátorok és a konzol használatát. Azonban nemcsak felhasználói kézikönyv, de tartalmaz interaktív jegyzeteket és tananyagokat is. A kézikönyv<sup>7</sup> keretrendszere és multimédiás kialakítása egy általam már az

<sup>6</sup> Domján Károly: A szimulátorok kialakulásának szükségessége. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok 2005/2

<sup>7</sup> Domján Károly: Multimédiás tansegédlet Mi-24D,V,P többcélú szállító harcihelikopter típusok fülkeismeret tananyag oktatásához. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok 2010/2

előző években elkészített, ugyan csak Interaktív Kézikönyvhöz hasonlít. A MI-24 harci helikopterekről készített, az oktatásban, önképzésben, és képzésben is felhasználható multimédiás szoftver bebizonyította, hogy egy hasonló szoftver igen kényelmessé és könnyen felhasználhatóvá teszi az információkat. Mind a MI-24es helikopterekről, mind a konzolhoz készült Interaktív Kézikönyvről elmondható, hogy egyedi és teljesen saját tervezés. A grafikai kialakítás látványos és változatos. A megjelenítésével változatosá és könnyen használhatóvá teszi a Multimédiás Interaktív Kézikönyvet.



3. ábra A Multimédiás Interaktív Kézikönyv kezdőoldal

A kézikönyv felépítése:

- Microsoft Flight Simulator X
  - kézikönyv;
  - interaktív jegyzetek;
  - nyomtatványok;



4. ábra A belső menürendszer

- FS X file rendszere, felépítése;
- a Virtuális Légtér és az egyesület;
- a szimulátor konzol és üzemeltetése;
- FS X interaktív menürendszer.



5. ábra Az Interaktív jegyzetek

- Phoenix RC Simulator
  - Interaktív menürendszer;
  - RC modellezés és a szimuláció;
  - A HITEC Optic-5 RC konzol.

Amint az jól látható a kézikönyv mindkét telepített szimulátor szoftvert tartalmazza. A jegyzetek tartalmazzák a kiképzéshez szükséges tananyagokat, a virtuális légtérhez történő csatlakozás leírását, a Help Desk kihasználhatóságát, és a szimulátor szoftver programozását. Ezek mindegyike teljes anyagokat ölel fel, így a konzol és a multimédiás szoftver kerek egészet alkot.

Mivel az RC modellezés a repülés egy teljesen más ága, külön leírást és külön logikai felépítést igényel. A modell vezetése az érzékszervek kifinomultságát különösen igényli. Azonban az is fontos tény, hogy az irányító konzol egyszerre alkalmas a modell irányítására, valamint USB kábelen keresztül az RC szimulátor irányítására. Az irányító konzol, a HITEC Optic-5, ergonomiailag sem a megszokott. Kialakítása tipikus RC vezérlőé. Kezelése sok gyakorlást és az agy teljes átállását igényli. Más a vonatkoztatási rendszer, és nem egyszerű feladat, hogy gép haladási irányához képest készség szintű legyen a fordított kormányhatások lekezelése. A szimulátor konzol továbbfejlesztett változata egy nagy felbontású projector segítségével a falra nagy méretben képes a kép kivetítésére, így a gyakorlást végző személy a fal előtt állva, valóság-hű élményeket kap. Ha a későbbi kutatások, vagy speciális feladatok úgy igénylik a konzol akár több monitort is, és egy tablet PC- t is tartalmazhat. A konzol rugalmasságát a továbbfejlesztési lehetősége erősen befolyásolja.

## ÖSSZEGZÉS



Említsük meg a feltárt problémákat az UAV operátorok kiválogatásával, kiképzésével és gyakoroltatásával kapcsolatban, és a problémák megszüntetésének lehetőségeit. Mivel tárgyaltuk az eltérő vonatkoztatási rendszerek által generált nehézségeket, és a megjelenítési képességek határait, állítsuk szembe a konzolt ezekkel a problémákkal. Rendszerint egy probléma igen nehezen vagy egyáltalán nem átugorható, ezért meg kell kerülni. A konzol 1.0-ás verziója is igen komoly lehetőségeket biztosít, a későbbiekben ezen lehetőségek köre csak bővíthet. Mind a szimulátor konzol, mind a rajta futó speciális szoftverek, mind pedig a kiegészítő multimédiás anyagok folyamatosan az igényeknek megfelelően fejleszthető. Nem elhanyagolható az a tény sem, hogy az általunk létrehozott egység igen költséghatékony, és biztosan felveszi a versenyt bármely nemzetközileg már ismert eszközzel. Az a teljesítmény, és alkalmazhatóság, melyet a mobil konzol is biztosít, olyan sokoldalú, hogy emellett a bekerülési költsége szinte eltörpül. Az alkalmazhatóság nem korlátozódik le a kiképzésre és a gyakorlásra, több egymástól független kutatási területen is egyaránt felhasználható. A mobil konzol statikus változata, bármely oktatási és kutatási, vagy akár orvosi központ számára is hasznos lehet.

*A publikáció a TÁMOP 4.2.1.B 11/2/KMR-2011-0001 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások”, pályázat keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg*

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] National Geographic: Légi katasztrófák Airbus A320, Zuhanó népszerűség, 1988.06.26
- [2] Domján Károly: A szimulátorok kialakulásának szükségessége. Repüléstudományi Közlemények ISSN 1789-770X, Szolnok, 2005/2.
- [3] Domján Károly: Interaktív tananyag tanároknak, hallgatóknak egyaránt. Repüléstudományi Közlemények ISSN 1789-770X, Szolnok, 2011/3. .
- [4] Domján Károly: Multimédiás tansegédlet Mi-24D,V,P többcélú szállító harcihelikopter típusok fülkeismert tananyag oktatásához. Repüléstudományi Közlemények ISSN 1789-770X, Szolnok, 2010/2.



Ozsváth Sándor<sup>1</sup>

## AZ UT-2-ES ÉS JAK-18-AS REPÜLŐGÉP BEMUTATÁSA ÉS MAGYARORSZÁGI ALKALMAZÁSA<sup>2</sup>

*A magyar repüléstörténet során a Jakovlev által tervezett UT-2-es és Jak-18-as repülőgépekkel generációk sajátították el a motoros repülés alapjait. Mindkét típus egy olyan evolúciós folyamat eredménye, amely több évtizeden keresztül tartott, és amelynek végállomása a hazánkban is rendszerben álló Jak-52-es repülőgép. Érdekes tehát e két típuson keresztül megvizsgálni ezt a fejlesztési folyamatot, a repülőgépek kifejlesztésnek körülményeit és magyarországi alkalmazásukat.*

### **THE INTRODUCTION OF THE YAKOVLEV UT-2 AND YAK-18 AIRCRAFT, AND THEIR USE IN HUNGARY**

*In the history of Hungarian aviation, generations learnt the basics of powered flight on UT-2 and Yak-18 aircraft, which were designed by Yakovlev. Both types are the results of an evolutionary process that lasted several decades, culminating in the Yak-52, which is still in service in Hungary and other countries. Therefore, it is worthwhile to examine the design process and its circumstances through these types, as well as their utilization in Hungary.*

### AZ UT-2 KIFEJLESZTÉSE ÉS KÜLÖNBÖZŐ VÁLTOZATAI

Alekszandr Szergejevics Jakovlev a nagy szovjet repülőgép tervezők második generációjához tartozott. Szakmai karrierjében ez a tény gyakran előnyként vagy éppen hátrányként érvényesült. Személyét illetően Sztálin többször hangoztatta, hogy Jakovlev ahhoz a korosztályhoz tartozik, amely politikai értelemben véve még ártatlan és nincs még „elrontva” [1]. Alán ennek a ténynek, jó politikai kapcsolatainak, valamint a könnyűrepülőgépek terén végzett sikeres fejlesztőmunkájának köszönhetően sikerült az ifjú konstruktőrnek átvészelnie a politikai tisztogatások időszakát. Az „elrontottak” azonban gyakran mindent elkövettek, hogy a sikeres ifjú tervező munkáját megnehezítsék. Ez a kártékony hozzáállás nyilvánult meg akkor is, amikor a Repülőipari Főigazgatóságának utasítása alapján Jakovlev repülőgép építő műhelyét Moszkvában a Leningrádi úton található ágykészítő gyárba telepítették ki. A fém és fémegmunkáló gépek hiánya, rendkívül nehéz körülmények nagymértékben meghatározták Jakovlev tervezői felfogásának kialakulását. Az idősebb konstruktőr generáció (pl. Polikarpov) tagjaitól eltérően minden téren törekedett az egyszerű és letisztult műszaki megoldások alkalmazására. Ennek a tervezői felfogásnak kiváló példája a Jakovlev által a 30-as évek elején tervezett alsószárnyas egyfedelű AIR repülőgépek. Ezeknek a repülőgépeknek a kifejlesztése során olyan alsószárnyas rétegelt falemezzel burkolt konstrukciókat alkottak meg, amelyeknek a tervezése és gyártása során szerzett tapasztalatokat közvetlenül fel lehetett használni az UT-2-esnél. A koncepció életképességét komoly sportsikerek is igazolták. A szép vonalvezetésű repülőgépekkel a nemzetközi szakmai sajtó először az 1934-es párizsi majd az

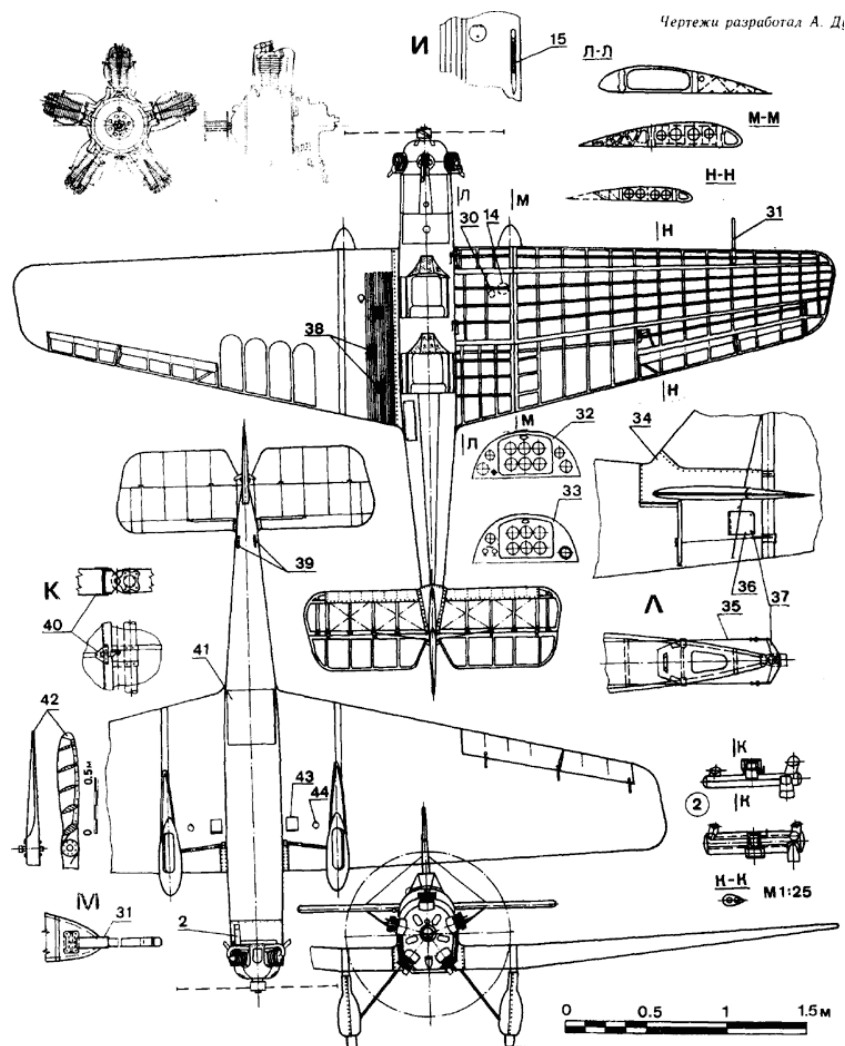
<sup>1</sup> Honvéd Koronaőrseg csoportparancsnok, ifj.ozsvath.sandor@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Békési László ny. mk. alez; főiskolai tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, bekesi.laszlo@uni-nke.hu



1935-ös milánói nemzetközi repülőnapon találkozhatott. [1] A kísérleti AIR-10 könnyűrepülőgép bázisán kialakított UT-2-es egy olyan korban született, amelyben nem léteztek mai értelemben vett javító-bázisok, kiépített repülőterek, állandó minőségű üzemanyagok. Olyan repülőgépet kellett alkotni, amely a legzordabb körülmények között is biztonságosan üzemeltethető, és egyszerűen javítható. Ahhoz azonban, hogy a fent leírtak megvalósulhassanak mindenekelőtt egy egyszerű felépítésű és nagyon megbízható léghűtéses motorra volt szükség. Ez a motor volt a Svecov M-11, amely az egyetemes repüléstörténetben is egyedülálló karriert futott be. A hatalmas példányban legyártott csillagmotor különböző változatai az UT-2 mellett beépítésre kerültek a Jak-6, Jak-12, Jak-18, UT-1, valamint mintegy hatalmas számban a Polikarpov Po-2 repülőgépekbe. Az M-11-es motor kifejlesztése Arkagyij Dmitrijevics Svecov nevéhez köthető, aki 1925 és 1926 között tervezte meg az akkor korszerűnek mondható, öthengeres alumínium hengerfejű csillagmotort. A konstrukció életképességét bizonyítja az is, hogy ez a csillagmotor számos fejlesztést kibírt hosszú pályafutása során. Utolsó változatai már állítható légsavart hajtottak, a felszálló üzemmódban leadott teljesítmény, pedig elérte a 120 kW-ot (160 LE). Az UT-2 első példánya 1935. június 11.-én emelkedett a levegőbe Julian Ivanovics Piontkovszkij berepülőpilótával az ülésben. [1] Már az első repülés alatt sikerült 210 km/h sebességet elérni, ami a harmincas években jónak mondható volt a kiképző repülőgépek terén. A repülőgép manőverező képessége, jó kormányozhatósága és kiváló stabilitása már az első repülések során bebizonyosodott. Érdekességképpen megemlíthetjük, hogy történtek korai kísérletek Renault „Bengali” motorok beépítésére is. [9] A biztató eredmények ellenére ezekkel a soros motorokkal történő kísérleteket stratégiai okok miatt leállították. Az indoklás szerint nem akartak nagy példányszámban gyártott olyan kiképző repülőgépet rendszerbe állítani, amelynek a motorja nem a Szovjetunióban készül így az összes későbbi változatba az M-11-es csillagmotor került beépítésre. Mivel a típusnak nem mutatkoztak komolyabb gyermekbetegségei a berepülési program gyorsan haladt. Az első felszállástól számított egy hónap múlva a repülőgép bemutatásra került a párt és a kormány vezetői részére rendezett bemutatón a tusinói repülőtéren, 1935. július 12.-én. A Sztálin és Vorosilov előtt megtartott bemutatón az UT-2-es repülése előtt egy U-2-es (Po-2) balesetet szenvedett. [1] Talán ez az epizód is kellett ahhoz, hogy az UT-2 elnyerte Sztálin tetszését, ami a sok problémát elhárított a típus előtt az akkori Szovjetunióban. Miután a politikai és katonai vezetés is megismerte a típust, rögtön megkezdődtek az állami ellenőrző próbák, amely lehetővé tették a haderőn belüli rendszeresítést. A rendszeresítést megelőzően azonban még át kellett dolgozni az üzemanyag tartály kialakítását, mert az állami ellenőrző bizottság kevesellte a mindössze 2 órára elegendő betölthető üzemanyagot. [8] Az üzemanyag tartály áttervezését követően a gyártás 1937 szeptemberében indult meg két helyszínen, majd később összesen öt gyárban készült a típus. Az egyszerű szerkezetnek és egyszerű kialakításnak köszönhetően nem merült fel sem technológiai sem szervezési probléma a gyártás során. 1937 szeptemberétől 1965 végéig mintegy 7120 repülőgép került legyártásra. Az UT-2 kiképző repülőgép „UT” elnevezésének két kezdőbetűje az orosz *учебно-тренировочный* kifejezésből származik, ami a típus fő feladatkörére, a kiképzésre és gyakorlásra utal. Az repülőgép a bázis típust képező AIR-10-től eltérően nem vegyes, hanem tisztán faépítésű alsószárnyas konstrukció. A keleti területekre telepített gyáraknak köszönhetően a háború alatt napi 3-4 repülőgép került átadásra. A szárnyak borítása hajlított nyírfá lemez, a vezérsíkok egy része és a kormányfelületek vászonnal borítottak. Az UT-2 alapváltozat szárnya egyenes (1. ábra), a továbbfejlesztett UT-2M szárnya a futó bekötésétől kifelé nyilazott. A sorozatgyártásba kerülő gépek a prototípustól eltérő 82 kW (110 Le) teljesítményű M-11Gs. motorváltozatot kapták. A motor kétágú fa légsavart hajt, amely minden típusváltozatnál fix, nem állítható. Futóműve merev, farok csúszós elrendezésű. [9] A futók a korai sportváltozatoknál, valamint az UT-2L

változatnál áramvonalazott, a standard kiképzőváltozatoknál „papucs” nélküliek. A pilótafülke pár kis számban épített túra változatot, valamint az UT-2L-t leszámítva nyitott. A pilótaülések külön kivágásban vannak, mélyen ülnek, így a beszállást kisméretű lefelé nyitható ajtók teszik lehetővé. A második ülés mögött egy kisméretű csomagteret találhatók, amely a baloldaltól nyitható. A prototípustól eltérő, a szériaváltozatba (1. ábra) épített gyengébb M-11Gs motorok szerény képességű repülőgéppé tették az UT-2-est. Bár a repülőgép nagyon igénytelen volt, egyszerű volt kezelni és üzemeltetni, sok baleset adódott az alulmotorizáltságból. Különösen a lapos dugóhúzóra való hajlam miatt a 1940-től a sorozatgyártásba kerülő gépeken változtatásokat hajtottak végre. Megnövelték a törzs hosszát és változtattak a vezérsíkok beállításán. A változtatások ellenére továbbra is fennálló dugóhúzó hajlamból és lecsúszásokból adódó balesetek hatására (Magyarországon is történtek ilyen balesetek mindkét problémából adódóan [4]) a típuson



1. ábra UT-2 alapváltozat<sup>3</sup>

1941-ben végrehajtottak egy jelentősebb fejlesztést, amelynek az eredménye az UT-2M megjelenése. A fejlesztés során átdolgozták a szárnyat, amely enyhén nyílazott lett, valamint a „V” beállítá-

<sup>3</sup> Forrás: [www.airwar.ru](http://www.airwar.ru)



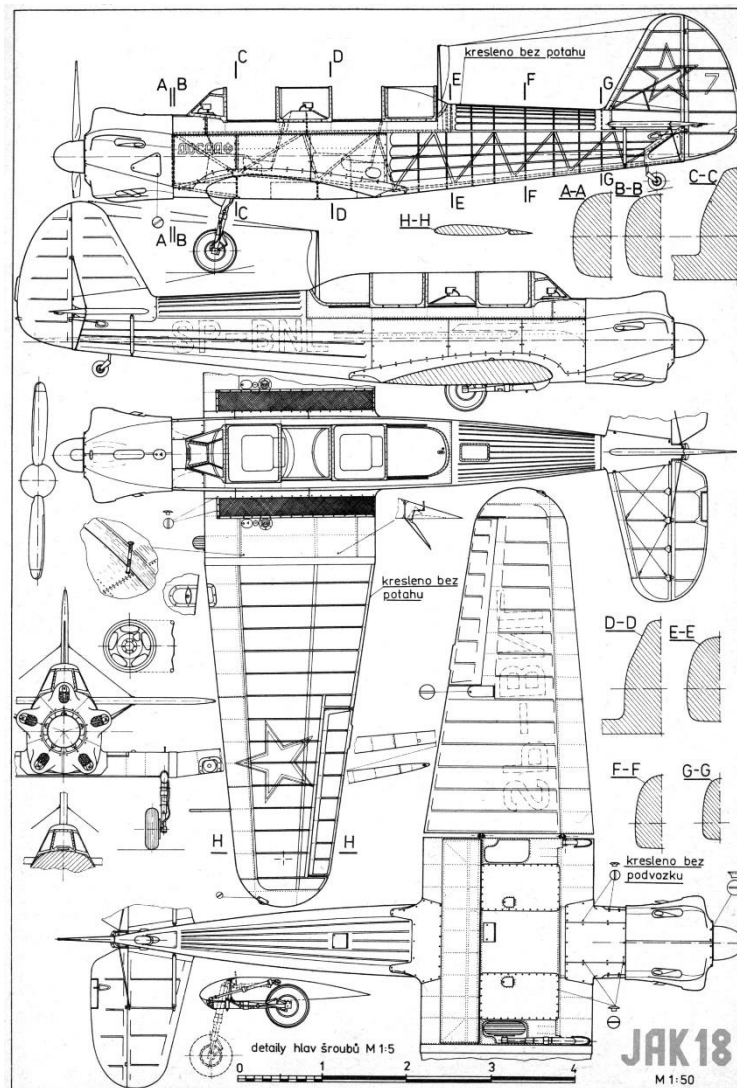
táson is változtattak. A főleg a szárnyat érintő változtatásoknak köszönhetően a repülőgép kis sebességű repülési tulajdonságai jelentős javulást mutattak. Így a szerényebb teljesítményű motorhoz jobban megfelelt az új sárkány. Dugóhúzóba esést követően a zuhanásból nagyon könnyen ki lehetett venni. A kivételhez elég volt minden kormányt alaphelyzetbe állítani, és a pörgés azonnal megállt, el lehetett kezdeni a felvételt. Az UT-2M pedig növendékek által elkövetett durva repüléstechnikai hibákat is jobban tolerálta, mint az alapváltozat. A kedvező tapasztalatok hatására kisszámú UT-2M repülőgépet lehetővé tettek db. 50 kg.-os bomba hordozására is. [9] A bombavetéshez átalakított változatok az UT-2MB megnevezést kapták és a kiképzés során elsősorban a vonatok elleni támadás oktatására használták. Az oktatás mellett ebből a változathoz került harcoló alakulatokhoz is, ahol éjszakai zavaró bombázásokban vett részt. A módosított „M” változatokból kisszámú torpedóvetés gyakorlására alkalmas gépet is készítettek, melyek hasa alá arányosan kicsinyített gyakorló torpedókat szereltek. Ezeket a gépeket UT-2C-ként jelölték. A második világháború azonban sok problémára világított rá, amelyek nem csak a repülőgépet, hanem a szovjet kiképzési rendszert is érintették. Míg a harmincas évek Polikarpov által tervezett vadászipülőgépeibe az I-16-os kivételével közvetlenül átültethetőek voltak a növendékek, addig a háborúban résztvevő első vonalbeli szovjet vadászipülőgépek esetén ez már nehezen volt megvalósítható. Olyan kiképző repülőgépre volt szükség, amely alapvető repülési tulajdonságai, műszerezettsége jobban közelít az első vonalbeli vadászipülőgépekéhez. Mivel a háború miatt egy új konstrukció megtervezésére, berepülésére és gyártására nem volt mód, ezért Jakovlev nekikezdett az UT-2-es jelentős átdolgozásához. Természetesen új motor kifejlesztésére sem lehetett gondolni, ezért az áttervezés során végrehajtott változtatások nagy része aerodinamikai jellegű volt. Az újonnan kifejlesztett változat elnevezése UT-2L lett, első felszállásra pedig 1943 végén került sor. Az áttervezés során az alapváltozat egyenes szárnyát vették alapul, amelyre egy darabban lenyíló féklapokat szereltek, valamint a csűrőket fémborítással látták el. Áramvonalas burkolatot kapott a motor és a futómű is. A kerekeket fékezhetővé tették, a farok csúszó helyett pedig kormányozható farokkereket szereltek fel. A jelentős átalakításokat sikerült úgy végrehajtani, hogy nem lépték túl az alapváltozat eredeti tömegét. A berepülések során szerzett kedvező tapasztalatok hatására megkezdődött a nullszéria legyártása, ezt azonban félbe kellett hagyni, mert az állami vezetőkől nem kapott zöld utat a repülőgép. [9] A kudarc oka nem a koncepcióban, hanem a szovjet háborús gazdaságban keresendő. 1944-re ugyanis a fém repülőgépek gyártása olyan mértékben futott fel, hogy egyszerűen gazdaságtalan lett volna a meglévő kapacitásokat nem kihasználni.

## A Jak-18 KIFEJLESZTÉSE ÉS KÜLÖNBÖZŐ VÁLTOZATAI

A második világháború során a Szovjetuniót ért támadás felkészületlenül érte a Vörös Hadsereg Repülőerőit. A hatalmas veszteségek pótlására azonnal és méghozzá nagyszámú kiképző repülőgépre volt szükség, ezért olyan fogalmak, mint a hosszú távú üzemeltethetőség vagy a megtérülés a pillanatnyi háborús gazdaságban lényegteleneké váltak. A szerepkörben alkalmazott UT-2 és Po-2 tökéletesen megállta a helyét, azonban az első vonalban alkalmazott repülőeszközök rohamos fejlődése indokoltta tette egy már az új korszakhoz tartozó kiképző repülőgép létrehozását. Olyan új kiképző repülőgépnek a létrehozására volt tehát szükség, amelynek repülési tulajdonságai, műszerezettsége jobban hasonlított az új generációs harci repülőgépekéhez. Ennek a problémának megoldására már a háború alatt megkezdődött a sikeres UT-2-es repülőgépek erőteljes



továbbfejlesztése. A létrehozott UT-2L prototípusa zárt pilótafülkét, féklapot, fékezhető futóművet és kormányozható farok kereket kapott. A számos műszaki fejlesztés mellett aerodinamikailag is erőteljesen átdolgozták a bázistípust, amelynek tömege az alapváltozaténál kisebb lett. Az ígéretes repülési próbák ellenére az UT-2L-ből sohasem gyártottak nagyobb mennyiséget. A típussal szerzett tapasztalatok azonban nem veszték kárba, hiszen ezeket az ismereteket közvetlenül fel lehetett használni egy új kiképző repülőgép kifejlesztése során. Az UT-2L sikertelenségének oka nem magában a koncepcióban, hanem a szovjet repülőgépipar átalakulásában keresendő. További szempontként érvényesült a hosszú távú üzemeltethetőség kérdése is. A 30-as évek fából készült, vászonnal feszített repülőgépei gyorsan elhasználódtak, hiszen a Szovjetunió szélsőséges éghajlata nagyon megviselt minden, a szabad ég alatt tárolt repülőeszközt. A mostoha időjárási körülmények között egy szabadban tárolt faépítésű repülőgép sárkánya átlagosan 5-6 év alatt tönkrement, így még egy olyan erős hadiiparral rendelkező országban, mint a Szovjetunió, felmerült a gazdaságosabb alternatívák keresése. Az új gép kifejlesztésére már 1944 végén megkezdték az előkészületeket a Jakovlev iroda munkatársai.





A konkrét munka azonban 1945 decemberében indult meg, Sz. V. Szinyelscsikov konstruktőr vezetése alatt. [9] Azt, hogy mennyire égetően szükség volt egy új kiképző repülőgépre, az a tény is mutatja, hogy a gyár tervezői nem várták meg a kormány hivatalos megbízását, hanem a saját elképzelésük szerint kezdték meg az új típusú kiképző repülőgéppel szembeni elvárások megfogalmazását és tervezési szempontként történő meghatározását. Az iroda tervezőinek elgondolása szerint az új alapfokú kiképző repülőgépnek állítható légsavarral, behúzzható és fékezhető futóművel, fékszárnyal, zárt pilótafülkével és vakrepülésre alkalmas műszerezettséggel kellett rendelkeznie. Azt, hogy a tervezők helyesen gondolkodtak, a Repülőgépipari Minisztérium kifejlesztésre irányuló utasításában tartalmazott elvárások is beigazolták. Az utasításban foglaltak szerint a legnehezebb megoldandó problémát a tengerszinten 260 km/h maximális sebesség elérése jelentette. 1945-ben a szovjet gazdaság csak egy típusú kiskategóriás motort tudott nagy számban gyártani, ez pedig a 20-as évek végén kifejlesztett Svecov M-11 volt. Igaz, volt kísérlet erősebb motorcsalád kifejlesztésére M-12 néven azonban ezek a motorok nem váltották be a hozzájuk fűzött reményeket, így az egyetlen 1945-ben szóba jöhető motor, továbbra is az M-11 maradt. Az M-11-es öthengeres, léghűtéses csillagmotor már az UT-2-es sorozatban gyártott változataiban is gyengén teljesített, amely miatt az alapvetően jó konstrukció pályafutása alatt végig alulmotorizáltsággal küszködött. Az M-11-es csillagmotor teljesítményét tehát erőteljesen növelni kellett, valamint változtatható légsavarral ellátni, annak érdekében, hogy a maximális sebességre vonatkozó minisztériumi előírások megvalósulhassanak. A megoldást az M-11 segédberendezésekkel ellátott M-11FR változata jelentette. A jól kiforrott konstrukcióból kialakított FR változatok már úszó nélküli karburátorral, vákuumszivattyúval, generátorral rendelkeztek, azonban teljesítményük még mindig csak mindössze 120 kW-ra (160 LE)-re korlátozódott. [9] Ahhoz, hogy az elvárt sebességet tudja hozni az új gép az UT-2 és AIR sorozatú Jakovlev gépekénél gondosabb aerodinamikai tervezésre volt szükség. Ebben a tervezési munkában jött jól a gyártásba nem került UT-2L repülőgép aerodinamikai fejlesztése során szerzett tapasztalat. A Jak-18-as tervezése során leghasznosabbnak az M-11-es motort körbe ölelő, hengerenként külön áramvonalasított motorburkolat átvétele bizonyult, amely elem később a repülőgép első szériáinak fő ismertető jelévé vált (2. ábra). A motorburkolat mellett a törzs és a kabintető kialakításának számos jellemzőjét is sikerült adoptálni az új tervbe, így nem csoda hogy a Jak-18-as sok hasonlóságot mutat az UT-2L-el. A tervezés 1945-ben jól haladt, így nemsokára megkezdődhetett a prototípusok építése. Érdeemes megemlíteni, hogy egymás mellett két prototípus került megépítésre eltérő motorokkal és eltérő légsavarokkal. Az egyik gépbe M-11FM motort és VIS-AV-22 légsavart, a másik gépbe, pedig M-11FR-1 motort és V-112A/12 légsavart építettek. A berepülési program végrehajtása során a legtöbb probléma a nem megfelelően működő légsavarokból adódott. A V-112A/12-típusú légsavar nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, ezért a helyére a VIS-327EV típusú állítható légsavar került beépítésre, aminek a segítségével a repülőgép teljesítménye jelentősen javult, valamint motorleállás esetén lehetőség volt a levegőben történő újraindításra is. [9] Már igen korán történt kísérlet egy könnyített műrepülő változat kifejlesztésére. Ennél

---

<sup>4</sup> Forrás: [www.airwar.ru](http://www.airwar.ru)

a típusnál elhagyták a rádiót, a műszerezettséget minimálisra csökkentették és az üzemanyag tartály kapacitását 35 kg-ban, maximalizálták. Azonban a hadsereg támogatása nélkül a programnak ezt a részét nem lehetett folytatni így a műrepülő változat kialakítását jó időre félretették. A berepülések és állami ellenőrzőpróbák után a gyártás 1947 tavaszán indult meg három repülőgépgyárban. A gyártás megindítása azonban korántsem volt zökkenőmentes, hiszen az új gép egyben új gyártástechnológiai részleteket is hordozott magában, így időbe telt, amíg az érintett üzemek megoldották a felmerülő problémákat. [9] A kezdeti nehézségek ellenére a Jak-18-as szép karriert futott be, bázisául szolgálva számos további fejlesztésnek. A sikeres konstrukciót igazolja a legyártott 4830 repülőgép, amelyek sokkal tovább maradtak szolgálatban, mint az elődtípus UT-2 vagy Po-2.

	UT-2	Jak-18A	Jak-18T
Hossz	7.15 m	8.35 m	8.39 m
Magasság	2.99 m	3.35 m	3.4 m
Fesztáv	10.6 m	10.2 m	11.16 m
Maximális sebesség	210 km/h	300 km/h	250 km/h
Üres súly	628 kg	1025 kg	1217 kg
Motor típusa	M-11D	AI-14RF	M-14P
Teljesítmény	93,2 kW (125 le)	224 kW (300 le)	268 kW (360 le)

1. táblázat Az UT-2, Jak-18A és Jak-18T repülőgépek főbb adatai<sup>5</sup>

## Jak-18 (alaptípus)

A gyártás megindítását követően a repülőgépet 1948-ban bemutatták a Helsinkiben megrendezett nemzetközi repülőnapon. Az eredeti M-11-es motorral készült változatok (2. ábra) a szocialista tömb minden országában megfordultak, hazánkban egy kisebb sorozatot is gyártottak belőlük Esztergomban. Ezek a gépek Lengyelországba kerültek exportálásra, egy példány felújított állapotban a mai napig üzemképes. Az M-11-es motorral felszerelt alapváltozat legnagyobb felhasználója Kína volt, ahol 378 példányt gyártottak CJ-5 néven. [9] Az alapvetően jó tapasztalatok ellenére 1949-ben változtatásokat hajtott végre a sorozatban gyártott gépeken. Javították a pilótafülke szigetelésén, amire azért volt szükség, mert bizonyos helyzetekben a kipufogóból égéstermékek jutottak a kabinba. A műszerfalak megvilágítást átdolgozták, és készítettek egy sítalp készletet a repülőgéphez. Ennek az utólag beépíthető készletnek a felszerelésével mély hóban is lehetséges volt a fel- és leszállás. A végrehajtott apróbb változtatások ellenére még mindig nagyon hiányzott egy erősebb motor, hiszen az M-11FR beépítése korántsem volt ideális megoldás. Bár a növelt teljesítményű öthengeres csillagmotorral repülő Jak-18-as jól megállta a helyét az alapkiképzés terén, műrepülés és kötelékrepülés oktatására már erősen korlátozottan lehetett használni. [8] Első kísérletként 1949 őszén beépítésre került a már említett M-12-es csillagmotor. A kiforratlan erőforrás azonban nem vált be ezért ismét egy új motor után kellett nézni.

## Jak-18A

<sup>5</sup> Forrás: wikipedia.com



A megoldást az AI-14R motor beépítése jelentette, amely 220 később 260 lóerős teljesítményével új távlatokat nyitott meg a gép fejlesztése terén. Mivel azonban az új motor kilenc hengerével nagyobb méretű és tömegű volt, ezért változtatni kellett a törzs elülső kialakításán és a motorbakokon. A repülőgép fejlesztése azonban nem csak az új motor beépítésében nyilvánult meg. A Jakovlev iroda konstruktöreinek ismét hozzá kellett igazítaniuk kiképző repülőgépük jellemzőit az első vonalban alkalmazott repülőgépekéhez. Mivel ebben az időszakban már gőzerővel zajlott a MiG-15-re történő átfegyverzés, ezért a fejlesztőmérnökök átépítették a gép futóművét orrkerekes kialakításúra. Az orrkerék kialakításán túl természetesen megváltoztatták a főfutókat is. Érdekességképpen említhetjük meg, hogy a főfutók áttervezésével lehetőség nyílt rá, hogy füves talajra szerkezeti károsodás nélkül hasra lehessen szállni a géppel (amennyiben sikerül a légsavart vízszintesen megállítani). A Jak-ok ezen, tulajdonsága bizony sokszor bizonyult hasznosnak az elkövetkezendő évtizedekben. A szerkezeti változtatások mellett a műszerezettséget is fejlesztették, annak több eleme megegyezett a MiG-15 műszerezettségével. A felsorolt változtatások természetesen a gép tömegének növelését is eredményezték. A tömeg növekedésének másik oka a szilárság erősítése volt. Az AI-14R motor beépítésével a repülőgép műrepülő tulajdonságai nagymértékben javultak, különösen a vertikálisan végrehajtott figurák terén. A szárnynak megmaradtak azonban a hagyományosan jó tulajdonságai is, így továbbra is jól lehetett alkalmaznia az alapfokú kiképzésben, hiszen a repülőgép még a megnövekedett tömege ellenére is pilótabarát maradt.

### *Műrepülő változatok és világrekordok*

A típussal kapcsolatban már a 40-es évek végén felmerült egy speciálisan műrepülő változat kialakításának ötlete. Az elgondolás szerint minden a műrepülés szempontjából lényegtelen elemet kiépítettek volna a gépből, az üzemanyagtartály kapacitását, pedig drasztikusan lecsökkentették volna. Az akkori fejlesztési körülmények azonban nem tették lehetővé a műrepülő változat gyártását, hiszen a katonai érdekek mellett a sportérdekek eltörpültek. A hatvanas évek elejére azonban a Szovjetunió a globális fegyverpiac meghatározó tényezője lett, repülőgépiparának termékeit, pedig rendszeresen bemutatták a legnagyobb repülési szakkonferenciákon és repülőnapokon. Miután a politikai támogatást sikerült megszerezni, a Jakovlev iroda nekilátott a Jak-18 bázisán két műrepülő változat megalkotásához. Az első 1957-ben bemutatott Jak-18P változat erősített szárnyú változat volt elsősorban repülőklubok számára, amit 1959-ben követett a jóval kiforrottabb Jak-18PM. [9]



3. ábra Az 1966-os világbajnokságot megnyerő Jak-18 PM<sup>6</sup>

Ennél a változatnál átdolgozták a motor üzemanyag ellátását így a PM-ek már akár 5 percig is tudtak háton repülni, a negatív figurák végrehajtásakor pedig nem hagyott ki a motor. 1966-ban jelent meg a Jak-18PS amely a legerősebb volt a műrepülő változatok közül. A legsikeresebb változat AI-14RF motorja 300 lóerős volt és 1966-ban Vladimir Martemianov-nak sikerült megnyerni vele a műrepülő világbajnokságot. A típushoz azonban nem csak ez a világbajnoki cím, hanem számos egyéb rekord is kötődik. Összesen kilenc hitelesített világrekordot repültek a Jak-18-as különböző változataival. Ezek közül a két legjelentősebb, 1951-ben 2000 km-es zárt háromszögön elért 209,6 km/h átlagsebesség, és ugyan ebben az évben 1000 km-es zárt útvonalon elért 237,8 km/h átlagsebesség. [9]

### *Jak-18T*

A Szovjetunió repülőgépipara a 60-as években átalakuláson ment keresztül. Bár még mindig az elsődleges fejlesztési terület a katonai repülés volt, azonban egyre több kutatási eredmény került át a polgári repülés területére. A polgári repülés fejlődésével párhuzamosan, jogosan merült fel az igény egy olyan kiképző repülőgépre, amely egymás melletti üléselrendezéssel rendelkezik, és célorientáltan jobban megfelel a polgári pilóták képzésére. A még tervezőasztalon lévő gép iránt az Aeroflot jelentős érdeklődést mutatott így a tervezés a polgári légi közlekedésben jártas szakemberek bevonásával folytatódott. A születendő gép szárnyának jelentős része a PM műrepülő változatáé volt. Ennek oka az lehetett, hogy a négyülékes kialakításból adódó többlet súly elviselésére nem kellett teljesen új szárnyat alkotni. A PM változat szárnya mellett szólt az is, hogy a megerősített szerkezet miatt ebben a szárnyban egyszerűbben lehetett elhelyezni az üzemanyag tartályokat. A repülőgép törzse a farok részt leszámítva teljesen új konstrukció volt. A beszállást nagyméretű előre nyitható ajtók tették lehetővé. Ennek az ajtónyitási megoldásnak köszönhetően kapta a repülőgép a „Lepke” becenevet a Szovjetunióban. A kabin műszerezettségé fejlettebb, mint az elődöké, a kormányok mozgatása szarvkormányokkal történik.

<sup>6</sup> Foto: <http://www.aero-concept.com>



4. ábra Jak-18T és Jak-55 kötelékben<sup>7</sup>

A Jak-18-as gépcsaládon alapuló új négyülékes repülőgép az 1967-es Le Burget nemzetközi repülőnapon került bemutatásra, ahol nem keltett különösebb feltűnést. [9] Mivel a prototípus a bemutatás előtt pár nappal készült el, ezért a teljes berepülési program ezt követően indult meg. A V. Shahin berepülőpilóta által vezetett tesztprogram során megállapítást nyert, hogy az új repülőgépnek figyelemre méltó tulajdonságai vannak. [8] A négyülékes kialakításának ellenére megőrizte az elődök mozgékonyágát, így teljes mértékben műrepülhető maradt (tömegkorlátozással). A berepülési program során szerzett tapasztalatok alapján átalakításra kerültek a csűrők, a kabintető, és a fedélzeti fényszóró. A sorozatgyártásba került példányok a 360 lóerős M-14P motort kapták, amelynek üzemanyag ellátó rendszerét át kellett dolgozni a típus szerkezeti kialakításának megfelelően. Ezeknek az átalakításoknak továbbá az oka az volt, hogy a sorozatgyártást követően a szériagépeken alaposabb vizsgálatokat hajtottak végre. A vizsgálatok tárgya a szélsőséges éghajlatokon történő alkalmazhatóság volt, amely során megállapítást nyert, hogy maga a repülőgép nagyon jól bírja a szélsőséges időjárási körülményeket, az utastér komfortja viszont nem megfelelő. A vizsgálatok után apróbb módosításokat hajtottak végre a kabin szigetelésén és fűtésén. A 90-es évek elején egyre több Jak-18T került a nyugati országokba, ahol miután megismerték ezeket a repülőgépeket, nagy sikert arattak. Sikerük kulcsa abban a hosszú fejlesztő munkában keresendő, amely még az 50-es években indult meg. Ennek köszönhetően a Jak-18T kategóriatársainál sokkal, több képességgel rendelkezik bár kétségtelen, hogy üzemeltetése nem tartozik a legolcsóbbak közé. Mivel maga a típus alapját egy alapvetően katonai kiképző repülőgépben határozhatjuk meg, ezért repülési jellemzői és teljesítménye össze sem egyeztethető a Cessna vagy a Piper gyárak négyülékes repülőgépeivel. A típus sikerét mutatja, hogy miután a nyugati pilóták jobban megismerték a Jak-18T-t a hirtelen támadt kereslet miatt a gyár csak egy éves szállítási határidővel volt képes befogadni a megrendeléseket.

<sup>7</sup> Foto: <http://www.airplanesgallery.com>



## Az UT-2-es Magyarországi alkalmazása

A típus magyar szempontból történő pályafutása nem az 1948-as beszerzéssel kezdődött. A második világháború során Harkov térségében sikerült egy üzemképes példányt zsákmányolnia a magyar honvédeknek. [3][4] A repülőgép egy rövid kiértékelést követően szolgálatba állt és futárfeladatokat hajtott végre a keleti fronton.



5. ábra Keleti fronton zsákmányolt UT-2<sup>8</sup>

1948. szeptember 10.-én 33 db. UT-2 repülőgép (I-251-től 283-ig), valamint 2 db. földi gyakorlógép (I-010 és I-011) került leszállításra. [8] A repülőgépeket szovjet személyzet repülte Mátyásföldre, ahol a berepülések és a műszaki átvétel szeptember 21.-én fejeződött be. A rendszerbe állított repülőgépek 1948. október 18-ig „Uhu” ezt követően „Galamb” fedőnevet kapták. [5] Az átadott repülőgépekről tévesen terjedt el a hazai repülőberkekben az a nézet, hogy a továbbfejlesztett „M” változat példányai voltak (vagy a leszállított gépek egy része UT-2M volt). [5] A rendelkezésre álló adatok elemzése alapján azonban ma már nagy bizonyossággal kijelenthetjük, hogy a Magyarországon átadott repülőgépek kivétel nélkül az alapváltozathoz tartoztak. A repülőgépek gyártási adatait tekintve valószínű, hogy az alapváltozat utolsó szériáiból kerültek átadásra. Az átadott gépek a földi gyakorlásra szánt két példányt kivéve új építésűek voltak, a beépített motorok egy része azonban túltárolt volt, és ezek között akadt olyan, ami még a háború alatt 1943-ban készült. A földi gyakorlásokra szánt gépek háborús gyártású nagyjavított gépek voltak. A rendszerbe állított gépek intenzív használatnak voltak kitéve, az erőltetett ütemű kiképzés miatt azonban számos géptörés és katasztrófa következett be. A bekövetkezett nagyszámú esemény közül csak a 0418-as gyári számú repülőgép esete (benzincső törés) vezethető vissza technikai okokra, minden más eseményt karbantartási hiányosság és pilótahiba idézett elő. [5] Az UT-2-es használhatóságát bizonyította, hogy mivel tisztán faépítésű repülőgépről van szó, ezért sok apróbb sérülést a tábori körülmények között is ki lehetett javítani. A folyamatos karbantartás ellenére a gépek sárkányának állapota gyorsan romlott. Az idő előtti állapotromlás fő oka a szárnyak gyakori megázása volt, ami a tisztán fa építésű repülőgépek legnagyobb ellensége. A helyzetet tovább rontotta, hogy a szolnoki hangár omlásveszélyes állapota miatt veszélyessé vált a gépeket a hangárban tartani, ezért az ott elhelyezett 18 repülőgépet is a szabadban kellett tárolni, így a rendszeresített repülőgépek minden példánya az év nagy részét a szabad ég alatt töltötte. [4] A nagyfokú elhasználódás miatt 1950-re esedékessé vált

<sup>8</sup> Foto: Repülőmúzeum gyűjteménye

17 repülőgép javítása, melyet az esztergomi Sportáru Termelő Vállalat végzett el. [8] A típus haderőből történő kivonása 1950. szeptember 6.-án kezdődött meg, amikor is 19 db. repülőgépet adtak át az OMRE (Országos Magyar Repülő Egyesület) észére. Az átadott repülőgépek nagy részét kioldó berendezéssel látták el, amely alkalmassá tette őket a vitorlázó repülőgépek vontatására. Az UT-2 ebben a szerepkörben jól megállta a helyét mivel az időszak első nagyteljesítményű vitorlázógépének az R22 Június 18-nak a nagyobb sebességet igénylő vontatásához jobban megfelelt, mint az akkoriban rendelkezésre álló vontatógépek többsége.

### A Jak-18 ÉS Jak-18T magyarországi alkalmazása

A háború után újjáalakuló légierő UT-2-es repülőgépei gyorsan elhasználódtak, ezek pótlásának érdekében került rendszeresítésre a Jak-18-as. A hazánkban rendszeresített gépek a Szovjetunióban készültek, M-11FR motorral ellátott alapváltozathoz tartoztak és a „Fürj” fedőnevet kapták. A rendszerbe állított repülőgépek jól beváltak. Az M-11-es motor könnyen üzemeltethető és karbantartható volt, az M-11FR szerényebb teljesítményű változata jól ismert volt az UT-2-ből, így sok raktáron lévő alkatrészt lehetett felhasználni a csereszabotosság miatt. 1956 után azonban a légierő mérete jelentősen csökkent így a nagyméretű kiképző alakulatokra nem volt szükség, a motoros alapkiképzés végrehajtását átvette az MHSZ. A légierő állományából 1958-ban került átadásra 22 repülőgép. Az átadott gépek megtartották sötétzöld színüket, a kiadott új lajstromok HA-FAA-tól HA-FAV-ig tartottak, és ezeket fehér színnel festették fel. [8]



6. ábra Jak-18 a Néphadseregben<sup>9</sup>.

A kiöregedett típust selejtezésére 1965-ben került sor, feladatát a Zlin Trener gépcsalád tagjai vették át. A hazánkban jelenleg is repülő Jak-18T gépeken kívül két darab Jak-18 található múzeumban. Az egykor Esztergomban legyártott, lengyel exportra kerülő gépek közül egy példányt eredeti állapotúra restauráltak. Jelenleg ez a gép SP-YYY lajstromjellel gyakran szerepel bemutatókon, egy másik példány szintén felújításra alkalmas állapotban van, megszerzésére és felújítására magyar civil szerveze-

<sup>9</sup> Foto: Repülőmúzeum gyűjteménye

tek folytatnak tárgyalásokat. A típus hazai történetében érdekes színpont az a magyar magánvállalkozás, amely megszerezte a jogosítást a típus nagyjavítására, jelenleg pedig számos Nagy-Britanniában repülő Jak-18T típusú repülőgép üzemeltetését és javítását végzi. [2]



7. ábra Jak-18-asok egy propagandafilmen. Az előtérben Körmenyi János színművész<sup>10</sup>

## ÖSSZEGRZÉS

A Jakovlev tervezőiroda kiképző repülőgépei a repüléstörténetben egyedül állóan hosszú fejlesztési folyamaton mentek keresztül. Ennek a fejlődési folyamatnak a meghatározó tényezői közé tartoztak a kiképző repülőgépekkel támasztott igények változásai, valamint a rendelkezésre álló ipari és technológiai háttér. A célszerűsre és egyszerű, letisztult műszaki megoldásokra törekvő tervezői felfogás lehetővé tette a folyamatos fejlesztést, amely még napjainkban is tart. A Magyarországon alkalmazott UT-2-es és Jak-18-as repülőgépek jól megállták a helyüket, sikeresen segítették az újjáéledő légierő alapjainak lerakását.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Alekszandr Szergejevics JAKOVLEV: Szárnyak, emberek, Zrínyi 1977
- [2] Technikai utasítás: a Jak -18T repülőgép és az M-14R motorjának karbantartási, időszakos munkái / Magyar Repülő Szövetség 1995
- [3] Repüléstörténeti Konferencia Közleményei 1995 (Repülőmúzeum gyűjteményéből)
- [4] GIBÁS Andor: UT-2 „Galamb”, kézirat, (Repülőmúzeum gyűjteményéből)
- [5] IFJ. HORDÓS Tibor: A repülő iskolapad, Aeromagazin 2000 december-2001 január 90-91. o.
- [6] WINKLER László: Hazánkban használt szovjet repülőgép típusok 1944-ig, Malév Repülés és Üzemeltetési Konferencia, 1988, (Repülőmúzeum gyűjteményéből)
- [7] Gordon KOMISAROV OKB Yakovlev, Midland 2005
- [8] www.avia-info.hu (lajstromjelek) 2013.02.11.
- [9] www.airwar.ru 2013.02.20.

<sup>10</sup> Foto: Repülőmúzeum gyűjteménye

Schuster György<sup>1</sup> – Terpez Gábor<sup>2</sup> – Radnai Viktor<sup>3</sup>

## MIKROKONTROLLEREK ALKALMAZÁSA AUTOMATA REPÜLŐ SZERKEZETEK BEN<sup>4</sup>

*A járművekben a 80-as évek elejétől alkalmaznak mikrokontrollereket, ez az utóbbi másfél évtizedben elengedhetetlen tartozéka lett járműveinknek a mindennapi használatban - akár a földi, vízi, vagy légi járműveinket tekintjük. Ez az előadás ezeknek az elektronikus eszközöknek a követelményeknek megfelelő kiválasztásával, alkalmazásával, fejlesztési kérdéseivel és tesztelésükkel foglalkozik. A cikk ismerteti egy eljárást, amely kezdeti szakaszban segíti az alkalmazott algoritmusok kipróbálását.*

### MIKROCONTROLLER APPLICATION ON AUTOMATIC FLYING VEHICLES

*Microcontrollers have been applied on vehicles boards since early 80s. Those devices have become essential parts of our vehicles in the last fifteen years, considering cars, ships or airborne machines. This presentation deals with selection, application, development questions and testing of those electronic parts. Moreover this paper shows a method that can help to check applied algorithms in early development phase.*

## BEVEZETÉS

A vezető nélküli járművek alkalmazására az igény egy jobban növekszik. Ennek több oka van, például az élőerő alkalmazásának csökkentése, illetve ennek a védelme. Az utóbbi időben ezeknek az eszközöknek fokozatosan növekedett az autonómiája, ahogy egyre több számítási intelligenciát lehetett a fedélzetre telepíteni.

Ennek a szintje már elérte azt, hogy egy kisméretű eszköz fedélzetén akkora számítási teljesítmény helyezhetünk el, amely lehetővé teszi egy teljes küldetés levezérlését – beleértve a váratlan és vészhelyzeti szituációkat is.

Ebben a bevezetőben eddig szándékosan nem említettük a légi robotokat, mert ezek a megállapítások minden autonóm járműre igazak. A légi eszközök esete speciális, mivel a ezek három dimenzióban mozognak.

Ez bizonyos szempontból többlet feladatot jelent, de azt is meg kell említenünk, hogy pontos navigáció esetén sokkal kisebb esély van az akadályokkal történő ütközésre, illetve ezek kerülésére, hasonlítsuk csak össze egy városi közlekedésben résztvevő gépkocsival.

A megfelelő fedélzeti vezérlőrendszer kialakítására célszerű eszköz a mikrokontrollerek alkalmazása.

<sup>1</sup> Dr; OE KVK MAI igazgató, schuster.gyorgy@kvk.uni-obuda.hu

<sup>2</sup> OE KVK MAI oktató, terpez.gabor@kvk.uni-obuda.hu

<sup>3</sup> OE KVK MAI szigorló

<sup>4</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre ny. okl. mk. ezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék



Ebben az előadásban azt a fejlesztő munkát szeretnénk bemutatni, amelyet intézetünkben folytatunk ebben a témakörben.

### **Alkalmazott érzékelők és problémáik**

Egy robotrepülőnek lényegében azonos műszerezettségűnek kell lennie, mintegy hagyományos IFR szabályok szerint repülő repülőgépnak, tehát szükségünk van a gép térbeli helyzetére, a repülő eszköz haladási irányú és függőleges sebességére, illetve a vonatkoztatási rendszerben történő dőlésszögekre és ezek változásaira.

Az elsődleges alkalmazott érzékelő a GPS. A GPS által szolgáltatott pozíció jelentős zajjal terhelt, a szolgáltatott pozíciók szórása 2-4m közötti értékeket mutatnak ez egyértelműen nem megfelelő a repülés alighanem minden szakaszán, de a leginkább kritikus a leszállás.

Ezért a GPS jelei igen alapos szűrésen kell átesniük. Továbbá az esetleges vételi kiesések is problémát jelenthetnek.

A nyomásérzékelők alkalmazása kézenfekvő, viszont az utóbbi időkhöz ezek mérete és kialakítása nem tette lehetővé, hogy kisméretű eszközön alkalmazzunk. Most lehetőség nyílt arra, hogy ezeket az érzékelőket a fedélzetre telepítsük, az egyetlen kérdés, hogy milyen módon tudjuk ezeket kalibrálni.

Ez a probléma azonban megoldható. További megjegyzés, hogy a függőleges sebesség mérésére nem kell külön érzékelőt használni, a magasság érzékelő jelének differenciál hányadosa tökéletesen megfelel. A tengely irányú orientációk célszerű eszközei a műhorizont, a csúszásjelző és az elfordulás jelző. Ezeket az információkat tengelyirányokban elhelyezett gyorsulásérzékelők és a többi érzékelőkből származó jelek kombinációjából számítható.

További lehetőség a mágneses irányok használata. Ezek az érzékelők szintén zajjal terheltek. Például a gyorsulásérzékelők zajként veszik a motorok és a légcsavar(ok) által keltett rezonanciát. A közvetlen akadályok érzékelésre célszerű érzékelő egy 2D LiDar<sup>5</sup>.

Azért elegendő a 2D, mert nem célunk a térképezés, illetve nem cél a LIDAR által biztosított navigáció, azonban földközelségben az útirányban található, illetve a kikerülési irányban található akadályok felfedezése lényeges. Sajnos ez az egyetlen eszköz, amelynek az ára egyelőre túl magas.

A fejlesztés során a többször felmerül a kérdés, hogy miért nem használunk ultrahangos érzékelőt. A válasz nagyon egyszerű. Ezek az érzékelők túlságosan függenek a környezeti körülményektől, nem beszélve az áramló levegő által keltett zajokról - különösen helikopter esetén.

### **Számítási igény**

A fedélzeten alkalmazott számítástechnikai eszköz kiválasztásánál két kérdés merül fel, ezek:

1. Képes-e az egység az adott számítási feladatot elvégezni. Például szükséges-e lebegőpontos aritmetika, vagy az alkalmazott szószélesség elegendően nagy?
2. Képes-e az egység az adott feladatokat a real-time követelményeknek megfelelően elvégezni?

Tény, hogy az érzékelőink által szolgáltatott adatok alapvetően egészjellegűek, illetve analóg

---

<sup>5</sup> LiDar Laser Imaging Detection and Ranging)





jelek. Ez azt sugallja, hogy elegendő olyan vezérlőt használni, amely úgynevezett fixpontos aritmetikával dolgozik.

Tapasztalataink szerint olyan aritmetikai műveletek esetén, ahol több osztás történik célszerű lebegőpontos aritmetikát használni.

A legfontosabb információt a GPS egységből és a sebesség szenzorból kapjuk. További járulékos és kiegészítő információk a gyorsulás érzékelőkből és a magasságmérőből származnak.

A GPS 2-4m-es szórást mutat tengelyenként. Ezt mindenképpen korrigálni kell, mert, vagy lerontjuk a pozicionálás pontosságát - amely nagy magasságban tulajdonképpen megfelel –, vagy valamilyen szűrő algoritmust választunk.

#### **Lehetőségek:**

- klasszikus FIR digitális szűrő;
- klasszikus IIR digitális szűrő;
- Kálmán filter.

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a Kálmán filter adja a legjobb eredményt, viszont relatív nagy számítási igénye van.

Célszerűen a minden olyan bemeneti jel, amely zajjal terhelt ezt a szűrőalgoritmust használja. Ez egész egyszerűen programozási kérdés, csak egy algoritmust kell implementálni és tesztelni, ezután csak paraméterezni kell.

A repülőeszköz irányítására fuzzy algoritmusokat használunk, ezen belül is a Mamdani MMG döntést használjuk. A számítási igény nem túl magas [2]. A legnagyobb számítási igényt a súlypontok számítása jelenti. Ez alapvetően négy kimeneti jelet jelent.

#### **A bemeneti jelek:**

- GPS x;
- GPS y;
- GPS z;
- gyorsulás x;
- gyorsulás y;
- gyorsulás z;
- gyorsulás horizontális tangenciális;
- mágneses irány (elektronikus iránytű);

amennyiben légnyomásmérésen alapuló műszereket is használunk:

- magasság;
- sebesség.

A felsorolt bemeneti információk közül a GPS adatok elsődleges navigációs információt jelentenek és a feldolgozásuk az úgynevezett kívánt pozíció és a valós pozíció eltérése alapján történik ezért az X, Y és Z irányban 5 elemű fuzzy klasztert tervezünk.

A GPS adatok nem közvetlen kormány akciókat jelent, hanem irány követési információt szolgáltatnak. Ez azt jelenti, hogy nem azt mondja meg például, hogy az UAV oldalkormányát mennyire kell kitéríteni, hanem azt, hogy mekkora iránykorrekcióra van szükség - mondjuk 10



fok eltérés vízszintes irányban.

A sebesség adatok származtathatók a GPS adatokból, ezeket - a már egyszer szűrt adatokat célszerű újra szűrni. Az a tény, hogy a GPS abszolút koordinátákat szolgáltat és az ebből származó sebességi adatok szintén az abszolút koordináta rendszerhez viszonyítottak.

Ha lehetőség van légsebesség mérésre, akkor két sebességi adattal célszerű dolgozni. Az egyik az abszolút sebesség, amely a kívánt abszolút sebesség és a valós abszolút sebesség eltérése. A valós légsebesség alapvetően az aerodinamikai jellemzőkkel kapcsolatos döntésekben játszik szerepet. Ennek széles időben történő repüléskor van fokozott jelentősége.

A kívánt és a valós abszolút sebesség eltéréséből származó motor szabályozás bemeneti szabályrendszere 5 szabályból áll. Ezt a szabályrendszert egy befolyásolja a légsebességből származó 9 szabályos szabályrendszer. A kimeneti szabályok klasztere 5 elemű. A gyorsulásérzékelők adatait igen alaposan kell szűrni, mert adataik egyszeres vagy kétszeres idő szerinti integráláson keresztül további állásszög, dőlésszög és elfordulás információkat biztosítanak.

A fentiek alapján ezeket a jeleket numerikusan integrálni kell. Mivel a mintavételezés elég sűrű első próbálkozásként egyszerű korrektív trapéz eljárást alkalmazunk.

A fentiek alapján a GPS  $x,y,z$ , a sebesség abszolút, a légsebesség és a statikus légnyomás továbbá a gyorsulás érzékelők jelei igényelnek fokozott szűrést, erre Kálmán szűrőket célszerű használni (12 darab).

A célszerű mintavételezési idő 10 ms. Ez azt feltételezi, hogy lebegőpontos aritmetikával rendelkező processzort kell választani.

### **Mikrokontroller választás**

A számítási igény magas, viszonylag sok lebegőpontos műveletet kell elvégezni rövid idő alatt. Ezért csak olyan mikrokontroller jöhet szóba, amely lebegőpontos támogatással rendelkezik.

*A lehetőségek:*

- DSP processzor. Előnye, hogy a mátrix műveleteket rendkívül gyorsan hajtja végre. Hátránya az, hogy általános feladatok elvégzésére nem optimális;
- 32 bites lebegőpontos processzor. Előnye, hogy minden szempontból kielégíti az igényeket, képes általános célú operációs rendszer futtatására. Hátránya, hogy többségük tokozása úgynevezett BGA, amely speciális beültető technológiát kíván. Másik problémájuk, hogy a programozásuk operációs rendszer támogatás nélkül bonyolult;
- beültető. Ilyen eszközök az ARM Cortex Ax magos eszközök. Ezekre a kontrollerekre többféle operációs rendszer implementálható és teljesítményük is elegendő a feladat elvégzésére. Ilyen mikrokontrollerek például az ARM Cortex M3 magos áramkörök.
- 32 bites mikrokontroller lebegőpontos támogatással. Előnyük az egyszerű beültetés, megfelelő lebegőpontos számítási teljesítmény, kis operációs rendszerek megfelelő támogatása. További előny, hogy ezek az eszközök az ipari interfészeket ezek az eszközök támogatják. Például ilyen mikrokontrollerek az ARM Cortex M4 magos áramkörök.

A motor, a szervók és a fedélzeti kiegészítő feladatok ellátására célszerű egy egyszerű PWM



támogatással rendelkező 32 bites kontrollert választani. A könnyebb építés, fejlesztés és hibakeresés érdekében ez a controller legyen egy külön egység. Célszerű választás ARM Cortex M0, M3 magos eszközök.

Ha a fedélzetre speciális érzékelőket telepítünk, például valamilyen digitális képrögzítő eszköz, akkor célszerű 32 bites lebegőpontos eszköz alkalmazása. Ekkor azonban lehetőség van a kereskedelemben kapható kész kártyák alkalmazására, amelyek az egész egyszerű eszközöktől a többprocesszoros eszközökig – viszonylag elérhető áron – beszerezhetők. Amennyiben ezen eszközök számítási teljesítménye kevésnek bizonyul, lehetőség van ezek klaszterbe kötésére [1]

Ha a GPS navigációt kiegészítjük LiDar eszközzel, amely ismert környezetben lehetővé teszi a navigációt, illetve az akadály elkerülést. Ezt az eszközt is önálló feldolgozó egységhez kell kötni, mivel sebessége akkora számítási kapacitást köt le, hogy a többi feladatra nem maradna kellő idő.

Ha az teljes navigációt LiDar-ra bizzuk, akkor az akadály felismerés és a leképezett tér komparálásához mindenképpen nagy teljesítményű eszközre van szükség.

Az alkalmazott számítástechnikai eszköz, a térképezett területtől, a felbontástól és repülőeszköz sebességétől függően változó teljesítményt igényel. Ekkor megfontolásra kerül a klaszter alkalmazása. A járulékos probléma a klaszter real-time használata.

Ezt a problémát úgy tudjuk feloldani, hogy a klaszter fölé egy "karmestert" rendelünk, amely az információk be - illetve kijuttatását ütemezi.

Ha a klaszter teljesítménye elég arra, hogy a mintavételezési időn belül képes eredményt szolgáltatni, akkor a megoldás megfelelő [3].

## **Fejlesztési és tesztelési módszerek**

Első pillantásra a szoftver fejlesztésére számos lehetőség adott, azonban három szempontot tartottunk szem előtt, melyek a következők:

- a fejlesztői környezet legyen ingyenes,
- az alkalmazott fordító és hibakereső programok legyenek kompatibilisek egymással és a PC-n futó programmal,
- legyen elegendően hatékony és támogatott, hogy az adott feladatot el lehessen végezni bennük.

Az első szempont nem is kérdéses, az egyetlen probléma az, hogy létezik-e ilyen környezet. A válasz nagyon egyszerű, a gcc és a gdb adott rocesszorra kifejlesztett változatai rendelkezésre állnak. Ha valaki integrált fejlesztői környezetet szeretne használni, akkor javasolt eszköz az Eclipse. Az alapértelmezetten alkalmazott fejlesztési környezetünk a megfelelő gcc fordítóprogram és az ehhez tartozó gdb. Ez a fejlesztő kollégák túlnyomó többségénél megfelelő.

Következő kérdés, hogy a fordítók miért legyenek kompatibilisek. Számos olyan eljárásunk és algoritmusunk van, melyek PC-n kényelmesen ellenőrizhetők, tesztelhetők, de a cél rendszeren csak nagyon nehezen. Ilyen eljárás például a Kálmán szűrő, illetve az egyes fuzzy döntési eljárások.

A harmadik szempont szintén lényeges. Mivel az alkalmazott fejlesztési eszköznek az adott mikrocontroller számára támogatottnak kell lennie. Tehát képesnek kell lennie az adott – processzor specifikus – bináris kód előállítására, illetve ennek debuggolhatónak kell lennie. A

fuzzy szabályrendszerek generálását egy egyszerű grafikus tervezői felülettel rendelkező szkript állítja elő. A tesztelési eljárások mindegyikét az adott környezetek biztosítják. A funkcionális tesztelésre azonban Radnai Viktor szigorló hallgató munkája alapján egy alapvető funkcionális tesztelési eljárást alkalmazunk.

A módszer lényege, hogy a Flight Gear nyílt forráskódú repülés szimulátor modelljeit használjuk fel oly módon, hogy a vezérlési interfészeket a PC felületeivel kötjük össze, így elsődleges tesztelést tudunk végrehajtani.

Kérdés az alkalmazott modell helyessége. Egyelőre a fejlesztett UAV modellje még nincs kész, így egy Cessna 172 modelljét használjuk fel.

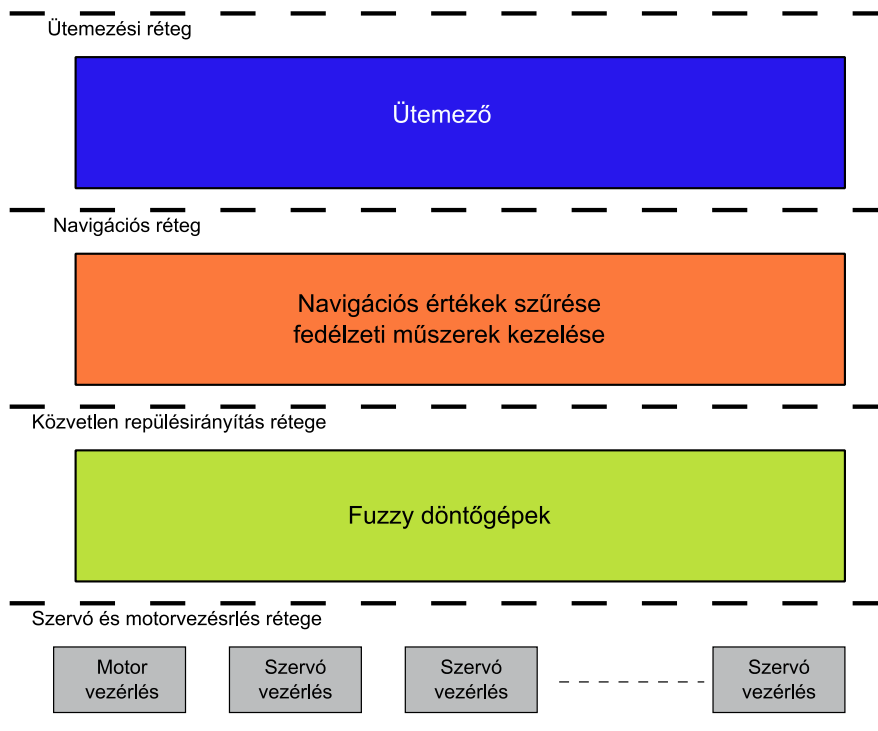
### Javasolt hardver architektúra

#### A hardvert célszerű rétegesen felépíteni, ennek okai:

- minden egyes hardver elemet külön-külön lehet tesztelni, kezdve például a szervó vezérlőket. Miután minden funkciót leellenőriztünk lehet a következő réteget felépíteni. Ezen kívül minden egyes rétegben található eszközök funkcionálisan - kiépített teszt-környezetben – ellenőrizhetők;
- második szempont, hogy a hardveren egyszerre több tervező és építő dolgozhat a megadott specifikációk alapján.

Hátránya a réteges felépítésnek, hogy az összes hardver igény megnövekszik, a hardver megbízásodás valószínűsége is növekszik, továbbá a rétegek közötti kommunikáció is „sebezhető”.

#### A javasolt felépítés:



1. ábra A navigációs rendszer elvi vázlatja



## A rétegek:

- a szervó és motorvezérlés rétege. Ebben a rétegben csak és kizárólag a motor fordulatszám szabályozása és a szervók mozgásának elektronikai találhatók;
- a közvetlen repülésirányítás rétege. Itt vannak azok a fuzzy döntőgépek, amelyek biztosítják, hogy a kormányokat a rendszer úgy kezelje, hogy az UAV a megfelelő pályát járja be. Ezen réteg feladata a vészhelyzeti eljárások kezelése is;
- a navigációs rétegben vannak az alap navigációs funkciók, illetve az érzékelők szűrőalgoritmusai is. Itt kerülnek szűrésre a GPS jelei és a légnyomáson alapuló műszerek jelei. Ha van LiDar az ütközés elhárítás döntése is itt történik meg. A réteg másik funkciója, hogy a kívánt pályát és a valós pályát összevesse és parancsot küldjön az alatta lévő rétegnek, hogy az UAV kerüljön vissza a kívánt útvonalra;
- a ütemező réteg feladata a rendszer navigációs rétegének ütemezése.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A fejlesztés jelen esetben túl van a szervó és motorvezérlő áramkörök tesztelésén. Jelenleg a kormányvezérlési modellel kísérletezünk a Flight Gear használatával.

A szűrőalgoritmusok beállítása is folyamatban van, egy tablet segítségével földfelszínen gyűjtjük a GPS információkat, de az idő javulásával kísérletet szeretnénk végezni egy movit fedélzetén is.

Legnagyobb problémánk a LiDar rendkívül magas ára, ezért kollégáink egy egyszerű eszköz kifejlesztésébe kezdtek, amely 2D-ben képes kis pontosságú térképezésre elfogadható sebességgel.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Walbrzych: MPI HYBRID CLUSTER. X. Student Science Conference Wroclaw Polytechnica Conference 2012 Poland pp. 48-52.
- [2] J. Tick, J. Fodor: Fuzzy Implications and Inference Processes COMPUTING AND INFORMATICS ISSN: 1335-9150 24: 6 pp. 591-602. 2005
- [3] JÓZSEF Kopják - JÁNOS Kovács: Timed cooperative multitask for tiny real-time embedded systems IEEE 10th Jubilee International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, Herl'any, Slovakia, ISBN:978-1-4577-0197-9 pp. 377-382



Lorászko Balázs<sup>1</sup>

## A KATONAI REPÜLÉS LEHETSÉGES SZEREPE A KÖZÉPISKOLAI MATEMATIKAOKTATÁSBAN<sup>2</sup>

*A mai matematikaoktatás fejlődésének egyik fontos eleme az úgy nevezett valóságközeli feladatok megjelenése. Az ilyen feladatok alapját az életből vett események jelentik, segítségükkel a matematika tanítása érdekesebbé és eredményesebbé válik: a tanulók felismerik a matematika nélkülözhetetlenségét a különböző szakmákban, valós életből vett problémákkal szembesülnek, az egyes témák érdekessége pedig felkelti és fenntartja a motivációt a problémamegoldás iránt. Erre remek példát nyújt a katonai repülés, alább pedig egy kész feladatcsomag elemzésén keresztül ismerhető meg a módszer és hasznossága.*

### **THE POSSIBLE ROLE OF MILITARY AVIATION IN SECONDARY EDUCATION OF MATHEMATICS**

*The appearance of realistic tasks is an important step of the development of teaching mathematics in secondary schools. These tasks are based on true events coming from real life. This helps the education of mathematics become more interesting and more efficient. Students realise the importance of mathematics in different jobs, they face with real problems and the excitement of these subjects helps them become interested in solving these problems. Military aviation is a perfect example for all of it and in this research a complete package of tasks is being presented and by this all the benefits of the realistic tasks can be seen.*

## BEVEZETÉS

A minőségi matematikaoktatás szükségessége megkérdőjelezhetetlen. Mindennapjainkat a számok világában éljük – kiszámoljuk, mennyi idő múlva kell elinduljunk ahhoz, hogy elérjük a 12 óra 15 perckor induló autóbust, amely az 1205-ös vonalon közlekedik 101-es járatszám alatt és a 13-as kocsiállásról indul, folyamatosan műveleteket végzünk előbb a zsebpénzünkkel, majd a fizetésünkkel, végül a nyugdíjunkkal, egészen addig, amíg végül „meg lesznek számlálva a napjaink”. Nincs olyan szakma, amelyhez ne lenne szükség alapvető matematikára, éppen ezért rendkívül fontos, hogy a diákok úgy hagyják el az iskolát, hogy stabil matematikai alapokkal rendelkeznek. Eközben az is lényeges, hogy a mélyebb matematikai előismereteket követelő szakirányú képzéseket is előkészítse az általános- és középiskola, tehát nem elegendő osztani és szorozni megtanítani a diákokat. Szintén a matematika alapozza meg a tanulóknak a döntés képességét és a logikát, így ennek a tárgynak az életre nevelésben is kiemelt szerepe van.

A célok világosak, a megvalósítás azonban koránt sem egyszerű. A felgyorsult világunkhoz képest az oktatás, és különösen a matematikaoktatás, jelentős hátrányban van: a tananyag, a tanórák előírt menete, a feladatgyűjtemények részben elavultak, éppen ezért észlelhető egy komoly szakadék a diákok és az iskola között. Noha az utóbbi időben észrevehető némi törekvés

<sup>1</sup> Matematika és fizika tanárszakos hallgató, Eötvös Loránd Tudományegyetem, matek.elte@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Békési László ny. mk. ezds; főiskolai tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, bekesi.laszlo@uni-nke.hu

a jobb megjelenésű tankönyvek irányába (különösen az alsósoknak írt könyvek lettek színesebbek, „lazábbak”), maga a tartalom lényegében változatlan maradt. A több ezer éves egyiptomi papiruszok feladatai ma is szerepelhetnek a tankönyvekben, ami egyrészt a matematika zsenialitását hirdeti, másrészt felvet bizonyos kérdéseket.

A „gondoltam egy számra” típusú feladatok színesen is rendkívül szárazak. Hiába kap a tanuló egy ábrát, rajta egy emberi fej mintázó alakzattal és felette egy kérdőjellel, ettől még nem lesz érdekesebb a feladat, és csak a matematika iránt különösen fogékony diákokat ösztönzi gondolkodásra. A többség fejében ott kering egy nehezen kiírható kérdés: „kit érdekel, milyen számra gondolt a szerző?”.

Más esetben a szituáció, amelybe a feladatot helyezték, nem igazán életszerű: „két testvér az életkoruk arányában osztotta fel a kerti munkát”. A feladat célja egyértelmű, jó gyakorló példa az arányos osztásra. Ugyanakkor fel kell ismerni, hogy a mai gyerekek sokkal kevesebb időt töltenek a szabadban, és a kinti gyerekek nagy része sem fogja ezt az időt a kert felásásával tölteni. Az „életkor arányában” történő munkamegosztás pedig etikai kérdések sorozatát veti fel: vajon tényleg a nagyobb gyerek fog többet dolgozni, vagy elképzelhető, hogy a kisebb fiút fogja dolgoztatni, mivel ő a nagyobb és megteheti? Ez a gondolat azért érdekes, mert a tanórán az a megszokott eljárás, hogy egy matematikai feladatnak egyetlen helyes megoldása lehet. Az életben azonban nagyon sok befolyásoló tényező akad, ezért nem árt a diákokat a problémák alaposabb körüljárására felé terelni. Jelen példában az életkor aránya lehet egyenes vagy fordított arányosság szerinti.

A harmadik esetben a szituáció életszerű, csak elavult. Ilyen az összes „három barát úttörőtáborba indult” kezdetű feladat, illetve az életkorhoz nem passzoló témaválasztás. Egy tízéves tanuló életkorából fakadóan nem lehet fogékony felnőtt problémákra, de hasonlóan hiba a 17–18 éves diákokkal tündérmesés feladatokat megoldatni. Persze ez a problémakör viszonylag könnyen kiküszöbölhető a feladatok szövegének alkalmas átfogalmazásával.

A három probléma együttes kezelésére alkalmasak a komplex modellezési feladatok. Ennek során a tanulók egy valós életből vett szituációval találkoznak, amiből saját maguk készítenek egy szituációs, egy valós, majd pedig egy matematikai modellt, amelyben számolnak. Végül az eredményeket visszaillesztik az egyes modellekbe, és alkalmazzák a valós helyzetre.

Az ilyen típusú feladatoknál a valóságközeliség az első szempont. Azért nem nevezzük valóságos vagy „valódi” feladatoknak őket, mert a valóság sokszor rendkívül bonyolult, és a gondolkodás menetén és értékén nem ront néhány tényező figyelmen kívül hagyása. A modellezési lépések már a tanulókra várnak, ahol további szempontokat, úgy nevezett feltételrendszereket alkotnak. Az életből vett szituáció nem minden esetben tartalmaz elegendő paramétert, így a feladatmegoldás során a tanulók döntenek el, milyen feltételek megléte esetén végzik a szükségesnek vélt számításokat. Egy egyszerű példa: „Eszter minden héten 100 forint zsebpénzt kap január 1-je óta, hány forintja van január 31-én?”. A modellezés során figyelembe kell venni, hogy nem tudjuk sem azt, hogy Eszter a hét melyik napján kapja a pénzét, sem pedig azt, hogy a hét melyik napjára esik a feladatban megjelölt január 1-je és 31-e. Ezeket a feltételeket a diákoknak kell meghatározniuk (valós modell), végül az így bevezetett feltételekkel végeznek egy (vagy több) egyszerű szorzást: a figyelembe vett hetek számát kell szorozni 100 forinttal

(ez lesz a matematikai modell).

A modellezési feladatok következménye, hogy a tanulók eltérő eredményeket kaphatnak, köszönhetően az eltérő feltételrendszernek. Olyan kérdés esetén is előfordulhat ez, mint a „lehetséges-e” típusúak. Az egyik modell vezethet megerősítő eredményre, miközben egy másik éppen az ellenkezőjét igazolja. Az eredmények helyességét az alkalmazott modell ismeretében lehet megállapítani. Az ilyen, nem egyetlen egyértelműen helyes megoldással rendelkező kérdéseket nevezzük nyitott feladatoknak.

A módszer célja, hogy a diák jobban motiválható legyen a gondolkodásra. Ezáltal nő az igénye a problémamegoldásra, a hibakeresésre, miközben a feladatok megoldása során nem használ kevesebb matematikát, mint a hagyományos példák megválaszolása közben. Másodlagos cél lehet, hogy a tanulók megismerjenek érdekes és tanulságos szituációkat: lehet ez egy fontos történelmi esemény vagy egy elismerésre méltó szakma (pl. katonák, rendőrök, tűzoltók munkája is bemutatható ilyen feladatokon keresztül, de érdekes feladatok készíthetők a szemétszállítás és az utcaseprés témakörén belül is).

Fontos megemlíteni, hogy bár rendkívül hasznosak a modellezési feladatok, nem vehetik át a teljes matematikaoktatás gyakorlati részét. Nem a valóságközeliség a kizáró ok, hiszen a hagyományos feladatok új köntöst kaphatnak a tartalom változása nélkül, ugyanakkor a matematika tanításának nagyon jól felépített tematikája van, amit nem lehet és nem is szabad csak modellezési feladatokkal lefedni. Kellenek a zárt feladatok is, ahol (ahogy egyébként megszokott) egyetlen feladatnak egyetlen helyes megoldása van, és szükségesek a definíciók, a tételek és a bizonyító matematika megalapozása is.

A modellezési feladatok hátrányai között meg kell említeni, hogy rendkívül időigényesek. Egy-egy egyszerűbb kérdés is teljes tanórákat vehet el, ezért a jelenlegi időkeretek nem is teszik lehetővé a modellezési feladatok túl sűrű alkalmazását. Ugyanakkor néhány valóságközel feladatcsomag megoldása egész életre szóló élmény lehet a tanulóknak, és akár még a pályaválasztásban is segítheti őket.

## A KATONAI REPÜLÉS SZEREPE EGY VALÓSÁGKÖZELI FELADATCSOMAGBAN

A repülés, és különösen annak katonai alkalmazása, az első repülőeszközök megjelenése óta foglalkoztatja az embereket. Nem múlik el úgy nap, hogy valamelyik tudományos televíziós csatorna ne közvetítene repüléssel foglalkozó dokumentumfilmet. A katonai repülés (a maga titokzatosságával) még érdekesebb, mi sem igazolná ezt jobban, mint a teltházas kecskeméti repülőnapok és pápai nyílt napok sikere a fiatalok és az idősebbek körében egyaránt. A 2013 januárjában Szentendrén, a Magyar Honvédség Altiszti Akadémiáján megtartott pályaválasztási tanácsadáson a diákok által feltett kérdések majdnem mindegyike is a harci repülőgépek vezetésével volt kapcsolatos, noha az ott ülő diákok az altisztképzés lehetősége miatt látogattak akkor a bázisra. Ugyancsak népszerűek a repülő- és légi harc szimulátorok, ezen hobbinak különösen a fiatalság fiú tagjai hódolnak.

Azon felül, hogy a téma foglalkoztatja a fiatalokat, meg kell említeni a katonai repülésben rejlő

kimeríthetetlen mennyiségű matematikát: szinte bármelyik anyagrészt lefedhető ezzel a témával, a koordináta-geometriától a függvénytan elemein át a trigonometriáig, fiatalabbak esetében a logisztikai műveletekben rejlő alaplétektől az optimalizációs feladatokig. Az egyes repülési szituációk (kezdve a repülőút megtervezésével) kiválóan alkalmasak modellezési feladatnak, miközben a számítások során alapvető műveleteket is gyakorolhatnak. Egy légi ütközet modellezése lehet kiterjedt koordináta-geometriai feladat, kezdve az észlelő radarok működési elvétől egy találatot kapott repülőgép zuhanásán át a becsapódásáig, vagy akár a Gripenek beszerzése kapcsán született tanulmányokból készíthető többféle optimalizációs feladat: a tanulmányok kidolgoznak egy-egy elméletet, és ehhez kellő mennyiségű adatot is közölnek. Ebből a diák csak az adatokat kapja meg, és a tanulmány végkövetkeztetését saját magának kell végiggondolni, amelyben segíthet a tanári irányítás.

Ezen a ponton fontos megjegyezni, hogy a középiskolák többségében nem célirányú szakképzés folyik: a gimnáziumokban nem képezünk sem mérnököket, sem vadászpilótákat, de még csak logisztikusokat vagy matematikusokat sem. Ennek megfelelően nem cél a valóság minden részletre kiterjedő modellezése, amivel majd a felsőoktatásban vagy a pilótaképzés során találkozhatnak, hanem a probléma megértése, a feladatban szerepet játszó lényeges és elhanyagolható tényezők felismerése és osztályozása, majd pedig a választott modellben való feladatmegoldás a cél. Ugyanakkor, mint már elhangzott, a valóságközeliség révén bepillantást nyernek egy-egy szakma rejtelseibe, és ezáltal eldönthetik, érdekes-e számukra ez a hivatás. Mindenesetre a modellek pontossága elmarad a szakirányú képzésen tanított, illetve a szakmai jegyzetekben található modellekétől.

A következő feladatcsomagot az alábbi elvek szerint építettem fel:

- a feladatcsomag 17–18 éves tanulóknak íródott, akik kellő matematikai előismerettel rendelkeznek, akik pályaválasztás előtt állnak, és akik kellően kitartóak hosszabb feladatok végrehajtására;
- a feladatokat a Magyar Honvédség iraki szerepvállalása köré építettem, így az egyes feladatokat a téma kapcsolja össze, míg a kérdések vegyes matematikai ismereteket követelnek. Ez fejleszti a komplex gondolkodást és segít feleleveníteni esetleg feledésbe merült matematikai módszereket;
- a diákoknak először meg kell tervezniük egy Kecskemét–Bagdad repülőutat, majd optimalizálniuk kell az útvonalat a repülőgép hatótávolsága és az érintett légterek függvényében;
- modellezniük kell a repülést, annak emelkedési és ereszkedési fázisaival együtt, majd újabb modellt kell készíteniük a bagdadi leszállásra;
- ezután egyszerűbb számításokkal meg kell adják a végleges repülőút paramétereit;
- a feladatcsomag tovább bővíthető mind tematikusan, mind alkérdések megfogalmazásával. Pl.: kísérő vadászgépek megrendelése, majd légtérsértés, légi ütközet, kutatásmentés, természetesen mind-mind matematikai tartalommal;
- a feladatok megoldása során a tanulói munka legyen változatos: egyéni, páros és csoportos feladatmegoldás egyaránt szerepeljen, frontális tanári értékelés mellett. Legyenek otthoni feladatok, akár adatgyűjtés. Néhány feladat igényeljen számítógépes-internetes munkát (erre vonatkozóan javaslat is szerepeljen a feladatcsomag tanárok számára

írt részében), illetve a válaszadás is legyen érdekesebb a megszokottnál (pl. repülési napló kitöltése);

- az egyes feladatlapon szerkezete és megjelenése újszerű kell legyen, igazodva a mai „színes” világhoz.

A feladatcsomag írása természetesen adatgyűjtéssel kezdődött, amely során komoly kihívás a források hitelességének ellenőrzése. A feladatok írása közben a szakirodalomban szereplő adatok mellett gyakorló pilóták véleményét is kikértem, bár hasznosnak bizonyultak a saját tapasztalataim is (2008-ban tettem pilótavizsgát). Ezek után állt össze a feladatcsomag, amelyet ki kellett próbálni a használat előtt, majd a több diákcsoporttal végzett kísérlet tapasztalatait is figyelembe véve készült el a végső változat. Mivel ez a feladatcsomag részben erre a konferenciára íródott, ezért még nem jelent meg nyomtatásban, és mielőtt erre sor kerülne, több neves matematikatanár végzi ezekben a napokban is az utolsó lektorálást, de ugyancsak hasznosak lesznek ennek a konferenciának a tapasztalatai is. Ez a folyamat azért lényeges, mert így a diákok és tanáraik egy kipróbált, több korosztály és szakember szemlélete alapján is ellenőrzött feladatcsomaggal dolgozhatnak. Utólagos észrevételek természetesen a megjelenés után is várhatók, amikor több iskola osztályai is végigcsinálták már a feladatokat.

A feladatcsomag megjelenése eltér a szokásos példatárak szerkesztésétől. Itt egy-két kérdés egy egész oldalt kitölt, függetlenül attól, hogy A/4-es vagy A/5-ös méretben gondolkodunk. Bármennyire is lényegtelennek tűnik, mégis nagyon fontos a színes ábrás megjelenés és a fényképes illusztráció. A mai diákok már egy rendkívül inger gazdag világban élnek: az olvasás helyett inkább filmet néznek, ahol a képzelőerő szerepe sokkal mérsékeltebb, hiszen készen kapják a látványt. Hasonlóan igaz ez a játékokra: régebben papírrepülőt hajtogattak vagy repülő makettal szaladgáltak a gyerekek, ma már sokkal elterjedtebb a számítógépes és a konzolos szimulátor, ami megint csak a fantáziát helyettesíti. Ezt lehet helyteleníteni, ugyanakkor az eredményes oktatásnak lépést kell tartania a diákokkal, ezért ma már nem célszerű csak „száraz” feladatokkal előállni. A képen szereplő katonai repülőgép felkelti a tanulók figyelmét, előhozhat repülőnapos emlékeket vagy felidézheti valamelyik játék szimulátor élményét. Az adatokat közölhetjük táblázatosan, de a diákok kezébe adhatunk egy újságcikket is elemzésre. Előzetes gyűjtőmunkaként kiadható, hogy a kiválasztott repülőgép műszaki adatait a diákok maguk gyűjtsék össze, feltüntetve az adatok származási helyét is. (Koránt sem azonos paramétereket írnak le a különböző források, és a hitelesség ellenőrzése lehet csoportos feladat is.)

Ugyanez érvényes a feladatmegoldásra is: ma már léteznek nagyon jó, interneten elérhető programok, amelyeket nem szabad figyelmen kívül hagyni. A tanárok és más szakemberek is napi szinten használják a jobbnál jobb internetes programokat, miért ne segíthetnének a tanulókat is az értelmes internethasználatban? A feladatlapon közölt honlap javaslat egyáltalán nem megszokott a példatárakban, itt és néhány hasonló feladatgyűjteményben viszont már megjelenik.

A másik újdonság ebben a feladatcsomagban az adatok egyedi formában történő visszakerése, esetünkben például a repülési napló kitöltése. A feladatmegoldás érdemben nem különbözik a hagyományos példákétól (pl. számítsd ki, mikor száll le a repülőgép Bagdadban), viszont a diákok így inkább érezhetik a matematika gyakorlati alkalmazásának jelentőségét, ráadásul egy olyan dokumentumot tölthetnek ki, amelyhez eddig csak a nagyon érdeklődők fértek hozzá



vagy a tévében láthatták. Másodlagos cél, hogy felkészítsük a tanulókat bizonyos élethelyzetek megoldására, hiszen a többségük úgy kerül ki a gimnáziumokból, hogy addigi életében egyszer sem töltött még ki adóbevallást vagy egy-egy szakmához kötődő formanyomtatványt.

A feladatok bővítésének lehetősége minden matematikafeladat esetében jelen van, ugyanakkor a nyitott feladatok könnyebben továbbgondolhatók, mint a zártak. A tematikus kibővítés ebben az esetben lehet például egy logisztikai feladat: szervezzünk meg egy teherautó konvojt, amely a mátyásfüdai Logisztikai Ellátó Központból (továbbiakban: LEK) indul üresen, majd a pusztavacsi harcanyagraktárból veszi fel a szükséges felszerelést, végül a kecskeméti repülőbázisra érkezik. Itt is rengeteg részlet számítható, a választ pedig kérhetjük egy jegyzőkönyvben, amit a konvoj parancsnoka kell kitöltsön a LEK parancsnoka felé. A szituáció érdekesebbé tehető egy egyszerű szerepjáttékkal: a tanulók legyenek a konvojparancsnokok, ha pedig több számítás is el akarunk végeztetni, a kérdés kiadható csoportmunkában, ahol minden tanuló egy-egy teherautó parancsnoka, ahol ugye az egyes teherautók különböző fogyasztást produkálnak, és eltérő menettulajdonságokkal rendelkeznek. (Ez egyébként egy szintén létező feladatcsomagom.) Hasonlóan feltehetünk rakodásra vonatkozó kérdéseket: adott felszerelést hogyan helyezünk el a repülőgépben, figyelve az egyenletes súlyeloszlásra?

A légi ütközet lehetősége további feladatok sorozatát hordozza. Például: adott távolságból kilőtt rakéta esetén mennyi ideje van az F-16-os pilótájának a katapultálásra? Kedvelt filmjelenet, hogy a navigátor katapultál, ezután a pilóta küzd a zuhanó géppel, majd mintegy 15 másodperccel később ő is katapultál, végül egyszerre és egymás mellé esnek a vízbe. Ilyen és ehhez hasonló filmjeleneteket is levetíthetünk, majd elemezhetjük a látottakat. Természetesen egy ilyen projekt rendkívüli tanári teljesítményt követel: a film részletét elő kell készíteni, a jelenethez tartozó számításokat el kell végezni (ideértve a zuhanó repülőgépre vonatkozó adatgyűjtést is), illetve fel kell készülni az esetleges további tanulói kérdések megválaszolására, a vetítéshez pedig technikai eszközöket kell biztosítani. Mindez tekinthető feleslegesnek, hiszen a kérdést ugyanúgy fel lehet szövegni is tenni: hová esik a pilóta, ha a másodpilóta után 15 másodperccel katapultál egy adott sebességgel és adott szöggel a föld felé zuhanó gépből? A diákok dolgozhatnak a füzetükbe, így az eszközigény minimális. A feladat így is valóságközelí, sőt, talán még érdekes is marad. Ugyanakkor néhány tanóra ilyen módon (pl. a filmvetítéssel) történő izgalmassá tételével elérhető a tanulók érdeklődő hozzáállása, amiből hosszú távon profitálhat mind a tanár, mind pedig a diák. Hasonlóan levetíthető egy repülőnap vagy egy hadgyakorlat részlete (pl. egy rövid bemutató vagy csak egy érdekes, kötelékrepülést szemléltető jelenet, amelyből számításokat lehet végezni).

A feladatcsomaghoz tanári változat is készült, amelynek részletes bemutatására itt (terjedelmi okokból) nincs lehetőség. A tanári változat tartalmaz részletes megoldást, továbbgondolást és a feladatok levezénylésére vonatkozó instrukciókat és háttérismeretet. A feladatcsomagot felhasználó tanárokat nem cél kutatómunka elé állítani, mivel abban az esetben fennáll a lehetősége, hogy többen inkább nem oldatják meg a feladatcsomagot.

## A FELADATCSOMAG BEMUTATÁSA, ELEMZÉSE

### 1. feladatlap

A Magyar Honvédség iraki szerepvállalása 2003-ban kezdődött. Hazánk katonái elsősorban logisztikai feladatokat láttak el Irakban, a misszióknak pedig fontos része volt a légi szállítás: a technikai eszközöket, a felszerelést, sőt, még a katonákat is repülőgéppel kellett Bagdadba szállítani.

Ezek a szállítások a Magyar Honvédség An-26-os típusú szállítógépével történtek (kis képen), amelyek a kecskeméti katonai repülőtérén állomásoztak, de napjainkban is ott szolgálnak. A repülőgép néhány paramétere alább látható.

Hosszúság	23,8 méter
Fesztávolság	29,2 méter
Optimális repülési magasság	4000 – 6000 méter
Utazósebesség	440 km/h
Maximális repülési sebesség	540 km/h
Leszállósebesség	260 km/h
Függőleges emelkedési sebesség	480 m/perc
Függőleges ereszkedési sebesség	344 m/perc
Tehertér hossza	11,5 méter
Tehertér szélessége	2,4 méter
Tehertér magassága	1,9 méter
Üres tömeg	15 400 kg
Maximális felszállótömeg	24 000 kg
Ülések száma a tehertérben	39
Üzemanyagtartályok összterfoga	7316 liter
Maximális üzemanyagmennyiség	7100 liter
Hatótávolság teljes terheléssel	1240 km
Maximális hatótávolság	2600 km



### 1. feladat

Tervezz meg egy repülőutat a kecskeméti repülőtérrel a bagdadi repülőtérre.

- Használd a Daft Logic – Google Maps Distance Calculator programot, amely segít meghatározni a légvonalbeli távolságot két pont között:  
[www.daftlogic.com/projects-google-maps-distance-calculator.htm](http://www.daftlogic.com/projects-google-maps-distance-calculator.htm)
- Hasonlítsátok össze az eredményeket az osztályban. Mindenki ugyanazt a távolságot kapta? Ha nem, akkor ennek mi lehet az oka?
- Módosítsd úgy a repülőutat (továbbra is a programot használva), hogy elkerüld Szíria légterét, ahol napjainkban fegyveres konfliktusok zajlanak. Milyen hosszú lesz így az út?
- Képes-e teljesíteni ezt az útvonalat egy meggakolt, de nem teljes terheléssel repülő An-26? Ha nem, akkor mit kellene tenni ahhoz, hogy végre tudjuk hajtani a bevetést?

### 2. feladat

Rajzold meg (akár számítógéppel) a végső útvonalat, feltüntetve az igénybe vett repülőtereket és a köztük vezető (egyenes) utakat.

1. ábra A feladatcsomag első feladatlapja

Az első feladatlapon egy bevezető szöveg teremti meg az alaphangulatot, amelyből a katonai repülésben kevésbé jártas tanulók is megismerik a Magyar Honvédség iraki szerepvállalásának alapvető körülményeit. A bevezető nem tér ki a Honvédség vízi úton történő szállításra, mivel az a feladat szempontjából nem hangsúlyos, ugyanakkor a tanári melléklet egy hosszabb ismeretöt tartalmaz a misszióról.

A szöveg alatt egy adattábla és két fénykép látható, utóbbi mindenképpen figyelemfelkeltő. Itt a kép csupán illusztráció, de könnyen írható hozzá valódi feladat is: „Becsüld meg, milyen

távolságra repül egymástól a három An-26-os repülőgép az alsó képen.”. A fotók melletti táblázatban szerepel a gép hossza és fesztávolsága, ezek alapján már elvégezhető a kért becslés.

Az adatokat tartalmazó táblázat érdekessége, hogy nem mesterséges. Egy repülőgépet ismertető adattábla a valóságban is ilyen (pl. szakkönyvek vagy szakmai folyóiratok oldalain is ilyen táblázatok olvashatók), vagyis nem könnyítjük meg a tanulók helyzetét a számukra felesleges adatok eltávolításával, viszont nem is került a táblázatba indokolatlan adat. A feladatsomag megoldása során fel nem használt információ pedig lehetőséget biztosít a további kérdések fel-tételéhez, így például a fentebb említett rakodási probléma átgondolásához.

A feladatlap alsó harmadában szerepelnek a kérdések. Ezek között megtalálható a már említett internethasználatot igénylő feladat (1/a kérdés a Daft Logic programmal), és az ebből származtatott optimalizációs kérdések (1/c és 1/d). A hibakereső gondolkodást fejleszti az 1/b kérdés, hiszen az egyes tanulók vélhetően nem azonos koordinátájú pontok között végzik el a távolság-mérést. Aktuális elem az 1/c kérdésben a szíriai konfliktusra utaló megjegyzés, az 1/d feladat-ban pedig egyszerűen össze kell hasonlítani a kapott távolságot az An-26-os hatótávolságával, ami az eredmények ellenőrzésére vonatkozó igényeket fejleszti.

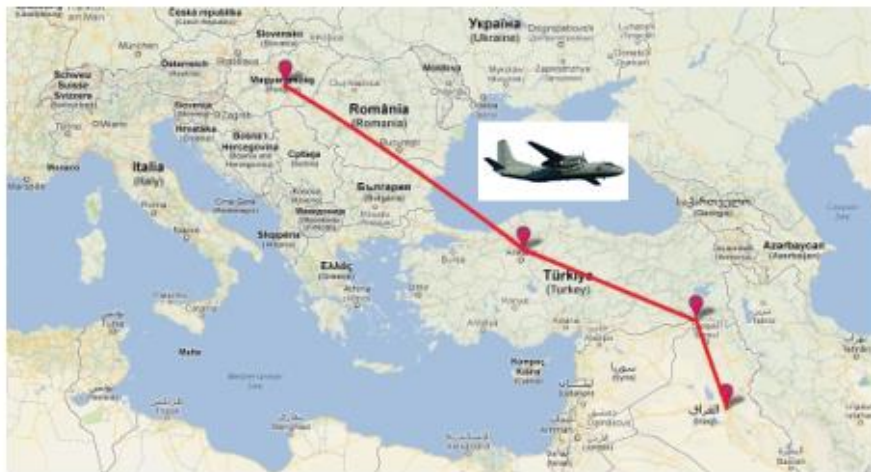
A 2. feladat egyszerű modellt kér a fent kiszámítottak figyelembe vételével. A rajz készülhet térképre rajzolva vagy a füzetbe is, vázlat formájában, mindkettő megfelel a feladat kritériuma-inak. Ugyancsak lehetőséget kap a tanuló, hogy számítógépen dolgozzon, és ott vezesse fel a választott útvonalat egy térképre.

A bevezető megjelenése fokozható egy valós vagy valóságközeli újságcikk beszúrásával, ami fel-válthatná a szöveget. Ehhez a szakmai folyóiratoktól a napilapokig bárhol érdemes böngészni.

A tanári változatban szerepel a Daft Logic program részletes használati útmutatója, benne a program hibás használata során várható eredményekkel (pl. a tanuló mérföldben méri a távol-ságot kilométer helyett). Ugyancsak rögzítésre került minden érintett repülőter koordinátája, segítő a térképen nehezebben tájékozódókat. Emellett minden kérdésre a várható legbővebb megoldáshalmaz került közlésre, felhasználva a diákokkal végzett próbamegoldások eredmé-nyeit is.

## 2. feladatlap

Láttuk, hogy ha nem üres a tehertér, akkor a Kecskemét – Bagdad távolság nagyobb, mint az An-26-os hatótávolsága, tehát a repülőgéppel le kell szállni Törökországban, üzemanyagot vételezni. Az is kiderült, hogy ezt a leszállást praktikus Ankarában végrehajtani, mert Ankara körülbelül félúton található, és kis kitéréssel el lehet érni a város repülőterét.



### 1. feladat

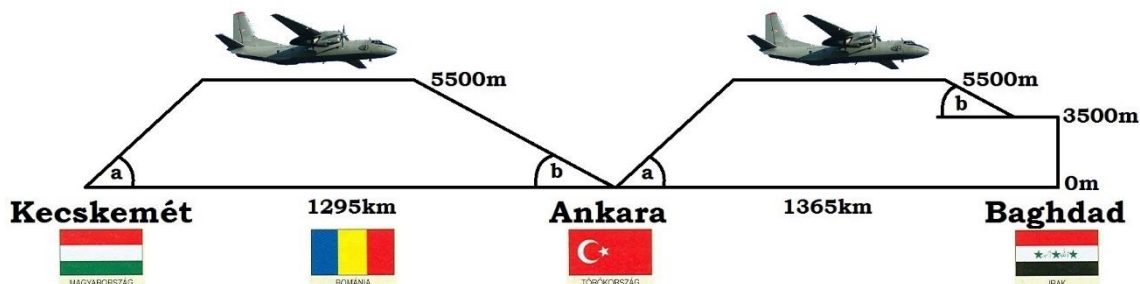
Készíts egy modellt, ami jól jellemzi magát a repülést.

- Segíts a modellhez: a repülés tartalmaz egy emelkedési szakaszt, egy repülést állandó magasságon, majd egy süllyedést, amelynek végén a repülőgép eléri a repülőteret. Milyen ábrát készítenél ezután?
- Tudjuk, hogy Bagdad légtere veszélyes, ezért a gépek itt egy különleges leszállást hajtanak végre. A város előtt csökkentik a magasságot 5500 méterről 3500 méterre, majd a reptér fölé érkezve egy kis sugarú spirálban ereszkednek egészen a leszállópályáig. Módosítsuk a modellt, ennek figyelembe vételével!

2. ábra A feladatcsomag második feladatlapja

A második feladatlapon megjelenik a kiválasztott végleges útvonal, és ezen az oldalon látható a tényleges repülés modellezését kérő feladat. Itt a megoldásnak várt modell a tanári mellékletben szerepel, hiszen a diákok maguk tervezik a saját modelljüket. A frontálisan vezetett kiértékeléskor a tanár kivetítheti vagy másolatban kiadhatja az alábbi modellt, de nem zárható ki annak a lehetősége, hogy valamelyik tanuló jobb modellt alkot.

A feladat érdekessége, hogy az 1/b kérdésben megjelenik egy sajátos manőver, ami a bagdadi leszállásokat jellemzi. Ezzel a leszállással egy későbbi feladat még foglalkozik, itt annyi a jelentősége, hogy az Ankara – Bagdad szakaszon az ereszkedési fázist módosítani kell a manőver figyelembe vételével, vagyis a tanuló nem kaphat két hasonló trapézt.



3. ábra A második feladatlap 1/b kérdésének egy lehetséges modellje





A harmadik feladatlap a végleges repülési terv elkészítését követeli. Itt kell elvégezni a legtöbb alapvető számítást, majd az eredményeket egy formanyomtatványban kell rögzíteni. Hasonló a negyedik feladatlap megjelenése, amely alább látható.

#### 4. feladatlap

A repülés megtervezése után végre eljött az indulás napja. Mi most a pilóták és a másodpilóták vagyunk. Kötelességünk a repülőtut dokumentálni, majd a helyesen kitöltött repülési naplót Kecskemétre hazatérve leadni a bázison.

##### 1. feladat

- a) Mindenki válasszon párt magának, majd osszuk ki a pilóta és másodpilóta szerepeket. Gyakorlati szempontból mindegy, ki a pilóta és ki a másodpilóta, a feladatok mindvégig azonosak lesznek. Töltsük ki az alábbi repülési naplót:

FLIGHT LOG		Page:	1/2	Date:	
		Engine on:	7:48	Take off:	
		Engine off:		Landing:	
Pilot:		Aircraft: AN-26	Total:	Flight time:	
Co-Pilot:		No.: HUNAF 603			
Time UTC	Event No.	Event	Latitude (DEG)	Longitude (DEG)	
	1	Engine on	46,917148N	19,749920E	
7:51	2				
	3	Take off			
	4	Reaching 5500 m	-	-	
	5	Leaving 5500 m	-	-	
	6	Landing in .....	40,129049N	32,994561E	
	7	Engine off			

- b) Egyeztessük az eredményeket pilótatársunkkal. Ha eltérés adódik, feltétlenül ellenőrizzük, hol lehet a hiba.  
c) Szorgalmi házi feladatként meg lehet keresni, milyen koordináták felett következik be a 4-es és az 5-ös esemény.

4. ábra A feladatsomag negyedik feladatlapja

A feladatlap páros munkát kér, olyan formában, mint ahogy az a pilóták esetén elvárható: a tanulók egymás munkáját ellenőrzik, de a számításokat önállóan végzik. Az eredményeket egy repülési naplóban rögzítik, amely valós nyomtatvány alapján készült.

A repülési napló esetében is érvényes a valóságközeliség, vagyis nem cél egy létező dokumentum újrakiadása, hanem egy ahhoz nagyon hasonló, lényegét tekintve nem eltérő táblázat közlése a fontos. Esetünkben nem vesszük figyelembe a várható időjárást és az időjárás következményeit (pl. alternatív úti cél), így ezeket a cellákat eltávolíthatjuk. Ellenben érdekesség, hogy a pilóta és másodpilóta neve helyére a tanulók a saját nevüket írhatják, és a naplót a feladatmegoldás napjára dátumozhatják. Ennek nincs matematikai tartalma, egyszerűen az érdeklődést hivatott fenntartani. Hasonló jelentőségű, hogy a dokumentumban rögzítésre került a repülőgép

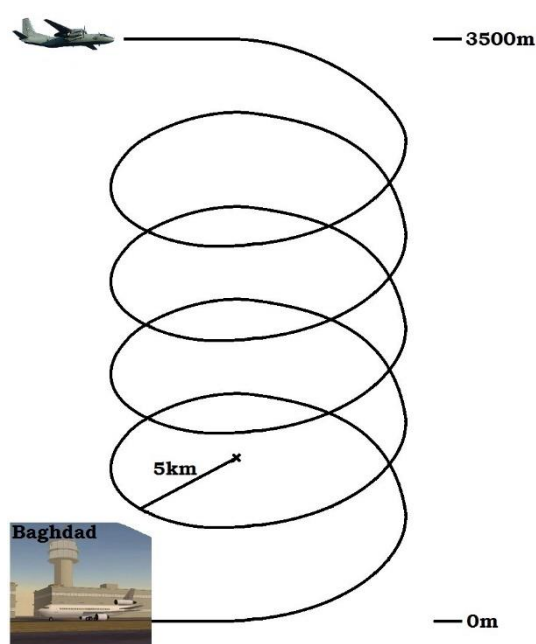


típusa és azonosítója, amely a korábbi képeken szereplő An-26-oshoz tartozik, ezzel is tartva a valóságközeliséget, illeszkedve a kerettörténethez.

Az 1/b kérdésben kért egyeztetés csak azonos modellek esetén követelhető meg.

A most bemutatott feladatcsomag utolsó feladatlapja először a bagdadi leszállás modellezését kéri, majd a második feladat szövege: „Egyenletes 260 km/h sebességgel repülve az ereszkedés pontosan 8 percig tart, végül a gépünk éppen azonos állásban landol, mint ahogyan a repülőteret megközelítette. Hány fordulót tett meg a leszállás megkezdése és a talajfogás között? Mekkora szöget zárt be a talajjal ereszkedés közben?”

Az első feladathoz tartozhat egy újságcikk: többen is megírták már a kis sugarú spirálban süllyedő An-26-os történetét. A rendelkezésre álló adatok alapján készíthető modell alább látható.



5. ábra A bagdadi leszállás modellje az eddig közölt adatok alapján

A leszállás közbeni fordulók száma az ismert sebességből és leszállási időből ívhossz-számítással is megadható, ami viszont meghaladja a középiskolai oktatásban elvárható szintet. Azonban a modellezési képességek fejlődésének a csúcса, ha a tanulók felismerik, hogy az így kapott spirál kiteríthető egy derékszögű háromszöggé, ahol a repülőgép által repült ív lesz az átfogó, a függőleges magasság lesz a rövidebb befogó, a hiányzó hosszabb befogó pedig az  $n$  darab 5 km sugarú körív hossza lesz. Ebből a Pitagorasz-tétellel könnyedén számolható az  $n$  értéke, amelyre végül  $n = 1$  adódik, az ereszkedési szög pedig trigonometrikus összefüggésekből kapható meg.

Ez a feladat is továbbgondolható, például a szélirány függvényében, amikor  $n$  darab forduló helyett  $n + 0,5$  darab forduló szükséges, illetve kerestethetünk forrást arra vonatkozóan, hogy az An-26-os leszállását mennyire befolyásolja a kedvezőtlen szélirány. De meghatározhatunk egy biztonsági zónát is, figyelembe véve a vállról indítható ellenséges légvédelmi rakéták hatósugarát.

A katonai repülés iránt kevésbé fogékony lány diákok érdekében belefoglalmazhatunk orvosi-



egészségügyi kérdéseket, de akár a repülőbázis étkeztetésének problémáit is rájuk bízhatjuk. A valóságtól némiképpen elrugaszkodva megkérdezhetjük, mikor szolgálják fel a gépen az ebédet, a fiú pilóták által elkészített repülési napló adatainak ismeretében.

Persze ennél szerencsésebb, ha elfogadjuk, hogy nem lehet minden téma minden tanulónak érdekes, és egyszerűen egy másik feladatcsomaggal próbáljuk a többiek érdeklődését felkelteni. Ugyanakkor nem lehet cél a diákok folyamatos szórakoztatása, ezzel is foglalkozik az oktatás-módszertan.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A katonai repülésben rejlő kimeríthetetlen matematika számos lehetőséget hordoz valóságközeli és modellezési feladatok írására. A téma érdekessége változatos kérdéseket biztosít, a bemutatott feladatcsomagban pedig láthatóvá vált, milyen színesen lehet tálalni egyszerű kérdéseket is. Az izgalmasabb feladatok megmutatják a diákoknak a matematika „hasznát”, vagyis alkalmazhatóságát különböző szakmákban, emellett a modellezés révén fejlődik a problémamegoldó képességük, a komplex gondolkodásuk, illetve rendszereződik a fejükben a már tanult matematikai ismerethalmaz. Végül a feladatok megoldása közben megismerik a katonai hivatás szépségét és a benne rejlő lehetőségeket.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] NICCOLI Riccardo: Repülők. Magyar Könyvklub, Budapest, 2001.
- [2] GUNSTON Bill: Korszerű harci repülőgépek fegyverzete. Zrínyi Kiadó, Budapest, 1995.
- [3] <http://honvedelem.hu> (2013.01.05.)
- [4] SZÓRÁD Tamás: Taktikai leszállás, e-dok. url: <http://airbase.blog.hu> (2013.01.05.)
- [5] AMBRUS Gabriella: Valóságközeli matematika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2007.
- [6] AMBRUS Gabriella: Titanic a Balatonon és más modellezési feladatok matematikából. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2012.

Vas Tímea<sup>1</sup> – Fekete Csaba Zoltán<sup>2</sup>

## UAV<sup>3</sup> AZ ELLENŐRZÖTT REPÜLŐTÉR FORGALMÁBAN, AVAGY EGY SZIMULÁCIÓ TAPASZTALATAI<sup>4</sup>

*A pilóta nélküli légi járművek civil légtérbe történő integrálásának érdekében a jövőbeni potenciális felhasználók számos erre irányuló kísérletet támogatnak. Ezek közé tartozott az angliai Warton repülőteréről tavaly év novemberben felszálló „Jetstream” típusú repülőgép próbarepülése is, melynek fedélzetén ugyan volt pilóta, de a légi járművet a földi irányító központ irányította. A kísérletben szerepelt egy a légtérben a Jetstreammel konfliktáló útvonalon repülő légi jármű is, melynek közvetett feladata arra terjedt ki, hogy a kísérleten keresztül bizonyításra kerüljön az állítás, miszerint a pilóta nélküli rendszerek alkalmasak az összeütközések elkerülésére, valamint az irányítókon keresztül képesek a légiforgalmi irányító utasításainak végrehajtására. Egyetemünk a „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 pályázatának „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusai”- t vizsgáló munkacsoportja arra keresett választ, hogy milyen problémákat vet fel a pilóta nélküli légi jármű repülése az ellenőrzött repülőter forgalmában. Igaz, egyelőre csak szimulációs körülmények között, melyeket a HUNGAROCNTRON ZRT 3D torony szimulátorában folytatták le.*

### UAV IN THE CONTROLLED AERODROMES TRAFFIC – EXPERIENCES OF A SIMULATION

*The future potential users supports numbers of experiment for the purpose of UAV integration to the civilian airspace. One of them was taken place in Warton, UK in the last November, from which airport a „jetstream” took off with a pilot on board, however guided by controller from the ground. As a part of the experiment, there was another aircraft also in the same airspace, flying in a conflicting direction, which was the „tool” to be proven the fact, that on board systems make the guided jetstream ( in this case UAV)capable for collision avoidance and via the ground controller it is able to comply ATC instructions. Our university’s working group within the project „ „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001”, namely which is responsible for, „ The aviation safety aspects of application of the unmanned aircrafts”, trys to find an answer, whether how the UAV behaves and how difficult to implement it, into the controlled aerodrome’s operations, however it happens only in circumstances of a simulation. The scene of this experiment was the 3D TWR simulator of HUNGAROCNTRON ZRT.*

### Előzmények

A pilóta nélküli légi járművek integrációjával kapcsolatban számos kutatás folyik világszerte. A kutatások célja, hogy ezek az eszközök minél hamarabb és a lehető legnagyobb biztonságot szavatolva új légtérhasználóként jelenhessenek meg a polgári légi járművek által használt légtérekben. Ilyen közeg a repülőterek irányítói közege is, mely esetében nem elhanyagolható tényező, hogy a rendelkezésre álló légtér mérete korlátozott és ebben a légtérben zajlik a repülőter forgal-

<sup>1</sup> őrnagy, Nemzeti Közszoigálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, kiemelt gyakorlati oktató, vas.timea@uni-nke.hu

<sup>2</sup> százados, Nemzeti Közszoigálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, gyakorlati oktató, fekete.csaba@uni-nke.hu

<sup>3</sup> UAV: Unmanned Aerial Vehicle - pilóta nélküli légi jármű

<sup>4</sup> Lektorálta: Dr. Palik Mátyás alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszoigálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

mában részt vevő induló, érkező vagy éppen a forgalmi körön repülő légi járművek manőverezésére. A helyzetet tovább bonyolítja, hogy a repülőtér munkaterületén működő légi- és földi járművek is csak ellenőrzött körülmények között, vagyis a repülőtéri irányító engedélyei alapján mozoghatnak. A cikkben szereplő szimuláció végrehajtása az említett kutatási program részét képezte, melynek előkészületei már a 2012 év végén elkezdődtek, a végrehajtásukra pedig ez év januárjában kerülhetett sor. A feladat végrehajtására a HUNGAROCNTROL ZRT<sup>5</sup> 3 dimenziós torony szimulátorában biztosítottak számunkra lehetőséget, ahol a feladatok előkészítéséhez, a tesztek futtatásához és az „éles” végrehajtásához minden feltétel rendelkezésre állt. A szimulációs feladatokban részt vevő szakemberek gárdáját egyrészt az MH Pápa Bázisrepülőtér légiforgalmi irányítói és oktatói, másrészt a szimulátorban foglalkoztatott álpilóták és a szimulátor üzemeltetői állományában dolgozó szakemberek alkották.

A gyakorlatok a pápai repülőtér irányítói körzetében és a repülőtér munkaterületére kerültek kidolgozásra. A feladatok összeállításánál figyelembe kellett venni a repülőtér sajátosságait, annak alkalmazott eljárásait és a szomszédos légiforgalmi szolgálatokkal megkötött együttműködési megállapodásokat is. A feladatok kidolgozásában segítségünkre voltak a korábbi években már alkalmazott és jól bevált szimulációs gyakorlatok, amelyeket a feladatban részt vevő légiforgalmi irányítók részben ismertek. Ennek az volt az előnye, hogy a gyakorlatok - tehát a normál műveletszámok és forgalomkezelés - ne okozzanak nehézséget és meglepetést az irányítóknak, akik ez által nagyobb figyelmet fordíthassanak a pilóta nélküli repülő eszközök forgalomba történő illesztésére és kezelésére, majd később az ezzel kapcsolatos tapasztalataikat megosztására. A szimuláció előkészítése során különös gondot kellett fordítani az álpilótát játszó szakemberek felkészítésére is, hiszen ők nem voltak jártasak sem a katonai repülőtéren alkalmazott eljárásokban, sem pedig a pilóta nélküli légi járművek repüléseinek a végrehajtásában.

Az előkészítés folyamatához hozzátartozik, hogy a szimulátor adatbázisában nem volt megtalálható egyetlen típus sem a pilóta nélküli légi járművek közül, ezért a szakembereknek létre kellett hozni azokat a feladatokban alkalmazásra kerülő típusoknak megfelelően. Számos olyan adatra volt szükségük a fizikai és repülési paraméterek tekintetében, melyek jelenleg még nem elérhetőek a publikált adatbázisokban. Ilyenek adatok voltak a például a bőlintásra vagy a siklószámra vonatkozó paraméterek, vagy akár a fizikai megjelenítést még realiztikusabban geometriai adatok. A megoldás abban rejlett, hogy a repülési paramétereik és a fizikai megjelenésük alapján hasonló típust kerestek az adatbázisukban, illetve egy kinézetre hasonló repülőgépet kicsinyítették le a valós látvány végett. Mint később bebizonyosodott, a megjelenés, a fizikai- valamint a repülési paraméterekkel kapcsolatos előkészítő munkában remek munkát végeztek.

A szimulációs gyakorlatok végrehajtására egy hét állt rendelkezésre, ami biztosította a különböző nehézségi szintű feladatok megoldását és a légiforgalmi irányítók tevékenységének értékelését. Minden előre kialakított, vagy pillanatnyilag létrejött forgalmi helyzet újabb és újabb kérdéseket és megoldásokat generált. A hét során lehetőség nyílt az irányítói munkaterhelések vizsgálatára, valamint minden, a feladatban résztvevő fél tapasztalatainak begyűjtésére is.

---

<sup>5</sup> HUNGAROCNTROL ZRT: A magyar légiforgalmi szolgáltató 1995/XCVII Lt.61/A. § (1)

## UAV típusok

A szimulációban alkalmazott UAV típusok kiválasztásánál először is mérlegelnünk kellett, hogy milyen jellegű feladatok megvalósítása lehetséges az alkalmazásukkal egy ellenőrzött repülőtér irányítói körzetén belül. Természetesen a kísérleti jelleg és a megvalósítandó feladatok nehézsége abban is rejlett, hogy nem csupán érkező és induló státuszban kívántuk őket szerepeltetni. Az alkalmazások lehetősége számos elképzelt feladat megvalósítását támogatta, hiszen nem csupán a katonai jellegű felhasználás és katonai jellegű feladatok megoldására alkalmazhatók a pilóta nélküli repülőeszközök.

A közelmúlt tapasztalatai generálták azt az elgondolást, hogy katasztrófavédelmi feladatok céljából végrehajtott felderítésre alkalmas, rövid hatótávolságú és előre programozott útvonalat lerepültni képes eszközt keressünk (Lásd: kolontári iszapkatasztrófa). A típuskeresésnek ebben a fázisában a „Raven”<sup>6</sup> és „Skylark”<sup>7</sup> UAV-k kiválasztása is felmerült, de a szimulációs környezetben való kivitelezést megnehezítette volna, egy kézből vagy egy katapultról indítható UAV.



1. ábra RQ 5A HUNTER

Ennek ellenére az csapatban dolgozó kollégák fejében már számos ötlet felmerült a pápai repülőtér környezetében történő üzemeltetés feltételeire vonatkozóan. A választás végül a „Hunter” (RQ 5A)<sup>8</sup> névre hallgató személyzet nélküli légijárműre esett, aminek okai a következők voltak:

- az eszköz a fel- és leszállásokat a futópályáról hajtja végre;
- a felszállási helyre való eljutáshoz vontató járművet és kiszolgáló személyzetet vesz igénybe;
- a felszálláshoz történő előkészítés a futópályán zajlik és néhány perc szükséges ennek

<sup>6</sup> RQ11 kis hatótávolságú, kézből indítható pilóta nélküli eszköz, az amerikai hadsereg számára kifejlesztett és elsősorban ott rendszeresített UAV

<sup>7</sup> Mini UAV, Izrael fejlesztette ki 2006-ban, rövid hatótávolságú UAV kategóriát képvisel

<sup>8</sup> RQ5, 1990 években fejlesztett rövid hatótávolságú, felderítő és célmegjelölő képességgel bíró UAV



végrehajtására;

- a felszálló sebessége és emelkedési képessége 60–80 csomó;
- a leszállás előtti előkészítéshez elfogó kábelt kell telepíteni, ami szintén pályafoglaltsággal jár;
- a megközelítési és leszállósebessége szintén 80 csomó körül van;
- az előre programozott útvonalán nehezen lehet csak változtatásokat végezni, ami azt is jelenti, hogy irányítói utasítások végrehajtására csak korlátozottan alkalmas.

Az említett okokból az a következtetés vonható le, hogy „tehetetlenségénél” fogva előnyben kell részesíteni az előre programozott UAV-t a hagyományos légitforgalommal szemben. Ez a megállapítás persze nem feltétlenül igaz minden körülmények között, mivel az elsőbbséget élvező légitforgalmi szituációk szemszögéből nézve – mint például vészhelyzetben lévő légijármű vagy légvédelmi célú repülés – nem feltétlenül az UAV élvez elsőbbséget. A választott típus, fent említett tehetetlenség miatt igen nehezen illeszthető be a repülőtér forgalmába, így talán az „előny” vagy elsőbbség helyett a „korlátozás” kifejezés a megfelelő, ha a „Hunterről” beszélünk.

Hajtómű	2X64 LE Moto Guzzi ikerszelepes négyütemű motor
Sebesség	106 KTS
Hatósugár	144 NM (12 óra repülési idő)
Csúcsmagasság	15000 ft (4600 m)
Szárnyfesztáv	8,9 m
Hossz	7 m
Magasság	1,6 m
Teljes tömeg	727 kg

1. táblázat RQ 5A HUNTER technikai adatok

A „Hunter”-t egyébként azért is jó választásnak tartottuk, mert már voltak információink olyan jelenleg műveleti területen működő repülőtérre vonatkozóan, ahol ezt a típust együtt üzemeltetik más katonai, sőt civil légijárművekkel is, melyek a széles skálán mozognak sebesség kategóriákat tekintve. Ezért kíváncsisággal töltötte el csapatunkat, milyen is lenne egy ilyen közös üzem a pápai repülőtéren.

A másik típus kiválasztásánál arra törekedtünk, hogy paramétereit és lehetőségeit tekintve minél jobban hasonlítson a hagyományos, pilóta által vezetett légijárművekhez. Mindamellet ideológiáját tekintve, szintén elképzelhető legyen az, hogy akár a pápai repülőtér is igénybe veszi a le és felszállások végrehajtására. A „Predátor” MQ-1C UAV-ra esett a választás, amelynek repülési hatótávolságát és repülési magasságát tekintve könnyen elképzelhető, hogy akár európai NATO<sup>9</sup> bázisról indulva Pápát választja kitérő repülőtérként.

<sup>9</sup> North Atlantic Treaty Organization - Észak-atlanti Szerződés Szervezete



2. ábra MQ1 PREDATOR

Nem elhanyagolhatók azok a tények sem, hogy a földről irányítható, de mindamelllett autonóm repülésre is képes valamint, hogy fedélzeti berendezései alkalmassá teszik az ellenőrzött légtérben történő alkalmazásra. A földi személyzetten keresztül megvalósuló kétoldalú rádióösszeköttetésre is alkalmas, valamint a fedélzeti rendszerekei a levegőben történő összeütközések elkerülésére is alkalmassá teszik. Méretét és sebességét tekintve könnyen beilleszthető akár a repülőtér forgalmába is, hiszen a többi légi jármű vezető számára a vizuális felismerése és ez által az azonosíthatósága lehetséges. A végső megközelítési egyenesen a leszálláshoz történő megközelítés során sebessége nem különbözik a hasonló kategóriájú hagyományos légi járművektől.

Az elképzelésünk szerint egy NATO többnemzeti gyakorlat keretén belül hajtja majd végre a feladatát a szimulációban, ahol Pápa bázisrepülőtérként funkcionál. A repülőtérről az eszköz, akár előzetes riasztási rend alapján is felszállhat, majd az ideiglenesen elkülönített légtérbe kirepülve ott lövészet feladatot hajt végre, miután majd visszatér a bázisra.

Hossz	8,22 m
Fesztáv	12,70 m
Magasság	2,10 m
Szárnyfelület	11,50 m <sup>2</sup>
Szerkezeti tömeg	512 kg
Max. felszállótömeg	1020 kg
Max. sebesség	135 km/h
Utazósebesség	130 km/h
Legnagyobb repülési magasság	7600 m
Repülési időtartam	24 óra

2. táblázat RQ 1 PREDATOR technikai adatok

Érdekes belegondolni abba a helyzetbe, hogy egy katasztrófa vagy repülő gyakorlat során a feladatban részt nem vevő, civil légi járművek ugyan arról a repülőtérről üzemelhetnek. Azokkal a kollégáinkkal, akikkel együtt szolgáltunk ilyen jellegű feladatot bonyolító repülőtereken, külföldi missziós feladatok keretében, úgy gondoltuk, nem tűnik valószerűtlennek egy ilyen helyzet.



## Szimulációs feladatok

A szimulációk lebonyolítására szolgáló egyhetes időszak arra mindenképpen elegendő volt, hogy legalább három olyan helyzetben megfigyeljük és alkalmazzuk a kiválasztott pilóta nélküli eszközeinket, melyekből kellő tapasztalatok és következtetések levonhatóak az irányítói utasítások, üzemeltetési sajátosságok és korlátozások, valamint az esetleges elkülönítések létrehozására vonatkozóan.

Az első, az úgynevezett alap vagy normál gyakorlat 6 induló és 6 érkező légi járművet tartalmaz. Az induló és érkező légi forgalom olyan időközönként jelenik meg, amely lehetőséget biztosított a „Hunter” UAV felszállására és leszállására is. Ez a gyakorlat, mint egyébként az összes többi is, VMC<sup>10</sup> feltételek mellett zajlott. Ennek nyilván egyik oka, az volt, hogy a repülőtéri irányító megfelelően gyakorolhassa a tevékenységét, másrészt a „Hunter” időjárési minimuma miatt is csak ez volt elképzelhető. A gyakorlat leírásában és a szimulációs feladatot végrehajtó légi forgalmi irányítók eligazításában előre meghatároztuk feladat sajátosságait és a tevékenység rendjét is, hiszen tudniuk kellett milyen hívónévvel, melyik állóhelyről és milyen módon jut ki az induló UAV a futópályára. A rádiólevelezés rendje is, és ez által az alkalmazott rádió távbeszélő kifejezések is megfeleltek az érvényes ajánlásoknak.

Az alapgyakorlat remek lehetőséget biztosított a rádiólevelezés és üzemeltetés során alkalmazott rádiólevelezési gyakorlatok és kifejezések finomítására. Ilyen volt annak a gyakorlati fogásnak a tisztázása is, hogy külön vagy egyazon hívónévvel kell-e kezelni a UAV-t vontató járművet és a gépet, vagy mi az a pont amíg hívónév szempontjából ugyanaz és mikortól használjuk a repülési terv szerinti hívónevet. Fontos volt annak a tisztázása is, hogy annak ellenére, hogy földi járműről van szó, a gurító irányító frekvenciáját kell használnia, már csak azért is, mert az indulásával kapcsolatos utasításokat és tájékoztatásokat is ezen a frekvencián fogja megkapni. Ilyen lehet a repülési terv engedélyezésére vonatkozó adatok megadása, ami természetesen kötelező minden légi járműnek amely ellenőrzött repülőtérről indul. Ezt a tényt tisztázva, abban is sikerült megállapodni, hogy a vontató jármű addig, amíg nincs az UAV mögé csatlakoztatva, csak a „UAV TRUCK” hívónevet használhatja. Miután a vontatmány csatlakozott és a megkezdtek a felszálló pozíció felé történő gurulást, már a repülési tervben szereplő UAV hívónevet kell használnia.

A következő elgondolkodtató tény akkor mutatkozott meg, amikor a vontató autó a UAV-val együtt a pályára való felgurulás pontjához érkezett. Ekkor a repülőtéri irányítónak kellett helyet biztosítania ahhoz, hogy „Hunter” indulásával együtt járó eljárást megkezdjék a pályán. Ez a folyamat nem kevesebb, mint 4 percet vesz igénybe.

---

<sup>10</sup> Visual Meteorological Condition – Látási Meteorológia Körülmények



3. ábra HMMWV, mint „UAV CAR” Irakban

Részleteit tekintve ez a folyamat a következő lépésekből áll: először felvontatják a UAV-t a felszállási pozícióba, majd ellenőrzik előtte a pályaszakaszt. A felszálláshoz történő nekifutás időszakában ellenőrzik, hogy minden rendben van-e. Ez azzal jár, hogy az UAV mellett haladnak, majd a vontató gépjármű is elhagyja a futópályát. Talán a leírtakból is könnyen elképzelhető, hogy ez nem tart rövid ideig. Mindemellett figyelembe kell venni azt a tényt is, hogy a lassan emelkedő „Hunter” csak a megfelelő magasság elérése után tud biztonságosan kifordulni a felszálló irány tengelyéből. Ez a magasság attól függ, hogy a repülőtér a tengerszinthez képest milyen magasságon található valamint, hogy milyen akadályok találhatóak a repülőtér közelében, amihez képest a biztonságos magasságot el kell érnie.

A felszálláshoz történő felgurulás és a felszállás végrehajtásának folyamatának megfigyelése során az is tisztázódott, hogy ennek a típusnak nem adható ki egyszerre a felgurulási és a felszállási engedély, mivel minden, leszálló pályára vonatkozó engedély kiadására és azok időbeni végrehajtására az ICAO<sup>11</sup> nagyon szigorú szabályokat határoz meg. Többek között ilyen az a szabály is, hogy egy időben ugyanarra a futópályára nem lehet két különböző légi járműnek fel – illetve leszállási vagy akár átstartolásra vonatkozó engedélye sem. Mindezt szem előtt tartva a repülőtéri irányító csak akkor adott ki felszállási engedélyt a „Hunter”-nek, amikor annak kezelő személyzete jelentette, hogy kész annak végrehajtására.

Korán felismerésre került az is, hogy a felszállásra várakozó „Hunter” mögött, aki a szimuláció elején indult el, elég gyorsan feltorlódtak a váróponton az indulók, akik mellesleg sokkal rövidebb idő alatt fel tudtak volna szállni, amennyiben lett volna rá lehetőségük. Az ilyen jellegű várakoztatás kockázatos, hiszen lehet, hogy a sorban második vagy harmadik induló légi jármű az áramlásszervezési korlátozás alá esik. Ezért résidő lett a számára kiosztva, amelyet ha nem tart, akkor további késések keletkezhetnek. Ez kiegészül azzal, hogy ilyenkor a repülőtéri irányító feladata, egy újabb résidő beszerezése, ami kiegészítő koordinációs folyamatokkal jár, tovább bonyolítva a repülőtéri irányító munkáját.

<sup>11</sup> International Civil Aviation Organization – Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet



Ezen a ponton újra felmerült az elsőbbség megadásának kérdése, hiszen a felszállásra várakozó légi járművek közül annak van elsőbbsége, aki az áramlásszervezés hatálya alá esik, vagy repülési terve van, majd csak ezután következnek azok, akik a körzetben hajtanak végre feladatot. A problémára a megoldást a pápai repülőtér szerviz- és gurulóút rendszere jelentette, ahol egy gurulóút közvetlen bekötéssel rendelkezik a felszállópályára, legalábbis ami a 34<sup>12</sup>-es pályairányt illeti. Ezáltal lehetőséget biztosít arra, hogy a felszállásra várakozó légi járművek a „Hunter” miatt ne szenvedjenek késést, azt pedig a lehető legmegfelelőbb alkalommal lehessen felszállítani.

A fentiekben felsorolt, úgymond helyi üzemeltetésre vonatkozó szabályok nagymértékben megkönnyítették a pilóta nélküli légi jármű kezelésének gyakorlatát a szimulációban.

A következő gyakorlat az emelt szintű, vagyis „advance” gyakorlat volt, aminek általában az a célja, hogy az irányítói alapképességeken túl a megnövekedett intenzitású forgalomkezelés technikáinak fejlesztésére helyezzenek hangsúlyt. Alapvetően VFR<sup>13</sup> szabályok szerint repülő légi járművek mozognak a repülőtéren, az időjárás is ennek megfelelő volt a gyakorlat alatt. Öt induló, hat érkező és egy helyi kiképzési repülést végrehajtó légi jármű tölti ki a rendelkezésre álló időt, növekvő intenzitást és terhelést biztosítva a szintnek megfelelően. Mindezeket túl megjelenik a munkaterületen a földi járműmozgás is. Bizonyos forgalmak a különböző turbulencia-kategóriák értelmében fokozott figyelmet igényelnek.

Az érkező légi járművek különböző irányokból közelítenek a repülőtér felé, majd általános vizuális megközelítési eljárásokat kérve (Traffic pattern<sup>14</sup>/Closed pattern<sup>15</sup>) végrehajtják a bejövételt, mely bizonyos esetekben azonnali teljes megállással és legurulással végződhet. Más esetekben a hajózó kérésére Touch & Go<sup>16</sup> végrehajtása után újbóli forgalmi körre való besorolással, majd ebből következő bejövettel és teljes megállással, legurulással végződhet. Az érkező légi járműveknél ezen a szimulációs szinten a forgalmi körre való (újbóli) besoroltatás, a sorrend rendezése jelenti a legmegterhelőbb feladatot. A feladat, mint látható, a pilóta nélküli légi járművek alkalmazása nélkül is kiemelt koncentrációt és folyamatos figyelemmegosztást igényel. További nehézséget jelentett a már bemutatott „Hunter” eljárás, másrészt a „Predator”<sup>17</sup> érkezése, amelynek biztosítani kellett a feladat jellege miatt a leszállási elsőbbséget, valamint az újbóli – szimulált riasztás révén – az elsőbbséget a felszállásban is. Általános tapasztalatként elmondható, hogy a kiemelt forgalomkezelés a „Predator” esetében sokkal inkább a feladatnak szólt, mint annak a ténynek, hogy egy pilóta nélküli légi járműről van szó. Ilyen jellegű kiegészítő feladat volt az is, hogy a „Predator” egy gyakorlatban résztvevő légi járműként a körzetben található gyakorló légterek egyikébe indult el, majd onnan tért vissza. Ebben az esetben a repülőtéri irányító szolgálat kiegészítő koordinációt kellett végrehajtson a gyakorlatot irányító szolgálat felé is.

<sup>12</sup> Használatos futópálya iránya 340°

<sup>13</sup> VFR: Visual Flight Rules - látás szerinti repülési szabályok

<sup>14</sup> Forgalmi kör

<sup>15</sup> Meghatározott szögön történő megközelítése a repülőtérnek, vizuálisan

<sup>16</sup> Talajérintéses leszállás, továbbmenetel

<sup>17</sup> MQ1: többfeladatú pilóta nélküli légi jármű, fegyverzetet is hordoz



Az „advance” gyakorlat számomra talán legérdekesebb része a koordináció volt. Mivel a repülőtéri irányító szolgálat az érkező és induló légi járművek tekintetében folyamatosan koordinál a bevezető irányító szolgálattal. Ezen a ponton merült fel az a gyakorlati kérdés is, hogy a repülőtér közelében, de nem feltétlenül fizikailag a repülőtéri irányítói körzetben szintén biztosítani kell teret a lassabban repülő és programozott útvonalon működő „Hunter” számára, ahol adott esetben várakoztatható. A megoldás itt is kézenfekvőnek bizonyult az irányítók részéről, és az gyakorlatról gyakorlatra csiszolódott, miszerint ellentétes irányú forgalmi körön kell elhelyezni, vagy várakoztatni a UAV-t, mint a többi légi járművet. További finomítást jelenthet még, hogy a magassága is úgy legyen beprogramozva, hogy az a repülőtérre kidolgozott szabványokhoz képest magassági lépcsőben eltérő legyen. Meghatározták még azt is, hogy a bevezető irányító mennyi idővel a süllyedés megkezdése előtt koordinálja be a repülőtéri irányítónak az érkező „Hunter”-t, ahhoz, hogy a leszállás végrehajtásához a pálya időben elő legyen készítve valamint, hogy a repülőtéri irányító döntést tudjon, ki az, akit még fel tud szállítani és ki az, akit még le tud szállítani a futópálya előkészítés megkezdése előtt. Természetesen itt is az volt a kézenfekvő megoldás, ha az előkészítő jármű és személyzet a szerviz úton tartózkodik, mivel így a legrövidebb időn meg tudja közelíteni a leszállás helyét és el tudja helyezni az elfogó kábelt is.

## Tapasztalatok összegzése

Az előzőekben leírtakat értékelve, érdemes átláthatóan és röviden összefoglalni egy repülőtéri körülmények között alkalmazott pilóta nélküli repülőüzem tapasztalatait.

1. Az **üzemeltetési és kiszolgálási hely pontos meghatározása**, ami lehetőleg közvetlen megközelítést biztosítson a felszálló pozícióba, de rajta kívül ne használhassa semmilyen más forgalom. Itt megemlítendő, hogy hazai körülmények között is alkalmazzuk ezt a jellegű „megkülönböztetést”, igaz abban az esetben a feladat jellege indokolja, nem máshol, mint a készülségi Grippeneknél a kecskeméti repülőtéren. Általánosságban talán megállapításként leszögezhető, hogy a „kiemelt kezelés”, ami az egyiknél a feladat jellege, a másikonál az üzemeltetés sajátosságai miatt, de már a földön el egyfajta megkülönböztetett kezelést kíván az irányító szolgálat részéről.
2. A **rádiólevelezéssel kapcsolatos eljárások** kidolgozása. Itt talán az legfontosabb, hogy tisztázásra kerüljön, hogy a feladatra történő előkészületek vagy konkrétan a feladat végrehajtásra történő mozgás megkezdésekor, melyik frekvencián és melyik hívónévvel kezeljük a UAV-t.
3. Szükséges az **indulási és érkezési VFR és IFR eljárások** meghatározása, annak érdekében, hogy a repülőtéri irányító szolgálat tudatában legyen, milyen manőverekre számíthat a felszállásban lévő vagy megközelítést végző UAV esetén, és ennek figyelembe vételével, hogyan tudja elkülöníteni tőle a többi forgalmat.
4. **Elsőbbség kérdése**, ami talán az üzemeltetés egyik legfontosabb kérdése volt és légi forgalmi helyzetektől függően folyamatosan átértékelésre került. Mindennek ellenére leszögezhető, hogy az ilyen jellegű forgalom, jelen esetben a „Hunter” és vele együtt járó eljárásrend különös figyelmet és ez által elsőbbséget élvez.
5. **Koordináció**, ami az egyik legfontosabb része a légiforgalmi irányító tevékenységnek és minden egyes irányítói munkahely tekintetében megmutatkozott. Ezek közül a repülőtéri irányító és bevezető irányító koordinációs tevékenységét kell kiemelni. Ennek

egyrészt az az oka, hogy a UAV induláshoz megfelelő „helyet” vagy érkezők tekintetében egy úgynevezett ”GAP”-et biztosítson a bevezető irányító a repülőtéri irányító számára, másrészt az érkező UAV időbeni bekoordinálása szintén behatárolja a repülőtéri irányító tevékenységét. Ennek az együttműködésnek az összhangja elengedhetetlen a mindennapi tevékenységekben és az ilyen jellegű feladatok megoldásában is.

6. **Szabvány eljárások** kidolgozása a repülőtérre UAV üzemeltetés esetén, ami a szomszédos irányító szolgálatokkal történő együttműködésen túl a fentiekben leírtakat is tartalmazza.

## Személyes benyomások

A fenti kérdéseken kívül más tényezők is befolyásolják a személyzet nélküli légi járművek üzemeltetését egy ellenőrzött repülőtéren. Fontos tényező az eszköz láthatósága. A kisebb UAV-k alapvetően nem rendelkeznek kontúr és összeütközést megelőző fényekkel, ellentétben nagyobb társaikkal. Ezek hiánya megnehezíti a repülőtéri irányítók és a gépszemélyzetek számára a repülőeszköz időbeni vizuális észlelését, mely alapvető feltétele a VMC-ben történő saját elkülönítés tartásának. Az eszközök festése alapvetően fehér, vagy szürke színű, ami kifejezetten rossz kontrasztot biztosít az észlelhetőség szempontjából. A katonai repülőeszközök festése pedig köztudottan úgynevezett „légi főlény szürke”, ami alapvetően a vizuális észlelhetőség csökkentésére hivatott.

Az általános légiforgalom résztvevői általában a járatgépek illetve helikopterek és üzleti vagy hobbigépek, melyek már nyolc, de akár tizenkét kilométerről szabad szemmel is láthatók. Az UAV-nál már csak az úgynevezett ultralight repülőeszközök, illetve a háti siklóernyős sportrepülők és a vitorlázó gépek lehetnek „láthatatlanabbak”. Ezek észleléséhez a repülőtéri irányító toronyból mindenképpen távcső használatára van szükség, mely adott esetben elvonhatja az irányító figyelmét az egyéb forgalomtól. A légi jármű vezetők számára szintén nehézséget okozhat egy ilyen kisméretű eszköz időbeni észlelése, főleg ha az szemből közeledik feléjük. A kis méret automatikusan párosulhat az alacsony észlelhetőségi festéssel – főleg, ha katonai eszközről beszélünk – ami szinte kizárja az időbeni észlelést és az esetleges kitérő manőverek sikeres végrehajtásának lehetőségét.

Az összeütközés megelőzése a GAT<sup>18</sup> repülésben szabályozásra került a következő feltételekkel:

1. A légi járműnek a légtérben – függetlenül a légtér osztályától –, valamint a repülőtér mozgási területén történő működése során, a légi jármű személyzete köteles folyamatosan figyelni a forgalmat, a lehetséges összeütközési veszélyek felismerése és megelőzése céljából.<sup>19</sup>
2. Légi jármű nem üzemeltethető olyan közelségben egy másik légi járműhöz, hogy abból összeütközési veszély származzon.<sup>20</sup>

<sup>18</sup> General Air Traffic: általános légiforgalom, melynek résztvevői az ICAO szabályokat betartva repülnek.

<sup>19</sup> 14/2000 KöViM rendelet a Magyar Köztársaság légtérében és repülőterein történő repülések végrehajtásának szabályairól, 2.2. pont

<sup>20</sup> 14/2000 KöViM rendelet a Magyar Köztársaság légtérében és repülőterein történő repülések végrehajtásának szabályairól, 2.2.1. pont

Ez az általános légiforgalomban elegendő feltétel, ám esetünkben a légtérfigyelés feladata megoszlik az UAV kezelő, a légiforgalmi irányító illetve a pilóta között. Az elsőbbségi sorrendet pedig alapvetően a légiforgalmi irányító alakítja ki a következő rendelet alapján összetartó irányú közeledés esetén, ami gyakorlatilag állandó szituáció egy repülőtéren:

- 1) Amikor két légi jármű összetartó irányon és hozzávetőleg azonos magasságon repül, az a légi jármű köteles kitérni, amelyik a másikat jobbról látja, kivéve a következőket:
  - a) a levegőnél nehezebb, működő hajtóművel repülő légi jármű köteles utat adni valamennyi hajtómű nélküli légi járműnek (léghajó, vitorlázógép, ballon),
  - b) a léghajó köteles utat adni a vitorlázógépeknek és ballonoknak,
  - c) a vitorlázógép köteles utat adni a ballonoknak,
  - d) működő hajtóművel repülő légi jármű köteles kitérni annak a légi járműnek, amely láthatólag más légi járművet, vagy tárgyat vontat.<sup>21</sup>

Jogos kérdés ilyenkor minden irányító részéről, hogy minek is tekintse az UAV-t? Ha ragaszkodunk a fent leírtakhoz, akkor működő hajtóművel rendelkező légi járműnek kell tekintenünk, és minden más kategóriájú repülőeszköz számára elsőbbséget kell, hogy adjon. Mi a helyzet abban az esetben, ha az eszköz egy előre leprogramozott útvonalat repül, és nem lehet, vagy nehézkes a repülés közbeni pályamódosítás? Érdemes megjegyezni ugyanakkor, hogy egy jelenleg hatályos jogszabály sem tér ki az UAV repülésének szabályaira ezen a szinten. A megoldás ebben az esetben csak a pontos forgalmi tájékoztatás lehet, ami segítheti az pilóta nélküli repülőeszköz vizuális észlelését. Ennél nagyobb problémát csak a leszállás fázisában jelenthet egy UAV a repülésben résztvevő többi légi jármű számára. Itt csak egy módszerrel oldható meg a biztonságos megközelítés és leszállás, amikor egyéb forgalom is van a repülőtér körzetében. Ez a már említett „GAP” biztosítása, azaz elegendő időbeni elkülönítés biztosítása a UAV és más légi járművek között, annak pályaelhagyásáig, hiszen itt sem találunk hatályos szabályozót a magyar jogrendszerben, az alábbi kivéve:

1. A levegőben lévő, földön vagy vízben üzemelő légi járműveknek utat kell adniuk a leszálló légi járművek számára.<sup>22</sup>
7. Ha két, vagy több, levegőnél nehezebb légi jármű közeledik leszállás céljából valamelyik repülőtérhez, a nagyobb magasságon lévő légi jármű köteles utat adni az alacsonyabb magasságon lévő légi járműnek. Ez utóbbi azonban nem használhatja fel ezt a szabályt arra, hogy egy a megközelítés végső fázisaiban lévő légi jármű elé vágjon, vagy azt megelőzze. Mindazonáltal a levegőnél nehezebb, működő hajtóművel repülő légi járműnek elsőbbséget kell adnia a hajtómű nélküli légi járművek számára.<sup>23</sup>

Ezek a szabályok, mint látható, csak áttételesen használhatóak a szimulációk esetében, ezért próbáltuk meg rugalmasan alkalmazni ezeket a szimulációk során, nem kis fejtörést okozva ezzel az irányító kollegáknak a leszállási sorrendek kialakítása során. Elmondásuk szerint a

---

<sup>21</sup> 14/2000 KöViM rendelet a Magyar Köztársaság légterében és repülőterein történő repülések végrehajtásának szabályairól, 2.2.2.3. pont

<sup>22</sup> 14/2000 KöViM rendelet a Magyar Köztársaság légterében és repülőterein történő repülések végrehajtásának szabályairól, 2.2.2.5.1. pont

<sup>23</sup> 14/2000 KöViM rendelet a Magyar Köztársaság légterében és repülőterein történő repülések végrehajtásának szabályairól, 2.2.2.5.2. pont



nagyobb problémát – mint vártuk – a program üzemmódban repülő „Hunter” okozta, a pálya előkészítésével, illetve a felszállással kapcsolatos időigényével.

Fontos kérdés a szabvány eljárások használata is. Kell-e VMC-ben szabvány érkezési illetve indulási eljárás az UAV üzemeltetése során? A válasz megítélésünk szerint; igen. Ezek az eszközök méretüknél, láthatóságuknál, illetve repülési profiljuknál fogva kiszámíthatóbbak, ha szabvány eljárást követnek, így mindenki egyformán tisztában van érkezésük vagy indulásuk során a mindenkori pozíciójukkal, és a magasságukkal. A szimulációk során csak nappal, jó időben végeztünk repülést, érdekes lett volna kipróbálni ugyanezeket a helyzeteket éjszaka, vagy IMC<sup>24</sup> körülmények között, ugyanis akár feladat végrehajtás közben is előfordulhat az időjárás VMC minimum alá történő csökkenése.

Összegezve személyes tapasztalatainkat fontosnak érezzük a repülőtér forgalmában résztvevő UAV-k megfelelő észlelhetőségi festéssel történő ellátását, kivéve, ha az műveleti célból alkalmazott légijármű. Fontosnak tartjuk a pontos, precíz rádióforgalmazási kifejezések kidolgozását a különféle UAV üzemeltetési esetekre, bevetésekre. Az indulási és érkezési eljárások kidolgozása általában bonyolult feladat, de jelentősen megkönnyítik a repülős társadalom munkáját. A jövőbeni jogi szabályzás remélhetőleg elősegíti a leszállási sorrend kialakítását, az elsőbbségek egyértelmű jogát az egyes légijárművek illetve az UAV-k esetében. Mindamelllett, hogy az UAV kezelők nem rendelkeznek légijármű vezető szakszolgálati engedéllyel, számukra is kívánatosnak tartjuk mind a rádió távbeszélő készülék kezelői vizsgát, illetve a repülési szabályokkal, eljárással kapcsolatos ismeretekből történő számonkérést. Fontos tényező az UAV-k időjárási minimumának meghatározása is, nem a saját érdekükben, – hiszen akár IMC-ben is végre tudják hajtani repülésüket – hanem az észlelhetőségük szempontjából. Lényeges szempont továbbá a megfelelő infrastruktúra kiépítése, vagy a meglévő lehető legjobb kihasználása. Ugyanez vonatkozik a koordinációra is. Elengedhetetlen az azonnali, beszédüzemű kommunikáció az UAV kezelő, illetve a repülőtéri irányító között, az azonnali utasítások, illetve a légiforgalmi irányítói engedélyek végrehajtása érdekében. Eltekintve a folyamatosan felmerülő, megoldásra váró feladatoktól, jó volt látni a kollegákat, akik bebizonyították, hogy nem lehetetlen vállalkozás a pilóta nélküli légijárművek üzemeltetése egy ellenőrzött repülőtéren sem.

---

<sup>24</sup> Instrument Meteorological Condition – Műszeres Repülési Körülmények

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretnénk megköszönni a szimulációban résztvevő szakembereknek, nevezetesen az MH Pápa Bázisrepülőtér Légitforgalmi irányító állományának, a HUNGAROCNTROL ZRt. 3D szimulátorát üzemeltető szakembereknek és álpilótáknak, hogy tudásuk legjavát adták és ötleteikkel, megoldásaikkal segítették a kutatásunk sikerét.

Az NKE Katonai Repülő tanszékén tovább folytatjuk az UAV kezelők felkészítését célzó tanfolyamokat, egyben a képzéséhez kapcsolódó jogszabályi háttér kimunkálásával kapcsolatos elemző és szintetizáló munkát mely az



***TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg”.***

***„The project was realised through the assistance of the European Union, with the cofinancing of the European Social Fund.”***

*A kutatás a projekt „Adatintegráció” alprogramán belül „A pilóta nélküli légitárművek alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusai” kiemelt kutatási területén valósul meg.*

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] VAS Tímea, FEKETE Csaba Zoltán: Az UAV ellenőrzött repülőtér körzetében történő működésének vizsgálatáról (szimulációs gyakorlatok) (alapkutatás az UAV\_LAW Kiemelt Kutatási Területhez) Kutató jelentés, Szolnok, 2012, NKE HHK KRT könyvtár, Könyvtári nytsz.: 71872
- [2] 14/2000(XI.14) KöViM rendelet; [http://www.njt.hu/cgi\\_bin/njt\\_doc.cgi?docid=48316.237693](http://www.njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=48316.237693)
- [3] 3/2006 (II.2) HM rendelet az állami repülések céljára kijelölt légterekben végrehajtott repülések szabályairól
- [4] HUNGAROCNTROL-AIS: Aeronautical Information Publication Hungary
- [5] MIL AIS: Military Aeronautical Information Publication Hungary
- [6] Repülőtérrend LHPA 2009.április 15.
- [7] EUROCONTROL: Guidelines for Controller Training in the Handling of Unusual/Emergency Situations, Eurocontrol, 2003
- [8] <http://www.army-technology.com/projects/hunter/>
- [9] <http://www.airforce-technology.com/projects/predator-uav/>





Makkay Imre<sup>1</sup>

## FPV REPÜLÉS – FELKIÁLTÓ JELEKKEL<sup>2</sup>

*A naponta szaporodó FPV – First Person View repülésekről szóló híradások egy új dimenziót generálnak a repülés- és az általános személyi-vagyoni biztonság kérdéskörében. Az eddig nem, vagy csak igen szűk körnek elérhető robotrepülőgép alkatrészek mára a boltok polcairól levehetőek és ezzel egy szinte ellenőrizhetetlen, „törvényen kívüli” hobbyrepülés alapjai teremődtek meg. Az FPV pilóták javarészt tizenéves, repülés-szimulátorokon „nevelkedett” modellezők, a lehető „legmeredekebb” helyeken – forgalmas városi utcák és járókelők fölött, alagutakban, hidak alatt... – repkednek a kisebb-nagyobb méretű, kamerával felszerelt repülőkkel, amit gyakran több kilométer távolságról vezetnek egy szobában a fotelben ülve. A figyelem felhívásán kívül az írásmű a lehetséges kiutakat és megoldásokat is keresi – bízva a hasonló szándékúak alkotó közreműködésében.*

### **FPV FLIGHT – EXCLAMATION MARKS**

*The growing daily FPV - First Person View Flying to generate news stories on a new dimension in the general aviation and personal property security issues. So far, no or only a very small circle of robotic aircraft components now available on store shelves and can be removed with an almost uncontrollable, "Outlaw" Principles of Flight Hobby been created it. The FPV pilots, mostly teenagers, flight simulators "grew up" modellers as possible "steepest" places - above the busy city streets and pedestrians, tunnels, under bridges ... - Fly to smaller or larger size, camera-equipped aircraft, which often lead to a distance of several miles in a room sitting on the couch. In addition to raising awareness of the writing and art of the possible solutions is looking for openings - relying on similar-meaning creative collaboration.*

## BEVEZETÉS

A „First Person View – FPV” azaz egy légi járművön elől helyet foglaló személyre váró látvány mára egyre többek számára különösebb erőfeszítés és túlzott anyagi ráfordítás nélkül elérhető. Az FPV egy nagyszerű technikai lehetőség, amit modellezőknek, rádiótechnikában és informatikai eszközökben professzionális jártasságú amatőröknek köszönhetünk első sorban. Az „alulról jövő” kezdeményezést az elektronikai ipar is gyorsan magáévá tette és mára széles választékát kínálja az FPV repülés minden szükséges elemének. A vásárlók az eszközökkel csak a műszaki képességeket leíró használati utasításokat kapnak – minden másra az egyéni hajlamuk és (esetleges modellező klub-) társaik tapasztalataiból kell szert tenni. Az internet erre kiváló lehetőségeket kínál a levelező fórumokon keresztül – ugyanakkor néha itt erősödnek a tévhitek és hamis eszmék is. Az utóbbiakhoz, az „extrém sport” kategóriájú repülő teljesítményekhez (paplanernyős, denevérszárnyas bázisugrások városi épületek között) vonzódnak az FPV repüléseiket próbálják minél „háborzongatóbb” környezetben népszerűsíteni. A videó-megosztókon közzétett „teljesítményekre” a még ügyesebbek próbálnak válaszolni és a folyamat egyre növekvő veszélyt hordoz az

<sup>1</sup> nyugállományú okleveles mérnök ezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Üzemeltető Intézet Katonai Repülő Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Békési Bertold okl. mk. alez. egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Üzemeltető Intézet Katonai Repülő Tanszék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

„élménnyel” semmilyen kapcsolatban nem lévő környezet számára.

Az a tény, hogy az FPV – repülők a „nagyok játékaikat” a Global Hawk-ot, Predatort és társaikat utánozzák, nem mentesíti Őket a felelősség alól. Az „ötletadók” kontinensnyi távolságokról a veszély legkisebb árnyéka nélkül lőhetnek – ugyanígy nem érzik a tetteik súlyát az „ártatlan” FPV amatőrök sem, akik (egyelőre) csak szét akarnak nézni „a madár szemével”.

Az *Új Széchenyi Terv TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások* programban „A pilóta nélküli légitársaságok alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusai” kutatási terület éppen ennek a kihívásnak akar elébe menni és az egész társadalom számára megnyugtató megoldásokat javasolni.

## FPV – TECHNIKA

A repülő modellezők a kisméretű „unmanned” (ember nélküli) repülőgépeket próbálják olyan képességekkel felruházni, hogy a fotelben ülő kezelő – a látványt tekintve a fedélzeten érezhesse magát. Ennek feltétele egy olyan, a fejmozgást is érzékelő fedélzeti kamera, amelyik a pilóta/utas számára látható képet közvetíti a földi állomáson működő videó szemüvegre vagy más megjelenítőre. Egyre több ügyes kezű modellező vállalkozik e kép alapján a gép vezetésére is – holott korábban ezt csak távolról, a külső szemlélő szemével tudták megtenni.



1. ábra Az FPV (a látszat ellenére) nem gyerekjáték [1]

A fedélzeti képen a repülőgép helyzetének megítélése (dőlés, bólintás) kezdetben a kamera látószögébe bekerülő kabin-elemekkel volt biztosítható, az újabb OSD – On Screen Display le-sugárzókkal a video képre a montírozott műhorizont, sebesség, magasság, GPS helyzet és a hazatérő irány is felkerülnek. Kritikus helyzetekben – eltévedés, párás, ködös idő, sötétedés és a létfontosságú fedélzeti rendszerek meghibásodása, zavara – a fedélzeti automatika segítségével tud a légi jármű a kiindulási helyre visszatérni.

Az irányítók dolgát tovább könnyítik a bekapcsolható repülés-stabilizátorok, magasság és iránytartó programok, az előre beállítható fordulópontok és az olyan „bolondbiztos” funkciók,



mint a maximális bedöntést, -állásszöget korlátozó szoftveres beállítások.

A levetített „Head Up Display”-en megjeleníthető a fedélzeti akkumulátorok töltöttsége, a motorok fordulatszáma, áramfogyasztása, a távirányítóról érkező jel szintje és a vett műholdak száma. A feliratok, ábrák a fedélzeti kamera képén – mintha a kabintetőre vetítenék – jelennek meg és az igényeknek megfelelően konfigurálhatók, akár ki/be kapcsolhatók.

Az FPV-repülőgépek vezetése mindezek mellett is komoly felkészültséget igényel – feltételezi a „hagyományos” rádió távirányítású modellekkel a műszaki és repítés/irányítás terén megszerzett kellő gyakorlottságot. A tapasztalt modellezők is meglepődnek milyen könnyen el lehet tévedni, ha csak a „csőlátó” kamerát tudják használni, a jól ismert környék a levegőből egészen más képet mutat.

Az FPV repülés kulcsfontosságú eleme a megbízható, kétoldalú rádióösszeköttetés. A frekvenciasávok kiosztásai és a terjedési viszonyok véges lehetőségeit is csak fejlett – és költséges – eszközökkel lehet kihasználni. Az automatikus követésű irányított antennák „diversity” vevőkkel és a szórt spektrumú távirányító rendszerek a versenyképesek az egyre telítettebb csatornákon. A modellező áruházak „konyhakész” megoldásokat kínálnak, de a kiválasztás, beépítés és a szakértő alkalmazás a felhasználó ügyességén múlik. A legjobb paraméterű berendezés mellett is ott van a figyelmeztető felirat, hogy „a meghibásodása esetén bekövetkezett kárért a gyártó nem vállal felelősséget”.

Az irányítás zavara/megszűnése az RC-modellezők „mumusa”, amivel (már, vagy ezután) szinte mindenki találkozik. A gyártók a fedélzeti vevőberendezéseket „okosítják” fel erre a helyzetre az ún. „failsafe” (kármentő) funkcióval, amely a kapcsolat helyreállásáig az utolsó parancsot megőrizve, vagy előre programozott beállítást adva a szervókra próbálja a gépet a levegőben tartani – vagy kíméletesen leszállítani. Ez természetesen csak az anyagi kár mérséklésére ad esélyt – arra nem ad megoldást, hogy a gép „kit, hogyan talál el”...

Az FPV-repülőgép további opcionális felszerelése lehet az olyan GPS-követő, amely a leesés/leszállás helyének koordinátáit küldi el a gép keresésére indulók telefonjára. Természetesen ez sem véd a „vakon” leszálló gép által – akár közvetetten – okozott anyagi következményű vagy tragikus kimenetelű esemény kapcsán felmerülő felelősségtől.

Az FPV-repülés erősödő népszerűsége serkentette a rátermett modellezőket és informatikus „gurukat” a megfelelő, első sorban a repülésbiztonságot szolgáló berendezések fejlesztésére. A külföldi gyártók számos típusa mellett – a fórumokon megosztott tapasztalatok alapján – a hazai fejlesztésű „C4S robotpilóta és OSD” a legnépszerűbb. A fejlesztők maguk is aktív modellezők és a felhasználókkal együtt keresik a legjobb megoldásokat.

## **A C4S robotpilóta és OSD rövid ismertetése [2]**

„Tipikus felhasználási területe az FPV repülés, de pl. az RC repülőgép vezetésének tanulásában is segíthet.

A gép stabilizálása IMU alapú (3 tengelyű győ és gyorsulás érzékelő), a navigációt GPS helymeghatározás alapján végzi. A magasságot barometrikus szenzorral méri, ez kis magasságban pontosabb, mint a GPS.



Fontos szempont volt a fejlesztés során minél több funkció egyetlen egységbe integrálása. Az FPV gép eleve összetett, sok egységből álló szerkezet. Bonyolult, gyakran áttekinthetetlen a kábelezése. További modulok hozzáadás (külön OSD, robot, tápfeszültség szűrő stb.) még több kábellel, zsúfoltan, áttekinthetetlenül elhelyezett panelekkel járna. A C4S egy egységben valósítja meg a repülőgép vezetéshez szükséges robotot, a műszerek videó képen történő megjelenítését (OSD), a műszereket (feszültség, áram, fogyasztás, magasság mérése) valamint egy tápfeszültség szűrőt, ami lehetővé teszi, hogy egyetlen 3s akkuról működhessen a motor és videó rész zavaró csíkozódás nélkül.

### **Fő funkciók:**

#### **OSD:**

- a videóképre keveri a műszerek adatait:
  - mérési adatok (feszültség, áramfelvétel, mAh stb.) megjelenítése;
  - navigációs adatok (helyzet, sebesség, magasság, távolság, haza mutató nyíl) megjelenítése;
  - üzemmód (robotpilóta ki/stabilizált/útvonal/hazarepülés) megjelenítése;
  - műhorizont.

#### **Robotpilóta:**

- IMU alapú helyzetmeghatározás;
- repülés-stabilizálás;
- navigáció, kijelölt pontokhoz repülés;
- hazarepülés;
- működik csűrős, oldalkormányos, V-tail, csupaszárny géppel is.

A robotpilóta négyféle üzemmódban működik, az üzemmódokat repülés közben is lehet váltogatni a rádióval. Az üzemmódváltás egyetlen csatornával történik, a csatorna 4 különböző értéke választja ki a megfelelő üzemmódot.

#### **1. Kézi vezetés (Manual mode)**

Hagyományos vezetés. A robot egyáltalán nem avatkozik be, de készen áll a háttérben arra, hogy átkapcsolás esetén átvegye az irányítást. Az OSD működik.

#### **2. Stabilizált repülés (Stabilized mode)**

A robotpilóta stabil repülési helyzetben tartja a gépet.

A stabilizált mód lehetővé teszi a kényelmes nézelődést, a vezetés nagy részét a robot intézi.

Kiválóan alkalmas ez a mód a repülés tanulására, az irányok begyakorlására is.

Az emberi pilóta:

- a jobb bottal utasítja a robotpilótát a gép kívánt döntési és emelkedési szögének beállítására;
- kezeli a gázkart (az emberi pilóta feladata a kellő gáz beállítása és így az átesés elkerülése).



A C4S robotpilóta:

- vezérli a kormányfelületeket;
- a gép emelkedési és bedöntési szögét a botkitéréssel arányosan állítja be (például teljes bal bot kitérésnél fix bedöntést állít be, míg ugyanez hagyományos vezetésnél orsózást jelentene);
- korlátozza a bedöntés szögét;
- korlátozza az emelkedési szöget.

### 3. Útvonalrepülés (Waypoint mode)

Ebben a repülési módban a robot vezeti a gépet a PC-s program segítségével beállított útvonalon.

A gép a bekapcsoláskor megvárja, amíg a GPS elindul, majd felveszi a starthely koordinátáit és magasságát. A továbbiakban a magasságot és távolságot ehhez képest méri.

Ha a starthely túlságosan távol esik az útvonalhoz beprogramozott Home pozíciótól, a robot nem repüli meg az útvonalat, mivel feltehetőleg tévedés történt. Ilyen esetben Waypoint módba kapcsolva a robot körözni fog a jelenlegi helyzete körül.

Ha a starthely megfelelő, Waypoint módban a robot elindul az 1-es Waypoint felé. Ha azt elérte, átvált a 2-esre és így tovább. Az utolsó pont elérése után az 1-es felé indul és újra kezdi az útvonalat.

### 4. Hazarepülés (Return Home mode)

A Hazarepülés mód automatikusan működésbe lép, ha megszakad a rádiókapcsolat, de kiválasztható ez a mód a rádióval is.

A gép a PC-s programmal beállított magasságban visszarepül a starthelyhez, majd azt elérve a beállított sugárral körözni kezd a starthely felett.



2. ábra A C4S robotpilóta és OSD [2]

## A robot beállítása





Csak a jól beállított robot képes vezetni – és adott esetben menteni – a gépet. Mivel a különféle repülőgépmoделlek tulajdonságai nagyon eltérőek lehetnek, a robotot az adott modellnek megfelelően kell beállítani.

A fejlesztők mindent megtettek annak érdekében, hogy a C4S készülék a lehető legegyszerűbben legyen beállítható, a feladat azonban jellegéből adódóan összetett. Számos beállítást kell elvégezni, ami a robothoz adott PC program segítségével lehetséges.”

(A C4S leírásában szereplő képességekről és az „intelmek” hasznosságáról a szerző és munkatársai több berendezéssel végzett kísérleti repüléssel győződtek meg.)

## FEKETE BÁRÁNYOK

Az FPV egy új dimenzió, amire régóta készül a repülő-modellező társadalom, de csak most érett meg a technika, hogy (nem csak NASA költségvetéssel és Predator – méretű repülőgépeken) hozzáférhetővé vált. A madártávlat a földi szemlélő számára is megadatik és elcsodálkozhat azon, hogy nem nagyon ismeri fel a saját szülőfaluját (sem) – hiszen így most látja először.

A lehetőség nagyon csábító és a technikai (anyagi) akadályok is egyre kisebbek lesznek, ami a népszerű video megosztók szaporodó FPV témáiból kitűnik. A napi híradásokban a szenzációs teljesítményeket kereső média – egyelőre pozitív felhanggal – gyakran szerepelteti, mert olyan irigylésre méltó, hogy az ember által épített „kütyü” már oda repül ahová alkotója akarja és közben azt is megmutatja, hogy az erdők-, hegyek-, vagy falak mögött mi történik.

Gomba módra szaporodnak a légi felvételeket, videókat „profi minőségben” ígérő vállalkozások – melyek mögött egy-egy HD kamerával felszerelt helikopter vagy nagyobb merevszárnyú repülőgép és (jó esetben) tapasztalt modellezők állnak. A képminőség valóban egyre javuló tendenciát mutat és a korábban csak nagy anyagi ráfordítással elérhető légi-fotók, mozgóképek ezekkel „fillérekből” elkészíthetők.

Vannak (magukat „profinak” tartó) FPV repülők, akik nem anyagi érdekből, hanem „polgárpukasztó” mutatóanyagokkal próbálnak elismerést/csodálatot kivívni a hajmeresztő helyszíneken bemutatott, sokkoló felvételekkel. A mesterségbeli tudásukat nem vitatva – némelyik tényleg távirányítóval született – a szakadék szélén sétálva olyanokat is oda csábítanak, akik messze nem készültek még fel hasonló teljesítményekre. Az RC fórumokon olvasható az elragadtatás és hogy „nálunk miért nincs még ilyen” egy-egy extrém FPV mutatóanyag (repülés Stocholm alagútjában [3], Big Ben- [4], Golden Gate híd- [5] körbepérése) után. Ha valakinek ez is kevés megnézheti a rendőrautót a forgalomban követő quadcopter-rel készült felvételeket [6], vagy együtt repülhet a denevérszárnyas – szintén „a szakma ifjú mestere” bázisugróval [7].

A Magyar Modellező Szövetség (MMSz) Biztonsági Szabályzata (2006) a 3. RÁDIÓIRÁNYÍTÁSÚ REPÜLŐMODELLEK fejezetben semmilyen említést nem tesz az FPV-vel kapcsolatos biztonsági rendszabályokról, csupán azt írja:

*3.4.10 Repítés közben figyelni kell a légteret. Ha a légtérünkbe ember vezette repülőjármű kerül – azonnali kitéréssel – az ütközés esélyét is el kell kerülni, ha szükséges, a modellel azonnal le kell szállni.*



Az FPV repülésre vágyókat az „öregebb” RC fórumlakók, ugyan megpróbálják józan intelmekkel irányítani, de a válaszreakciók inkább a személyeskedő, mint a „köszönöm, hogy figyelmeztettél” hangot ütik meg. Az MMSz tagság és a kötelező biztosítás elvéve (sem) található azoknál az „FPV-pilótáknál” akik a sétarepülések útvonalán, magasságán közlekednek és a videóik alapján csak az idő(rés)-nek köszönhető, hogy nem találkoztak még gyanútlan repülőgéppel.

## FPV és GA

A GA – General Aviation (általános célú repülés) minden légi járművet magába foglal, ami a menetrendszerű légi utas és áruszállító forgalomba nem tartozik. A kisgépes (puha-, merev-, vagy forgószárnyú, motoros, vagy vitorlázó) repülés az, amelyik az FPV gépekkel – a „közös érdeklődés” kapcsán – azonos légtérbe kerülhet. A GA repülések az ellenőrzött és nem ellenőrzött légtérekben is folytathatók. Nagy részük előre bejelentett, a repülési terve alapján, rádió és transzponder segítségével folyamatosan követhető a HungaroControl szolgálatai számára. A nem ellenőrzött légtérekben a VFR – Visual Flight Rule azaz „látva repülés szabályai” szerint repülhetnek nem bejelentett, sőt rádióforgalom nélküli légi járművek is. A VFR feltételezi, hogy a repülőgépek vezetői látják egymást és a kitérés/elkerülés szabályait kölcsönösen betartják.

Az FPV és GA találkozások során nem az a legnagyobb probléma, hogy az egyik résztvevő – az FPV irányítója – nem pilóta képzettségű, hanem az, hogy a GA pilóta szeme sem egy másfél méteres (vagy még kisebb) kiszámíthatatlan mozgású, gyakran fehér/világos színű „valamire” van kihegyezve. A VFR körülmények között repülők a szokásos méretű, 6-22 m-es fesztávú, irányát és magasságát előre látható tartományban, lassan változtató másik REPÜLŐGÉPRE figyelnek. A repülőmodell kikerülésére még akkor is kicsi lenne az esély, ha meglátnák, hiszen az kiszámíthatatlanul, sokkal gyorsabban, kisebb sugáron képes fordulni.

Minden GA légi járműnek rendelkeznie kell kötelező felelősségbiztosítással – a harmadik személynek okozott kár esetére. Az MMSz – Magyar Modellező Szövetség honlapján található információk alapján a repülő modelleknek is kell rendelkezniük felelősségbiztosítással – versenyek és a felkészülések alkalmával történő reptetésekor.

Idézet:

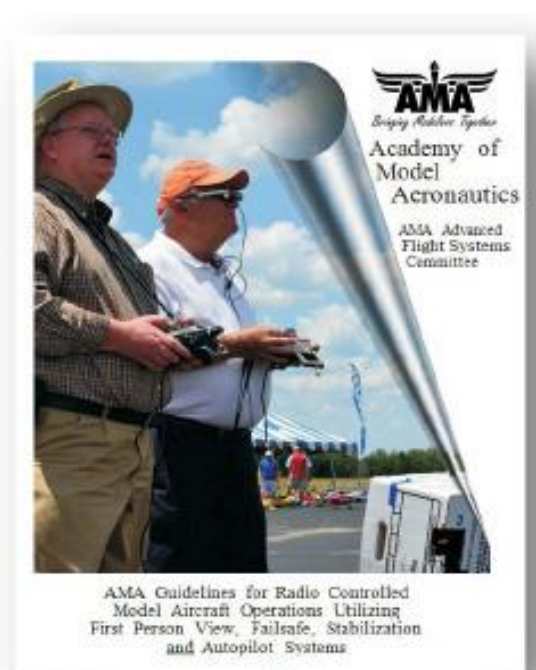
*„Az edzéseket be kell jelenteni az MMSZ irodának e-mailben ([modelsport@mail.datanet.hu](mailto:modelsport@mail.datanet.hu)), vagy faxon (1-221-4071), megadva a tréning helyét, időpontját és a lebonyolításért felelős MMSZ tag nevét. A tréningeket is az MMSZ „Biztonsági Szabályzat”-nak megfelelően kell lebonyolítani ([www.modellsport.hu/szabalyzatok/biztonsagi.pdf](http://www.modellsport.hu/szabalyzatok/biztonsagi.pdf)).”*

A „tréningek” helyszínei alapján – amelyeket a büszke alkotók a videó-megosztókon közzétettek – látható, hogy a biztosító aligha vállalt volna (az éves költség terhére) ezekért felelősséget. Vannak közöttük sokéves tapasztalattal, kifinomult technikával és körültekintően megválasztott útvonallal megjelenők és ennek ellentétjei – a kockázatokról és a felelős szereplőkről mindenki tudása és vérmérséklete alapján döntsön.

A vétlen áldozatok mindebből úgyis csak egy csattanást, betört kabintetőt, légcsavarból kitört diónyi darabot (ennyi elég, hogy lerázza a motort) fognak észlelni - vagy más sérülést, ami a járművet, vagy vezetőjét teszi alkalmatlanná a továbbrepülésre. Az 50 km/h sebességgel repülő

7 kg-os modell szembetalálkozik egy 150 km/h sebességű repülőgéppel a modell mozgási energiája  $0,5 \cdot 7 \cdot (200/3,6)^2 = 10802,47$  Joule – összemérhető egy nagykaliberű fegyverből kilépő lövedékkel.

Amerikában sem egyszerűbb a helyzet. Az Academy of Model Aeronautics (AMA) Document – az amerikai modellezők számára készített #550 útmutatása „Radio Controlled Model Aircraft Operation Utilizing First Person View Systems” (2013.01.14.) kitér a kötelező biztonsági felszerelésekre és a betartandó rendszabályokra, melyek közül a leginkább megszívlelendő – a repülőgép a vizuális (megfigyelő) pilóta látóköréből nem repülhet ki. Ez azt jelenti, hogy az FPV repüléshez két, tanulókábelrel összekötött távirányítóval felszerelt pilóta kell. Az egyik FPV (tanuló) módban repül, míg a másik, ha szükséges bármikor vissza tud térni a hagyományos vezetésre.



3. ábra Az AMA kiadványának (beszédés) borítója [8]

Az amerikai FPV modellezők természetesen minden követ megmozgatnak a szigorú korlátok enyhítésére/eltörlésére. Az esélyeik nem túl kedvezőek, mert az FAA - Federal Aviation Administration határozottan védi a pilótás repülés biztonságát – mindemellet kiáll a személyiségi jogokat sértő, ellenőrizetlen magán légi felderítés/megfigyelés ellen, amelyre véleményük szerint az FPV komoly lehetőséget ad.

## HOGYAN TOVÁBB FPV-REPÜLÉS

Az előző fejezetek többnyire arról szóltak, hogy miért NE legyenek FPV repülőgépek az egyébként is bonyolult légtérben. A bevezetőben is megígért megoldások következnek – olyan szándékkal, hogy a rendkívül érdekes és előremutató műszaki fejlesztések, amelyek az FPV-hez köthetők megkapják a megérdemelt elismerést és az alkalmazók is kiélhessék becsvágyukat, sport és ügyességi versenyeken bizonyíthassák a rátermettségüket és műszaki felkészültségüket.

Az már látható, hogy az FPV működési formáit nálunk is legalizálni kell. A bujkálás, légtérsértés, életekkel játszó vagánykodás nem méltó a modellezők táborához. Az államilag támogatott szövetségi forma megszűnésével a klubok oktató-nevelő funkciója is háttérbe szorult, átalakult – többnyire önszerveződésű baráti kapcsolatokká. A szakmai tekintély itt is kialakul és lehet alapja az együttműködésnek. A kallódó, tanácstalan, vagy éppen rossz tanácsra hallgató modellezőket kell releváns információkkal ellátni, hogyan érjenek el – elsősorban önmagukkal, korábbi szerényebb eredményeikkel versenyezve – sikereket.

Az önmegvalósítás, saját korábbi képességek felülmúlása az FPV versenyek célja és egyben eredménye. Az elmúlt évben ilyen jelentős esemény volt a németországi Braunschweig-ben megrendezett IMAV-2012 nemzetközi konferencia és a hozzá kapcsolódó bel- és kültéri FPV verseny. A kutatók, fejlesztők – nagy számban fiatal, a korlátokat nem tisztelő (vagy nem ismerő) egyetemi, főiskolai hallgatók kisméretű – inkább „dongóra”, mint repülőre hasonlító szerkezeteket reptettek FPV technikával az igen nehéz akadályok között. A pontozás során kiemelten díjazták a kreativitást, a saját tervezésű/építésű eszközöket. A lehető legkisebb méret és a gyorsaság mellett a manőverek pontos végrehajtása volt a következő értékelési szempont. Az eseményekről, eredményekről a rendezők honlapján részletes információk találhatóak. Ugyanitt tanulmányozható a versenykiírás és az értékelés szempontjai.



4. ábra Az IMAV 2012 egyik helyszíne és két résztvevője [9]

Az IMAV olyan rendezvény, ahol nemcsak a versenyzők akarják megmutatni tudásukat, az ipar és a katonai szféra is élénken érdeklődik ezek iránt. Megfigyelők árgus szemei követik az eseményeket, és a sikeres produkciók szereplői biztos számíthatnak a folytatásra.

A hazai FPV – közösség egyre bővül, a fórumokon kialakult kapcsolatokból találkozók szerveződnek, ahol előkerülnek a kapuk, szalagok, és máris van mire készülni, gyakorolni. A verseny-szellem – ha mérhető teljesítményekhez köthető – nagy húzóerő és a „gőz” levezetésének is utat enged. Az ügyességi számok a kivetítőkön keresztül a közönség számára is élményt jelentenek - hogy további leendő pilótákat toborozzanak.

Az FPV–repülő eszközök számára az adott időben és térben helyet lehet kérni – előzetes légtérigényt bejelentve. A napi légtérfelhasználási tervben ez megjelenik a HungaroControl honlapján [10] és mindenki számára nyilvánvaló, hogy ott kisméretű repülőgépek (UAV-k) versenye, kísérleti repülése folyik. Az adott légtér használatáért, az ott történekmért az igénylő tartozik



felelősséggel, azt csak a hozzájárulásával veheti más igénybe. Nem lehetetlen, tehát az elkészített „szuper kütyük, adók, vevők, antennák” hatótávolsági versenye sem – a megfelelő legális légtér igénybevételével.

## ZÁRÓ GONDOLATOK

Az írásmű célja a probléma felvetése, és – ha lehet – egyfajta megoldása. A szabadosság, ami a légtérben néhány FPV–tulajdonos (szándékosan nem pilóta) részéről - feltehetően csupán a tudás, tájékozottság hiánya miatt – megnyilvánult riasztó és ezen segíteni kell. A modellezőknek jobban meg kell ismerni a „nagyrepülőket” életterét és igényeit. Ugyanakkor a GA pilótái is jó, ha felkészülnek arra, hogy a szokásosnál jóval kisebb repülő szerkezetek is megjelenhetnek a környezetükben. Az eltérő méret, -sebesség, -látás és –láthatóság a VFR repülőknél közvetlen életveszélyt okozhat ezért a pilóta nélküli légi járművekre határozott térbeli/időbeli elkülönítést kell alkalmazni.

A szerző a repülés mindkét műfaját szereti, műveli – és kívánja, hogy

AZ ÉG KÉK MARADJON - MINDENKI SZÁMÁRA.



### ÚJ SZÉCHENYI TERV

***TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások,, A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.” „The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”***

***Alprogram: Adatintegráció***

***Kiemelt kutatási terület: A pilóta nélküli Légitjárművek alkalmazásának Légiközlekedés-biztonsági aspektusai***

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <http://fpvlab.com/forums/showthread.php?2070-First-FPV-flight-today!>
- [2] <http://c4s.atw.hu/>
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=W-QJLOVLg7M>
- [4] [https://www.youtube.com/watch?v=ghDXBIy\\_BSM](https://www.youtube.com/watch?v=ghDXBIy_BSM)
- [5] [https://www.youtube.com/watch?v=7k\\_vilJ3avE](https://www.youtube.com/watch?v=7k_vilJ3avE)
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=ojIz5Mai2Rw>
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=ZC2BtzHKSb0>
- [8] <http://amablog.modelaircraft.org/blog/2012/11/01/ama-revising-fpv-policy/>
- [9] <http://www.imav2012.org/>
- [10] <http://www.hungarocontrol.hu/hu/legter>



József Horváth<sup>1</sup>

## JAS 39 GRIPEN IN AIR OPERATIONS<sup>23</sup>

*The Hungarian Defence Forces<sup>4</sup> with the lease of the JAS 39 Gripen aircraft solved the problem of the MIG-29. Now, the HDF has an advanced, multi-role fighter, which is able to fulfill extensive range of air-to-air, air-to-surface and - after acquisition and integration certain equipments – air reconnaissance missions. It is necessary to highlight, that this version is able to operate together with other NATO aircraft as well. During the Operation Unified Protector in Libya the JAS<sup>5</sup> 39 got the first operational experiences. In my article I would like to give an overview about the Libyan mission and about the Baltic Air Policing, where the Czech Republic used Gripens during their missions. At the end of the article I would like to present the electronic warfare system of the aircraft, as an important part of the electronic self-defence system.*

### JAS 39 GRIPEN LÉGI MŰVELETEKBEN

*A Magyar Honvédség a JAS 39 Gripen eszközök lízingelésével megoldotta a MIG-29 típus problémáját. Most az MH egy fejlett, több szerepben is alkalmazható repülőgép típussal rendelkezik, amely képes levegő-levegő, levegő-föld és –bizonyos eszközök beszerzése és integrációja után - légi felderítési feladatok ellátására. Ki kell emelni, hogy ez a verzió képes együttműködni más NATO repülőgépekkel is. A Líbiában végrehajtott Operation Unified Protector küldetés során megszerezték az első műveleti tapasztalatokat. Cikkemben szeretnék egy rövid áttekintést adni a líbiai misszióról és a baltikumi légirendészeti feladatokról, ahol Csehország a Gripenjeit alkalmazta missziója során. A cikk végén szeretném bemutatni a repülőgép elektronikai hadviselési rendszerét, amely fontos része az elektronikai önvédelmi rendszernek.*

## INTRODUCTION

In the first part of the article I would like to give more information about the mentioned missions, where the Gripen pilots have real chance to meet enemy military fighters. Because of the possible danger, the pilots need different devices and systems to survive. One of these systems is the electronic warfare system, which can help the pilots to have an exact operational picture and can help to react in the proper way.

---

<sup>1</sup> Horváth József, MH ÖHP FEF, horvath0101@gmail.com

<sup>2</sup> Publisher's reader: Ferenc Nagy (PhD), nafedr@gmail.com

<sup>3</sup> Publisher's reader: Ferenc Varga (PhD), Associate Professor, National University of Public Service Technology Department of Military Aviation, varga.ferenc@uni-nke.hu

<sup>4</sup> Hungarian Defence Forces

<sup>5</sup> JAS: Jakt (fighter), Attack (attack), Spaning (and reconnaissance) in Swedish



---

## I. JAS 39 GRIPEN IN AIR OPERATIONS

### **OPERATION UNIFIED PROTECTOR IN LIBYA**

In February 2011 the local people started to protest against Colonel Muammar Qadhafi and during several days the protest became violent, claiming the lives of dozens of protestors. The UN had grave concern because of the situation and created an arms embargo on the country. Because of the growing violence, NATO started a surveillance operation in the Mediterranean on 8 March 2011, deployed Airborne Warning and Control Systems (AWACS) aircraft to the area. Two days later NATO started to strengthen the monitoring function ships on the Mediterranean Sea as well. During this time, the UN Security Council adopted UN Security Council Resolution 1973 on 17 March 2011, condemned the “gross and systematic violation of human rights” and introduced active measures. The operation, based on the UNSCR<sup>6</sup> 1973, was led by the United States and the needed military force was provided by the UN nations, as a multinational coalition. On 22 March 2011, NATO responded to the UN’s call to enforce the arms embargo against the country. On 24 March 2011 NATO forces started to enforce the UN-mandated no-fly zone over Libya in the air and NATO ships in the Mediterranean began to hinder the flow of weapons and mercenaries. [1]

NATO’s North Atlantic Council (NAC) in Brussels was responsible for the overall political direction, Supreme Headquarters Allied Powers Europe (SHAPE) carried out NAC decisions with military implementations through Joint Force Command (JFC) Naples. NATO Maritime Command Naples directed naval operations and the air campaign was conducted from NATO’s Combined Air Operations Centre Poggio Renatico. [2]

The Libyan operation was the first combat mission and therefore the first real test for the JAS 39 Gripen. The first mission was flown on 8 April 2011 and the fighters returned back to Sweden on 24 October 2011. The mission had two periods, in the first period 8 Gripen fighters (Unit FL01) and 130 personnel, in the second part (Unit FL02) 5 Gripen fighters and 110 personnel served there. [3]

The task of the Swedish aircraft was to provide air-reconnaissance for the NATO, an example is on the Figure 1. During the first part they completed 574 sorties creating 2271 reconnaissance reports for the Combined Air Operations Centre (CAOC). [4] During the second part the unit fulfilled 650 missions, almost 2,000 flight hours and provided more than 150,000 reconnaissance photos. [5]

The Swedish Gripens used the SPK 39 recce pod, which is able to detect individuals from an altitude of 21.000 feet. During their mission, 30% of the Allied coalition’s intelligence production was provided by them. In spite of the fact, that they did not have datalink between the pod and the base during the flights, they were able to provide data for the CAOC within 2 hours after landing. [6][7]

---

<sup>6</sup> United Nations Security Council Resolution 1973



Fig. 1. Recon photo in Libya (provided by the Swedish Air Force) [8]

The Gripens were deployed to the Sigonella base, designed as a naval air force base. They met the first problem here concerning the fuel, because the US navy aircraft use different sort of fuel. [9]

They also had problems with the Have Quick” secure radios. It is important, that the radios were not tested earlier with regular NATO encrypted radios. The system could not connect to the NATO’s secure network, hence the pilots had to operate unsecured and use code words to exchange orders. In some cases, when the aircraft system recognized the operational security keys, the radio switched automatically to the operational network. [10][11]

The next serious problem was the increasing number of electronic signals in the air, causing electronic interference in their own systems. Among the military news we can find different stories about false radar warnings, unusable communication systems, that could be result of the electronic interference. [12] I would like to emphasize, that most nations faced with this problem, which should be controlled by the electronic support services.

I have to highlight the fact, that the core of this kind of problem is not the bad construction of the airplanes. Sweden is not a NATO member and they do not have experiences in connection with operation of aircraft in abroad. Important, that after returning to home, Sweden started to analyse the experiences and the needed technical improvements of the equipments and the processes for future deployments of the fighter. [13]

## BALTIC AIR POLICING

In 2004 three baltic states (Estonia, Latvia and Lithuania.) became members of the NATO. The problem with these states is, that they do not have efficient air defence, thus they are not able to control their airspace from the direction of Russia and Belarus. To handle this situation, in

2004 NATO members got to solution, that an Air Policing duty is needed. Based on the announcement of U.S. President Barack Obama at the North Atlantic Council during the NATO Summit in Chicago, the Baltic Air Policing is “one of the most successful examples of NATO solidarity”. [14][15]

Russia has concern in connection with the NATO Baltic activity, because the major Russian cities are in a reach of NATO combat aircraft. As an answer, Russia deployed Iskander<sup>7</sup> missiles to the area. [16] During the first Czech period a Russian plane suspected of carrying out spying mission was intercepted, hence the deterrent effect of the presence is a perfect solution to decrease the risk of these activities. [17]

“Air Policing is one of the key aspects of common security and defence for the Alliance. Preserving the integrity of NATO airspace is a collective task where NATO Joint Force Command Brunssum contributes with Baltic Air Policing as one of its Enduring Tasks. At the Chicago Summit 2012, NATO decided to extend its commitment to protect the Baltic airspace. The agreement is an example of Smart Defence, demonstrating how the Alliance can balance its political and military needs in an economically efficient way. Headquarters Allied Air Command Ramstein is designated to HQ JFC Brunssum and the Air Advisor to the Commander JFC Brunssum in matters of the Baltic Air Policing.” [18]

“The air assets deployed on the mission maintain a permanent readiness posture to scramble at short notice and take deterrent of other actions against the trespassers on 24/7 base.” In February 2013 the North Atlantic Council approved the lengthening of the Baltic Air Policing mission instead of the scheduled 2014 finishing. [19] Hungary announced in 2012, during the NATO meeting in Chicago, that between 2015 and 2018 the HUNAF can participate in this mission. [20]



Fig. 2: A two-ship formation of Czech Air Force JAS-39 over the Balticum. Photo by Czech AF. [21]

Until January 2013 the following nations took part in this task [22]:

- Germany five times;
- Denmark and Poland four times;
- France and the USA three times;

---

<sup>7</sup> Iskander missile: truck-mounted, independently controlled ballistic missile, able to hit targets at distances of 50 to 280 km.



- 
- Czech Republic, Norway and Belgium twice;
  - Portugal, Romania, Spain, Turkey, the Netherlands and the United Kingdom once.

The deployed aircraft [23]:

- F-16AM Fighting Falcon and F-16C Fighting Falcon;
- F-4F Phantom II;
- Panavia Tornado F.3;
- MiG-29A;
- Mirage F1M;
- Mirage 2000C;
- MiG-21 LanceR 'C';
- F-15C Eagle;
- JAS-39C Gripen;
- Eurofighter Typhoon.

Generally, the deployed forces consist of 4 aircraft and 50 - 100 support personnel.

To control the flights a Control and Reporting Centre (Baltic CRC) was founded at Karmelava, Lithuania. Currently the Baltic CRC is jointly manned by staff from Estonia, Latvia and Lithuania. [24]

In connection with violations of the airspace the Russian representatives say, that Russian aircraft make their planned flights and there is no cross-border flight. Security experts agree, that the aim of the Russian flights is to test the NATO air policing forces. [25]

Some examples for the violations based on the open source information:

- “In 1992, a few years after Lithuania regained independence there were 2500 violations.” [26]
- During the first Belgian shift (April 2004 – June 2004) they had only one Alpha Scramble. On 2 June 2004, a Bombardier Learjet left Russian airspace and passed just north of Estonia without emitting the proper identification signals. Two Belgian F-16s were scrambled, but the Finnish Air Force was faster, the jet had already been intercepted by them. [27]
- In 2005, until November Estonian reported 5 violations. A significant incident happened on 15 September. During the German period (July 2005 - Sept 2005) a Russian Su-27 Flanker crashed into the ground. Before the accident the fighter had about 20 minutes in the Lithuanian airspace without any reaction from the NATO side. An interesting fact, that there were four air-to-air missiles on the aircraft. [28]
- During the second air policing Belgian mission (Dec 2006 - March 2007) the Belgian pilots fulfilled about 275 flying hours in exactly 100 scrambles, three of which were Alpha-scrambles. A light sports plane without proper IFF-code emission and 2 ultra-light aircraft. [29]
- During their first shift (May 2009 - August 2009) the Czech contingent achieved 404 flight hours in 336 sorties. They had eight Alpha scrambles, among them one civilian and seven military airplanes. [30]





- 
- During the third Danish phase (Sept 2011 - Jan 2012) a Tu-22M bomber, escorted by a fighter, had penetrated the airspace. The QRA was alerted but they could not make contact with the Russian aircraft. [31]
  - The German contingent in 2012. (Jan - Apr) had more than 12 Alpha scrambles, among them not only intruders but escort flights as well. Escort flight means, that an aircraft comes too close to the Baltic air space. [32] In March a Russian Su-27 jet fighter flew 12 kilometres (7.5 miles) in the Lithuanian airspace, before returning to the territory of Kaliningrad. The Russian ambassador got a protest note about the Lithuanian airspace violation. [33]
  - In July 2012, during the fourth Polish mission (Apr 2012 - Aug 2012) two pairs of long-range, missile armed Russian bombers performed air patrols over the Black and Baltic seas. They practiced a number of tasks cooperating with the escort fighters (Su-27). In this case Russia stated again, that all flights were in line with the international regulations of international airspace above neutral waters and did not violate the airspace borders of other states. [34]
  - From the start of the second Czech period (Aug 2012) until December the Gripen fighters had nine Alpha scrambles. [35]
  - The Czech Republic was in a difficult situation, because the Gripens are not their property and the maintenance on Czech territory was provided by the Swedish experts. Because of the limited number of the fighters and the pilots, they had to coordinate the resources in a proper way to fulfill the tasks in the Baltic area and at home as well at the same time. On the scene, they divided the personnel into three shifts. The chief of the shifts was a pilot, members were technicians, operations duty officer, senior officer at the WOC (Wing Operations Center), drivers, FP soldiers. The Czech Republic deployed 4-4 Gripens twice to the area for the two periods, which were fitted with the AIM-9M Sidewinder short-range air-to-air missiles and typically around 100 gun rounds per aircraft. During their missions they had altogether 17 Alpha scrambles. Generally, these flights are not provocative, the aim of this activity is only to show the power of the Russian country. (36) Among the intercepted aircraft there was a Russian Air Force Il-38 'May' ELINT aircraft as well, which had special antennas, "looking like a hedgehog". (37)

## II. JAS 39 GRIPEN ELECTRONIC WARFARE SYSTEM

### **JAS 39 Gripen EW system**

As I mentioned in the Introduction, the pilots need different devices and systems to survive in dangerous situations. The advanced EW system (EWS-39) can help the pilots to have an exact operational picture.

Because the EWS-39 is an important part of the self-defence system thus the support personnel has to keep it updated. The EW system is the important part of the electronic system as well. We have to highlight, that the electronic systems of the aircraft have to operate together to avoid interference. [38][39]

“The electronic warfare system (EWS 39) is an integrated EW system, which consists of four elements:

- Electronic Warfare Central Unit – EWCU;
- Radar Warning Receiver – RWR;
- Internal Jammer – IJ;
- Chaff / Flares Countermeasures Dispensers.” [40]

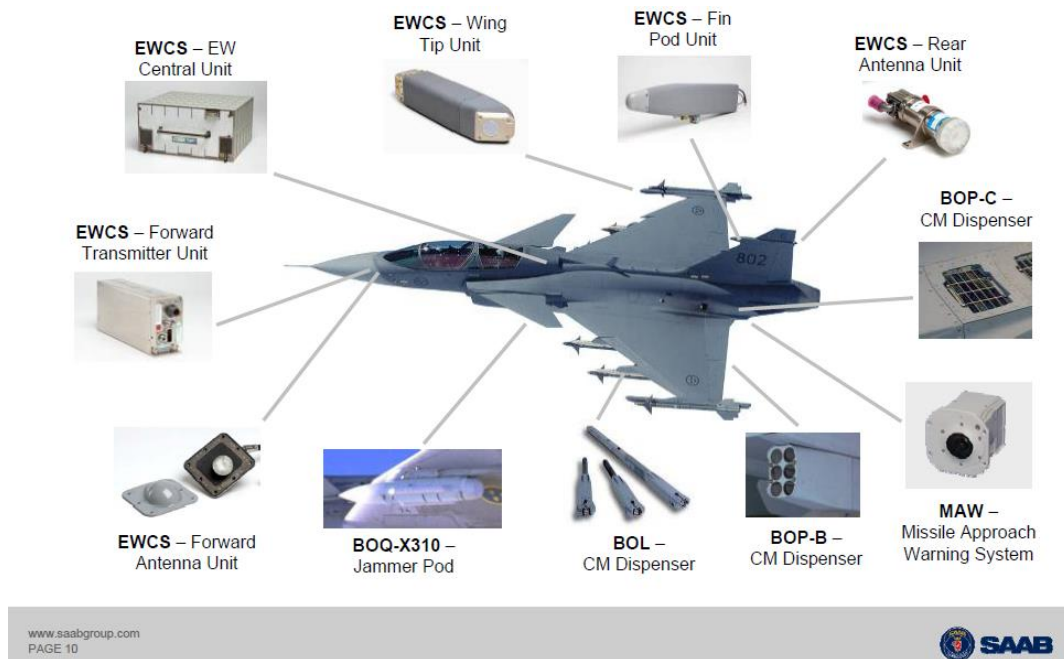


Fig. 3. Elements of the JAS 39 Gripen EW system [41]

The Radar Warning Receiver can detect the electronic signals in different frequency bands in the vicinity of the aircraft (in 360 degrees, from the air and from the ground as well). Based on the database in the system, it is possible to identify the emitters (friendly, enemy, unknown) and after it inform the pilot about the possible danger and the needed activity (e.g. manoeuvres, possible passive countermeasures provided by the system). [42]

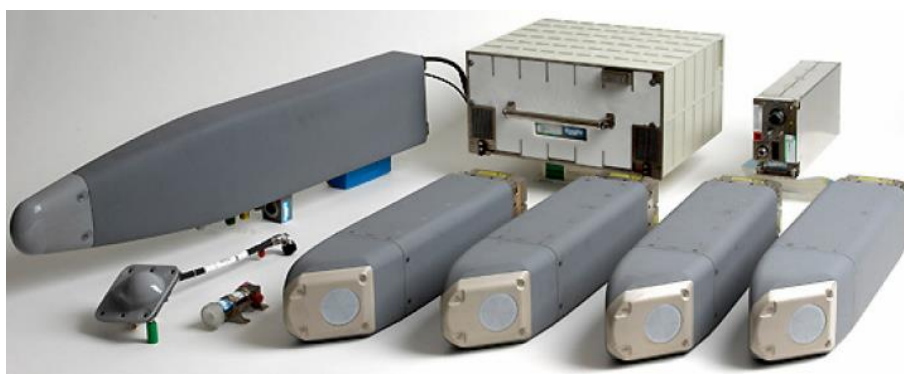


Fig. 4. Parts of the JAS 39 Gripen EW System [43]

The pilot has to take into consideration the recommendations and choose the appropriate countermeasure (e.g. jamming, dispersion of flare or chaff). The answer for the danger can be automatic (done by the system), semiautomatic or done by the pilot (choosing the countermeasure

manually). [44]



Fig. 5. Rear-antenna for the EW System [45]

The Hungarian JAS-39 version has an advanced Internal Jammer with forward and rear antennas and 4 passive counter-measures dispensers. The jamming system is able to provide different types of jammings. The dispensers are located on the upper and on the lower side of the aircraft to ensure the dispersion into the upper or lower airspace. The dispensers work based on the program, uploaded into the EWCU by the support team. Based on the possible danger, it is possible to load into the dispensers chaff and flare as well on the ground. The dispensers are manufactured based on the NATO standards and can be filled with different size of ammunition. [46][47]



Fig. 6: JAS 39 Gripen with flares [48]



## IMPROVEMENT OF THE ELECTRONIC WARFARE SYSTEMS

Because of the modular system, the electronic warfare capability can be improved very effectively. The use of Laser Warning Receiver and Missile Approach Warning can be the next milestone in the improvement of the electronic warfare system. [49]

The exact and reliable electronic warfare information is the basis of the proper operation. The support team has to create, edit and reprogramme the threat and countermeasure libraries after the analysis of electronic-warfare data. If the basic information is not exact, the onboard EW libraries cannot be efficient and the warnings will not be right. As a consequence, the recommended action cannot be the best option and the pilots will have false sense of security.

To increase the efficiency of the EWS, we can find different offers, that can make the libraries more accurate. Saab offers e.g. an EW Support system, which is able to help us during the different processes (analysis, reprogramme of threat and countermeasure libraries). “This system significantly reduces the time needed for the reprogramming of threat libraries and analysis of recorded EW data, thereby enhancing crew survivability and the likelihood of mission success.” [50]

## SUMMARY

The topic of the article may be interesting for everyone, who is interested in the application of the JAS 39 Gripen aircraft and in the electronic warfare systems of the fighters. The HDF, according to the announcement of the Ministry of Defence, will be involved in to the Baltic Air Policing. During this duty the self-defence has the highest priority and in this task the electronic warfare system has an important role. It is important to highlight, that with the Gripen fighters the HDF can respond to the different challenges.

## REFERENCES

- [1] NATO and Libya. url: [http://www.nato.int/cps/en/SID-4785F3F9-EAC9F226/natolive/topics\\_71652.htm](http://www.nato.int/cps/en/SID-4785F3F9-EAC9F226/natolive/topics_71652.htm) (31.01.2013.)
- [2] NATO and Libya. url: [http://www.nato.int/cps/en/SID-4785F3F9-EAC9F226/natolive/topics\\_71652.htm](http://www.nato.int/cps/en/SID-4785F3F9-EAC9F226/natolive/topics_71652.htm) (31.01.2013.)
- [3] SwAF reflects on Libyan mission. url: <http://www.shephardmedia.com/news/digital-battlespace/swaf-reflects-libyan-mission/> (22. 02. 2013.)
- [4] Gripen surveillance systems. url: <http://www.saabgroup.com/en/About-Saab/Newsroom/Press-releases--News/2012---6/Aerospace-Forum-Surveillance-Systems--Gripen-in-Libya/> (22. 02. 2013.)
- [5] Mission Completed: Swedish Gripen Back from Libya. url: <http://www.defencetalk.com/mission-completed-swedish-gripen-back-from-libya-37964/> (22. 02. 2013.)
- [6] Lt Col Hans Einert TUJAS, Swedish Armed Forces: Surveillance Systems Gripen in Libya, Aerospace Forum 2012. url: <http://www.saabgroup.com/en/About-Saab/Newsroom/Press-releases--News/2012---6/Aerospace-Forum-Surveillance-Systems--Gripen-in-Libya/> (22. 02. 2013.)
- [7] Gripens Account For 37% Of NATO Recon Reports In Libya. url: <http://www.gripenblogs.com/Lists/Posts/Post.aspx?List=1d32d33f%2D2d8a%2D4254%2Dba7e%2D7f020e980176&ID=23&Web=f4e358e9%2D9737%2D43b1%2Db2f9%2Dc11c7b4ca9fa4> (25. 02. 2013.)
- [8] Libya: Gripen's Recce Efforts. url: <http://fothesky.blogspot.hu/2011/04/libya-gripens-recce-efforts.html> (25.02.2013.)
- [9] US fuel stops Gripen Libya mission. url: <http://www.thelocal.se/33058/20110407/> (22. 02. 2013.)
- [10] Swedish Gripen Community Draws Libya Lessons. url: <http://www.acus.org/natosource/swedish-gripen-community-draws-libya-lessons> (22. 02. 2013.)
- [11] Gripen Finds Its Flaws In Combat. url: <http://www.strategypage.com/dls/articles/Gripen-Finds-Its-Flaws-In-Combat-12-10-2011.asp> (25. 02. 2013.)





- [12] Gripen Finds Its Flaws In Combat. url: <http://www.strategypage.com/dls/articles/Gripen-Finds-Its-Flaws-In-Combat-12-10-2011.asp> (25. 02. 2013.)
- [13] Swedish Gripen Community Draws Libya Lessons. url: <http://www.acus.org/natosource/swedish-gripen-community-draws-libya-lessons> (22. 02. 2013.)
- [14] Chicago Summit delivers wish list. url: <http://www.baltictimes.com/news/articles/31290/> (18. 02. 2013.)
- [15] Official website of the Lithuanian Armed Forces, NATO Air - policing mission. url: [http://kari-uomene.kam.lt/en/structure\\_1469/air\\_force/nato\\_air\\_-\\_policing\\_mission.html](http://kari-uomene.kam.lt/en/structure_1469/air_force/nato_air_-_policing_mission.html) (22. 02. 2013.)
- [16] The Baltic States' Role in Russia-NATO Relations. url: [http://russiancouncil.ru/en/inner/?id\\_4=980](http://russiancouncil.ru/en/inner/?id_4=980) (22. 02. 2013.)
- [17] Polish Institute of International Affairs BULLETIN, No. 88 (421) September 21, 2012 url: [http://mercury.ethz.ch/serviceengine/Files/ISN/154021/ipublicationdocument\\_singledocument/73d9b07d-8081-4427-9775-ba54b4d3f1bf/en/Bulletin+PISM+No+88+\(421\),+September+21,+2012.pdf](http://mercury.ethz.ch/serviceengine/Files/ISN/154021/ipublicationdocument_singledocument/73d9b07d-8081-4427-9775-ba54b4d3f1bf/en/Bulletin+PISM+No+88+(421),+September+21,+2012.pdf) (22. 02. 2013.)
- [18] Baltic Air Policing. url: <http://www.globalsecurity.org/military/world/int/nato-air-policing.htm> (18. 02. 2013.)
- [19] Official website of the Lithuanian Armed Forces, NATO Air - policing mission. url: [http://kari-uomene.kam.lt/en/structure\\_1469/air\\_force/nato\\_air\\_-\\_policing\\_mission.html](http://kari-uomene.kam.lt/en/structure_1469/air_force/nato_air_-_policing_mission.html) (22. 02. 2013.)
- [20] Baltic states are grateful to Hungary. url: <http://www.kormany.hu/hu/honvedelmi-miniszterium/hirek/rendkivul-halaszak-a-balti-allamok-magyarorszagnak> Translated by the author (22. 02. 2013.)
- [21] Baltic Air Policing. url: [http://www.jfcbs.nato.int/jfcbrunssum/baltic\\_air\\_policing.aspx](http://www.jfcbs.nato.int/jfcbrunssum/baltic_air_policing.aspx) (18. 02. 2013.)
- [22] Official website of the Lithuanian Armed Forces, NATO Air - policing mission. url: [http://kari-uomene.kam.lt/en/structure\\_1469/air\\_force/nato\\_air\\_-\\_policing\\_mission.html](http://kari-uomene.kam.lt/en/structure_1469/air_force/nato_air_-_policing_mission.html) (22. 02. 2013.)
- [23] Baltic Air Policing. url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Baltic\\_Air\\_Policing](http://en.wikipedia.org/wiki/Baltic_Air_Policing) (22. 02. 2013.)
- [24] Fighter jets secure airspace of the Baltic countries. url: [http://www.nato.int/cps/en/natolive/news\\_85569.htm?selectedLocale=en](http://www.nato.int/cps/en/natolive/news_85569.htm?selectedLocale=en) (28. 03. 2013.)
- [25] Ainars Vigulis, Captain, Latvian Air Force: NATO AIR POLICING – A PERMANENT SOLUTION, AU/ACSC/8881/AY06. AIR COMMAND AND STAFF COLLEGE, AIR UNIVERSITY, Maxwell Air Force Base, Alabama April 2006 url: [http://dtlweb.au.af.mil//exlibris/dtl/d3\\_1/apache\\_media/L2V4bGlicmlzL2R0bC9kM18xL2FwYWNoZV9tZWRpYS8zNDYyMQ==.pdf](http://dtlweb.au.af.mil//exlibris/dtl/d3_1/apache_media/L2V4bGlicmlzL2R0bC9kM18xL2FwYWNoZV9tZWRpYS8zNDYyMQ==.pdf) (22. 02. 2013.)
- [26] Polish Institute of International Affairs, BULLETIN, No. 88 (421) September 21, 2012 url: [http://mercury.ethz.ch/serviceengine/Files/ISN/154021/ipublicationdocument\\_singledocument/73d9b07d-8081-4427-9775-ba54b4d3f1bf/en/Bulletin+PISM+No+88+\(421\),+September+21,+2012.pdf](http://mercury.ethz.ch/serviceengine/Files/ISN/154021/ipublicationdocument_singledocument/73d9b07d-8081-4427-9775-ba54b4d3f1bf/en/Bulletin+PISM+No+88+(421),+September+21,+2012.pdf) (22. 02. 2013.)
- [27] Three years of NATO Baltic Air Policing. url: <http://home.scarlet.be/~jan-sensa/Three%20years%20of%20NATO%20Baltic%20Air%20Policing.htm> (22. 02. 2013.)
- [28] Ainars Vigulis, Captain, Latvian Air Force: NATO AIR POLICING – A PERMANENT SOLUTION, AU/ACSC/8881/AY06. AIR COMMAND AND STAFF COLLEGE, AIR UNIVERSITY, Maxwell Air Force Base, Alabama April 2006 url: [http://dtlweb.au.af.mil//exlibris/dtl/d3\\_1/apache\\_media/L2V4bGlicmlzL2R0bC9kM18xL2FwYWNoZV9tZWRpYS8zNDYyMQ==.pdf](http://dtlweb.au.af.mil//exlibris/dtl/d3_1/apache_media/L2V4bGlicmlzL2R0bC9kM18xL2FwYWNoZV9tZWRpYS8zNDYyMQ==.pdf) (22. 02. 2013.)
- [29] Three years of NATO Baltic Air Policing. url: <http://home.scarlet.be/~jan-sensa/Three%20years%20of%20NATO%20Baltic%20Air%20Policing.htm> (22. 02. 2013.)
- [30] Fortune Favours the Prepared url: [http://www.mocr.army.cz/assets/multimedia-a-knihovna/casopisy/czech-army/are2\\_2012.pdf](http://www.mocr.army.cz/assets/multimedia-a-knihovna/casopisy/czech-army/are2_2012.pdf) (22. 02. 2013.)
- [31] Russian Violation of Baltic Airspace. url: <http://z9.invisionfree.com/21c/ar/t10450.htm> (22. 02. 2013.)
- [32] Regular air space violations by Russian jets underline need for NATO air-policing over Baltic states. url: <http://www.15min.lt/en/article/in-lithuania/regular-air-space-violations-by-russian-jets-underline-need-for-nato-air-policing-over-baltic-states-525-214189#ixzz2M897Isjl/> (22. 02. 2013.)
- [33] Lithuania protests airspace violation by Russian fighter. url: <http://stratrisks.com/geostrat/5033> (22. 02. 2013.)
- [34] The Baltics. url: <http://litauen.um.dk/en/about-us/defence/newsletters/newsdisplaypage/?newsid=e1eba0f5-6b45-43b8-8199-83ff9545683d> (22. 02. 2013.)
- [35] Fortune Favours the Prepared url: [http://www.mocr.army.cz/assets/multimedia-a-knihovna/casopisy/czech-army/are2\\_2012.pdf](http://www.mocr.army.cz/assets/multimedia-a-knihovna/casopisy/czech-army/are2_2012.pdf) (22. 02. 2013.)
- [36] AVIATION + COSMONAUTICS. 2009/9. url: [http://www.saabgroup.com/Global/Documents%20and%20Images/Air/Gripen/Gripen%20for%20Czech%20Republic/LK\\_Aviation\\_Cosmonautics\\_2009-9\\_ENG.pdf](http://www.saabgroup.com/Global/Documents%20and%20Images/Air/Gripen/Gripen%20for%20Czech%20Republic/LK_Aviation_Cosmonautics_2009-9_ENG.pdf) (22. 02. 2013.)





- 
- [37] Czech experiences from Air Policing. url: <http://www.saabgroup.com/en/About-Saab/Newsroom/Press-releases--News/2012---6/Czech-experiences-from-air-policing-over-the-Baltic-States/> (22. 02. 2013.)
- [38] Dr. Kovács László: A JAS 39 GRIPEN elektronikai hadviselési képességei. url: [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006\\_cikkek/kovacs\\_laszlo.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/kovacs_laszlo.pdf) Translated by the author (22. 02. 2013.)
- [39] Zord Gábor László: Korszerű harcászati repülőgép rádióelektronikai harc (REH) rendszere. url: [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006\\_cikkek/zord\\_gabor\\_laszlo.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/zord_gabor_laszlo.pdf) Translated by the author (22. 02. 2013.)
- [40] Dr. Kovács László: A JAS 39 GRIPEN elektronikai hadviselési képességei. url: [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006\\_cikkek/kovacs\\_laszlo.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/kovacs_laszlo.pdf) Translated by the author (22. 02. 2013.)
- [41] Saab: Technology for a changing world. url: <http://www.csba.se/LinkClick.aspx?fileticket=uiWnvZO68SQ%3D&tabid=68> (22. 02. 2013.)
- [42] Dr. Kovács László: A JAS 39 GRIPEN elektronikai hadviselési képességei. url: [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006\\_cikkek/kovacs\\_laszlo.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/kovacs_laszlo.pdf) Translated by the author (22. 02. 2013.)
- [43] Dr. Kovács László: A JAS 39 GRIPEN elektronikai hadviselési képességei. url: [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006\\_cikkek/kovacs\\_laszlo.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/kovacs_laszlo.pdf) Translated by the author (22. 02. 2013.)
- [44] Dr. Kovács László: A JAS 39 GRIPEN elektronikai hadviselési képességei. url: [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006\\_cikkek/kovacs\\_laszlo.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/kovacs_laszlo.pdf) Translated by the author (22. 02. 2013.)
- [45] Zord Gábor László: Korszerű harcászati repülőgép rádióelektronikai harc (REH) rendszere. url: [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006\\_cikkek/zord\\_gabor\\_laszlo.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/zord_gabor_laszlo.pdf) Translated by the author (22. 02. 2013.)
- [46] Dr. Kovács László: A JAS 39 GRIPEN elektronikai hadviselési képességei. url: [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006\\_cikkek/kovacs\\_laszlo.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/kovacs_laszlo.pdf) Translated by the author (22. 02. 2013.)
- [47] Zord Gábor László: Korszerű harcászati repülőgép rádióelektronikai harc (REH) rendszere. url: [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006\\_cikkek/zord\\_gabor\\_laszlo.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/zord_gabor_laszlo.pdf) Translated by the author (22. 02. 2013.)
- [48] Military Helicopters & Planes Flares. url: <http://www.militaryphotos.net/forums/showthread.php?172435-Military-Helicopters-amp-Planes-Flares/page11> (22. 02. 2013.)
- [49] Dr. Kovács László: A JAS 39 GRIPEN elektronikai hadviselési képességei. url: [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006\\_cikkek/kovacs\\_laszlo.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/kovacs_laszlo.pdf) Translated by the author (2013. 02. 22.)
- [50] Electronic Support Measures. url: [http://www.saabgroup.com/en/Air/Electronic\\_Warfare\\_Solutions/Electronic\\_Support\\_Measures/HES\\_21\\_ESM\\_ELINT\\_and\\_Self\\_Protection/Features/](http://www.saabgroup.com/en/Air/Electronic_Warfare_Solutions/Electronic_Support_Measures/HES_21_ESM_ELINT_and_Self_Protection/Features/) (22. 02. 2013.)

Hadobács Katalin<sup>1</sup> – Tuba Zoltán<sup>2</sup> – Wantuch Ferenc<sup>3</sup> –  
Bottyán Zsolt<sup>4</sup> – Vidnyánszky Zoltán<sup>5</sup>

## A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK METEOROLÓGIAI TÁMOGATÓ RENDSZERÉNEK KIALAKÍTÁSA ÉS ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK BEMUTATÁSA ESETTANULMÁNYOKON KERESZTÜL<sup>6</sup>

*A pilóta nélküli légi járművek (UAV) száma az utóbbi években rohamosan növekedett, és már hazánkban is egyre elterjedtebbé vált az alkalmazásuk. A repülési feladat megtervezése során és a megfelelő döntések meghozatalához azonban a kezelő személyzetnek kellően pontos, korrekt meteorológiai információkkal kell rendelkeznie. Sajnos hazánkban még komoly hiányosságok vannak ezen a téren, de egyre inkább felmerül az igény egy meteorológiai támogatórendszer kialakításának szükségességére. Egy még most is folyamatban lévő kutatás fő célja, egy ilyen szoftver kifejlesztése, majd egy kezelőfelület kialakítása, annak érdekében, hogy akár meteorológus szakemberek jelenléte nélkül is megfelelő meteorológiai támogatást lehessen nyújtani a repülési feladatok biztonságos végrehajtásához. E cikkben röviden szeretnénk ismertetni az általunk tervezett rendszer struktúráját, illetve külön hangsúlyt fektetünk a rendszer egy alapvető pillérét képező fuzzy logikán alapuló hasonlóság kereső statisztikai eljárás bemutatására, majd e módszer alkalmazhatóságát két esettanulmányon keresztül mutatjuk be.*

### **DEVELOPMENT OF METEOROLOGICAL SUPPORT SYSTEM OF UNMANNED AERIAL VEHICLES AND INTRODUCTION ITS APPLICABILITY THROUGH CASE STUDIES**

*The number of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) rapidly increased in the past years and they are already widely used in Hungary. The operators of UAVs have to have accurate and actual meteorological information during the decision making processes of planning and mission execution. In spite of the increasing needs of meteorological support systems, there is a lack of them in Hungary. The main goal of our current research is to develop such kind of system and a suitable user interface, which gives the chance for appropriate weather support even in the absence of a professional meteorologist. In this article we would like to introduce briefly the structure of the whole system, highlighting the fuzzy logic-based analog statistical method which is its fundamental part. Then we give some examples of its applicability through two different case studies.*

## BEVEZETÉS

A közeli, rövid távú és a nagy távolságú UAV-k csoportja egyre nagyobb fontossággal bír a katonai műveletekben, mivel a robotikai eszközök alkalmazása csökkenti az emberi életet- és egészséget fenyegető kockázatokat. Ezen pilóta nélküli légi járművek széleskörű elterjedése szükségessé tette folyamatos fejlesztésüket [1][2].

<sup>1</sup> meteorológus, MH Geoinformációs Szolgálat, katalin.hadobacs@gmail.com

<sup>2</sup> PhD hallgató, NKE Katonai Repülő Tanszék, tubazoltan.met@gmail.com

<sup>3</sup> meteorológus, NKH LI, e-mail:wantuch.f@jmail.com

<sup>4</sup> egyetemi docens, NKE Katonai Repülő Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

<sup>5</sup> PhD hallgató, ELTE, Matematikai Intézet, vidnyanszkyz@gmail.com

<sup>6</sup> Lektorálta: Biróné Dr. Kircsi Andrea, egyetemi adjunktus, Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék, kircsi.andrea@science.unideb.hu



A fedélzeten lévő pilóta hiányában egy UAV repülés sikeressége, biztonságos működése azon információktól függ, melyeket a személyzetnek szolgáltatnak, ezek közé tartozik az időjárás pontos ismerete is. A pilóta nélküli eszközök már csak méretüknél fogva is jobban ki vannak szolgáltatva az időjárásnak, kiváltképp, amikor alacsony magasságokon történik a repülés.

Az UAV-k pilótája, illetve a katonai kiszolgáló személyzet az aktuális és a feladat során várható változások ismeretében tudja megfelelően megtervezni, illetve végrehajtani a repülést.

Tehát látható, hogy elengedhetetlen a meteorológiai támogatás, mely lehetővé teszi a kezelő személyzet számára megfelelő döntés meghozatalát a repülés végrehajtására vonatkozóan [3].

Egy korrekt, pontos repülésmeteorológiai előrejelzés elkészítése megköveteli az általános meteorológiai ismereteken túl a repülés szempontjából fontos elemekre vonatkozó speciális ismereteket [4]. Egy előrejelzőnek, mivel többnyire adott pontra – általában a repülőtérre illetve annak közvetlen környezetére – készít prognózist, pontosan ismernie kell az adott régió klimatológiai sajátosságait, illetve azon tényezőket, melyek esetlegesen befolyásolhatják az időjárást mind mikro-, mind pedig mezoskálán. Ez a tapasztalati tudás évek, évtizedek alatt szerzhető meg. Azonban napjainkban már nem elfogadható, egy kezdő meteorológustól sem, kiváltképp egy reptéren, hogy hibás prognózist készítsen mindössze azon okból kifolyólag, hogy még nem szerzett elég tapasztalatot.

Ezért is célszerű egy olyan módszer kifejlesztése, mely valamilyen szisztéma szerint megpróbálja összegyűjteni és rendszerezni azt a tapasztalati tudást, amelyet a szakemberek évek alatt sajátítanak el, majd ezeket matematikai, illetve statisztikai módszerek felhasználásával az adott repülőtérre vonatkozó archív észlelési adatokból előállítja.

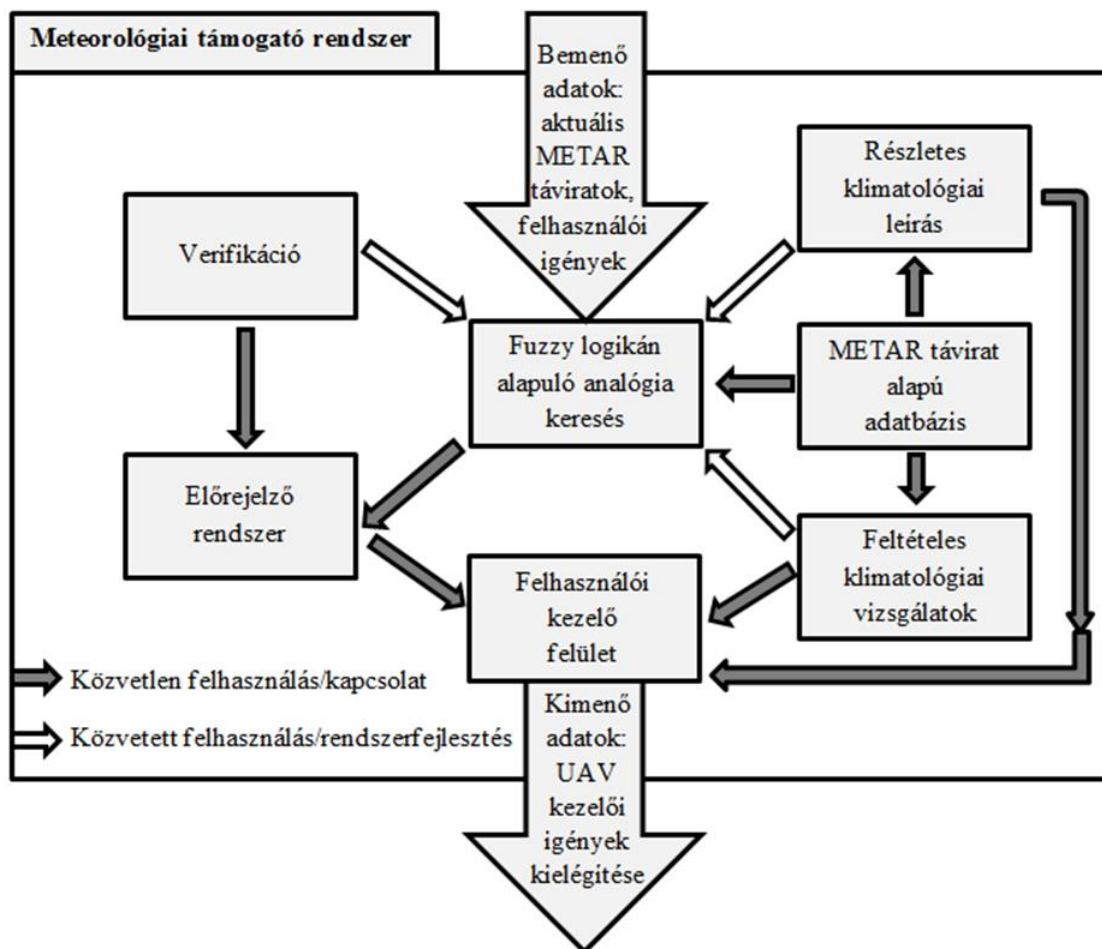
E cikkben egy ilyen eljárás kidolgozásának menetét ismertetjük. Elsőként röviden bemutatjuk a kidolgozás alatt lévő meteorológiai támogatórendszer struktúráját, majd részletesebben ismertetjük a fuzzy logikán alapuló analógia kereső program matematikai alapjait, illetve a kidolgozott algoritmust, mely a statisztikai szegmens alapja. Ezután egy dinamikus változásokkal járó és egy stabil időjárási szituációra vonatkozó esettanulmányon keresztül bemutatjuk a program működését, illetve alkalmazhatóságát. Végül röviden felvázoljuk a jövőbeni terveinket.

## A METEOROLÓGIAI TÁMOGATÓ RENDSZER MŰKÖDÉSI ELVE

Egy még most is folyamatban lévő kutatás során egy olyan szoftver kialakítását tűztük ki célul, mely meteorológiai szempontból teljes mértékben ki tudja elégíteni a felhasználók igényeit.

Terveink szerint e szoftver outputjaiban ötvözésre kerülne a dinamikus modellek és a statisztikus alapokon nyugvó modellek által készített előrejelzés, mely lehetőséget ad még pontosabb ultrarövidtávú prognózisok készítésére.

A következő ábra (1. ábra) segítségével röviden szeretnénk összefoglalni a kialakításra kerülő rendszer statisztikai paneljének fő részeit, és működési elvét.



1. ábra Meteorológiai támogatórendszer felépítése

Az előrejelző rendszer kialakításának megkezdése előtt, elengedhetlenné vált, valamilyen adattár kijelölése. Megvizsgálva lehetőségeinket, egyértelművé vált, hogy a legalkalmasabb adatokat a szabadon elérhető METAR táviratok tartalmazzák, amelyek célzottan az időjárás repülésmeteorológiai leírását szolgálják. Habár hazánkban a táviratok mind a civil, mind a katonai repülőtereken archiválásra kerülnek, azon formájukban nem használhatók fel információk kigyűjtésére.

Így első feladatunk egy, az igényeinknek megfelelő adatbázis kialakítása volt. Annak érdekében, hogy későbbiekben a szoftver bárhol alkalmazható legyen, az adatbázis egy weblapon keresztül elérhető [5].

A létrehozott adatbázis lehetőséget ad arra, hogy a METAR táviratokban rejtőző többlet információkat könnyedén kinyerjék a szakemberek. Első körben, tehát elkészítettük a három katonai repülőtér klimatológiai jellemzését, melyekben a különböző statisztikai vizsgálatok során keletkezett eredmények a megszokott táblázatos formától eltérően, diagramok segítségével lettek szemléltetve a szöveges kiértékelés mellett, így alkalmazkodva a nem meteorológus végzettségű felhasználók igényeihez.

A megszokott leíró rész mellett a dokumentumok olyan leírásokat is tartalmaznak, amelyek eddig repülőtéri klimatológiai jellemzésben nem szerepeltek, mint például feltételes relatív és feltételes rákövetkezési gyakoriságok [6].



A rendszer második fő pillére, egy fuzzy logikán alapuló analógia-kereső eljárás kialakítása volt, mely egy konkrét időponthoz tartozó meteorológiai paraméterek kombinációjához (aktuális METAR távirathoz) keresi ki a felhasználó igényeinek megfelelően (elemek fontossági sorrendje) az adatbázist felhasználásával, a leginkább hasonló eseteket.

Majd az eredmények egy ún. előrejelző rendszerbe továbbítódnak, ahol előre meghatározott statisztikai módszerek alapján a program az egyes meteorológiai paraméterek lehetséges változásait hivatott előre jelezni, figyelembe véve az adott időpontokat megelőző „n” óra során elkezdődött tendenciákat is. Első körben néhány egyszerű alapstatisztika kerül beépítésre a rendszerbe, mint például az első n leghasonlóbb esethez tartozó elemek egyszerű vagy súlyozott számtani közepe a következő órákban, vagy ensemble előrejelzés (fáklya diagram) készítése.

E módszer, és annak matematikai háttere, részletesebben a következő fejezetben kerül ismertetésre.

Végül utolsó lépésként kialakításra kerül egy felhasználói felület, melyen az összes eredmény (klimatológiai leírás, rákövetkezési valószínűségek) mellett a nyers adatbázis is elérhető lesz, valamint itt lehet majd a statisztikai programot is futtatni.

Habár az ábrán nem tüntettük fel, mert nem képezi a cikk részét, de ezzel az analógiás statisztikai programmal párhuzamosan fut a WRF numerikus modell is, mely a rendszer harmadik fő szegmensét alkotja. Ez a modell fogja biztosítani a dinamikus (numerikus) előrejelzést a támogató rendszerünkben, és az általa előállított outputokból és az analógiás modell eredményeiből generálódik majd a végleges rövidtávú előrejelzés.

A támogató rendszer egyes részei külön-külön folyamatos tesztelés illetve fejlesztés alatt állnak, így hamarosan minden szegmens alkalmassá válik arra, hogy megkezdődjön az összeillesztésük.

## A FUZZY HALMAZ ELMÉLETEN ALAPULÓ ANALÓGIÁS ELŐREJELZŐ RENDSZER KIALAKÍTÁS

Ebben a fejezetben az analógiás eljárás alapuló statisztikai előrejelző szoftver kerül röviden bemutatásra, mely előreláthatólag alkalmas lesz a UAV-k repülési feladatainak meteorológiai támogatására, és ezzel együtt mind parancsnoki, mind üzemeltetői szinten a döntéshozatalt is segíteni fogja. Ehhez az analógiás rendszerhez a nemzetközileg egyre eredményesebben alkalmazott fuzzy halmazokat, logikai elméleteket használtuk [7][8][9][10].

### **A fuzzy halmazelméleti módszer rövid bemutatása**

Fuzzy halmazokat már a 60-as évek óta egyre eredményesebben alkalmazzák több területen is, mint például telekommunikációban, orvostudományban, robotikánál [11][12].

A bonyolult, nehezen leírható tudományokban, mint például a természettudományok, különböző matematikai modelleket fejlesztenek ki a tapasztalati jelenségek megfigyelésére alapozva, majd ezeket a modelleket használják fel a valós dolgok jövőbeni viselkedésének meghatározására.





Olyan folyamatok válnak viszonylag egyszerűen leírhatóvá, amelyek nem, vagy csak igen körülményesen lennének kezelhetők, mivel gyakran előfordul, hogy vannak olyan elemek, amelyek valamilyen bizonytalan pontatlansággal rendelkeznek. Ezért is kapta a módszer a fuzzy elnevezést, mivel jelentése, homályos, elmosódott körvonalú.

Tehát a fuzzy logikai alkalmazásával lehetőség nyílik a gyakorlati tapasztalatok során szerzett tudás rendszerezésére, irányíthatóvá tételére.

A fuzzy halmaz olyan halmaz, melynek minden elemhez egy 0 és 1 közé eső valós számot rendelünk, ahol a hozzárendelést tagsági függvénynek nevezzük. Tehát egy  $A$  fuzzy halmaz esetén ez a következőképpen írható fel (1):

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1], \quad (1)$$

ahol  $X$  az univerzum és  $\mu_A$  az  $A$  fuzzy halmaz tagsági függvénye.

Összehasonlítva az eddig megszokott halmazképpel, azt mondhatjuk, hogy ha egy halmaz azon elemeihez, amelyek nem részei a halmaznak 0, míg a halmazban szereplő elemekhez 1 egész számot rendelünk (legyen ez a tagsági függvény), megoldottuk halmazunk fuzzy halmazzá való leképezését.

A fuzzy halmaz tagsági függvény értékei nem valószínűségi mértéket jelölnek. Annál is inkább, mert míg valószínűségek esetén valamely az elemekhez tartozó valószínűségek összege 1, addig ez – a tagsági függvény értékeinek összegére – fuzzy halmaz esetében nem követelmény. Valószínűségek és fuzzy halmazok között a fuzzy mérték teremthet kapcsolatot [11][13].

A fuzzy elmélettel tökéletesíthető a feltételes klimatológia módszere [14][15]. Sőt azt is mondhatnánk, hogy a fuzzy logikán alapuló hasonlóság keresési eljárás nem más, mint feltételes klimatológiai vizsgálatok többszörös alkalmazása [6].

A fuzzy logikán alapuló analóg előrejelző folyamat 3 fő lépésből áll:

1. Elsőként előállítja a fuzzy halmazokat a hasonlóság méréséhez.
2. Majd átvizsgálja a az esetek halmazát (adatbázist) az analógiák megtalálásáért (hasonló esetek).
3. Végül előrejelzéseket készít a megadott statisztikák felhasználásával, ami lehet például a hasonló esetek súlyozott átlaga.

A lehetséges kapcsolatokat a tulajdonságok között ún. fuzzy szavakkal (mint például hasonló, nem hasonló, részben hasonló... stb.) leírhatjuk, ezzel megalkotjuk a fuzzy halmazokat az összehasonlíthatóság érdekében. Így lehetőség lesz a tulajdonságok /paraméterek többféle csoportjának összehasonlítására.

### **A fuzzy logikán alapuló hasonlóság vizsgáló algoritmus**

A fuzzy hasonlóság vizsgáló algoritmus megkeresi és kigyűjti az adatbázisban található korábbi METAR-ok közül az éppen aktuális időjárást leíró távirathoz leghasonlóbb eseteket [7]. Az 1. táblázatban feltüntetett elemeket vizsgálja a programunk, és mindegyikre előállít egy hasonlósági mérőszámot ( $\mu_x$ ), ahol  $x$  az adott elemre utal, mint például hőmérséklet esetén ( $T$ ).



Kategória	Paraméter
Dátum	Hónap
	Nap
	Óra
Szél	Szélesség [KT]
	Szélirány [°]
	Széllokiés [KT]
Látás	Látástávolság [m]
Felhőzet	Felhőalap magassága [m]
	Legalacsonyabb felhőzet magassága [m]
	Cb/TCu létezése
Hőmérséklet	Hőmérséklet (2m-en) [°C]
	Harmatpont [°C]
Nyomás	Tengerszinti légnyomás [hPa]
Jelenidő	Csapadéktípus

1. táblázat A szoftver által vizsgált meteorológiai elemek

A táviratokban a paramétereknek két típusát lehet megkülönböztetni. Az egyik a folytonos elemek halmaza (hőmérséklet, szélesség), a másik a diszkrét (határozott) elemek halmaza (jelenidő típusok (csapadékfajták)). A folytonos változók egy részénél a hasonlóság mértékének ( $\mu_x$ ) megadása a 2. táblázat alapján történt. Minél nagyobb a különbség két változó között, annál alacsonyabb a hasonlósági fok ( $\mu$ ). A táblázatban a hasonlóság mértékét szövegesen adtuk meg, a szoftverben természetesen minden különbséghez egy hasonlósági mérőszám van rendelve.

	Részben hasonló	Hasonló	Nagyon Hasonló
Dátum (nap)	60 nap	30 nap	10 nap
Óra	3 óra	2 óra	1 óra
Hőmérséklet	4 °C	2 °C	1 °C
Harmatpont	4 °C	2 °C	1 °C
Szélirány	40°	20°	10°

2. táblázat Néhány folytonos elem esetén megadott fuzzy halmazok. (Jelen táblázatban a fuzzy csoportok csak egy része került megadásra, a terjedelembeli korlátok miatt.)

Programunk jelenlegi verziójában a hasonlóság ( $\mu$ ) csak diszkrét, előre meghatározott értékeket vehet fel, de minden esetben 0 és 1 közé esik ( $0 \leq \mu_x \leq 1$ ).

Például a nyomás esetén, ha a két elem különbsége ( $p_1 - p_2$ ) 0 és 6 hPa közé esik, akkor az ehhez tartozó  $\mu_p = 0,9$ .

Néhány folytonos változó esetében, mint például a látástávolság egy más módot választottunk fuzzy halmazzá alakításhoz. Itt vettük a két paraméter hányadosát, és az így kapott eredmény szolgáltatva a hasonlóság fokát ( $\mu_x$ ). Mivel az elmélet egyik követelménye, hogy a hasonlóság foka nem lehet nagyobb 1-nél, ezért minden esetben az osztandó lesz a kisebb, és az osztó a

nagyobb érték.

Például vegyük a látástávolságot, ahol az egyik érték 6000 m, a másik 4000 m, akkor:

$$\mu_{\text{vis}}(t)=4000 \text{ m}/6000 \text{ m}=2/3.$$

A csapadék típusok összevetésére, amelyek a METAR táviratban szövegesen jelennek meg, egy harmadik módszert alkalmaztunk. Első lépésben létrehoztunk 5 csoportot, ahol a csapadékhoz tartozó típusokat osztályoztuk, mint például záporos jellegű csapadék. Majd ezeket a csoportokat hasonlítottuk össze. Egy mátrixot állítottunk elő, melyben minden egyes lehetséges párra megadtuk a  $\mu_x$  értékét (3. táblázat).

	TS	SHRA	DZ	....
TS	1	0,75	0,1	...
SHRA	...	1	0,25	...
DZ	...	...	1	...
....	...	...	...	...

3. táblázat A csapadéktípus párokhoz tartozó hasonlósági mérőszámok. (TS-zivatar, SHRA-záporosó, DZ-szitalás)

Miután az egyes paraméterek összehasonlításra kerültek és már minden elemhez tartozik egy  $\mu_x$  érték, akkor többféle lehetőség létezik, hogy a két METAR távirat hasonlóságát egyetlen értékkel tudjuk jellemezni. Esetünkben két módot építettünk be a programba. Egyik lehetőség, hogy az egyes  $\mu_x$  értékeknek a súlyozott átlagát vesszük.

A súlyokat, amivel az egyes  $\mu_x$  értékeket megszorozzuk, választhatjuk teljesen szubjektíven, vagy valamilyen objektívebb módon is, mint például az AHP-módszer segítségével [16][17].

Egy másik mód, a két METAR hasonlósági mérőszámának előállítására, amikor az egyes paraméterpárok hasonlósági mérőszámai közül vesszük a legalacsonyabbat, azaz a hasonlóság mértékét a legrosszabbul bevált paraméter fogja meghatározni.

Ennél a módszernél is van lehetőség az egyes paraméterek  $\mu_x$  értékét súlyozni. Itt az általunk meghatározott mennyiség hozzáadódik az egyes  $\mu_x$  értékekhez, tehát minél nagyobb számot adunk egy  $\mu_x$  -hez, annál kevésbé játszik szerepet a vizsgálatnál.

Miután az adatbázisban szereplő összes távirattal megtörtént az általunk megadott METAR összehasonlítása, és hasonlósági mértékének megadása, a rendszer kigyűjti az általunk meghatározott mennyiségű „leghasonlóbb” esetet, ahol a legnagyobb  $\mu$  értékkel rendelkező lesz az első helyen.

## A TÁMOGATÓ SZOFTVER MŰKÖDÉSÉNEK BEMUTATÁSA ESETTANULMÁNYOKON KERESZTÜL

A szoftver folyamatos tesztelés alatt áll, az esetlegesen felmerülő hibák kiszűrése végett. Számos futtást végeztünk, különböző időjárás szituációk vizsgálatára. Ebben a fejezetben két

konkrét példán keresztül szeretnénk bemutatni az statisztikai előrejelző szoftver tesztverziójának operatív alkalmazhatóságát, a futtatás menetét.

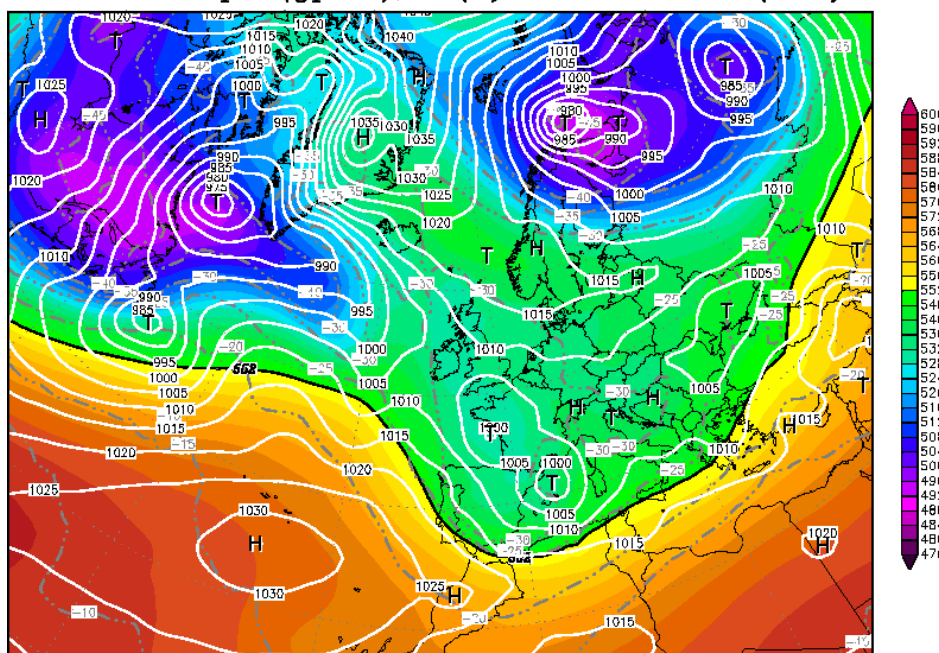
## Támogató rendszer alkalmazhatósága dinamikus változásokkal járó eseményeknél

Elsőként egy dinamikus változásokkal kísért esetet választottunk ki.

### 2013. Január 23. szinoptikus elemzése

2013. január 22-én és 23-án Európa nagy része fölött egy kiterjedt hideg csatorna helyezkedett el. Hazánk január 22-én ennek a hideg teknőnek az előoldalára került, ennél fogva délnyugatias áramlás vált uralkodóvá a magasban. A fejlődő mediterrán ciklon január 23-án estig alakította az időjárásunkat, majd fokozatosan északkelet felé helyeződött, és elhagyta a térséget. Január 22-én még országszerte borult vagy erősen felhős volt az égbolt, többfelé havazott, majd másnap, ahogy a ciklon lassan haladt kelet, északkelet felé, a Dunántúlon fokozatosan vékonyodott a felhőzet, és a csapadék is megszűnt. Ezzel szemben a Duna-Tisza közén, illetve a Tiszántúlon továbbra is maradt az erősen felhős, csapadékos (havazás) idő.

Init : Wed,23JAN2013 00Z Valid: Wed,23JAN2013 00Z  
500 hPa Geopot.(gpm), T (C) und Bodendr. (hPa)



Daten: GFS-Modell des amerikanischen Wetterdienstes  
(C) Wetterzentrale  
www.wetterzentrale.de

2. ábra 2013. 01. 23. 00 UTC 500 hPa geopotenciál és hőmérsékletei térkép [18]

Szolnok szinoptikus állomás adatai alapján január 22-én már reggel 7.15 UTC-kor észleltek gyenge esőt:

METAR LHSN 220715Z 28005MPS 6000 -RA OVC10 03/01 Q0997 TEMPO NSW RMK GRN=,

majd 16.15 UTC-től jelentettek havazást.

METAR LHSN 221615Z 26006MPS 5000 -SN BR BKN008 OVC017 00/M02 Q1001 NOSIG RMK GRN=

A havazás megszűnte után hirtelen lecsökkent a látástávolság, és ködössé vált az idő.

METAR LHSN 231715Z 16001MPS 0600 FG OVC023 00/M01 Q1010 RESN NOSIG RMK RED=.

A futtatás elvégzéséhez a következő észlelés adatait használtuk fel:

METAR LHSN 230615Z 27005MPS 0800 +SN BKN005 OVC017 M02/M03 Q1006 NOSIG RMK AMB=

### Az adott szituációra vonatkozó modellfuttatás

A futtatáshoz szükséges beállítások, kezdeti értékek megadásának egyszerűbbé tételéhez elkészítettünk egy kezelő felületet, melyet a 3. ábra szemléltet.



3. ábra Analógiakereső program kezelő felülete

Ezen a felületen keresztül van lehetőség a paraméterek kezdeti értékeinek valamint az egyes változók fontosságát meghatározó súlyok megadására és az egyéb beállítások elvégzésére.

A fuzzy logikán és analógiás módszereken alapuló hasonlóság vizsgáló program az eredményeket sorrendbe állítva külön fájlba rendezi, amely tartalmazza a jelzőszámokat, melyek segítségével könnyen kikereshető a távirat és a hasonlóság mértéke. Egy másik dokumentumban pedig a jelzőszámokhoz tartozó teljes METAR táviratok kerülnek kigyűjtésre, hogy egyszerűen



tudjuk az eredményeket elemezni, illetve a későbbiekben az előrejelzésekhez felhasználni.

### A vizsgálat eredményei

Az ismertetett kezdeti értékekkel elvégzett futtatás eredményeit a 4. táblázatban közöljük. Az első módszernél a hasonlóság mértéke az egyedi paraméterek egyszerű számtani átlagaként lett előállítva (analógia 1), míg másokban a legrosszabbul bevált elem hasonlósági értéke (analógia 2) adja az összesített hasonlósági paramétert.

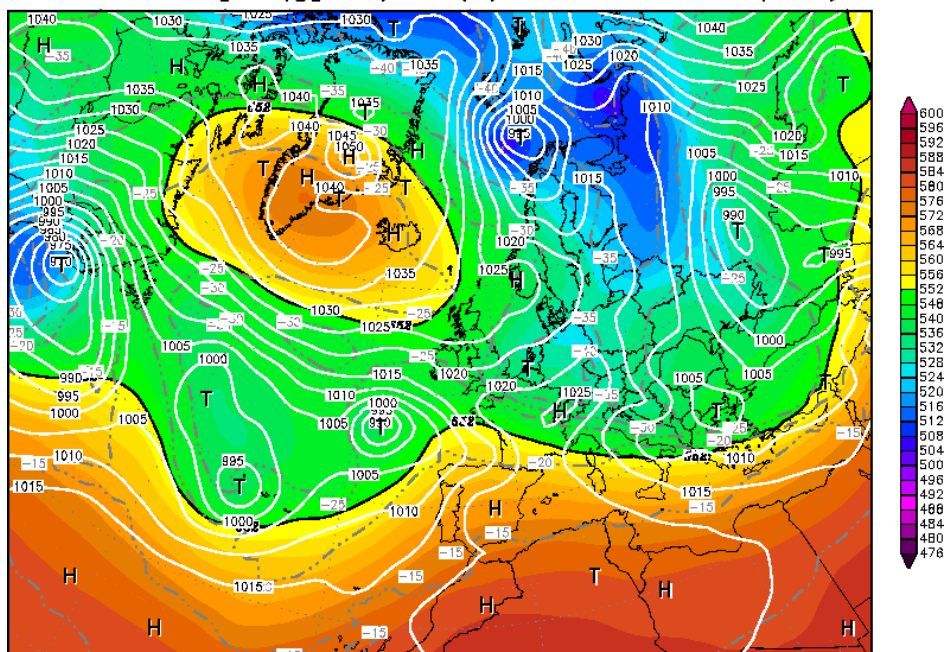
	analógia 1	$\mu_{\text{átl}}(t)$	analógia 2	$\mu_{\text{min}}(t)$
1. legjobb	201001030645	0,8736	201001030645	0,5
2. legjobb	201001030745	0,8626	201001030715	0,5
3. legjobb	200902130745	0,8566	201001030745	0,5
4. legjobb	201001030715	0,8372	200501310845	0,4167
5. legjobb	201012260515	0,8273	200901150745	0,4
6. legjobb	201012260545	0,8273	200901150815	0,4
7. legjobb	200902130715	0,8202	200901150845	0,4
8. legjobb	201201260645	0,8190	200901150715	0,3918
9. legjobb	201001030445	0,8182	201101200515	0,2565
10. legjobb	200902130515	0,8172	201101200545	0,2565

4. táblázat Az analógia-kereső program lefuttatásával kapott 10. leghasonlóbb eset.  
(A mindkét módszerrel hasonlóknak bizonyult esetek zöld háttérrel lettek kiemelve.)

Az eseteket megvizsgálva azonnal szembetűnik, hogy annak ellenére, hogy 10 darab hasonló szituációt akartunk keresni, tulajdonképpen az analógia 1 módszerrel 3, míg az analógia 2 módszerrel 4 különböző esetet kaptunk, ugyanis a kigyűjtött METAR táviratok között több olyan van, mely ugyanazon napra vonatkozik, ezek mindössze 1-2 óra különbséggel lettek kiadva. Terveink szerint az ilyen szituációk a későbbiekben szűrésre kerülnek. A zöld háttérrel jelzett esetek azok, amelyek mindkét módszer szerint hasonlóknak bizonyultak az eredeti távirathoz. Látható, hogy mindkét módszernél az első két helyen ugyanaz az eset szerepel, sőt a leghasonlóbb még időpontban is megegyezik. Tehát első közelítésben azt mondhatjuk, hogy az alapesetben lévő paraméter kombinációhoz a leginkább hasonlító időjárási helyzet 2010. 01. 03-án 6:45 UTC-kor állt fenn.

A következő lépésben arra kerestük a választ, hogy találunk-e párhuzamokat szinoptikus skálán is, vagy csak távirat szinten lépett fel egyezés.

Init : Sun,03JAN2010 00Z Valid: Sun,03JAN2010 00Z  
 500 hPa Geopot.(gpm), T (C) und Bodendr. (hPa)



Daten: GFS-Modell des amerikanischen Wetterdienstes  
 (C) Wetterzentrale  
 www.wetterzentrale.de

4. ábra 2010. 01. 03. 00 UTC 500hPa geopotenciál és hőmérsékletei térképe

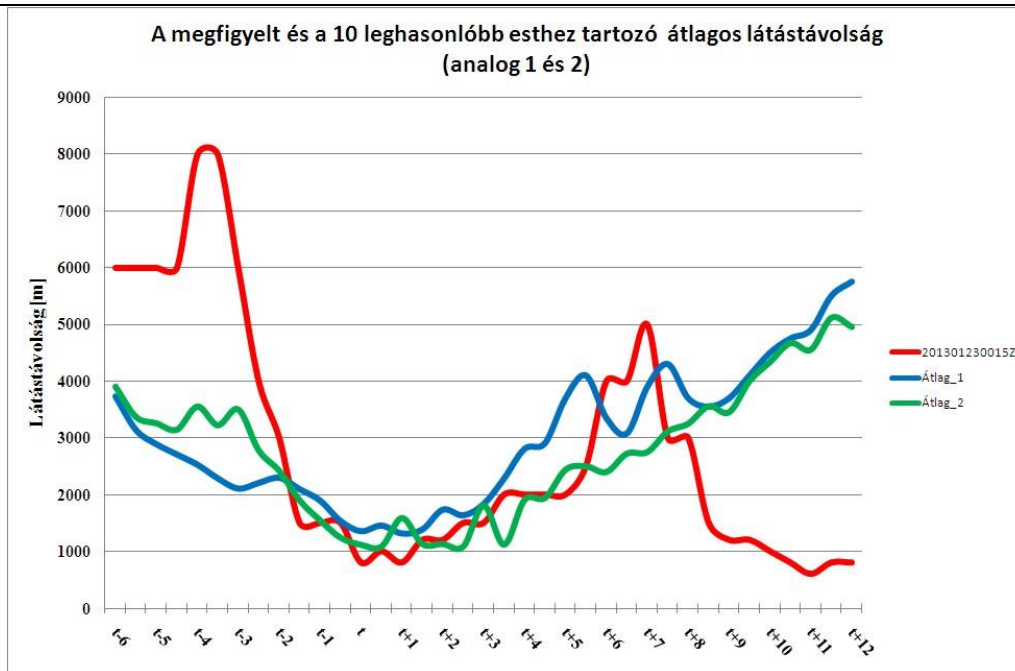
Az 500 hPa-os geopotenciál térképet tekintve, jól látszik, hogy hasonlóan, mint 2013.01.22-én és 23-án Európa nagy része fölött egy kiterjedt hideg csatorna helyezkedett el, így Magyarország is e hideg teknőben helyezkedett el (4. ábra).

Európa legnagyobb részén egy több középpontú ciklon helyezkedett el, melynek egyik centruma hazánktól délre található. 2010. január 2-án e rendszer hatására országszerte borult csapadékos idő volt jellemző. A csapadék hó formájában hullott. Január 3-án a ciklon fokozatosan távolodott kelet felé, de hátoldalán továbbra is hideg, eleinte nedves, majd szárazabb levegő áramlott a Kárpát-medencébe, így a Dunától keletre eső területeken még ezen a napon is havazott.

Összességében megállapítható, hogy nem csak lokális szinten van hasonlóság, hanem párhuzamokat lehet felfedezni a makro, illetve szinoptikus skálájú állapotok között is.

Az esettanulmány alapján a szoftver első közelítésben megfelelő eredményt adott.

A repülésmeteorológiában kiemelt szerephez jut a látástávolság és a felhőalap magasság, így a következőkben e két paraméter közül választottunk, és a látástávolság segítségével elemezzük az eredményeket. Azért a látástávolság előrejelzését részletezzük az esettanulmányokban, mert ez egy igen fontos repülésmeteorológiai paraméter, ugyanakkor rendkívül nehezen előre jelezhető és az NWP modellek egyelőre nem tudják közvetlenül pontosan megadni az értékét. Habár még a program nem alkalmas időbeni változások vizsgálatára, MS Excel környezetben megvizsgáltuk a látástávolságra vonatkozóan az egyes esetekhez tartozó időbeni viselkedéseket is, és összehasonlítottuk az alapesetbe tartozó változásokkal. Vettük az első 10 leghasonlóbb esetet (külön-külön a két módszerre) és képeztük az átlagos értékeket a vonatkozó időpontot megelőző 6 és az azt követő 12 órára (5. ábra).



5. ábra A megfigyelt és a 10 leghasonlóbb esethez tartozó átlagos látástávolság

A látástávolság az első nyolc órára mindkét módszer esetén elég jól korrelál a valóban bekövetkezett látástávolságokkal, azonban 8. óra után a görbék széttartása figyelhető meg, ami valószínűleg az eltérő dinamikai folyamatoknak köszönhető.

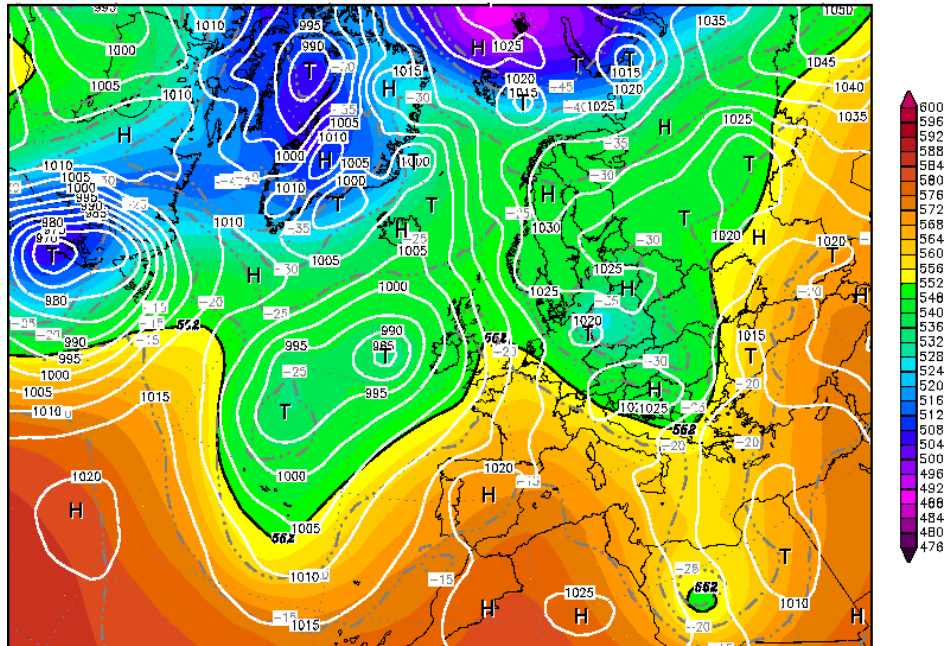
### Támogató rendszer alkalmazhatósága stabil időjárási szituációkban

Második esetnek egy többnyire stabil, dinamikus változásoktól mentes időjárási szituáció mellett döntöttünk. 2010. december végén többnyire egyhangú, hideg, téli idő volt jellemző a Kárpát-medencében, így ebből az időszakból választottuk ki az alap esetünket.

#### 2010. December 28. szinoptikus elemzése

2010. december 28-án a Kárpát-medence fölött egy hideg csatorna húzódott. Hazánk északkeleti határain egy hidegcsepp helyezkedett el, mely északkeleti irányba mozdult, így fokozatosan délnyugati peremére kerültünk (6. ábra).

A talajon kontinensünk északkeleti területein, valamint a Brit-szigetek fölött ciklonok örvénylettek, míg a Skandináv régióban és Európa középső területei felett anticiklon helyezkedett el, így hazánkban is jellemzően anticiklonális hatások uralkodtak. Változóan felhős, párás, ködös időre lehetett számítani egész nap, számottevő csapadék nem volt, legfeljebb helyenként gyenge havazás, hószállingózás alakulhatott ki. A következő néhány napban változások nem következtek be.



Daten: GFS-Modell des amerikanischen Wetterdienstes  
(C) Wetterzentrale  
www.wetterzentrale.de

6. ábra 2010. 12. 28. 00 UTC 500 hPa geopotenciál és hőmérséklet térképe [18]

Ismét Szolnok szinoptikus állomás észlelési adatait használtuk fel a vizsgálatainkhoz. Annak érdekében, hogy elkerüljük annak eshetőségét, hogy a téli félévben igen gyakori hajnali ködös, párás eseteket kapjunk a futtatás eredményeként, egy 2010. december 28-án 12.15 UTC-kor kiadott táviratot választottunk.

METAR LHSN 281215Z 10001MPS 1500 BR BKN083 M10/M10 Q1022 REFZFG  
TEMPO 3000 BR RMK AMB=

#### Az adott szituációra vonatkozó modellfuttatás

A repülésmeteorológiai prognózis elkészítésénél egy hideg légpárnás szituációban általában a legnagyobb feladatot a felhőalap és a látástávolság változásának előrejelzése okozza, kiváltképp, ha időnként a köd elemelkedik a talajtól, stratus felhőzetet alkotva, majd hirtelen újra lesüllyed. Így most a futtatás során a hangsúlyt e két elemre helyeztük.

Ezért szükségessé vált új súlyértékek megadása, melyeket egy ún. AHP<sup>7</sup> döntési modell segítségével állítottunk elő, annak érdekében, hogy minél inkább matematikai alapokra helyezzük a választást [16][17]. Az 5. táblázat tartalmazza néhány elemre kapott súly értékét.

<sup>7</sup> Analytic Hierarchy Process



Paraméter	Súly
Dátum	0,048
Szélirány	0,034
Látás	0,311
Jelenidő	0,095
Felhőzet	0,231
Harmatpont	0,036
Nyomás	0,046

5. táblázat A futtatásnál beállított súlyok

Az első eljárásnál a hasonlóság mértéke az egyedi paraméterek súlyozott számtani átlagaként lett előállítva (analógia 1), míg másiban a legrosszabbul bevált elem hasonlósági értéke (analógia 2) adja az összesített hasonlósági paramétert.

### A vizsgálat eredményei

	analógia 1	$\mu_{\text{át}}(t)$	analógia 2	$\mu_{\text{min}}(t)$
1. legjobb	201112261115	0,0810	200801041145	0,0322
2. legjobb	201112261045	0,0792	200801041215	0,0322
3. legjobb	200801050945	0,0779	201012311415	0,0252
4. legjobb	201012150715	0,0779	201012311445	0,0252
5. legjobb	200801041115	0,0771	200801051015	0,0180
6. legjobb	201112261015	0,0771	200901011015	0,0180
7. legjobb	200801041215	0,0767	200901041045	0,0180
8. legjobb	200801051015	0,0760	200901101145	0,0180
9. legjobb	200801041145	0,0758	200901101215	0,0180
10. legjobb	201202181015	0,0752	201012301015	0,0180

6. táblázat Az analógia-kereső program lefuttatásával kapott 10 leghasonlóbb eset

A táblázatban szereplő dátumokból jól látszik, hogy ismét az első tíz leghasonlóbb esetet használtuk fel. A cellák színezésével csoportosítottuk az eredményeinket. Az azonos színű cellák, azonos naphoz tartozó esteket jelölnek. Mivel egy olyan esetet választottunk alapul, amelynek a METAR táviratai már szerepeltek az adatbázisban, így ahogyan arra számítottunk is, az első helyekre az adott naphoz tartozó táviratokból került be néhány, ezeket azonban nem vettük figyelembe, mert valószínűleg erősen befolyásolták volna a végső eredményt. Nemcsak az általunk felhasznált jelentést vettük ki az adatok közül, hanem a teljes napét.

A hasonlóság mérőszáma nagyságrendekkel kisebb a 4. táblázatban szereplő értékeknél, ami magyarázható a súlyoknál fellépő nagyságrendi különbségekkel. A analógia 1 eljárás ismét elég kevés eltérő esetet adott, míg az analógia 2 módszer esetén 7 különböző dátumhoz tartozó táviratok lettek gyűjtve.

Most nem láthatunk túl sok egyezést a két módszer eredményei között, azonban megvizsgáltuk

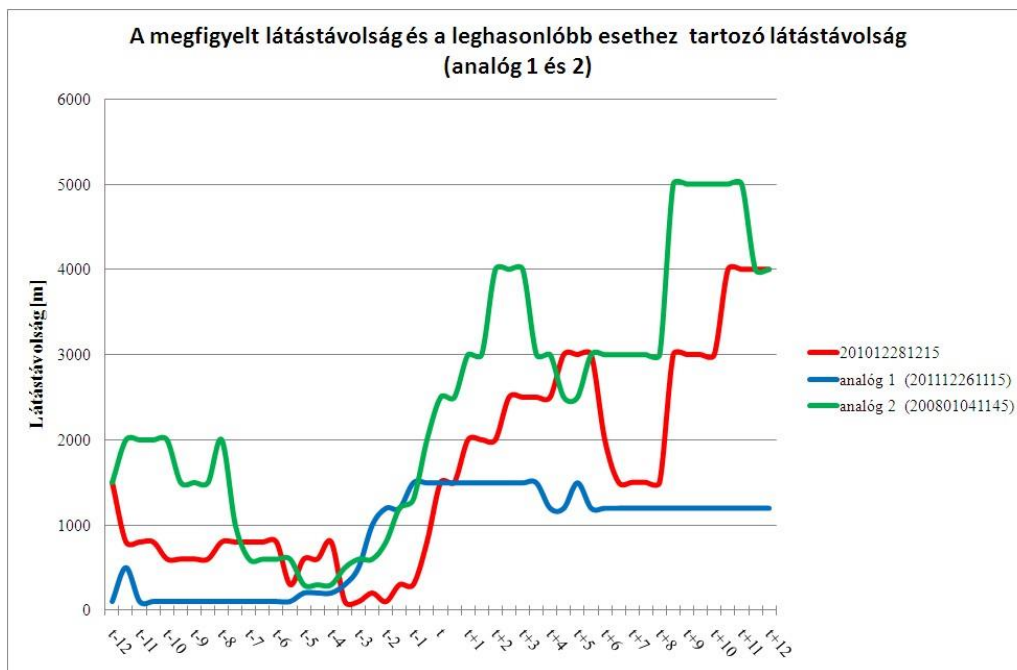


az esetekhez tartozó időjárási szituációkat alakító nagytérségű folyamatokat, és elmondható, hogy nagyrésznél anticiklon alakította az időjárást, és többenél megfigyelhető volt az ún. hideg légpárna jelensége is.

Itt is megállapítható, hogy nem csak lokális szinten, hanem egyértelműen makro illetve szinoptikus szinten is hasonlóságok vannak.

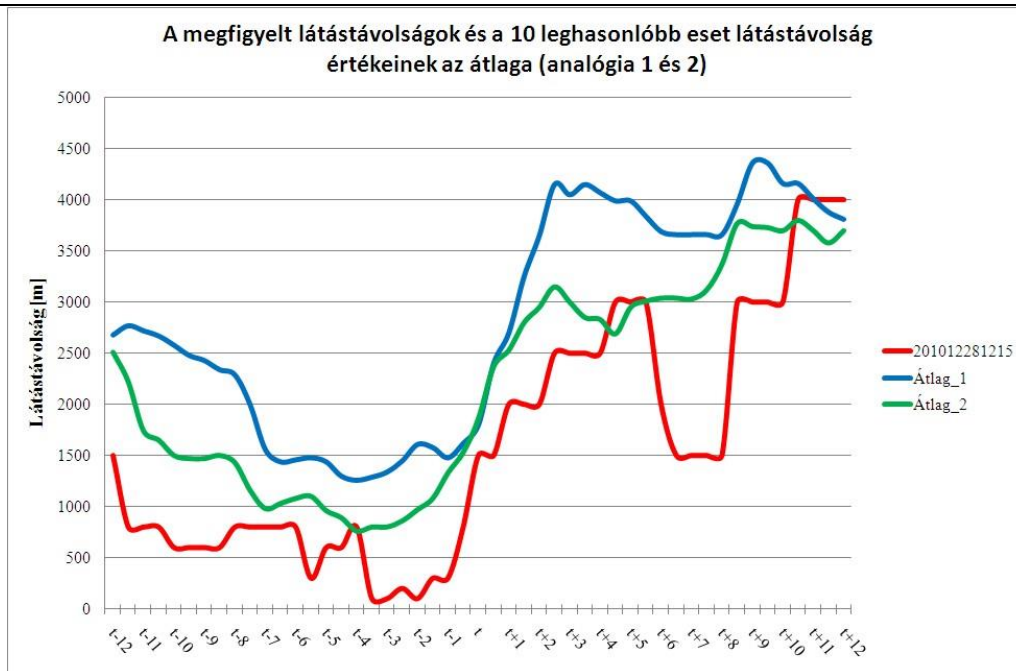
Érdekes kérdés volt ebben az esetben, hogy vajon a stabil időjárási szituációknál alkalmasabb lesz-e a szoftver a paraméterek, jelen esetben a látástávolság időbeni változásának közelítő előrejelzésére.

Most is elsőként a leghasonlóbb eseteket vizsgáltuk meg (7. ábra). Egyértelműen látható, hogy a súlyozott számtani középpel kapott eredmény (analóg 1) nem, míg az analóg 2 eljárással kapott, tendenciájában elég jó korrelációt mutat a valóságban bekövetkezett változásokkal, habár időben körülbelül 1,5 órával el van csúszva. Ez az időbeni eltérés, annak köszönhető, hogy a programba még nem tápláltuk bele azt a funkciót, mely miután az adott időponthoz megkeresi a leghasonlóbbakat, megnézi azok időbeni fejlődését, és azt összeveti a kezdeti értékek időbeni változásával.



7. ábra A megfigyelt és a leghasonlóbb esethez tartozó látástávolság (analóg 1 és 2)

Az első 10 esethez tartozó látástávolságok egyszerű számtani közepét véve már elég meggyőző eredményt kaptunk, ahogy az a 8. ábrán is látszik. Itt elmondható, hogy még a 12. órában is használható eredményt kaptunk. Az 5. és 6. órában távolodott el egymástól a megfigyelt és az átlagos látástávolság értéke, amikor hirtelen romlás következett be az alap esethöz. Ez a hirtelen változás egy rövid ideig tartó (2 óra) gyenge havazásnak volt köszönhető.



8. ábra A megfigyelt látástávolságok és a 10 leghasonlóbb eset látástávolság értékeinek átlaga (analóg 1 és 2)

Az esettanulmányok eredményeire alapozva elmondhatjuk, hogy a támogató szoftverünk a dinamikus változásokkal járó meteorológiai események esetén és a stabil szituációk esetén is alkalmas az időjárási elemek egy megadott kombinációjához leginkább hasonló esetek kigyűjtésére, de a kapott eredménynek még nem megfelelőek rövidtávú statisztikai alapokon nyugvó prognózis készítésére, habár a stabil esetekben már így is elfogadható eredményeket szolgáltatott a program.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben ismertettük egy még most is folyamatban lévő kutatás eddigi eredményeit. Külön hangsúlyt fektettünk egy hazánkban még meglehetősen szűk körben alkalmazott, a fuzzy logikán és analóg helyzetek kiválasztásán alapuló előrejelző rendszer bemutatására. Látható hogy az ezen a módszeren nyugvó általunk készített támogató szoftver jelenlegi tesztverziója már működőképes, és a cikk második részében közölt esettanulmány bizonyítja, hogy valóban jó eredménnyel szolgál a hasonló esetek kigyűjtésénél, azonban jelen állapotában még nem feltétlenül használható előrejelzés készítésére. A szoftver fejlesztése jelenleg is folyamatban van, így hamarosan már rövid távú statisztikai előrejelzés előállítására is alkalmas lesz.

Középtávú terveink közé tartozik a WRF numerikus előrejelző modell és e kizárólag statisztikai alapokon nyugvó modell összekapcsolása.

Hosszú távú elképzelésünk egy felhasználói felület kialakítása, amely előreláthatólag alkalmas lesz egy UAV repülési feladat megtervezéséhez illetve végrehajtásához szükséges teljes körű meteorológiai háttér biztosítására.

A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMP-2011-00010 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” pályázat keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Pilóta nélküli repülőgép, Wikipédia A szabad enciklopédia, e-dok., url: [http://hu.wikipedia.org/wiki/Pilóta\\_nélküli\\_repülőgép](http://hu.wikipedia.org/wiki/Pilóta_nélküli_repülőgép) (2013.02.20.)
- [2] HALÁSZNÉ DR. TÓTH Alexandra-SOMOSI Vilmos-PONGRÁCZ Gábor: Esettanulmány a pilóta nélküli légi járművek jövőbeni alkalmazása tükrében, Repüléstudományi Közlemények, 24 (2), 607-615, 2012.
- [3] PAULIK Beáta- DR. WANTUCH Ferenc-OZOLI Zoltán: Pilóta nélküli légi járművek meteorológiai üzemeltetése, Repüléstudományi Közlemények, 24, (2), 315-325, 2012.
- [4] SÁNDOR Valéria-WANTUCH Ferenc: Repülésmeteorológia, Országos Meteorológiai Szolgálat, 2005.
- [5] BOTTYÁN Zsolt-WANTUCH Ferenc-TUBA Zoltán-HADOBÁCS Katalin-JÁMBOR Krisztián: Repülésmeteorológiai klíma adatbázis kialakítása az UAV-k komplex meteorológiai támogató rendszeréhez, Repüléstudományi Közlemények, 24, (3), 11-18, 2012.
- [6] TUBA Zoltán-WANTUCH Ferenc-BOTTYÁN Zsolt-HADOBÁCS Katalin-JÁMBOR Krisztián: Repülésmeteorológiai klíma adatok felhasználásának lehetséges aspektusai pilóta nélküli repülőeszközök (UAV-k) meteorológiai támogatásában, Szolnoki Tudományos Közlemények XVI., 192-197, 2012.
- [7] Bjarne K. HANSEN: A Fuzzy Logic-Based Analog Forecasting System for Ceiling and Visibility. Weather Forecasting, Vol.22, 1319-1330, 2007.
- [8] Bjarne K. HANSEN: Analog forecasting of ceiling and visibility using fuzzy sets, 2ndConference on Artificial Intelligence, American Meteorological Society, 1-7., 2000.
- [9] Denis RIORDAN-Bjarne K. HANSEN: A fuzzy case-based system for weather prediction, Engineering Intelligent Systems, Vol.10, No.3, 139-146, 2002.
- [10] Bjarne K. HANSEN-Denis RIORDAN: Weather Prediction Using Case-Based Reasoning and Fuzzy Set Theory, url: ([http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/arma/bjarne/papers/paper\\_2001.pdf](http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/arma/bjarne/papers/paper_2001.pdf)) (2012.10.24.)
- [11] L.A. ZADEH: Fuzzy sets, Information and Control, Vol.8, 338-353, 1965.
- [12] DR. SCHUSTER György Phd-TERPEZ Gábor: Fuzzy logik alkalmazási lehetősége automata repülő szerkezetekben, Repüléstudományi Közlemények, 24, (2), 537-541, 2012.
- [13] A mesterséges intelligencia alapjai, oktatási segédanyag, url: <http://users.iit.uni-miskolc.hu/~radai/MI/fuzzy.htm> (2012.11.04.)
- [14] Bjarne K. HANSEN-Ismail GULTEPE-Alistair LING: Conditional persistence of ceiling and visibility. 44th Annual Congress of the Canadian Meteorological and Oceanographic Society, Ottawa, Canada, 31 May - 4 June 2010.
- [15] D. MARTINEZ – J. CUXARTL – J. CUNILLERA: Conditioned climatology for stably stratified nights in the Lleida area. Journal of Weather & Climate of the Western Mediterranean, Tethys, 5, 13-24, 2008.
- [16] RAPCSÁK Tamás: Több szempontú döntési problémák AHP modellek, Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézetben kihelyezett Gazdasági Döntések Tanszék, 2007.
- [17] BÉKÉSI Bertold: Harcászati repülőgépek összehasonlítására használható Analytic Hierarchy Process, Repüléstudományi Közlemények, 24, (2), 2005. Közlemények, 24, (2), 2005.
- [18] Wetterzentrale, url: <http://www.wetterzentrale.de/> (2013.03.03.)

Szabó Zoltán<sup>1</sup> – Istenes Zoltán<sup>2</sup> – Gyöngyösi András Zénó<sup>3</sup> –  
Bottyán Zsolt<sup>4</sup> – Weidinger Tamás<sup>5</sup> – Balczó Márton<sup>6</sup>

## A PLANETÁRIS HATÁRRÉTEG SZONDÁZÁSA PILÓTANÉLKÜLI REPÜLŐ ESZKÖZZEL (UAV<sup>7</sup>)<sup>8</sup>

*A planetáris határréteg (PHR) időjárási viszonyainak ismerete kiemelten fontos területe a repülésmeteorológiának, hiszen számos olyan szignifikáns időjárási jelenség zajlik e rétegben, ami potenciális veszélyt jelent a légi közlekedés számára. A PHR vizsgálatára alkalmas eszközök használata azonban térben és időben is korlátozott. A pilóta nélküli repülő eszközök (UAV) elterjedésével egy új lehetőség jelent meg a meteorológiai mérésekben. Tanulmányunkban a BHE Bonn Hungary Electronics ltd. által tervezett és üzemeltetett BXAP15 típusú pilóta nélküli repülőgéppel végzett meteorológiai mérések módszerét és előzetes eredményeit mutatjuk be.*

### **SOUNDING THE PLANETARY BOUNDARY LAYER WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV)**

*The knowledge of the meteorological conditions of the planetary boundary layer (PBL) has an important role in avianational meteorology according to the significant processes passes in this layer. These processes could be a potential hazard to aviation. However the tools for sounding the PBL are limited in time and space as well. With the evolution of unmanned aerial vehicles, a new tool appeared in meteorological measurements which are used widely. In our study we represent the methods and preliminary results of the soundings measured by the BXAP15 type UAV designed and operated by BHE Bonn Hungary Electronics ltd.*

## BEVEZETÉS

A PHR meteorológiai viszonyainak pontos ismerete kiemelten fontos a repülésmeteorológiában, hiszen itt történik a fel- és a leszállás. E réteg szélviszonyai, hőmérsékleti rétegződése (szélnyírás, turbulencia, oldalszél), a hidrometeorok (látástávolság romlás, csapadék, jegesedés) mind-mind hatással vannak a repülés biztonságára [1]. A határréteg folyamatainak parametrizációja és 3D numerikus modellekkel történő előrejelzése folyamatosan fejlődik, ugyanakkor egyes lokális jelenségek – turbulencia, szélrohamok, PHR vastagság, inverziós réteg, alacsony szintű jet [2] – leírása még mindig pontatlan. Bár több távérzékelési módszer is létezik az alsó troposzféra monitorozására, ezek általában helyhez kötöttek, illetve operatív üzemeltetésük nem minden helyzetben gazdaságos [3]. A pilótanélküli repülőgépek elterjedésével

<sup>1</sup> meteorológus MSc hallgató, ELTE Meteorológiai Tanszék, szabo.z.attila@gmail.com

<sup>2</sup> tanszékvezető egyetemi docens, ELTE Informatikai Kar Programozáselmélet és Szoftvertchnológiai Tanszék, istenes@inf.elte.hu

<sup>3</sup> meteorológus, ELTE Meteorológiai Tanszék, zeno@nimbus.elte.hu

<sup>4</sup> százados, egyetemi docens, NKE Katonai Repülő Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

<sup>5</sup> egyetemi docens, ELTE Meteorológiai Tanszék, weidi@caesar.elte.hu

<sup>6</sup> tudományos segédmunkatárs BME Áramlástan Tanszék Kármán Tódor Szélcsatorna Laboratórium, balczo@ara.bme.hu

<sup>7</sup> Unmanned Aerial Vehicle – Pilótanélküli Repülő Eszköz

<sup>8</sup> Lektorálta: Biróné Dr. Kircsi Andrea, egyetemi adjunktus, Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék, kircsi.andrea@science.unideb.hu

e nehézségek leküzdésére nyílt egy új lehetőség, így az UAV-k meteorológiai célra történő felhasználása széles körben elterjedt. Munkánkban egy olyan UAV prototípusnak a fejlesztését mutatjuk be, amelynek fontos szerep jut az általunk fejlesztendő komplex meteorológiai támogatás során nyújtott prognózisok (pl. az UAV felhasználók számára) verifikálásában is. Az ilyen meteorológiai célú UAV-k segítségével mind a dinamikus, mind a statisztikus modellek által előállított előrejelzések könnyen ellenőrizhetőek 3D-ban, különös tekintettel a PHR-ben zajló folyamatokra. A tanulmányban bemutatott BXAP15 típusú pilótánélküli repülőgéppel történő mérésekhez használt szenzorrendszer kiválasztásánál, a mérési program tervezésénél, és az adatgyűjtő fejlesztésénél (memóriaigény, programozhatóság, bővíthetőség) a Bergeni Egyetem Geográfiai Intézetében kifejlesztett pilótánélküli modellrepülő (SUMO) és a Braunschweigi Egyetemen épített Mini-UAV (M2AV) szolgált mintául. [4][5][6].

A cikkben bemutatjuk az általunk használt UAV tulajdonságait, a meteorológiai mérőrendszer építésének kezdeti lépéseit. Ismertetjük az első tesztrepülések eredményeit, a mérések során felmerült problémákat, nyitott kérdéseket.

## A MÉRÉSEKHEZ HASZNÁLT UAV

A méréseket a BHE Bonn Hungary Electronics Ltd. [7] által tervezett és üzemeltetett BXAP15 típusú pilóta nélküli repülőgéppel végezzük (1. ábra). A gép általános specifikációja a következő:

- szárnyfesztávolság: 3,7 m;
- hossz: 1,7 m;
- maximális felszálló súly: 17 kg;
- hasznos teher: 3 kg;
- meghajtás: elektromos Brushless motor 1200 W csúcsteljesítménnyel;
- utazósebessége: 60–100 km/h (IAS<sup>9</sup>);
- maximális repülési magassága: 3000 m feletti (AGL<sup>10</sup>);
- üzemidő teljes akkumulátor töltöttséggel: ~90 perc;
- hatótávolság: (domborzati viszonyoktól függően) 10–20 km.

Habár az elektromos meghajtás erősen korlátozza a repülési időtartamot, a meteorológiai mérések szempontjából előnyös, hiszen a hőtermelése kisebb, mint a robbanómotoroké, így kisebb valószínűséggel zavarja a méréseket, ráadásul a rezgése is alacsonyabb fokú, ezért a fedélzeten elhelyezett gyorsulásmérők hibája is csökkenthető.

A felszállás egyaránt történhet kézi indítással vagy csörlő segítségével földről indítva. Röviddel a felszállás után a repülés előre meghatározott GPS koordináták szerint, robotpilótával történik, de szükség esetén bármikor át lehet térni kézi vezérlésre is. A leszállást általában kézi irányítással végzik. Az UAV távvezérlése kétirányú mikrohullámú kapcsolaton keresztül történik, ami egy GPS vezérelt, gépkövető földi adóból és egy fedélzeti egységből áll.

<sup>9</sup> IAS (Indicated Air Speed): a torlónyomásból számolt műszer szerinti, levegőhöz viszonyított sebesség

<sup>10</sup> AGL (Above Ground Level): Felszínhez viszonyított magasság





1. ábra Az UAV orr része a műszerekkel (bal oldalon a Vaisala HMP45 hőmérséklet és légnedvesség szenzor, a szárnyon a GPS vevőegység

Mivel a repülés előre meghatározott fordulópontok érintésével történik, így az egyenletes körpályán történő repülés nem megoldott automatikus üzemmódban. Nem lehetséges továbbá semmilyen levegőhöz rögzített koordináta rendszerben megválasztott pályán történő repülés sem. Ez jelentős korlátozást jelent a szél mérés egyes módszereinél.

## MÉRÉSI CÉLOK

Az első sikeres tesztrepülést követően elkezdődhetett a meteorológiai műszer-együttes kiépítése. Elsődleges feladat a planetáris határreteg, illetve a troposzféra – az UAV aktuális meteorológiai körülmények között lehetséges maximális repülési magasságig történő – általános szondázása. A repülés során a léghőmérséklet és relatív nedvesség mérése, valamint a mért GPS koordinátákból számolt földhöz és a levegőhöz viszonyított sebességből a szélprofil meghatározása a cél.

A távolabbi tervek közt szerepel a planetáris határreteg turbulens folyamatainak és áramlási rendszerének a vizsgálata. Ehhez a BME Áramlástan Tanszékén fejlesztett 5 lyukú anemométer (továbbiakban 5HP<sup>11</sup>) és egy nagyfrekvenciás termoelemes hőmérő kerül majd elhelyezésre a fedélzeten (impulzus és szenzibilis hőáram mérés) [2]. A későbbi tervekben levegőkörnyezeti mérések is szerepelnek (CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> és aeroszol (PM<sub>10</sub>)<sup>12</sup> koncentráció monitorozása). Bár az UAV vezérlő rendszerében megtalálható a GPS, és az IMU<sup>13</sup> szenzor, továbbá a valós szélesség (TAS<sup>14</sup>) meghatározásához szükséges Pitot-cső, a cél egy teljesen autonóm meteorológiai mérőrendszer kialakítása, így ezek az egységek is telepítésre kerülnek (a végleges műszer-együttes kiépítése folyamatban van).

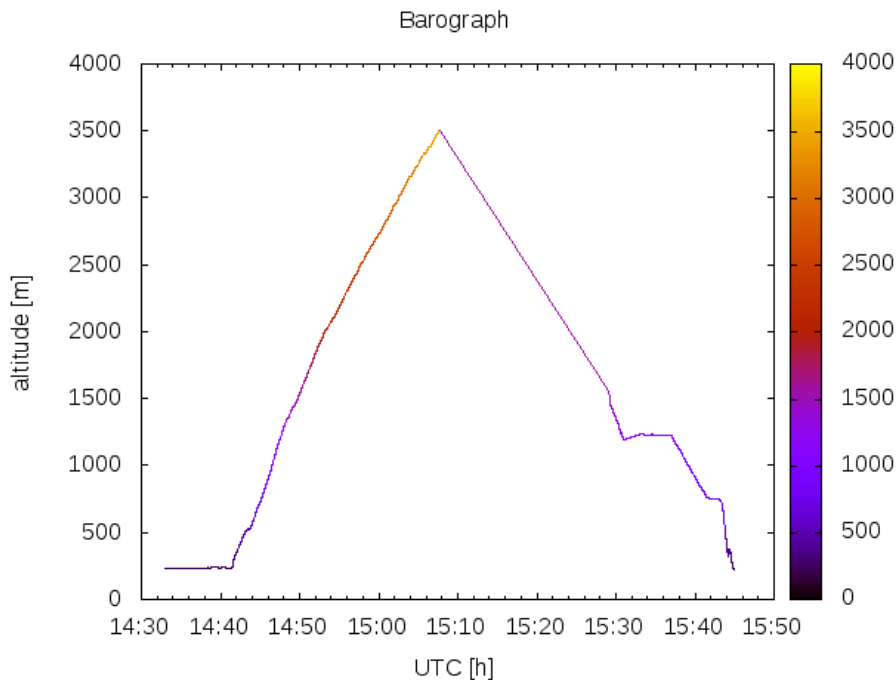
<sup>11</sup> 5HP (Five Hole Probe): 5 lyukú nyomásmérő szenzor

<sup>12</sup> PM10 (Particulate Matter <10 μm): 10 μm-nél kisebb méretű légköri aeroszol részecskék koncentrációja

<sup>13</sup> IMU (Inertial Measurement Unit): Inerciális gyorsulásmérő egység

<sup>14</sup> TAS (True Air Speed): A repülőgép levegőhöz viszonyított tényleges sebessége





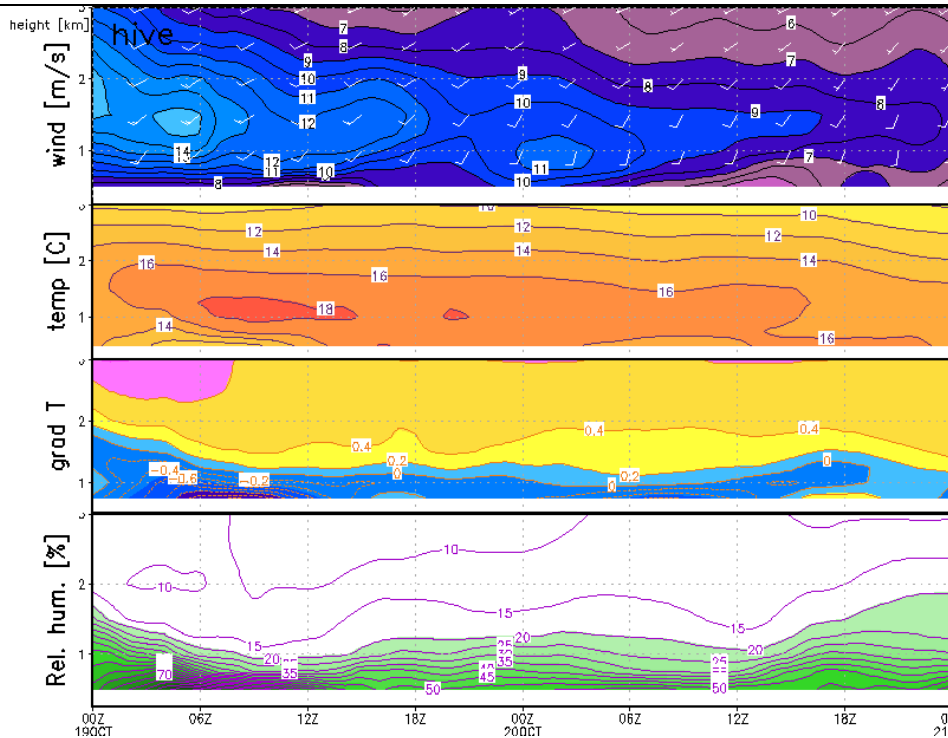
3. ábra Az UAV magassága az idő függvényében 2012. október 19-én. A magasság színezéssel is jelölve lett. (A színezés az adott nap 00Z-tól vett relatív idő szerint történt.) 15:05 UTC és 15:25UTC közt GPS adatkiesés történt, amit az ábrán egy lineáris interpolációs szakasz jelez

Az előrejelzett értékeket a mérés után összevetettük az UAV mérési adataival. A következőkben a tesztrepülés kiértékelésével foglalkozunk. Elsőként az időjárási helyzetet elemezzük.

#### ***Az időjárási helyzet alakulása 2012. október 19-én, a mérés idején***

2012. október 19-én egy hazánktól délkelet felé távolodó anticiklon hátoldali áramlási mezejében voltunk, melynek hatása a talajszinten kevésbé érződött, de a magasban markánsan jelen volt. Amíg a felszín közelében gyenge délkeleti szél dominált és országszerte 50–60%-os relatív páratartalmat regisztráltak, addig gyakorlatilag már a 925 hPa-os nyomási szinttől kezdve erős délnyugati áramlás volt a jellemző, amelyhez az 1000–1500 m-es rétegben egy erős meleg advekciónak társult, jelentős kiszáradással. Ezt az WRF modell aznapi 0:00 UTC-s futása is jelezte. A modell 15:00 UTC-re 18 °C-ot várt az 1000 m-es magassági szintre (4. ábra). Ezzel együtt erős kiszáradást is jelzett a modell 1000 m felett, közel 10%-os relatív nedvesség értékekkel. A szélmaximum 1000 m és 1800 m közt jelentkezett 15:00 UTC-kor 12 m/s-os maximummal.

Az aktuális időjárási helyzet ideális volt a repülés és a vertikális szondázás szempontjából, hiszen a lehetséges maximális repülési magasságon belül jelentős eltérések voltak a légkör vertikális szerkezetében, emellett a rendelkezésre álló nagy térbeli felbontású WRF modelldatok alapján (a mért és modellezett adatok összehasonlításával) lehetőség nyílt a Vaisala szenzor érzékenységi és válaszügyének a vizsgálatára is.

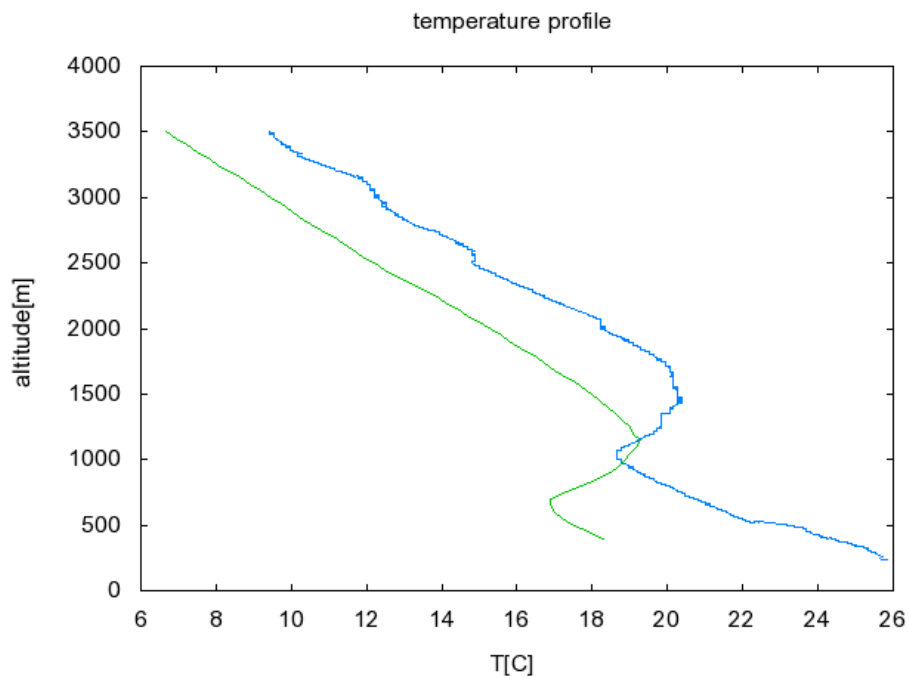


4. ábra Az ELTE Meteorológiai Tanszéken futtatott WRF modell adatokból készült meteogram a repülési napra és másnapra, Várpalotára (2012. október 19–20.). Az UAV 14:41 UTC-kor szállt fel

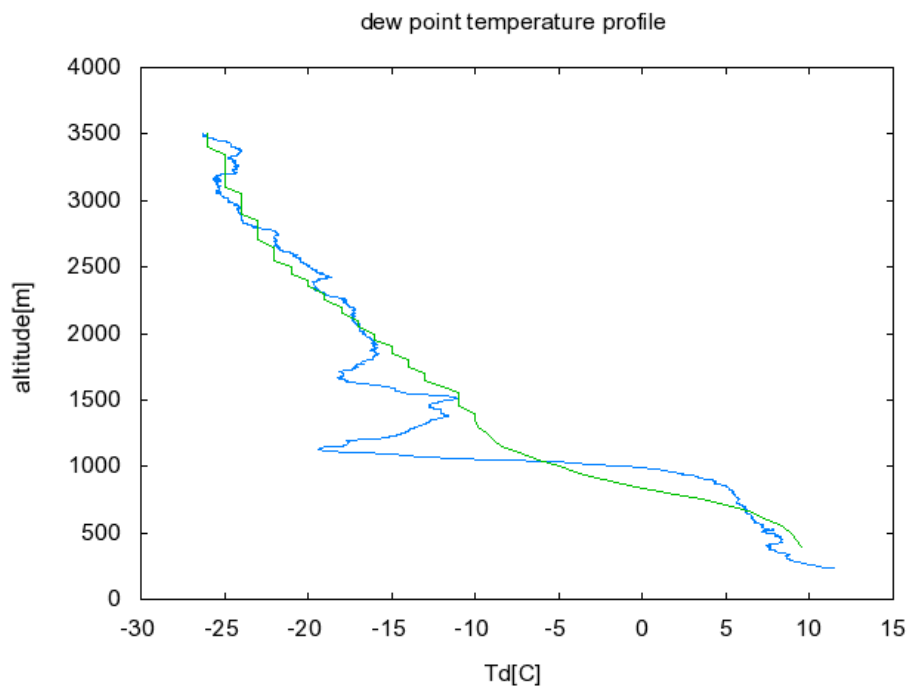
#### Mért profilok (2012.10.19.)

A mérés során egy Vaisala HMP45 típusú hőmérséklet-relatív nedvesség szenzor szolgáltatja az adatokat, 1 Hz-es felbontással. A hőmérséklet és a relatív nedvesség értékeinél 10 másodperces intervallumok átlagát képezve kerültek az adatok tárolásra. Mivel a WRF modell harmatpont hőmérsékletet használ nedvességi mérőszámként, így a mért hőmérséklet és relatív nedvességi adatok a Magnus-Tetens formula segítségével harmatpont hőmérsékletre lettek konvertálva. A profilok megrajzolásánál az emelkedéskor mért adatok kerültek felhasználásra, a felszín és a 3500 m-es magasság közt. Az 5. és 6. ábrán a Várpalotára 15:00 UTC-re előrejelzett hőmérséklet és harmatpont hőmérséklet profilok zölddel, míg az UAV által mért profilok kék színnel jelölve láthatóak.

A mért és az előrejelzett értékek közt közel 2 °C-os szisztematikus eltérést figyelhetünk meg, melynek oka feltehetőleg a műszerezettségben keresendő. A mért harmatpont hőmérséklet értékek a hőmérsékleti értékekkel ellentétben szoros kapcsolatot mutatnak a modell eredményekkel. Az 1500 m feletti szinteken a modell által számított értékek kerekítve kerültek kiírásra, ezért kisebb ugrások figyelhetők meg a profilon, amelyek azonban nem haladják meg az 1 °C-ot. Ezek a kiírás pontosításával eltűnnek.



5. ábra A WRF modell által előrejelzett (zöld) és a mért (kék) hőmérsékleti profilok a 2012. október 19-i repüléskor



6. ábra A WRF modell által előrejelzett (zöld) és a mért (kék) harmatpont-hőmérsékleti profilok a 2012. október 19-i repüléskor

Összességében megállapítható, hogy az 1000 m felett advektálódó száraz és meleg légtömeget a WRF modell jól előrejelezte, amit az UAV mérések is megerősítettek. Az UAV-val mért profilokon – a 2 m-es vertikális felbontásnak köszönhetően – olyan finom részecskék is megfigyelhetők, amelyeket a modell nem tud előre jelezni, mint például az 1000 m-es és az 1700 m-es

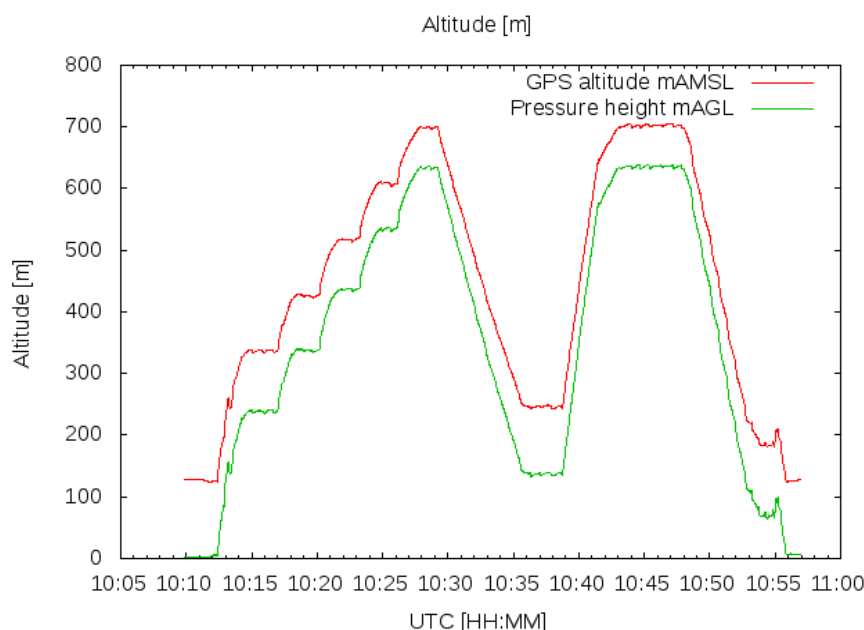


magasságban jelentkező extrém kiszáradást, holott a harmatpont hőmérséklet mindkét esetben megközelítette illetve elérte a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot. Megjegyezzük, hogy a nagy időbeli felbontás ellenére a szenzor tehetetlensége miatt a következtetések levonásánál óvatosnak kell lenni. A közeli jövő feladata a repülőgépre elhelyezett szenzorok tehetetlenségének a kimérése eltérő repülési pályákat és emelkedési sebességeket alkalmazva.

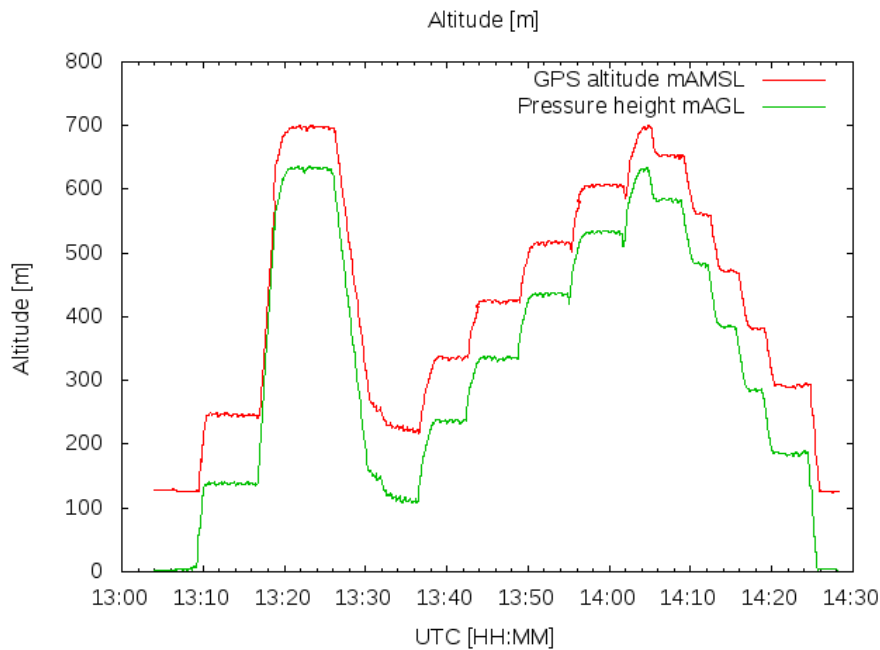
A mért értékek alapján a planetáris határréteg magassága meghaladta a vártat. A WRF modell 500 m-es magasságtól kezdve közel lineáris kiszáradást várt egészen az 1300 m-es szintig. Ezzel szemben a mérések szerint a relatív nedvesség (és így a harmatpont hőmérséklete is) közel 1000 m-es magasságig gyenge csökkenést mutatott, majd 1000 m felett hirtelen ugrást és további csökkenést tapasztaltunk. Ez feltehetőleg az 1000 m-es magasságig megvastagodó nappali határrétegnek volt köszönhető, hiszen e felett a légtömegek közti keveredés már gyenge.

## II. repülés: 2012. december 6.

A második kiértékelt repülésre 2012. 12. 06.-án került sor a dunakeszi repülőtéren. A nap során két felszállás történt. Az első délelőtt 10:05 UTC és 10:55 UTC közt, a második 13:05 UTC és 14:30UTC közt zajlott le. A repülések 700 m-es magasságig történtek melyek során az UAV 100 m-enként egy megközelítőleg 500 m-es élhosszúságú négyzetet repült állandó magasságban (7. és 8. ábra). Az emelkedés és a süllyedés is négyzetes pályán történt.



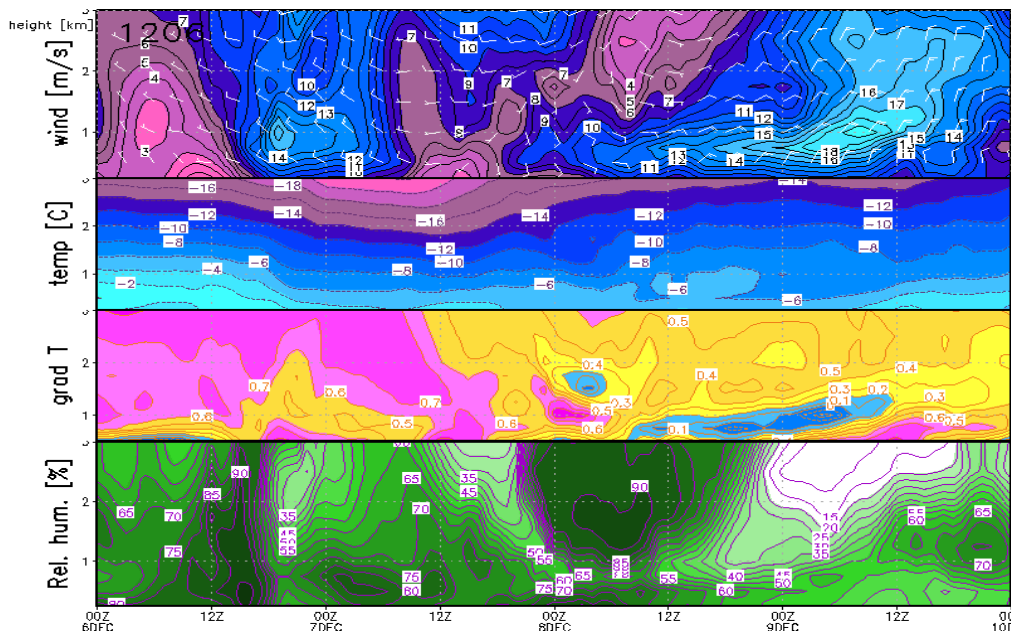
7. ábra Az UAV magassága a délelőtti repülés során 2012. december 6-án. Pirossal a tengerszint feletti magasság míg zölddel a lokális felszín feletti magasság értéke látható



8. ábra Az UAV magassága a délutáni repülés során 2012. december 6-án. Pirossal a tengerszint feletti magasság, míg zölddel a felszín feletti magasság értéke látható

### Az időjárási helyzet alakulása a 2012. December 6-i mérés során

2012. december 6-án reggel hazánk időjárását a tőlünk keletre eltávolodott ciklon és a nyugatról közeledő anticiklon köztes áramlási mezeje határozta meg. Az éjszaka folyamán gyenge illetve mérsékelt légmozgás és derült idő mellett, az erős kisugárzás miatt reggelre az ország jelentős részén (főként a középső és keleti területeken) köd képződött.



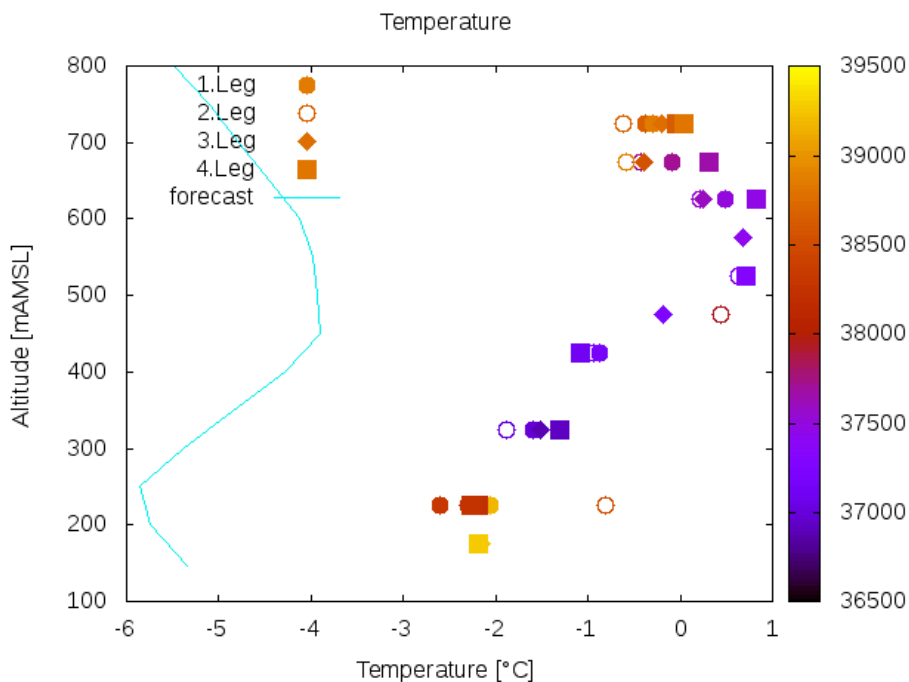
9. ábra. A WRF modell által előrejelzett értékek a 2012. december 6-9. közötti időszakra, Budakeszi térségére. Délelőtt folyamán a nyugatról hazánk felé áthelyeződő anticiklon nyomási mezeje kezdett meghatározóvá válni, aminek következtében az alsó 2000 m-es rétegben is megélné a nyugati, északnyugati szél. Ennek hatására Dunakeszi térségében is felszakadozott a köd (köszönve ezt a

lokális környezetnek is – orográfia, felszínborítottság), és lehetőség nyílt a repülésre. A repülési és a rákövetkező napokra készített WRF modell előrejelzést a 9. ábra szemlélteti.

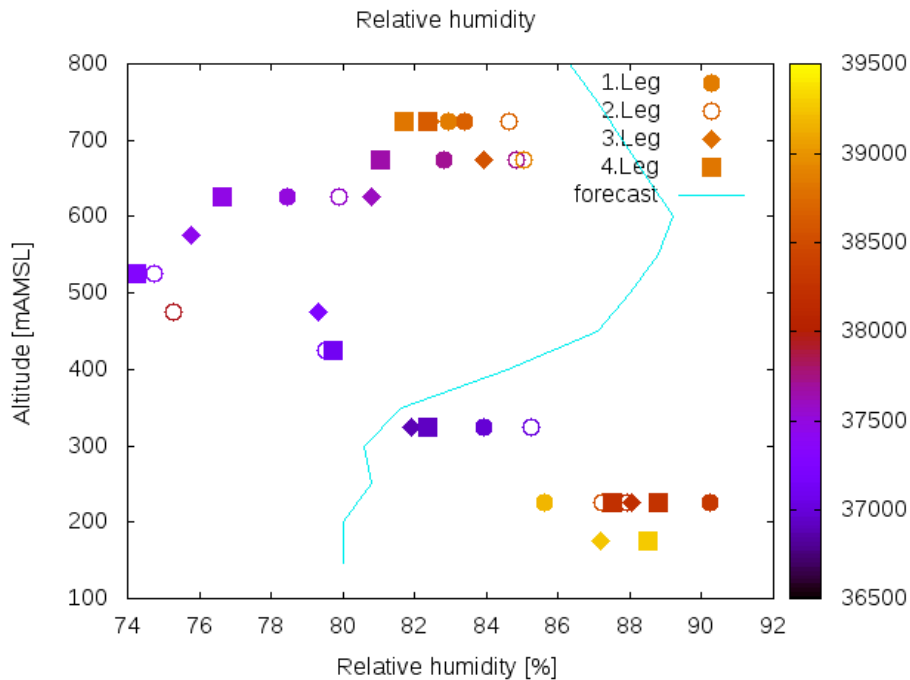
### Mért profilok (2012. 12. 06)

A Vaisala műszer válasziége miatt a profilok megrajzolásánál szükségessé vált az adatok szűrése. A kiértékelés során, az egyes pályaszakaszokon mért átlagos hőmérsékletek között 1°C körüli periodikus hiba figyelhető meg. Ennek oka a műszert és a repülőt ért direkt sugárzás periodikus váltakozása volt. A következő méréskor már egy árnyékoló csövet használunk. A hőmérséklet és relatív nedvesség adatok szűrésének első lépéseként kiválogatásra kerültek azok az időszakok, amikor az UAV közel vízszintesen repült. Ezzel a műszer hiszteréziséből adódó hibákat sikerült csökkenteni. Második lépésként az egyes szakaszokon (a négyszögek egyes szárain) mért értékek átlagolására került sor.

A bemutatásra kerülő profilokon különböző szimbólumokkal jelöltük az egyes szakaszokon mért értékeket. A négyzeteket pozitív forgásirányban repültük. Az 1-es szakasz (1. Leg) a Dél-Észak, a 2. (2. Leg) a Kelet-Nyugat, a 3. (3. Leg) az Észak-Dél, míg a 4. (4. Leg) a Nyugat-Kelet irányú repülést jelenti. Megemlítjük, hogy az egyes szakaszok iránya nem azonos az UAV aktuális irányszögével (heading). Az ábrákon a folytonos vonal az előrejelzett profilt mutatja.



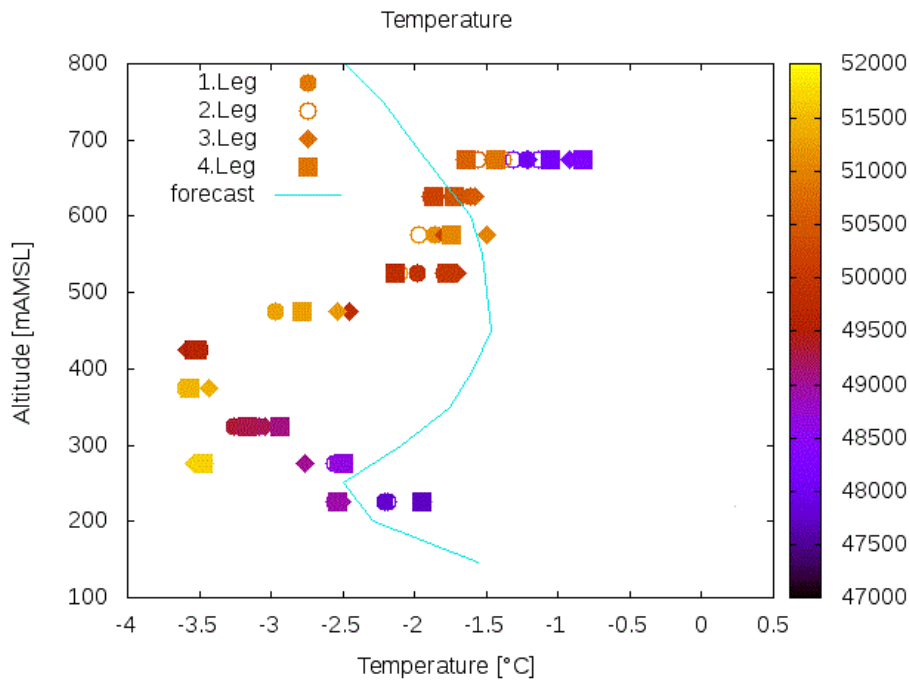
10. ábra 2012. december 6-án délelőtt mért és előrejelzett (folytonos vonal) hőmérsékleti profilok. Az egyes szimbólumok az adott pályaszakaszokat jelölik. A jelek az adott nap 00Z-hoz viszonyított relatív idő (s) szerint színezésre kerültek. A mért és a modellezett profilok futása hasonló, de eltérésük jelentős, ami a bonyolult időjárási helyzetnek is köszönhető (köd, bizonytalan felhőzeti és sugárzási előrejelzés)



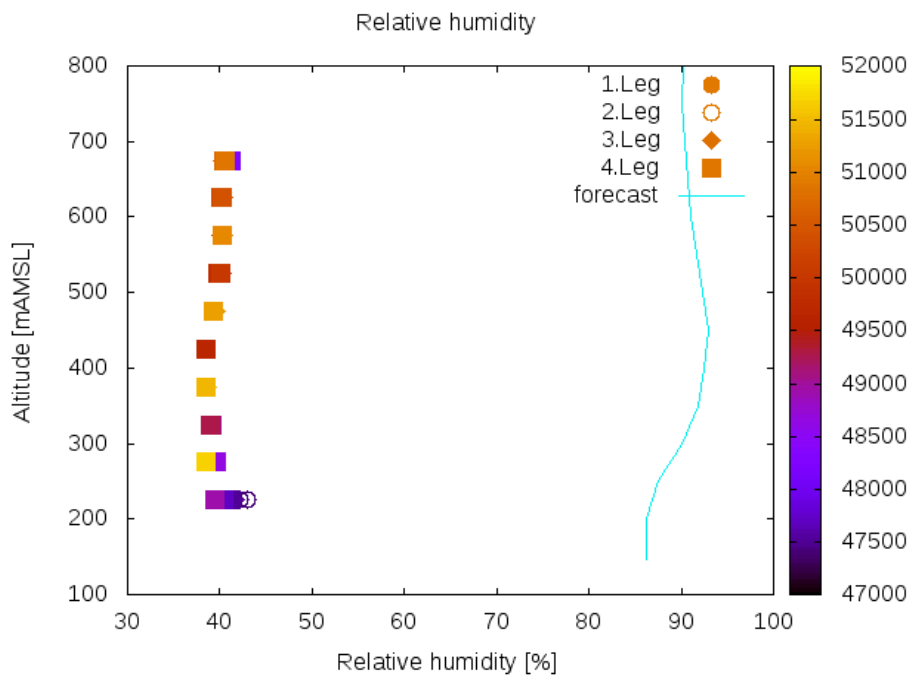
11. ábra A 2012. december 6-án délelőtt mért és előrejelzett (folytonos vonal) relatív páratartalom profilok. Az egyes szimbólumok az adott pályaszakaszokat jelölik. A jelek az adott nap 00Z-hoz viszonyított relatív idő (s) szerint színezésre kerültek

A hőmérsékleti profil (10. ábra) menetében jó egyezést mutat az előrejelzettel, azonban az egyes szinteken közel 3 °C-os pozitív eltérés tapasztalható. Érdeemes megemlíteni, hogy a köd feloszlása után több mint egy órával, a zavartalan besugárzás ellenére is inverziós maradt a hőmérsékleti profil az alsó 600 m-es rétegben a délelőtti repülés során. A relatív nedvesség értékek esetében (11. ábra) nem tapasztalható a hőmérsékleti profilhoz hasonló egyezés. Amíg az előrejelzett profil menete tartósabb, a talaj közelében kiszáradó inverziós profilra emlékeztet, addig a mért profil egy 500–600 m közti kiszáradást mutat. A mért értékekből arra lehet következtetni, hogy a köd feloszlását nem a megerősödő szél miatti átkeveredés, hanem a Pilisen és a Budai-hegységen átbukó szél gyenge fön hatásából eredő kiszáradás okozhatta.

A délutáni repülés során a nyugatias áramlás tovább erősödött az alsó rétegekben. A nedvesség advekciónak köszönhetően a repülés második felében megnövekedett a középszintű réteges felhőzet. Ennek hatása elsősorban a mért hőmérsékleti értékeknél figyelhető meg. A délutáni repülés második felében a felhőzet növekedése és így a direkt sugárzás csökkenése (illetve nulla volta miatt) az egyes szárazon mért hőmérsékleti értékek közti eltérés közel nullára csökkent. (Az ábránkon a színezés az adott nap 00Z-től vett relatív idő szerint történt.) A délutáni mérés idejére a növekvő globálsugárzás következtében az inverzió alja ~400 m-es magassáig emelkedett (12. ábra).



12. ábra. 2012. december 6-án délután mért és előrejelzett (folytonos vonal) hőmérsékleti profilok. Az egyes szimbólumok az adott pályaszakaszokat jelölik. A jelek az adott nap 00Z-hoz viszonyított relatív idő (s) szerint kerültek színezésre



13. ábra 2012. december 6-án délután mért és előrejelzett (folytonos vonal) relatív nedvesség profilok. Az egyes szimbólumok az adott pályaszakaszokat jelölik. A jelek az adott nap 00Z-hoz viszonyított relatív idő (s) szerint színezésre kerültek

Az 13. ábrán látható, hogy a WRF modell által 15UTC-re előre jelzett és a mért relatív nedvesség értékek közt jelentős eltérés volt. Ennek oka feltehetőleg abban keresendő, hogy a modell az alsó 3 km-es rétegben a valóságnál nagyobb nedvességtartalmú levegő advekciónak várta,



ugyanakkor a növekvő turbulens átkeveredés miatt a magassággal alig változó, magas relatív nedvességet jelzett előre.

A mért értékek szerint az átkeveredés valóban megtörtént, azonban az alacsony szinten a vártnál jóval szárazabb levegő érkezett az anticiklon előoldalán.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az UAV-k fejlődésével és elterjedésével lehetőség nyílt meteorológiai célú felhasználásukra is. Az UAV-k jelentős előnye a távérzékelési eszközökhöz képest a mobilitásuk és térbeli felbontásuk, továbbá a közvetett mérésből adódó hibák kiküszöbölése. Egyes meteorológiai tényezők, mint például a hőmérséklet, relatív nedvesség repülőgépes mérése viszonylag könnyen megoldható, azonban az ilyen méréseknél is szükséges a felszíni mérésektől eltérő körülményekből adódó hatások kiküszöbölése, melyre még nincs általánosan elfogadott módszer. Az UAV-s szélméréseknél mind a műszerezettség, mind a szélbecslési módszerek jóval összetettebbek, mint a felszíni állomásokon. Összességében elmondható, hogy az UAV-k segítségével történő meteorológiai mérések, kiforratlanságuk ellenére, hasznos eszközei az időjárás felderítésnek, kiegészítve a jelenleg operatívan használt távérzékelési eszközöket. fontos szerepük lehet a modell-produktumok verifikációjában is. A cikkben bemutattunk a hazai fejlesztésű UAV-ra helyezett Vaisala HMP45 hőmérséklet és relatív nedvesség szenzorral mért profilokat, és összevetettük azokat az előrejelzett értékekkel. Foglalkoztunk az UAV-val történő szondázás hibalehetőségeivel és azok szűrésével is.



A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások”, pályázat keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] JACOBS, A.J.M. and MAAT, N., 2005: Numerical guidance methods for decision support in aviation meteorological forecasting. *Wea. Forecasting* 20, 82–100.
- [2] MARTIN, S., BANGE, J. and BEYRICH, F., 2011: Meteorological profiling of the lower troposphere using the research UAV “M2AV Carolo”. *Atmos. Meas. Tech.* 4, 705–716.
- [3] KADYGROV, E.N. (editor), 2006: Operational aspects of different ground-based remote sensing observing techniques for vertical profiling of temperature, wind humidity and cloud structure: a review. Instruments and Observing Methods Report No. 89, WMO/TD-No. 1309, 33 pp.
- [4] MAYER, S., 2011: Application and improvement of the Unmanned Aerial System SUMO for atmospheric boundary layer studies. *Diploma thesis, University of Bergen*.
- [5] REUDER, J., BRISSET, P., JONASSEN, M., MÜLLER, M. and MAYER, S., 2009: The Small Unmanned Meteorological Observer SUMO: A new tool for atmospheric boundary layer research. *Meteorol. Z.* 18(2), 141–147.
- [6] SPIESS, T., BANGE, J., BUSHMANN, M. and VÖRSMANN, P., 2007: First application of the meteorological Mini-UAV ‘M<sup>2</sup>AV’. *Meteorol. Z.* 16(2), 159–169.
- [7] <http://www.bhe-mw.eu>
- [8] METZGER, S., JUNKERMANN, W., BUTTERBACH-BAHL, K., SCHMID, H.P., and FOKEN, T., 2011: Measuring the 3-D wind vector with a weight-shift microlight aircraft. *Atmos. Meas. Tech. Discuss.* 4 1303–1370.

Gyöngyösi András Zénó<sup>1</sup> – Kardos Péter<sup>2</sup> – Kurunczi Rita<sup>3</sup> –  
Balczó Márton<sup>4</sup> – Bottyán Zsolt<sup>5</sup>

## IDŐJÁRÁS KUTATÓ- ÉS ELŐREJELZŐ MODELL ALKALMAZÁSA PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLÉSEK KOMPLEX METEOROLÓGIAI TÁMOGATÁSÁRA MAGYARORSZÁGON<sup>6</sup>

*Megbízható, megfelelően részletes és repülés-specifikus időjárás információ elengedhetetlenül szükséges a pilóta nélküli repülések meteorológiai biztosításához. Egy amerikai fejlesztésű, nyílt forráskódú korlátos tartományú, meteorológiai modell teljes körű implementálását követően került alkalmazásra a fenti célra. A modellrendszer finom hangolása magában foglalta 30 különböző modell beállítással végrehajtott futtatásból származó együttes előrejelzés verifikációját. A verifikáció során legjobbnak bizonyuló séma kombináció további alkalmazásával a modellfejlesztés használhatóságát konkrét UAV repülések végrehajtásával teszteljük. A repülésmeteorológiai kockázatot jelentő időjárás elemek UAV specifikus számbavételét követően a modellrendszer fejlesztésének fontosabb lépéseit ismertetjük. A meteorológiai szenzorrendszer fejlesztésének, valamint az első tesztrepülések, mérések tapasztalatainak leírása zárja jelen írás sorait.*

### **APPLICATION OF A WEATHER RESEARCH AND FORECASTING MODEL FOR COMPLEX METEOROLOGICAL SUPPORT OF UNMANNED AERIAL OPERATIONS IN HUNGARY**

*Proper, detailed and specific meteorological information is essential for unmanned aerial operations. Following an extensive technical implementation the Weather Research and Forecasting limited area model has been applied for this purpose. The fine tuning of the model setup included parallel run of 30 different ensemble members, each of them having different combination of parameterization. The aim of this paper is the introduction of the applicability of this numerical weather prediction system for aviation meteorology forecasting. The most important aviation weather issues focusing on the special needs of unmanned systems are summarized. Following the short introduction of the weather prediction system that was applied, results of the case study test runs are compared to observation. The experiences of the first UAV flights are also presented. Results are introduced and the directions towards further development are described.*

## I. BEVEZETÉS, TÖRTÉNETI KITEKINTÉS

A meteorológia egyik legnagyobb kihívása a légi járművek biztonságos közlekedéséhez elengedhetetlenül szükséges időjárás információk előállítása. Ez a feladat olyan kihívások elé állítja a szakmát, amelynek teljesítéséhez a meteorológiai eszköztár szinte teljes állományát szükséges felvonultatni: (i) a lehető legpontosabb megfigyelések és mérések szükségesek az időjárás helyzet pillanatnyi állásáról; (ii) a repülések által érintett területek (indulási- és célrepülőtér, vagy a

<sup>1</sup> ELTE, Meteorológiai Tanszék, zeno@nimbus.elte.hu

<sup>2</sup> Hungarocontrol Magyar Légiforgalmi Zrt, Peter.Kardos@hungarocontrol.hu

<sup>3</sup> Időkép Kft. meteorita@idokep.hu

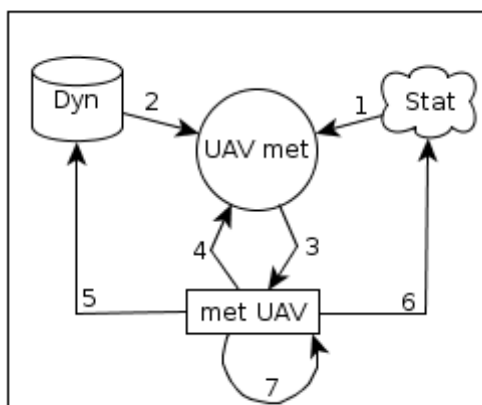
<sup>4</sup> BMGE Áramlástan Tanszék Kármán Tódor Szélszatorna Laboratórium, balczo@ara.bme.hu

<sup>5</sup> NKE Katonai Repülő Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

<sup>6</sup> Lektorálta: Biróné Dr. Kircsi Andrea, egyetemi adjunktus, Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék, kircsi.andrea@science.unideb.hu

küldetés célterülete, valamint a repülési útvonal által érintett területek) repülés-klimatológiai tapasztalatainak átfogó és részletes ismerete szükséges, valamint (iii) a lehető legpontosabb prognózis kell, hogy rendelkezésre álljon a közeljövő időjárásának alakulására vonatkozóan, melyet szuperszámítógépeken integrált komplex időjárás modellek képesek csupán szolgáltatni. A meteorológia és a repüléstudomány fejlődése párhuzamosan zajlik egymással folyamatos pozitív kölcsönhatásban. A repülések a légkör magasabb tartományából szolgáltatnak közvetlen tapasztalatot a meteorológusok számára, mely korábban nem volt elérhető. A pilóták pedig olyan mértékben és minőségben igénylik a meteorológiai információkat, mely korábban nem volt tapasztalható. Számos légköri folyamat felfedezése kapcsolódik a repülések végrehajtásához (pl. a felső troposzférikus futóáramlások vagy a hegyek lee-oldalán keletkező légköri hullám-mozgások), a korszerű meteorológia vívmányai pedig eliminálják a repülések meteorológiai kockázatát.

Ahogy a világon mindenütt, hazánkban is egyre meghatározóbb szerephez jutnak a pilóta nélküli légi járművek [1] (továbbiakban: UAV-k). Az UAV-k meteorológiai biztosítása még nagyobb kihívás elé állítja a meteorológiát, hiszen szemben a hagyományos repülésekkel, esetükben egy előre nem látható időjárás helyzetben a repülőgép személyzete nem képes közbeavatkozni. A Kritikus Infrastruktúra Védelmi Kutatások TÁMOP pályázat keretében olyan komplex meteorológiai rendszer kidolgozását tűztük ki célul, mely képes figyelembe venni a hazai repülőterek már meglévő, több évtizedes repülésmeteorológiai tapasztalatait, emellett a lehető legpontosabb dinamikus modell előrejelzéseket is figyelembe véve célprognózis előállítására alkalmas a pilóta nélküli küldetések biztosítására. A rendszer tapasztalati oldalát a klimatológiai adatok statisztikus modellekkel történő feldolgozása és előrejelzésekbe történő integrálása adja, míg a konkrét rövid távú időjárás előrejelzéseket dinamikai alapú modell rendszer szolgáltatja. Az előrejelző rendszer használhatóságát UAV repülésekkel vizsgáljuk, elsősorban azért, hogy a fejlesztők már a korai fázisban konkrét visszajelzéseket kapjanak arra vonatkozóan, miként szolgálhatja leginkább a gyakorlatban egy ilyen rendszer a kívánt célt. Az UAV repüléseink célja meteorológiai felderítés, ily módon áttételesen is kap visszajelzést a rendszer a tesz repülések során gyűjtött meteorológiai információkból (1. ábra).



1. ábra Az UAV meteorológia struktúrája. Az ábra részletes magyarázatát lásd a szövegben

Az integrált előrejelzési rendszer (UAV met) statisztikai módszerekkel (Stat) készült származtatott (repülésmeteorológiai)ű adatokból (1) és dinamikai modell kimenet alpmennyiségekből (2) állítja elő az előrejelzéseket (3) az UAV mérőrepülések számára (met UAV). A repülések

végrehajtásában résztvevők (operátorok, műszaki és repülési szakemberek, döntéshozók) vizs-  
szacsatolást adnak a rendszer fejlesztőinek (4), a mért adatokkal verifikálható a modellrendszer  
(5), gazdagítható a statisztikai adatbázis, fejleszthető a módszertan (6). Mivel magában az UAV  
meteorológiai mérések végrehajtásában is kevés a tapasztalat, magának a mérési módszernek a  
fejlesztéséhez is adatokat szolgáltatnak a repülések (7).

Jelen dolgozatban, rövid történeti kitekintést követően, áttekintjük azon meteorológiai ténye-  
zőket, melyek különösen fontosak a pilóta nélküli műveletek során, majd a dinamikai modell  
fejlesztésének, adaptálásának részleteit ismertetjük. Ezt követően a rendszer használhatóságát  
– írásunk végén – egy rövid esettanulmányon keresztül mutatjuk be.

A pilóta nélküli repülő rendszerek (UAS) általában egy földi, valamint egy légi alrendszerből  
tevédenek össze. Irányításukat alapvetően szoftver által vezérelt robot végzi (ebben különböznek  
a távirányítású repülő (RPA) rendszerektől), de távvezérléssel legtöbbjük kézi irányítással is  
vezethető. Céljuk olyan repülési feladatok ellátása, mely pilótás repülőgépekkel nem, vagy csak  
kevésbé hatékonyan végezhető el. A repülési útvonal és annak célja, feladata előre megtervez-  
hető, a légi alrendszerhez tartozó hasznos terhek által rögzített információk – akár valós időben  
történő továbbítással – a földi alrendszerek segítségével könnyen elérhető és gyorsan feldol-  
gozható. Hasznos teherként webkamera és egyéb távérzékelési eszközök mellett (melyek rend-  
kívül széleskörű információgyűjtésre alkalmasak, így katasztrófavédelmi, katonai, polgári, tér-  
képészeti és egyéb területeken egyaránt fontos szerepet töltenek be), akár meteorológiai para-  
métereket mérő szenzorrendszer is rögzíthető a szerkezetekhez.

Az UAV-k története egészen a 19. század közepéig nyúlik vissza: 1849. augusztus 12-én szü-  
letett az első írásos feljegyzés ezen eszközök katonai felhasználásáról. A Scientific American  
1849. márciusi számában számol be az első pilóta nélküli katonai légi alkalmazásról, amikor az  
osztrákok pilóta nélküli ballonokkal légi támadást intéztek Velence ellen. Ezt követően, az első  
világháborúban jelentek meg az első távirányítással rendelkező, Elmer Sperry által kifejlesztett,  
ún. légi torpedók [2]. Az első magyar vonatkozás Kármán Tódor nevéhez kapcsolódik, aki  
1915-től tevékenykedett a témában: a szélcsatorna mellett megépítette a világ első, katonai célú  
forgószárnyas repülőeszközét [3]. A II. világháború végéig az UAV-k kimondottan az ellenség  
megsemmisítésére szolgáltak. A vietnami-háború volt az első alkalom, ahol felderítési céllal  
alkalmazták ezeket az eszközöket. Az elmúlt évtizedekben jelentősen bővült az UAV-k felhasz-  
nálási köre, kiemeltebb szerepet kapott a légkör alsó rétegeinek pontosabb megismerése, vizs-  
gálata is. Vertikális profilokat korábban az akár 40-50 km-es magasságig felszálló meteoroló-  
giai léggömbök szolgáltattak, míg az UAV-k segítségével a planetáris határregről (tehát az  
alsó mintegy 3 km-ből) kaphatunk bővebb információkat [4][5][6].

Számszerű időjárás előrejelző modellek manapság már megbízható adatokat szolgáltatnak akár  
5 napra előre. A modellek azonban nem képesek közvetlenül meghatározni olyan paramétere-  
ket, melyek a repülés szempontjából igazán lényegesek (mint például a ferde irányú látótávolság,  
felhőalap, szélnyírás, stb.), ezeket az úgynevezett alaplennyeiségi modellváltozókból (hő-  
mérséklet, légnedvesség, átlagos szélesség, légnyomás) szükséges származtatni. A modell-  
adatok további sajátossága, hogy véges térbeli felbontású rácshálózaton vannak értelmezve az  
időjárási paraméterek, mely nem teszi lehetővé a kis léptékű folyamatok (pl.: turbulencia) meg-

felelő figyelembevételét. További kihívás még, hogy a származtatott paraméterek rendkívül érzékenyek a modellváltozók bizonytalanságára: néhány tized fok hőmérséklet-különbség meghatározhatja a látótávolság romlását, jegesedési viszonyok, vagy akár zivatar kialakulásának valószínűségét, akár a repülésbiztonság szempontjából drámai mértékben is. Ezek miatt olyan utó-feldolgozási eljárások kidolgozására van szükség a modell kimenőadatok tekintetében, amelyek kimondottan a repülésmeteorológia céljainak megfelelő módon képesek a származtatott paraméterek előállítására. A következőkben sorra vesszük a repülésmeteorológiai szempontból legfontosabb időjárás elemeket.

## II. UAV REPÜLÉSEK SZEMPONTJÁBÓL KOCKÁZATOT JELENTŐ METEOROLÓGIAI JELENSÉGEK

A hagyományos légi közlekedési eszközök számára a meteorológiai körülmények okozta kockázatok két fő csoportra oszthatók: (i) légi navigációt nehezítő időjárás körülmények (a személyzetet korlátozó körülmények [7], úgy mint alacsony látástávolság, és/vagy felhőalap vagy kedvezőtlen felhőzet), valamint (ii) a légi jármű üzemeltetési körülményeit befolyásoló körülmények (a légi járműre ható körülmények [8][9][10][11], úgy mint jegesedés, felületi lerakódások, turbulencia, kedvezőtlen szélviszonyok és kedvezőtlen futópálya állapot stb.).

### *Navigáció lehetőségeit befolyásoló időjárás körülmények*

Az UAV-k esetében az légi jármű üzemeltetését, az időjárás eredetű navigációs problémák nem nehezítik ha pusztán a repülési feladatra fókuszálunk, hiszen az előre programozott pálya megrepülését, vagy a repülés közbeni programmodosítást nem befolyásolják a látási viszonyok. Másfelől azonban az UAV-k küldetési oldalától nem mellékes szempont, hogy a cél látható tartományban történő felderítését akadályozza-e a levegőkörnyezet kedvezőtlen állapota, így – még ha más szempontok alapján is – de a repülési feladat felkészülési fázisában szükséges a látástávolság és felhőzet-viszonyok előrejelzése. Ez ugyanakkor a repülési feladat függvényében korlátozódhat a célkörzetre. Megjegyzendő azonban, hogy az UAV-k közös légtérben való alkalmazásának szabályozása előírhatja a látás szerinti navigációs körülmények (VMC) szükségességét, amely további korlátozásokat jelent meteorológiai szempontból.

### *Üzemeltetésre ható időjárás elemek*

Az UAV-k üzemeltetésével kapcsolatban az időjárás hatás csoportja megegyezik a pilótás repülések esetében felmerülő időjárás elemekkel. Azonban fontos kiemelni, hogy az UAV-k kiterjedésének karakterisztikus mérete akár 1–2 nagyságrenddel is kisebb lehet, mint a nem UAV repülőké. A felszálló súly tekintetében a különbség elérheti akár a 3 nagyságrendet is.

Ez a méret és súlybeli eltérés különbséget okoz az üzemeltetésre ható időjárás elemek hatásmechanizmusában is, amely az UAV-k esetében külön figyelmet érdemel.

### **Jegesedés**

Jegesedés alatt olyan jéglerakódást értünk a légi jármű külső felületén, amely annak túlhűlt vizet tartalmazó környezetben (felhőben) való mozgás közben keletkezik. A jegesedés repülésre gyakorolt hatása kettős, mely minden esetben kedvezőtlen irányba befolyásolja a repülést:





1. romló aerodinamika: a lerakódó jég rontja a profil alakját, ezzel együtt a szárny körüli áramlás felhajtó erő komponense lecsökken, és a felület minősége leromlik, melynek hatására a légellenállás megnövekszik.
2. növekvő súly.

Maga a jegesedés a szárny kisebb méretéből adódóan sokkal korábban bekövetkezik, mint nagyobb méretű szárnyprofil esetén, és sokkal intenzívebb a kiválás. Ennek háttérében egyrészt az áll, hogy a kisebb szárnyméretből adódó vékonyabb határréteg miatt már sokkal kisebb cseppméret esetén bekövetkezik a szárnyprofillal való ütközés, és lerakódás. Vastagabb szárnyprofil esetén ugyanis az áramlási határréteg vastagabb, amelyet kisebb valószínűséggel képes áttörni egy-egy túlhűlt csepp, illetve csak nagyobb cseppméretnél következik be ütközés. A nagyobb méretű cseppek azonban magasabb hőmérsékleten fagynak meg, mint apróbb társaik [9].

A súlynövekedés terén is kedvezőtlenebb a helyzet, mint a nagyobb repülőgépek esetében, hiszen az UAV-k felületi terhelése általában alacsonyabb. Emiatt, ha lerakódás képződik, az hamar jelentős súlyt képvisel a jármű eredeti súlyához viszonyítva: nagyságrendi számítással kapható, hogy egy 1mm vastagságú lerakódás 10N nagyságrendű súlynövekedés jelent, ami egy kisméretű UAV esetén akár 10% nagyságrendben képes megnövelni a felszállósúlyt.

Összefoglalva tehát, a kisméretű UAV-k jegesedés szempontjából jobban kitettek, mint a nagyobb méretű repülőgépek. Ez egyben azt is jelenti, hogy már a felkészülés fázisában igen komoly figyelmet kell fordítani a jegesedés lehetőségére, mert annak igen komoly hatása lehet a küldetés sikerére.

### Turbulencia, szélnyírás

Turbulencia alatt légmozgás olyan rendezetlen és véletlenszerű fluktuációját értjük, mely a szárny körüli áramlási és nyomásviszonyok állandó változását okozza. A fluktuációk eredete termikus konvekció, mechanikai hatás és a domborzattal való kölcsönhatás is lehet. Turbulencia UAV-kra gyakorolt hatásának vizsgálatánál abból kell kiindulnunk, hogy az UAV-k karakterisztikus mérete mennyiben különbözik a pilótás gépekétől. Általánosságban elmondható, hogy a szárny körüli áramlásra gyakorolt hatása szempontjából a turbulens képződmények vizsgálatát eggyel kisebb nagyságrendnél kell kezdeni. Másképp fogalmazva egy méter léptékű turbulencia elem akár destabilizáló hatást is okozhat az UAV járműre nézve, míg nagyobb méretű légi jármű esetén még csak rázás jelentkezik. Emiatt a turbulencia vizsgálatát ki kell bővíteni a méteres mérettartományra is [12].

A korlátozott térbeli kiterjedésű turbulencia hatása miatt megszűnő stabil repülés esetén, nagy magassági tartalék mellett lehetőség van korrekcióra (kérdés persze, hogy a robotot vezérlő szoftver hogyan reagál az átesésre). A légerők stabilizálódása után folytatható a küldetés. Alacsony magasságban bekövetkező erős turbulencia vagy intenzív szélnyírás eredménye idő előtti földet érés lehet, mely akár szerkezeti károsodást, illetve tereptárgyak megrongálását is eredményezheti. Turbulencia, extrém esetben, képes olyan túlterhelést okozni, mely a légi jármű maradandó deformációjához, töréséhez vezethet akár a levegőben. Fontos szempont a turbulenciával kapcsolatban még az is, hogy a szélirány nagy mértékben befolyásolhatja (az előtérp tagoltsága okán) a turbulencia mértékét egy adott repülőtér esetében, mely azonban leginkább

csak tapasztalati úton figyelembe vehető helyi sajátosság. A személyzet által irányított légi járművekkel szemben – értelemszerűen – a turbulencia fiziológiai hatása nem befolyásoló tényező az UAV-k esetében.

### **Kedvezőtlen szélviszonyok**

A kedvezőtlen szélviszonyok közé azokat az időjárási helyzeteket sorolhatjuk, amikor a túl erős szél miatt jelentős eltérítő hatás keletkezik, amely a fordulók stabil végrehajtását nehezíti meg, emiatt a küldetés pontos végrehajtása, vagy a célra tartási feladat nehezen, vagy nem végrehajtható. A fel- és leszállási műveletek végrehajtását elméletileg közvetlenül nem hátráltatja a szélirány, hiszen a pályairány sokkal szabadabban megválasztható a kisebb helyigény miatt. A te-reptárgyak és más helyi sajátosságok értelemszerű figyelembevételével, természetesen. A közvetett problémát a nagy szélesség miatt kialakuló turbulencia okozza, amelyet az előző pontban már kifejtettünk. A kis felületi terhelésű eszközök földi kiszolgálása viharos szélben szintén különös körtekintést, felkészültséget és figyelmet igényel.

### **Kedvezőtlen futópálya állapot**

A le- és felszállási műveletek szempontjából az általános és közforgalmi repülések esetén kritikus elem, hogy a megfelelő felhajtóerő kialakulásáig, vagy annak megszűnése után a légi jármű megfelelő tapadással kormányozható maradjon. Kis méretű UAV-k esetében sem a felszálláskor, sem leszálláskor nem jelentkezik olyan élesen ez a probléma. A levegőbe juttatás történhet katapult rendszer, vagy csörlő segítségével, melyek biztosítják egyben az iránytartást is. Leszálláskor ugyan számít a súrlódás, de a leszállási terep megfelelő kiválasztásával biztosítható az esetenkénti hosszabb fékezési szakasz, amely normál körülmények között jellemzően 10 m-es nagyságrendű.

A fenti meteorológiai paraméterek várható előfordulásának prognosztizálására igen pontos és nagy felbontású előre jelzett adatokra van szükség. Ezek előállítását korszerű és rendkívül bonyolult meteorológiai modellek segítségével valósíthatjuk meg. A következőekben ismertetjük egy mezoskálájú időjárás előrejelző modell cél szerinti alkalmazását, amely szoftver szabadon hozzáférhető, és megfelelően konfigurálható a feladat érdekében.

## **A METEOROLÓGIAI MODELLRENDSZER KIALAKÍTÁSA**

Az időjárás várható alakulását számszerű előrejelzések prognosztizálják [14]. Tekintettel arra, hogy az időjárás globális és általában nem-linearitás folyamatok láncolata, az időjárási rendszer rendkívül érzékeny minden folyamatra, annak előrejelzése csak globálisan, azaz a teljes légkörre vonatkozóan hajtható végre. A Föld teljes légkörének összes folyamatát viszont nem áll módunkban nagy részletességgel modellezni, erre még a legkorszerűbb szuperszámítógépek is csak a repülésmeteorológia igényeitől jóval elmaradó felbontásban képesek. Ennek okán a globális előrejelzéseket szükséges leskálázni, azaz a vizsgált tartományra pontosítani nagyobb felbontásban, olyan folyamatok figyelembevételére, melyeket a globális modell nem volt képes megfogni. Erre a célra a közepes léptékű (mezoskálájú) időjárási modellek a megfelelő szoftverek, melyeket mintegy virtuális nagyítóként alkalmazhatunk a feladatra. Mezoskálájú model-

lek sem képesek azonban reprezentálni olyan kis léptékű, ám repülésmeteorológiai szempontból jelentős folyamatokat, mint például a turbulencia, vagy kisebb kiterjedésű zivatarok. Ezek az időjárási elemek a modell kimenő adatainak utófeldolgozási stádiumában kerülnek figyelembevételre.

Az NCEP Globális Előrejelző Rendszerének<sup>7</sup> adatai leskálázását az Időjárás Kutató és Előrejelző Modell<sup>8</sup> segítségével hajtottuk végre. A WRF modell egy olyan nyílt forráskódú, közösségi használatra szabadon hozzáférhető szoftver, mely kellően flexibilis, skálázható és alkalmazható a meteorológiai vizsgálatok széles tartományán. A modell által közvetlenül nem vizsgálható folyamatok közvetett figyelembevételére számos úgynevezett „parametrizációs séma” áll rendelkezésre [13], melyek segítségével több millió modell beállítási kombinációs lehetőség adódik a felhasználók számára. A szabad hozzáféréstől adódóan világszerte több tízezer felhasználó és fejlesztő dolgozik a modellel, ezért a tapasztalatok óriási számban állnak rendelkezésre. A WRF integrálásához szükséges kezdeti- és peremfeltételek már 4 órával a megfigyelést követően rendelkezésre állnak a teljes Földre vonatkozóan. A modell részletes leírását – terjedelmi okból – itt mellőzzük, a részleteket az érdeklődők a modell technikai leírásából [17], vagy a modell kézikönyvéből [18] tájékozódhatnak. Az alábbiakban röviden összefoglaljuk a WRF általunk elvégzett implementálásának fontosabb lépéseit.

### Modellbeállítások finomhangolása I.: modell tartomány és rácsfelbontás

A céljainknak megfelelő (néhány kilométeres) horizontális rácsfelbontás elérése érdekében a globális adatok (amelyek felbontása fél fok földrajzi szélesség és hosszúság, nagyjából 50 x 50 km) több lépésben történő leskálázása szükséges. A felbontás növelése úgynevezett beágyazásos módszerrel történik [14][15][16], a beágyazott tartomány felbontása nem lehet sokkal kisebb, mint az öt körbevevő tartományé, elkerülve ezzel a tartomány határán bekövetkező parazita hullámok keletkezését, de a tartományok nem lehetnek túlságosan kis méretűek sem, az időjárási rendszerek "átsöprésének" elkerülésére. A rendelkezésre álló számítási kapacitás és a feladat nagysága kompromisszumaként került kialakításra a modell tartomány (2. ábra). A d01-d03, háromszorosan beágyazott leskálázási modelltartományok felbontása és rácsszámai az 1. táblázatban látható.

tartomány	GFS	d01	d02	d03
<b>rácspontok száma</b>	720 x 180 (globális)	97 x 97	97 x 97	202 x 121
<b>horizontális felbontás</b>	0,5° (~50 km)	22 500 m	7 500 m	2 500 m

1. táblázat A beágyazott modell tartományok rácsszáma és felbontása. Az egyes tartományok földrajzi elhelyezkedését a 2. ábra szemlélteti

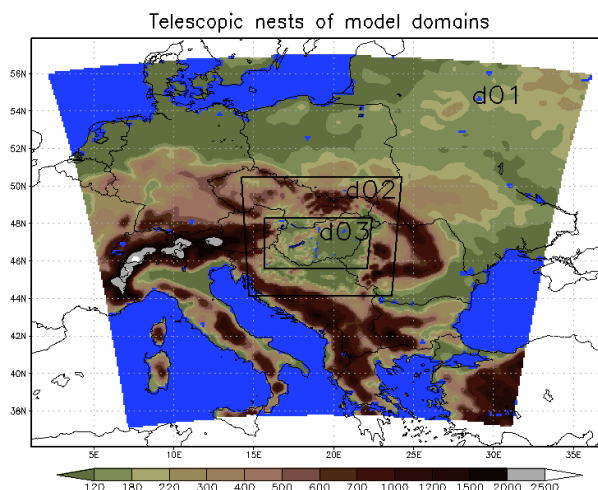
### Vertikális szintek

A modell függőleges koordinátája felszínkövető, hidrosztatikus nyomás alapú  $\sigma$ -koordináta-rendszer, melynek felbontását olyan módon választottuk meg, hogy a sekély folyamatok, mint például

<sup>7</sup> Global Forecasting System, GFS: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/GFS/doc.php>

<sup>8</sup> Weather Research and Forecasting Model, WRF

a ködös időjárási helyzetekre jellemző talajinverzió) detektálására is alkalmas legyen. Ennek érdekében a vertikális szintek számát megnöveltük a modelltér alsó 2000 m-es tartományában, ügyelve azonban arra, hogy ne okozzunk ezzel számítási instabilitást labilis időjárási helyzetben sem. A vertikális felbontás a felszín közelében száz méter körüli, nagyobb magasságban viszont a függőleges rácstávolság néhány száz méter. A szintek száma összesen 38.



2. ábra A mezoskálájú dinamikai modell számítási tartománya. A d01, d02, d03 beágyazott tartományok adatait az 1. táblázat tartalmazza

## Modellbeállítások finomhangolása II.: parametrizációs séma beállítások megválasztása

A WRF jelenlegi verziója a parametrizációs lehetőségek tekintetében igen tág teret enged a felhasználóknak, ezzel is alkalmassá téve modellünket a céljainknak leginkább megfelelő felhasználásra.

A légköri víz fázisátalakulásával kapcsolatos (mikrofizikai) folyamatokat a WRF 16-féle lehetséges beállítással képes figyelembe venni. Miután ezek a folyamatok döntőek lehetnek a felhőképződés és a látást befolyásoló meteorológiai jelenségek során, a lehetséges parametrizációk közül 8 különböző sémát is teszteltünk. A felszín közeli (felszíni rétegen belüli) folyamatok kezelésére 10, a planetáris határreteg (PBL) modellezésére 12 séma áll rendelkezésre. Ezek közül 6 illetve 8 séma lett tesztelve. Ugyan a sugárzási folyamatok és a talajréteg modellezésére használt sémák érzékenységvizsgálatát mellőztük, de még így is 30 különféle modell beállítás kombináció került tesztelésre a több millió elvileg lehetséges beállítás közül.

dátum	leírás
2012. 01 .19.	Téli inverziós helyzet
2012. 01. 22.	Egy jól dokumentált jegesedési eset
2012. 02. 16.	Mélykonvekció, operatív modell által tévesen prognosztizált heves csapadékkal
2012. 05. 12.	Első fajú hidegfront
2012. 07. 29.	Erős konvekcióval kísért hidegfront, váratlanul erős szellőkésekkel
2012. 09. 08.	Markáns szélirány-változást okozó, magasnyomású gerinc áthelyeződés
2012. 09. 20.	Nagy nyomási gradiensű, erős szeles helyzet
2012. 10. 27.	Országos csapadékot adó mediterrán ciklon
2012. 12. 06.	UAV mérés időpontja, front előtti hideg légpárnás, ködös helyzet

Annak érdekében, hogy kiválasszuk azt a beállítást, amely repülésmeteorológiai célból a leginkább alkalmas, 9 különféle időjárási helyzetre futtattuk le a 30 tagból álló modell együttest. A vizsgálatra szánt esetek időpontját úgy igyekeztünk megválasztani, hogy azok a Kárpát-medence időjárására jellemző, repülési szempontból fontos időjárási helyzetek legyenek. Az egyes esetek leírását a 2. táblázat tartalmazza.

## Verifikációs eljárások és eredmények

Jolliffe és Stephenson [19] illetve Wilks [20] részletes leírását adják a számszerű előrejelzések verifikációjára használatos statisztikai módszereknek, melyek alapján mind a folytonos eloszlású, mind a diszkrét paraméterekre vonatkozóan számszerűsíthető a modell előrejelzési képessége. Mezokálajú modellek előrejelzéseinek verifikációja még a globális modellek értékelésénél is összetettebb feladat [21]. A viszonylag nagy tömegű modell kimenő adatot a szakirodalomban ismertett viszonylag egyszerű sémák alkalmazásával hajtottuk végre. A felszíni adatok mellett meteorológiai szondával mért vertikális adatokkal is végeztünk vizsgálatokat a felszín és 7000 m között 14 szinten. A hőmérséklet és a harmatpont mellett a szélesség és a szélirány szempontjából is vizsgáltuk a modell használhatóságát. A skaláris mennyiségek tekintetében a modell előrejelzések és a mérések különbségének számítottuk a négyzetösszegét mind a 9 esetre, a 31 állomás tekintetében, napi 25 alkalommal (óránként):

$$RMSE_l^m = \sqrt{\frac{1}{9 \cdot 31 \cdot 25 - 1} \sum_{k=1}^9 \sum_{j=1}^{31} \sum_{i=1}^{25} (\Delta_{i,j,k,l}^m)^2} \quad (1)$$

ahol

$$(\Delta_{i,j,k,l}^m)^2 = (F_{i,j,k,l}^m - O_{i,j,k,l})^2, \quad (2)$$

és  $F$  és  $O$  a (modell-) előrejelzés, illetve a megfigyelés adott pontban és pillanatban felvett értékei.

Azért, hogy a különböző nagyságrendű meteorológiai változók hibái összevethetővé váljanak, normalizáltuk őket az átlagos hibával mind a három paraméter tekintetében ( $l = 1$ : hőmérséklet, 2: harmatpont és 3: szélesség):

$$nRMSE_l^m = \frac{RMSE_l^m}{\sum_{m=1}^{30} RMSE_l^m} \quad (3)$$

Az  $m$ -edik modellkonfiguráció (ENS ensemble együttes modell előrejelzés  $m$ -edik tagja tekintetében a három skaláris alapmennyiség előrejelzésének együttes hibáját megadó RMS\_score változó a normalizált RMS hibák összege, azaz:

$$RMS\_score^m = \sum_{l=1}^3 nRMSE_l^m \quad (4)$$

Fentiekből is következik, hogy minél kisebb az RMS\_score, annál jobb a modellbeállítás. Egy

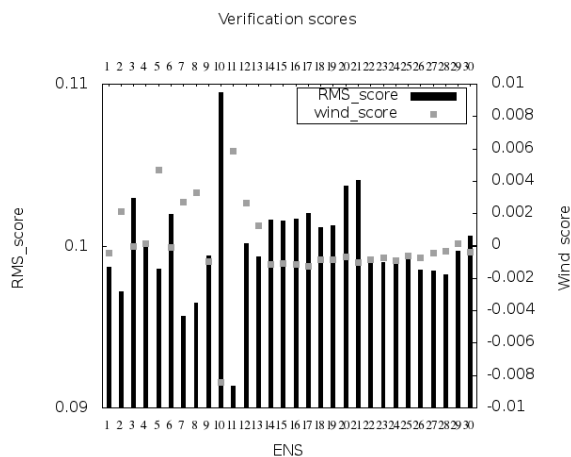


ideális (tökéletes) modell esetében ez az érték nullához tart. A szélirány tekintetében is vizsgáltuk, mennyire tudta a modell azt jól visszaadni. A szélirány vektor változó, így nem kezelhető azonos módon a skaláris paraméterekkel. A szélirány előjelezés, repülésmeteorológiai szempontból akkor a legrosszabb, ha éppen ellenkező irányú, mint várnánk, tehát hátszél van. Az oldalszél egyaránt kedvezőtlen, akár jobb, akár bal oldalról támad. Ezért a szélirány becslés jóságát a mért és előrejelzett szélsébség vektorok által bezárt szög koszinuszával mértük. Természetesen az sem közömbös, hogy az esetleges oldalszél mekkora erősségű. A szélirány hiba koszinusza tehát 1, ha a hiba nulla. Ezt normalizáltuk, majd kivontuk a normált szélsébség hibatabogból. Ezzel egy olyan szél-becslési hiba paramétert („Wind\_score”) kaptunk, amely annál nagyobb értéket ad, mennél jobb a szélbecslésünk.

Az RMS\_score és a Wind\_score együttes elemzésével kiválasztásra került az a paraméter kombináció, mely a legjobban teljesített az általunk vizsgált esetek között. A továbbiakban ezzel a parametizációval dolgoztunk (3. táblázat és 3. ábra)

folymat	séma
<b>PBL</b>	Bretherton and Park JC határréteg séma ([22] – 9)
<b>mikrofizika</b>	WSM Single-Moment 3-class séma ([23] – 3)
<b>kumulusz</b>	Kain-Fritsch ([24] – 1)
<b>felszíni réteg</b>	MM5 séma, amely a Monin-Obukov hasonlósági elméleten alapszik ([25] – 1)

3. táblázat A legjobb verifikációs mutatókat adó paraméter-beállítás értékei. A sémák részletes leírását a [ ] szögletes zárójelben megadott referenciák tartalmazzák. Gömbölyű zárójelben ( ) kerültek megadásra a sémák WRF 3.4-es verziójában alkalmazott technikai hivatkozási számai



3. ábra. Az egyes parametizációs beállításokkal kapott hiba mutatók értékei. A legjobban teljesítő beállítás (#11-es ENS tag) értékeit a 3. táblázat tartalmazza. Megjegyzés: Az RMS\_score optimális értéke alacsony, míg a Wind\_score értéke kedvező esetben minél magasabb

Nem végeztük el a sémák klaszter analízisét, hiszen a dimenziók ily magas száma ezt nem tenné lehetővé. A vizsgált esetek darabszáma viszont aránylag alacsony, ezért azok szignifikancia vizsgálata sem lehetséges. A sémák további alkalmazhatósága viszont mégis megalapozott, hiszen ahogyan arra már korábban is utaltunk, olyan eseteket választottunk ki, melyek repülésmeteorológiai vonatkozású, a Kárpát-medence időjárásában meghatározó, gyakori jelenségek.



## A modellrendszer eredményeinek továbbítása a felhasználók részére

A meteorológiai modell kimenő adatok utófeldolgozási és megjelenítési eljárást igényelnek. A kimenő alapadatokból repülésmeteorológiai mennyiségeket kell származtatni, majd azokat oly módon megjeleníteni, kódolni, hogy a felhasználó (pl.: UAV repülő személyzetek, döntéshozók), aki általában időjárás-modell adatokkal való munkában kevésbé járatos, korlátozott informatikai lehetőségekkel rendelkezik, de tetszőleges, könnyen hozzáférhető informatikai platformon kívánja elérni az adatokat. Magának a számítószervernek a publikus felületére kerülnek ki utófeldolgozást követően az adatok grafikus és numerikusan kódolt formában. A grafikonok két csoportra oszthatók: (i) egy-egy kiválasztott földrajzi helyre (repülőterekre, UAV repülések céljára használható katonai gyakorló lőterekre vagy a modelltartomány bármely tetszőleges pontjára kiválasztott helyre) vonatkozó diagramok (felszíni adatok vagy vertikális profilok időbeli menetét bemutató ábrák) valamint (ii) felszíni vagy magassági szintre vonatkozó térbeli eloszlásokat térképes formában óránként bemutató ábraszorozatok. A diagramok földrajzi helyének kiválasztása történhet repülőtér vagy lőtér ICAO kódja alapján, vagy a földrajzi koordináták kézi bevitelével, illetve a *Google Map* térképen kiválasztott pont grafikus megadásával. A térképi információk időbeli animációját a felhasználó tetszőlegesen kiválasztott mezők egymásra helyezésével és időbeli léptetésével kaphatja meg. A numerikus formában megjelenő adatok a METAR és TAF táviratok formájához hasonló kódolt karakter sorozatokként érhetőek el. Az interneten keresztül hozzáférhető adatokra vonatkozóan, melyek 96 óras időtávra adnak tájékoztatást és naponta két alkalommal frissülnek, a 4. táblázat ad tájékoztatást. Fontos szempont még az adatok megjelenítésénél, hogy azok egy korlátozott internet elérésű helyen is könnyen hozzáférhetőek legyenek, akár mobileszközön, kis sávszélesség mellett, de akár a repülés tervezésénél is kellő mennyiségű információval szolgáljanak egy nagyobb informatikai kapacitás esetén. A repülésmeteorológiai viszonyok várható alakulásáról ad áttekintést, az oldal frissítésének időpontjában várható NATO színek térkép, mely alapértelmezettként jön fel az oldal betöltésekor.

Az aktuális modell produktumok mellett elérhetőek még a modell futtatásának kezdeti időpontjától eltárolt, napi kétszeri archív futtatások adatai az aktuális modell produktumokhoz hasonló formában. Ezek az információk az analógián alapuló következtetések levonását, verifikációt és módszerfejlesztési munkát hivatottak elsősorban elősegíteni. Archivált negyedóránkénti műhold és radar képekkel együtt eltárolásra kerültek rendszerünkben a korábbi szonda és METAR, valamint CQ adatok is. Ezek, a statisztikus modellező munkacsoport produktumaival egyetemben, szintén a teljes előrejelző módszer fejlesztésében kerülnek majd további felhasználásra.



<b>nézet típus</b>	<b>elérhető adatok</b>
<b>térkép animációk</b>	Alacsony, középmagas és magas szintű felhőzet mennyisége, záporos és frontális csapadék intenzitása, szélirány (vektor) és szélsébség (színezés), légrétegződés, termikus konvekció intenzitás, konvekciós és kondenzációs szint magassága. A térképek a felhasználó által kívánt átlátszósággal rétegezhetőek egymásra.
<b>felszíni (SFC) paraméterek</b>	QNH, 10 m-es szélsébség és szélirány, 2 m-es léghőmérséklet és harmatpont, valamint 1500 m-es konvekciós aktivitás (trigger-) kiváltó-hőmérséklete csapadék mennyiség (mm) és intenzitás (mm/h), konvektív csapadék jellemzői, (alacsony, középmagas és magas szintű) felhőmennyiség meteogram formájában.
<b>számszerű (NUM) felszíni adatok</b>	10m szélsébség, szélirány, csapadék intenzitás, felhőmennyiség, hőmérséklet és harmatpont, trigger hőmérséklet és QNH távirati formában.
<b>számszerű (NUM2) repülésmeteorológiai adatok</b>	Repülésmeteorológiai paraméterek (látótávolság és felhőalap magasság) várható értéke óránként számszerűen megadva.
<b>vertikális profilok (TROPO3) 3000 m-ig</b>	Szél, hőmérséklet, légrétegződés és relatív nedvesség várható menete a troposzféra alsó 3 km-es rétegében. A vízszintes tengely az UTC-ben megadott időpont, a függőleges tengely a tengerszint feletti magasság. A mezők tér-időbeli eloszlása színezéssel, illetve a szélirány esetében vektorokkal kerül megadásra.
<b>vertikális profilok (TROPO7) 7000 m-ig</b>	TROPO3 nézethez hasonlóan, a nagyobb magasságú repülések céljaira rosszabb átláthatósággal, ám nagyobb, 7 km tengerszint feletti magasságig jeleníti meg a mezők várható magassági és időbeli menetét.
<b>repülésmeteorológiai (UAV) adatok</b>	SFC nézethez hasonló meteogramok a felszíni változokról, ám a WRF "gyári" beépített sémáival származtatott széllokés, felhőalap és látótávolság becslésekkel, a felhő mennyiség és a csapadék megjelenítését elhagyva.
<b>termikus (TERMAL) paraméterek</b>	A termikus konvekció karakterisztikáinak várható időbeli menetét meteogramszerű formában megadó diagramok: magassági hőmérsékleti advekció, konvekciós és kondenzációs szint magassága, Termikus Index profil fejlődése és a számított vertikális sebességek menete.

4. táblázat A modell adatokból készülő, a felhasználók számára a világhálón keresztül elérhető, modell adatokból származtatott UAV repülésmeteorológiai adatok összefoglaló leírása

## További módszertani fejlesztések

Tervezzük, hogy a WRF dinamikai modell bemenő adatai között a statikus (földrajzi) adatbázis helyi sajátosságokat az eredeti globális adatbázisnál nagyobb részletességgel tartalmazó talajtani (TAKI) és felszínhasználati (CORINE adatbázis) alkalmazásával cseréljük le. A hazai sajátosságoknak még inkább megfelelő talaj hidraulikai és felszíni parametrizációs együtthatók alkalmazásával kívánjuk még inkább a Kárpát medencére optimalizálni az előrejelző rendszert meghajtó dinamikai modellünket. A modell fejlesztéseket a korábbinál hosszabb- legalább egy éves időszakon kívánjuk verifikálni, szignifikancia vizsgálat segítségével.

A modellfejlesztés végeztével a repülésmeteorológiai paraméterek származtatására alkalmazott hazai és nemzetközi módszerek közül igyekszünk kiválasztani a leginkább megfelelőt, melyet a rendszerbe integrálva további verifikáció követ. A fejlesztés célja egy homogén, 2012. év elejétől napjainkig tartó, folyamatos, és dinamikusan bővülő archív adatbázis létrehozása a napi produktumok mellett, melynek segítségével a UAV repülések céljára fejlesztett előrejelző rendszer felhasználói felülete is tovább bővül majd. Emellett a rendszernek tervezzük egy haladó (expert)



felületét is beindítani, melynek a repülésmeteorológiában és numerikus produktumok használatában járatosabb kutatók, fejlesztők lehetnek későbbi hasznélvezői.

### **A modellszámítások technikai részletei**

A modell integrálások egy DELL PowerEdge T610 11G típusú számító szerveren kerülnek integrálásra (16 GRAM, 24 vcore, *hiperthreading*: ON). A jelenlegi modell beállítások mellett egy 96 órás futtatás számítási idő szükséglete (WRF v3.4.rel.: 6. Apr. 2012.) a telepítéskor elérhető legfrissebb Linux operációs rendszeren (Debian 6.0.5. *Squeeze* amd64) 4.4.5-8 verziószámú *gfortran* fordítóval, megosztott memória használatával, párhuzamos futtatásokra optimalizáltan lefordítva: mintegy 120 perc.

## **MODELL EREDMÉNYEINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA UAV MÉRÉSI EREDMÉNYEKKEL**

Több sikeres előkészítő repülést követően két alkalommal hajtottunk végre összehasonlító (kalibráló) repüléseket, melyek során elsősorban a repülőképekre szerelt érzékelőkkel mért hőmérsékleti és nedvességi profilok menetét vetettük össze a modell által szolgáltatott adatokkal. A mérések során a teljes mértékben hazai fejlesztésben készült BXAP15 UAV rendszert (4. ábra) alkalmaztuk [26].

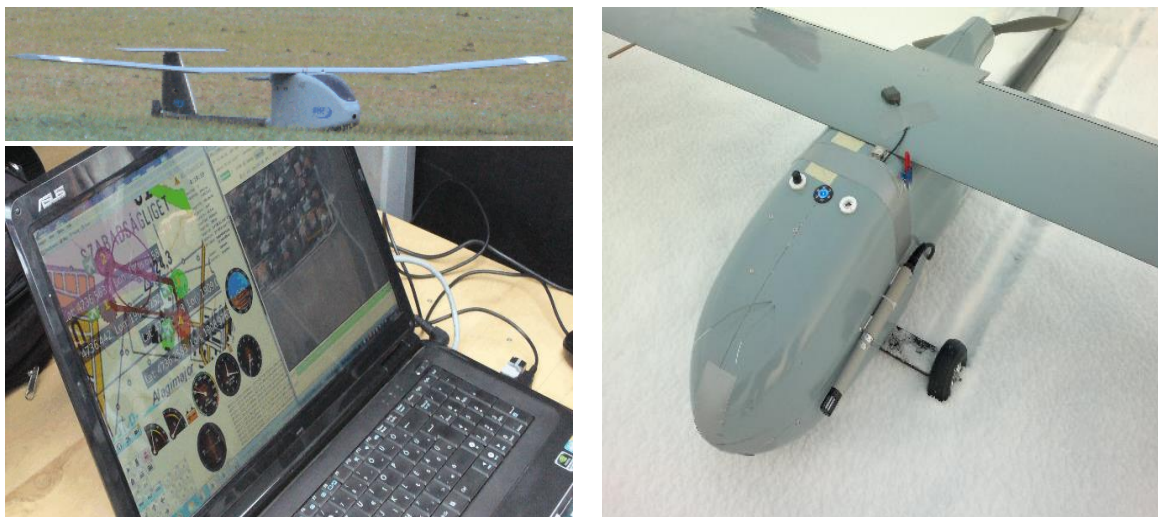
### **A pilóta nélküli légi rendszer leírása – földi egység**

A rendszer egy légi és egy földi egységből áll. Ez utóbbi magában foglalja a kézi vezérléshez szükséges távirányító rendszert, mely egy nagy nyereségű, GPS vezérelt, forgatható antenna segítségével kommunikál a légi egységgel, kétirányú, adaptív mikrohullámú adatkapcsolaton keresztül. A kezelő egység felhasználóbarát grafikus felületén repülési adatok (levegőhöz viszonyított és felszín feletti sebességek, barometrikus és GPS magasság, akkumulátor kapacitás, navigációs adatok, műhorizont) valamint élő, nagy felbontású, légi videókép követhető figyelemmel, a repülőgép pillanatnyi telemetrikus adatai mellett. A repülés közben is módosítható repülési terv átadása is e kezelőfelületen keresztül történik. A repülési terv nem más, mint a légijármű vezérlést végző robotpilóta utasításait tartalmazó leírás, akár 500 darab útvonal pont földrajzi és magassági koordinátáját, valamint a hozzá vezető száron kívánt célsebességet tartalmazó adatbázis. A repülőgép a célpont megadott sugarú körének érintését követően felveszi a következő pontra vezető irányt és automatikusan kompenzálja a közegáramlás eltérítő hatását. A robot üzemmód során bármikor lehetőség van kézi beavatkozásra a földi kezelőegységen keresztül. A földi komputer ezen kívül tárolja még a légi egységről sugárzott adatokat is.

### **Légi egység**

A légijármű kialakítása a legkorszerűbb kompozit technológia (üveg- és szénszál valamint kevlar erősítésű gyanta) és számítógépes tervezés (3D CAD) alkalmazásával történt. A fedélzeti elektronika összeállítása során is a robusztus kialakítás, megbízhatóság volt a fő szempont. A jármű egyszerűen szerelhető és könnyen szállítható. A repülés során keletkező adatok eltárol-

lásra kerülnek a fedélzeti egységben is (fekete doboz funkció). A jármű levegőbe juttatása történhet katapult, vagy csörlő indítással, illetve futóműről, saját erővel való felszállással. A leszállás kerékre, hasra, vagy elfogó hálóba történhet. Rendkívüli esetben (pl. kommunikáció megszakadása, vagy vészlandolás) a rendszer alkalmas ejtőernyővel is földet érni. A repülő eszköz további műszaki jellemzőit az 5. táblázat tartalmazza.



4. ábra A meteorológiai mérések céljára alkalmazott pilóta nélküli rendszer . A légi jármű (bal felső panel) és a földi kezelő felület (bal alsó panel) képe, valamint a meteorológiai szenzor rögzítése (jobb oldali panel)

<b>repülési sebesség</b>	60-100 km/h között
<b>szolgálati csúcsmagasság</b>	mérésekkel igazoltan több, mint 3500 m AMSL
<b>fesztávolság</b>	3,7 m
<b>hossz</b>	1,7 m
<b>legnagyobb felszállósúly</b>	14 kg
<b>legnagyobb repülési idő</b>	akár 90 perc
<b>meghajtás</b>	1200 W (névleges) teljesítményű 3-fázisú elektromos
<b>hasznos terhelés</b>	körülbelül 4 kg

5. táblázat. A repülőgép fontosabb műszaki jellemzői

## Meteorológiai szenzorrendszer fejlesztés

A repülőgéppel – alacsony felületi terhelésének és nagy flexibilitásának köszönhetően – lehetőség nyílik a kis skálájú légköri folyamatok (például turbulencia) pontos, *in-situ* detektálására. Ennek okán, a meteorológiai előrejelző rendszer fejlesztésével párhuzamosan – a felszíni mikrometeorológiai turbulencia mérések és a nemzetközi repülőgépes megfigyelések tapasztalatai alapján – egy nagy érzékenységgű meteorológiai szenzorrendszer kialakítása zajlik, mely az alap légköri paraméterek kis gyakoriságú („lassú”) megfigyelése mellett magában foglalja a hőmérséklet és nyomási paraméterek nagy gyakoriságú, tervezett mérését is. A repülőgépen rögzített szenzorok mellett a repülések során a földi egységhez kapcsolódó szenzorok is folyamatosan mérni és rögzíteni fogják a legfontosabb meteorológiai változókat. A lassú adatok rögzítési gyakorisága már jelenleg is 1 Hz, míg a gyors adatok tervezett frekvenciája 10 Hz lesz.





A lassú adatokat a földi egységnek is továbbítjuk majd rádióhullámon, ahol a földön mért paraméterek mellett azok is rögzítésre kerülnek majd.

#### **A fedélzeten rögzített gyors (10 Hz-es) adatok:**

- 3D gyorsulásmérő (RAZOR IMU szenzor);
- giroszkóp (2 tengely körüli szögsebesség, RAZOR IMU szenzor);
- 3D mágneses helyzet adatok (RAZOR IMU);
- gyors válaszidejű hőmérséklet (platina szálas, vagy termo-elemes);
- 5 irányból érkező dinamikus (5 Hp), valamint statikus nyomás adatok (4 ferde furat segítségével mérve a csúszási- és állásszög detektálására, részletes leírását lásd a következő fejezetben).

#### **Fedélzeten rögzített lassú (1 Hz-es) adatok:**

- hőmérséklet és harmatpont (Vaisala HMP50, SHT75 digitális T és Rh szenzor);
- légnyomás (SCP1000);
- „Prandtl”-csővel mért, levegőhöz viszonyított sebesség (statikus és dinamikus nyomás, Airspeed V3 + „Pitot”-cső);
- globálsugárzás;
- mágneses irányszög;
- GPS telemetrikus adatok (magasság, földrajzi koordináták, és ezekből származtatott föld feletti sebesség és irányszög).

#### **Földi állomáson tervezett mérések adatai (1 Hz-es tervezett rögzítési gyakorisággal):**

- hőmérséklet és nedvesség (Vaisala HMP50, SHT75 digitális T és Rh szenzor);
- légnyomás (SCP1000);
- szélirány és sebesség (ultra-szónikus anemométer);
- globálsugárzás;
- GPS telemetria referenciamérések differenciál GPS adatok származtatására, mely a pozíció milliméter pontosságú megadását, valamint gyorsulási és helyzet adatokkal együtt a turbulencia igen nagy érzékenységu detektálását teszi lehetővé.

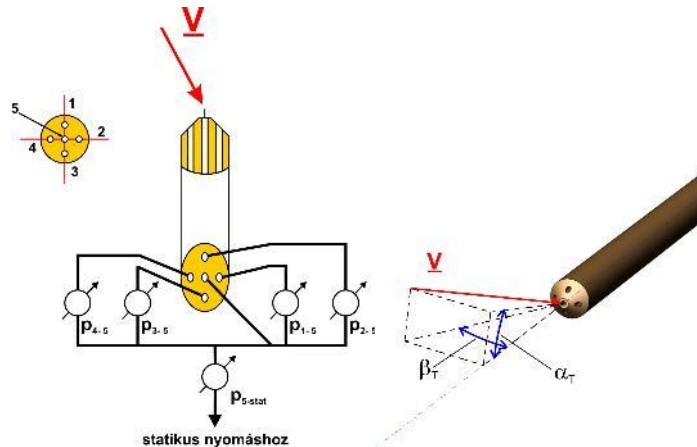
A turbulencia detektálásához a repülési adatok és a repülőgép levegőhöz viszonyított helyzetének (állásszög és csúszási szög) nagy pontosságú ismerete szükséges. A ferde megfűvások mérésére a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Kármán Tódor Szélcsonna Laboratóriumában fejlesztett és kalibrált speciális szonda részletes ismertetését az alábbiakban foglaljuk össze.

#### **Többlükú szonda alkalmazása a szélesebbesség mérésére**

Az öt- illetve hétlyükú szondák alkalmasak az áramló közeg pillanatnyi sebességvektorának meghatározására széles, akár  $\pm 70$  fokos szögtartományban, valamint a néhány m/s-tól akár szupersonikus sebességekig terjedő sebesség-tartományban. Tropea és szerzőtársai [27] részletesen ismertetik a mérési módszert.

## A mérés elve

A Prandtl-csőhöz hasonló elvet követve, a szonda egy kúpos homlokfelületen elhelyezett 5 furat irányában ható nyomás és a statikus nyomás különbségét méri (5. ábra). A nyomáskülönbségek-ből kalibrációs összefüggések segítségével határozható meg a 3 sebességkomponens, vagy – más koordináta-rendszert alkalmazva – a sebesség nagysága, az  $\alpha_T$  állásszög és  $\beta_T$  csúszási szög.

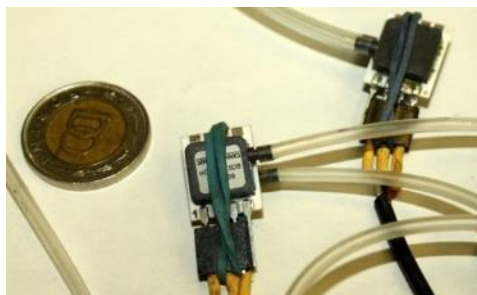


5. ábra Ötlyukú szonda elvi felépítése és szögdefiníciói

A szonda előnye robusztussága (ellentétben például a hődrótos mérés technikával), valamint, hogy nem szükséges részecskéket bocsátani az áramlási térbe a láthatatlan közegáramlás láthatóvá tételéhez, mint a lézeroptikai sebességmérő módszerek esetében. Ennek köszönhetően széles alkalmazásuk számos területen lehetséges: gázturbinák, turbógépek, lapátkaszádok laboratóriumi vizsgálatánál, valós léptékű jármű-aerodinamikai szélcsatorna vizsgálatokban, szél-turbinákon, repülőgépeken, rakétákon. A mérési módszer hátránya a szonda méretéből (3-5 mm átmérő) adódó véges térbeli felbontás, a nyomásvezetékek hosszából és a nyomásmérő szenzorok válaszüvegéből adódó nem túl nagy időbeli felbontás (max. néhány 100 Hz), és a vizsgált áramlás kismértékű megzavarása. Ez az eszköz alkalmazását szélcsatorna modellkísérletekben ugyan behatárolja, de meteorológiai mérésekre a módszer kiválóan alkalmas.

### Az alkalmazott szonda jellemzői

A szonda 4 mm átmérőjű, vörösréz csövekből készült forrasztással. A nyomásfuratok belső átmérője 0,5 mm, a szonda félkúpszöge  $45^\circ$ , amelyet esztergálással alakítottunk ki. A nyomásfuratok mintegy 300 mm hosszú, 0,8 mm belső átmérőjű teflon csöveken csatlakoznak a Sensortech HCLA típusú, hőmérséklet kompenzált nyomá szenzorokhoz (6. ábra). A szenzorok adatait az 6. táblázat tartalmazza. A szenzorok I2C buszon csatlakoznak a központi adatgyűjtő egységhez.



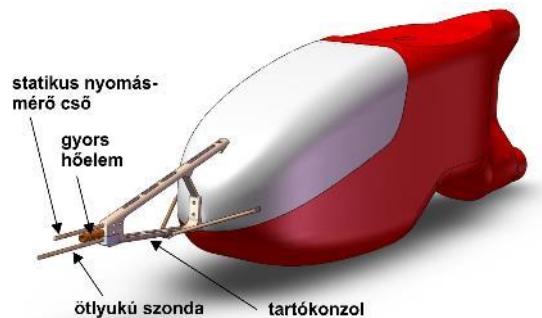
6. ábra HCLA nyomásmérő szenzorok

<b>méréshatár</b>	0–1250 Pa ( $p_{5\text{-stat}}$ ) $\pm 250$ Pa (többi nyomás)
<b>válaszidő</b>	0,5 ms
<b>linearitási- hiszterézishiba</b>	és 0,05 %FS (tipikus) 0,25 %FS (max)
<b>hőmérséklet hiba</b>	< 0,02 %FS/°C
<b>D/A átalakítás</b>	12 bit

6. táblázat Az alkalmazott szenzorok jellemzői

Maga a szonda a robotrepülőgép orráról 270 mm-re előrenyúló konzolon kerül elhelyezésre. Ezzel elkerülhető a repülőgép törzsének áramlasmódosító hatásából származó mérési hiba. Ez utóbbi pontos megismerésére 3 dimenziós Ansys FLUENT CFD szimuláció készül.

Az alumíniumból mart szondatartó konzolon az ötlyukú szonda mellett helyezkedik majd el a gyors hőmérséklet érzékelő, és egy statikus nyomásmérő cső is, valamint e konzol segítségével további szondák zavartalan áramlásban való rögzítésére is lehetőség adódik (7. ábra).



7. ábra A szondák rögzítése a robotrepülőgépen

### Kalibráció

A szonda kalibrációja során ismert szélességvektor mellett rögzítjük az 5 szenzor által mért nyomást. Számos kalibrációs módszer létezik, ezekből mi a van der Kronenberg és szerzőtársai [28] által javasolt módszert követtük.

A kalibrációt a BME Áramlástan Tanszék Kármán Tódor Szélcatorna Laboratóriumában végeztük, egy 0,35 x 0,35 m keresztmetszetű, nyomóüzemű, nyitott mérőterű szélcatornában. A szonda szögállítását egy 2-léptetőmotoros mechanizmus segítségével valósítjuk meg, melyet számítógéppel vezérlünk. A mérés NI LabVIEW célprogrammal, automatizáltan történik, 24 m/s háttéráramlási sebesség mellett. A referencia sebességet Prandtl-cső segítségével mérjük.

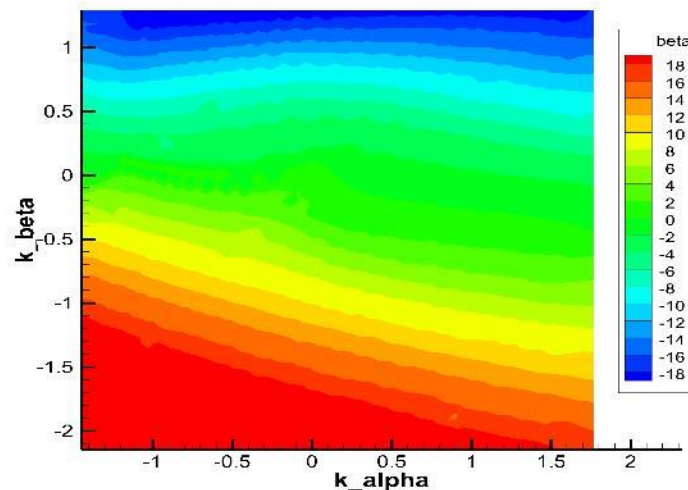
Az  $\alpha_T$  állásszög és  $\beta_T$  csúszási szög  $\pm 18^\circ$ -os tartományában, kb.  $1,5^\circ$ -os lépésközzel kb. 600 pontban veszünk fel kalibrációs pontokat. Ennél nagyobb (csúszási és állás-) szögből nem várható megfúvás normál helyzetben, hiszen a szonda repülőgépen kerül elhelyezésre.

A mért nyomásokból meghatározhatók a  $k_\alpha$  és  $k_\beta$  tényezők:

$$k_\alpha = \frac{P_{1-5} - P_{3-5}}{\Delta p} \quad \text{illetve} \quad k_\beta = \frac{P_{2-5} - P_{4-5}}{\Delta p},$$

ahol  $\overline{\Delta p}$  a 4 szélső furaton mért nyomás korrigált átlaga, a van der Kronenberg és szerzőtársai (2008) [28] által definiált összefüggés alapján.

A tényezők függvényében ábrázolható az  $\alpha_T$  és  $\beta_T$  szög, valamint a sebesség. Az így kapott pontokra a szoftverben kiválasztható fokszerű felület illeszthető. Illusztrációképpen a  $\beta_T$ -re mutatjuk be  $k_\alpha$  és  $k_\beta$  függvényében a 8. ábrán.



8. ábra A  $\beta_T$  függése a  $k_\alpha$  és  $k_\beta$  tényezőktől (interpolált felület)

A mérés/repülés során a  $k_\alpha$  és  $k_\beta$  tényezőkből, valamint az illesztett felületek kalibrációs konstansából képezhető a sebességvektor hossz tengellyel bezárt szöge.

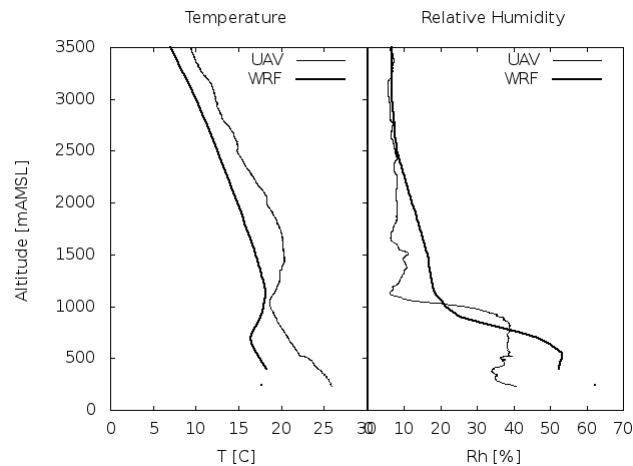
A repülőgépet körülvevő közeg mozgásának sebességvektora ezek után a szondához képest mért sebességvektor, és a robotrepülőgép Földhöz-rögzített koordináta-rendszerben ismert irányszöge, állásszöge és dőlésszöge, valamint sebessége és gyorsulásai figyelembevételével számítható. Ez utóbbi adatok a RAZOR IMU giro-szenzorból és a GPS vevőből származnak.

A szonda kalibrációja jelenleg is tart, tervezünk ismételt kalibrációs méréseket, több különböző sebességen, a mérési bizonytalanság meghatározására. A tartókonzol gyártása szintén folyamatban van.

### Az UAV meteorológiai mérések eredményei

A prototípus, meteorológiai mérő és adatrögzítő rendszer illesztését három repülés előzte meg a projekt keretein belül. Ezek a légszavár és a meghajtás finomhangolását célozták a projekt számára optimális repülési körülmények (súlyponthelyzet, felületi terhelés, repülési sebesség, magasság és állásszög tartomány) között. Ezt követte két felszállás, melyek során egy alapvető meteorológiai szenzorral felszerelt (Vaisala típusú "lassú" állomási hőmérséklet és nedvességmérő) konfigurációban hajtottunk végre repüléseket. Az első repülés a jármű csúcsmagasságának megállapítását célozta, mely igen jó eredményt hozott: a légtér szabta felső korlát magasságában (3500 m AMSL) a repülőgép önerőből még 2 m/s emelkedésre volt képes. A repülés során mért hőmérséklet és nedvességi adatokat az adott helyre és időpontra a modell által prognosztizált értékekkel hasonlítottuk össze. Amint az a 9. ábrán is látható, a modell jól adta vissza a mért nedvességi viszonyok menetét, bár a határretegben (alsó 1000 m) kissé magasabb nedvességet prognosztizált a mértnél. Szembeötlő azonban a hőmérsékleti profil menetek közötti különbség: az inverziós réteg alapját a modell 600 m környékére adta, a mérés azonban 1000

m fölött mutat emelkedő hőmérsékleti értékeket. Ez azért is különös, mivel a nedvesség mennyiségében a kiszáradás egybeesik a mért és a modellezett inverziós szint magasságával, ám a mérések rendhagyó módon az inverziós szint alatti kiszáradást mutattak (9. ábra). Ez a viselkedés nem a modell jóságának hibájára, hanem sokkal inkább arra utal, hogy a hőmérséklet mérésében feltételezhetően nagyobb késleltetést tapasztalunk, mint a mért nedvesség esetében. Ezt a sejtést a későbbi mérés is alátámasztotta.



9. ábra A 2012 október 19-i magassági repülés során mért (vékony vonal) és WRF modell által számított (vastag vonal) hőmérsékleti és nedvességi profilok. Látható, hogy a mérések alapján a kiszáradás (rendhagyó módon) nem a mért inverziós réteg aljánál (kb. 1100 m AMSL) kezdődik, hanem jóval alacsonyabb (600 m AMSL körüli) szinten. Későbbi mérés igazolta, hogy az inverziós szint valójában alacsonyabban, a nedvességi profil által mutatott magasságban helyezkedett el (ahogyan azt a meteorológiai előrejelző modell is helyesen adta), a hőmérsékleti profil magassági torzítása feltételezhetően a hőmérő szonda átlagolásból adódó késleltetéséből adódott

Sejtsünk igazolására egy olyan mérési programot terveztünk meg, amely különböző szinteken különböző idejű konstans magasságú repülésekkel, egy inverziós helyzetben került végrehajtásra. A kalibráló repülésekre 2012. december 06-án (Szent Miklós napon) a délelőtti és a napnyugta előtti órákban került sor a Budapesttől északra található LHDK Dunakeszi sportrepülőtéren (N47.61, E019.145, 126 m AMSL), mely földrajzi hely egyébként LHBP Liszt Ferenc (Ferihegy) nemzetközi repülőtértől (ahol nem melleleg műszeresen rendszeresen mért felhőalag magassági és látótávolsági adatok állnak rendelkezésre) mindössze 21 km-re észak-északnyugatra található.

## A Mikulás-napi repülés tapasztalatai

### *Időjárási helyzet*

Az időjárási kilátások számos nehezítő körülményt ígértek erre a napra, ám a napok óta tartó, fagyos és ködös időjárást okozó hideg légréteg, a közeledő, és napnyugtára a Duna vonalára prognosztizált hidegfront hatására gyengülni látszott. A front előtt az ország jelentős területén egész nap megmaradt a köd, sokfelől jelentettek szemcsés hó hullást, a hőmérséklet a hajnali -10 fok körüli értékekről napközben sem emelkedett sehol fagypont fölé. Az erős talajinverzióban, a front előtt még délies, délkeleti légmozgással foltokban változó nedvességtartalmú levegő elemek érték el a repülés helyszínét, advekción ködben gyorsan váltakozó látást eredményezve. A Tisza és Tápió-völgyében keletkezett ködök hirtelen látásromlást okoztak például





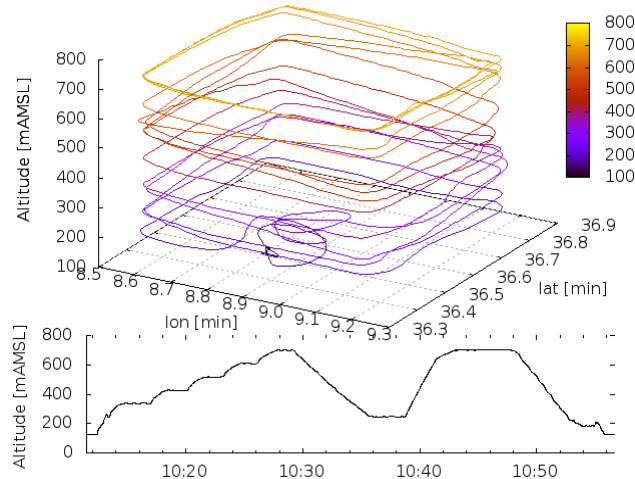
Ferihegyen is, ahol mindkét felszállás időpontjában sűrű köd volt, 500 m körüli látótávolsággal. A modell előrejelzés Dunakeszi térségére a hőmérséklet és a harmatpont menetének szétválását, a rossz látás megszűnését, majd a front érkezésével, a napnyugta utáni órában a szél megerősödését és csapadéktesztéveség kezdetét adta. A front felhőzete a második repülés végén már valóban beárnyékolta a repülőgépet, ezért a napsugárzás hatására korábban jelentkező hőmérsékleti ingadozások sem voltak már tapasztalhatóak a második repülés vége felé. A leszállást követő órában pedig – menetrend szerű módon követve az előrejelzést – széllekedésekkel és közepes intenzitású havazással megérkezett a front is.

### *Repülési terv*

A repülési útvonal megtervezésekor – a hőmérsékletmérés válaszidejének megállapítására irányuló szempontok mellett – a szél meghatározását tartottuk szem előtt. A repülési útvonal nem vezethet lakott terület fölött (mely a sűrűn beépített agglomerációs környezetben igen erős feltétel) és nem zavarhatja a polgári repülőter esetleges általános légi forgalmát sem. Fentiek figyelembevételével a vertikális és horizontális szerkezetre az alábbi előírásokat tettük.

A repülés során egy-egy konstans szinten a repülőgép egy-egy kört tesz, mind emelkedő, mind süllyedő repülési szakaszok között, majd ezt követően több kört is megtesz a legalsó és a legfelső magassági szinten. Az eltérő hőmérsékletű szinten eltöltött, különböző időtartamú repülésekből meghatározható a szenzorok válaszideje. A rendelkezésre álló légtér sajátosságai legfeljebb 700 m AMSL repülési magasságot tettek lehetővé, a tereptárgyak miatt azonban 200 m AMS alatti magasságban nem volt lehetséges repülni. Ezért a száz méteres különbséggel repült magassági szinteken egy-egy kört megtéve mind emelkedő, mind süllyedő repülés során történtek mérések. Ezt követően a legalsó és legfelső szinten 2–2 kört mért a gép (10. ábra).

A repülési pálya egy szabályos, egyenként 1000 m oldalhosszúságú négyzet oldalai mentén került kijelölésre. Az oldalak úgy lettek meghatározva, hogy az egyes szárazon a repülési pálya a fő égtájak irányába essen. Ilyen módon a szélesebb eltérítő hatása az egyes égtájak irányába számítható a föld feletti (GS) és levegőhöz viszonyított sebesség „Pitot”- vagy „Prandtl”-cső nyomási adatai alapján működő műszer által meghatározott sebességek (IAS) különbségéből. Az azonos magasságú repülések a négyzet északkeleti és délkeleti csúcspontja között történtek, míg a magasságváltoztatás a negyedik száron, a keleti oldalon történt (óramutató járásával ellentétes körülrepülési irány (10. ábra felső panel).



10. ábra. A repülési pálya térbeli nyomvonala magasság szerint színezve (felső panel) és a repülési magasság időbeli menete (alsó panel). Az áttekinthetőség érdekében a földrajzi szélességi és hosszúsági koordinátáknak csupán a fokperc értékei kerültek feltüntetésre a felső panel vízszintes koordináta tengelyein. Az alsó panel vízszintes tengelyén az idő UTC-ben került megadásra

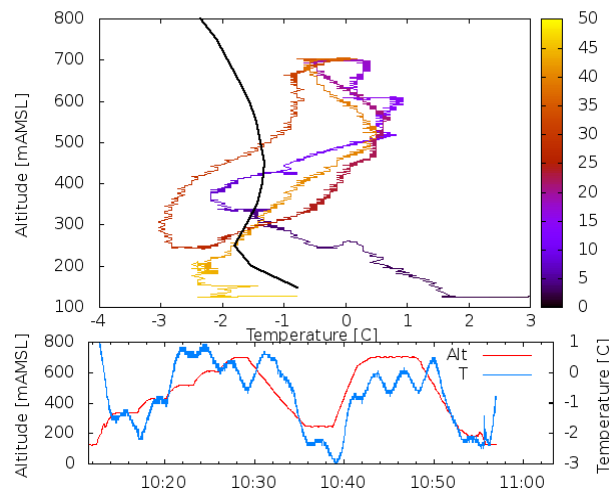
### Repülési adatok

A repülési és meteorológiai adatok három különböző forrásból és gyakorisággal kerültek rögzítésre a fedélzeti adatgyűjtőkben. A repülés során a barometrikus alapon mért, a műszer bekapcsolásának szintjétől, ICAO standard légkör szerint kalibrált, nyomáskülönbségből számított relatív (AGL) magasság és a „Pitot”-csővel mért (IAS) sebesség 10 Hz-es gyakorisággal került rögzítésre. A telemetria (földrajzi koordináták és GPS alapú, WGS 1984-es gömb felszínétől vett abszolút magasság 2 Hz gyakorisággal, míg a meteorológiai adatok (hőmérséklet és nedvességi vagy harmatpont értékek) másodperces időközönbséggel kerültek tárolásra. A különböző gyakorisággal rögzített adatok szinkronizálását tovább nehezítette az, hogy a barometrikus adatok időbélyege a műszer bekapcsolásától milliszekundumban számított relatív idő, míg a telemetrikus adatoké a műholdas kommunikáció felállításától áll rendelkezésre UTC időben. Sajnos a meteorológiai adatok időbélyege csak a földön volt megbízható, repülés közben a meteorológiai szenzorrendszer GPS adatait megzavarta a repülőgép elektronikus rendszere, melynek okán a meteorológiai adatok időbélyegei a repülés alatt nem voltak megbízhatóak. A hőmérséklet és nedvesség mérésére használt Vaisala HMP50, SHT75 szenzor a repülőgép oldalán került felerősítésre (4. ábra jobb oldali panel). Az adatok a repülőgép belsejében elhelyezett adatgyűjtőben kerültek tárolásra. Az adatok szinkronizálása után vizsgáltuk a hőmérsékleti és nedvességi mérések valamint a sebességi adatok alapján becsült szélesebbégek magasság, idő és repülési irányszög szerinti meneteit. Eredményeinket a WRF modell által szolgáltatott előrejelzésekkel hasonlítottuk össze. Az eredmények alapján kapott következtetések az alábbiak.

### Előzetes eredmények

A hőmérséklet a földfelszín fölött körülbelül 300 m magasságon volt a minimális (–3 fok körül), ettől a szinttől mind felfelé (inverzió), mind lefelé távolodva magasabb hőmérséklet mérhető. Bár a modell ezt a sajátosságát visszaadta, értékében kissé alulbecsülte a hőmérsékleti gradienseket. A hőmérsékleti adatok bizonyos késéssel követték a gyorsan emelkedő repülőgépet körülvevő környezet változó hőmérsékletét. Az átlagolásból adódóan hiszterézis figyelhető meg

a vertikális profil tekintetében (11. ábra felső panel). Emellett a változó magasságon mért változó hőmérséklet időben exponenciálisan igazodik a magassággal változó környezeti kényszerhez (11. ábra alsó panel). Az időbeli meneten ezenkívül megfigyelhető egy körülbelül egy fokos periodikus ingadozás is, mely tisztán a repülési irány függvénye, és mely déli irányon emelkedő, északi irányon csökkenő, kelet-nyugati irányokon stagnáló hibatagot ad a méréshez. Ez utóbbi, a napsugárzás hatására bekövetkező hiba a második repülés végén már nem jelentkezett, ami nem is meglepő, hiszen a közeledő front felhőzete ekkor már leárnyékolta a Dunakeszi repülőtér térségét.



11. ábra A 2012. december 06. "Mikulás-napi" első repülés során mért hőmérséklet vertikális menete és a WRF modell által előrejelzett értékei (felső panel), valamint a magasság (piros görbe) és a hőmérséklet (kék görbe) időbeli menete (alsó panel). A felső panelen a mért hőmérsékleti görbe színezése a felszállástól számított idő percben (skála az ábra jobb oldalán)

A sugárzás hatására fellépő hibák a szenzor árnyékolásával, a hiszterézis hiba megfelelően gyors szenzor és megfelelően megválasztott átlagolási időtartam alkalmazásával kerülhetőek el a későbbiekben.

## ÖSSZEFOGLALÁS ÉS TOVÁBBI TERVEK

A pilóta nélküli repülések meteorológiai biztosítására dinamikus és statisztikus modellek segítségével készült előrejelzések egyesítésének előkészítéseként, dinamikai modell-fejlesztés történt. A modell fejlesztése magában foglalta a feladat céljaira optimalizált modell tartomány és vertikális/horizontális diszkretizáció kialakítását. A modell parametrizációs beállításait egy 30 tagú modell ensemble együttes 9 tipikus időjárási helyzeten, statisztikai módszerekkel végrehajtott verifikációjával vizsgáltuk. Az utófeldolgozás szintén a repülésmeteorológiai felhasználás céljai szerint lett optimalizálva. A modell kimenő adatainak utófeldolgozását követően, webes felületen keresztül, az adatok felhasználók részére történő továbbítása folyamatosan megvalósul. A kialakított dinamikai modellrendszer egyesítése a statisztikus modell eredményeinek felhasználásával, a származtatott paraméterek előállítása és tesztelése a közeljövő feladata lesz. A meteorológiai rendszer használhatóságát meteorológiai mérések céljára végrehajtott UAV repülésekkel teszteljük. A repülések célja – a módszerfejlesztést szolgáló tapasztalatok visszacsatolása mellett – a modell verifikációja *in-situ* mérésekkel. Az első repülések tapasztalatainak



felhasználásával, a szenzor rendszer turbulencia detektálására alkalmassá tevő fejlesztését követően, 2013. évben tervezzük több tipikus időjárási helyzetben is mérő repülések végrehajtását modell verifikáció céljából.

## Köszönetnyilvánítás

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2-11-0001 "Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások" pályázat "Adatintegráció" alprogram "A pilóta nélküli repülő eszközök komplex meteorológiai támogatásának kidolgozása" Kiemelt Kutatási Terület (KKT) keretében.

A mérések során alkalmazott pilóta nélküli repülő eszköz fejlesztése a Tech\_08-D5/2-2008-0051 projekt Kutatási és Technológiai Innovációs Alap támogatásával valósult meg.

Az ötlyukú nyomásszenzor fejlesztési munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" valamint az "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" című projektek szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projektek megvalósítását a TÁMOP-4.2.1/B-09/11/KMR-2010-0002 és a TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0009 programja támogatja.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] GLADE, D. Lt Col, USAF, 2000: Unmanned Aerial Vehicles: Implications for Military Operations. Occasional Paper No. 16. Center for Strategy and Technology Air War College. Air University Maxwell Air Force Base.\
- [2] SPERRY, E.A., 1931: Wireless-Controlled Aerial Torpedo. US Patent Nr. 1.792.937 (filled December 18., 1917).
- [3] KÁRMÁN Tódor és LEE Edson: Örvények és repülők (Kármán Tódor élete és munkássága). Budapest, Akadémiai Kiadó, 1994.
- [4] MAYER, S., SANDVIK, A., JONASSEN, M.O., REUDER, J., 2012: Atmospheric profiling with UAS SUMO: a new perspective for the evaluation of fine-scale atmospheric models. Met. and Atm. Physics, Volume 116, Issue 1-2, 15-26.
- [5] HOUSTON, A.L., ARGROW, B., ELSTON, J., LAHOWETZ, J., FREW, E.W. and KENNEDY, P. C., 2012: "The Collaborative Colorado-Nebraska Unmanned Aircraft System Experiment," Bulletin of the American Meteorological Society, 93, No. 1, pp. 39-54.
- [6] STARK, B., COOPMANS, C., CHEN, YQ., 2013: Concept of Operations for Personal Remote Sensing Unmanned Aerial Systems. Journal of Intelligent&Robotic Systems, Vol. 69., Issue 1-4, 5-20.
- [7] SÁNDOR, V., WANTUCH, F., 2005: Repülésmeteorológia, tankönyv pilóták és leendő pilóták számára, 2. javított kiadás. Budapest, OMSZ (ICAO), 2007: Meteorological Service for internationale air navigation, chapter 4-6.
- [8] BOTTYÁN, Z., 2011: Estimation of structural icing intensity and geometry of aircrafts during different conditions – a fixed-wing approach. Időjárás, Vol. 115., No. 4., 275-288.
- [9] SZILDER, K., MCILWAIN, S., 2011: "In-Flight Icing of UAVs - The Influence of Reynolds Number on the Ice Accretion Process", SAE Technical Paper 2011-01-2572, doi:10.4271/2011-01-2572.
- [10] CATALANO, P., TOGNACCINI, R., 2011: RANS analysis of the low-Reynolds number flow around the SD7003 airfoil. Aerospace Science and Technology. Vol.15, Issue 8, 615-626.
- [11] FUCSH, W., SCHICKEL, K.P., 1995: Aircraft icing in visual meteorological conditions below low stratus. Atm. Research, 36, 339-345.
- [12] JACOBS, A. J. M., N. MAAT, 2005: Numerical Guidance Methods for Decision Support in Aviation Meteorological Forecasting. Wea. Forecasting, 20, 82-100.



- 
- [13] STENSRUD, D.J., 2007: *Parametrization Schemes, Key to Understanding Numerical Weather Prediction Models*. Cambridge.
- [14] PIELKE, R.A. sr., 2002: *Mesoscale Meteorological Modeling*. Second Edition. International Geophysics Series. Vol. 78. Academic Press, Elsevier.
- [15] JIMÉNEZ, P.A., GONZÁLEZ-ROUCO, J.F., GARCÍA-BUSTAMANTE, E., NAVARRO, J., MONTÁVEZ, J.P., VILÀ-GUERAU de ARELLANO, J., DUDHIA, J., MUÑOZ-ROLDAN, A. 2010: Surface Wind Regionalization over Complex Terrain: Evaluation and Analysis of a High-Resolution WRF Simulation. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 49, 268–287.
- [16] GILMOUR, I., LEONARD A.S., Roberto BUIZZA, 2001: Linear Regime Duration: Is 24 Hours a Long Time in Synoptic Weather Forecasting?. *J. Atmos. Sci.*, 58, 3525-3539.
- [17] SKAMAROCK, W.C., KLEMP, J.B., DUDHIA, J., GILL, D.O., BARKER, D.M., DUDA, M.G., HUANG, X.-Y., WANG, W., POWERS, J.G., 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3 NCAR/TN-475+STR, June 2008, NCAR Technical Note.
- [18] WANG, W., BRUYÈRE, C., DUDA, M.G., DUDHIA, J., GILL, D., LIN, H-C., MICHALAKES, J., RIZVI, S. and ZHANG, X., 2009: ARW Version 3 Modeling System User's Guide, July 2009, NCAR MMM Tech. Note.
- [19] JOLLIFFE, I.T. and D.B. STEPHENSON, 2012: *Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*, Second Edition. University of Exeter, UK.
- [20] WILKS, D.S., 2011: *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Third edition). International Geophysics Series Volume 100, 301-391.
- [21] ARGÜESO, D., HIDALGO-MUÑOZ, J.M., GÁMIZ-FORTIS, S.R., ESTEBAN-PARRA, M.J., DUDHIA, J., YOLANDA CASTRO-DÍEZ, 2011: Evaluation of WRF Parameterizations for Climate Studies over Southern Spain Using a Multistep Regionalization. *J. Climate*, 24, 5633–5651.
- [22] BRETHERTON, C. S., and S. PARK, 2009: A new moist turbulence parameterization in the Community Atmosphere Model. *J. Climate*, 22, 3422-3448.
- [23] HONG, S.-Y., J. DUDHIA, and S.-H. CHEN, 2004: A Revised Approach to Ice Microphysical Processes for the Bulk Parameterization of Clouds and Precipitation, *Mon. Wea. Rev.*, 132, 103–120.
- [24] KAIN, J. S., 2004: The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. *J. Appl. Meteor.*, 43, 170–181.
- [25] JANJIC, Z. I., 2002: Nonsingular Implementation of the Mellor–Yamada Level 2.5 Scheme in the NCEP Meso model, NCEP Office Note, No. 437, 61 pp.
- [26] KAZI, K. 2012: Full Automatic UAV System Developed in Hungary. *Repüléstudományi Közlemények. Repüléstudományi Konferencia 2012. XXIV. 2012/2.*
- [27] TROPEA, C., A. L. YARIN, John F. FOSS: *Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics*, Springer, 2007
- [28] van den KROONENBERG, A, T MARTIN, M. BUSCHMANN, J. BANGE, Pe. VÖRSMANN, 2008: Measuring the Wind Vector Using the Autonomous Mini Aerial Vehicle M2AV. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 25, 1969–1982.



Bozóki János<sup>1</sup> – Zupkó Tibor<sup>2</sup>

## ÚT A MINŐSÉGIRÁNYÍTÁSI RENDSZERTANÚSÍTÁSIG AZ MH LÉGIJÁRMŰ JAVÍTÓÜZEMÉBEN<sup>3</sup>

2012. december 19-én a Magyar Honvédségben először szerzett NATO AQAP 2110:2009 szerinti tanúsítványt a kecskeméti székhelyű Légijármű Javítóüzem (továbbiakban: Üzem vagy Lé. Jü.). Az Üzem a folyamatos magas minőségi munkájával érdemelte ki a légijárművek és az azokhoz rendelt földi kiszolgáló eszközök karbantartó, javító és alkatrészgyártó alakulataként a tanúsítványt. A cikkben bemutatjuk hogyan jutott el a Lé. Jü. a tanúsítványok megszerzéséig. A jövőben elérendő célnak az Üzem az EDA ajánlásában az EMAR-145 szerinti megfelelés elérését tűzte ki. Az EMAR-145 megszerzését nem csak az üzem részére, hanem honvégségi szinten is fontosnak ítéljük.

### **QUALITY MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATION OF AIRCRAFT REPAIR PLANT**

*Kecskemét AIRCRAFT REPAIR PLANT (ARP) was accredited the NATO AQAP qualification first in the HDF on 19th dec 2012. The ARP acquired this qualification due to its continuous high quality maintenance, repair and spare part production work provided for aircraft supplying ground equipment. The article acquaints with the way leading to the accreditation of ARP. The aim of the ARP is to meet the requirements of EDA EMAR-145. Reaching this target is considered to be important not only for ARP but for the Hungarian Defence Forces as well.*

### **A Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzemének rövid bemutatása**

A MH Lé. Jü. nagy múltra tekint vissza. A jogelőd szervezete 1950. november 15.-én Szentkirályszabadján alakult meg Tábori Repülőjavító Műhely néven, a 25. Honi Vadászrepülő Hadosztály közvetlen szervezeteként. 1952. november 01-én Taszár helyőrségbe diszlokált a műhely, 1961. augusztus 16-án költözött a teljes állomány a technikai felszerelésével, szerszámgépeivel és műhelykocsikkal a jelenlegi helyőrségbe, Kecskemétre.

Az MH Lé. Jü. rendeltetése a Magyar Honvédség légijárműveinek és tartozékainak, valamint haditechnikai eszközeinek a csapatok lehetőségeit meghaladó mértékű javítása, konstrukciós változtatása hadműveleti területen is.

A 62 év során az MH Lé. Jü. minden Magyarországon hadrendben lévő légijármű üzemben tartásával foglalkozott és foglalkozik a mai napig is.

A Magyar Honvédségben jelenleg az MH Lé. Jü. az egyetlen olyan katonai szervezet, amely megfelelő jogosultságokkal és képességekkel rendelkezik a repülőtechnikai eszközökön történő közép szintű időszakos ellenőrzések és karbantartások, valamint modernizációs feladatok elvégzésére. Az MH Lé. Jü. a nagy javítások szempontjából vizsgálva is kiemelkedő jelentőség-

<sup>1</sup> Bozóki János okleveles mérnök ezredes – az MH Légijármű Javítóüzem, parancsnoka

<sup>2</sup> Zupkó Tibor okleveles mérnök alezredes – az MH Légijármű Javítóüzem, parancsnokhelyettese (minőségbiztosítási vezető)

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Kavas László okl. mk. alezredes, egyetemi docens, NKE Katonai Repülő Tanszék, kavas.laszlo@uni-nke.hu



gel bír, hiszen az itt dolgozó szakembergárda felkészültségére alapozva –megfelelő infrastruktúrával és jogosultságokkal felruházva– a jövőben akár az ilyen jellegű tevékenységek végzésének is lehet realitása. A külföldi cégek által végrehajtott nagy javítások és üzemidő hosszabításokkal kapcsolatos feladat végrehajtásokban az üzem több esetben is részt vállalt.

### **Az első lépések a minőségirányítási rendszer kiépítésében**

A Légijármű Javitóüzem fő feladata a honvédségnél rendszeresített repülőgépek, helikopterek és földi kiszolgáló eszközök javításának, karbantartásának végre hajtása. Az Üzem akkreditált laboratóriumai a mérésügyi és a vizsgálói területhez tartoznak, a következőkben ezek minőségirányítási tevékenységről is írunk, hiszen ezek is biztosítottak alapot a további fejlődéshez és elősegítették az Üzem minőségirányítási rendszerének kiépítését.

Az MH Lé. Jü. illetve jogelődjei saját keretein belül elsőként a (minőségügyi) minőségbiztosítási – minőségirányítási – rendszer működtetésére hivatalos (dokumentált) keretek között a laboratóriumi akkreditált tevékenység megszerzéséhez volt szükség. [1]

### **Az akkreditált Kalibrálólaboratóriumban kiépített minőségirányítási rendszer**

Az alaptevékenységhez kapcsolódik a Repülőipari Metrológiai Osztály tevékenysége, amely a légi járművek és a MH ellenőrző- és mérőeszközeinek kalibrálásával, illetve javításával foglalkozik.

A kalibráló laboratórium elsődleges feladatkörén túl, de nem annak terhére, külső vevők kalibrálási igényeit is kielégíti az akkreditálás műszaki területének megfelelően.

Magyarországon a katonai repülés fejlesztése során már az 1960-as években szükségessé vált a repülőgépek berendezéseinek rendszeres ellenőrzése, és azok mérésügyi, illetve vizsgálati hátterének kialakítása. A MH repülőcsapatainál a hatvanas években, a hangsebesség feletti repülőgépek rendszerbeállítása után időszakosra vált, hogy a repülőtechnika üzembenntartásához szükséges mérésügyi támogatás keretében, az addig évente egy alkalommal rendelkezésre álló szovjet katonai repülő laboratórium igénybevétele helyett, állandó magyar laboratórium jöjjön létre. Ezért az MN Országos Légvédelmi Parancsnokság 1966-ban 66/21. számú utasításával létrehozta az MN Központi Repülőgépjavitó Üzem (továbbiakban MN KÖRÜ) szervezetén belül működő Hitelesítő Csoportot.

A maga nemében első, 66/21. számú utasítás részletesen előírta a szakterület mérésügyi feladatait, szabályozta azok végrehajtásának rendjét, melléklete pedig magában foglalta a repülőcsapatok mérőeszköz típusainak teljes listáját, megjelölve a pontosság-ellenőrzésre kötelezettek körét és az ellenőrzések gyakoriságát.

Egy 1977-ben végrehajtott átszervezés során a Hitelesítő Csoport (lényegében a kalibráló laboratórium) jelentősen kibővült és Repülőtechnikai Mérőeszköz Kalibráló Üzemegység, majd 2000-től Metrológiai Alosztály néven működött tovább a 2004. szeptemberi szervezeti változásunkig, mikor a laboratórium Metrológiai Osztállyá lépett elő.

A laboratóriumot az OMH<sup>4</sup> egy 1989-ben kelt határozatában közérdekből, hivatalos kalibrálási

---

<sup>4</sup> OMH - Országos Mérésügyi Hivatal

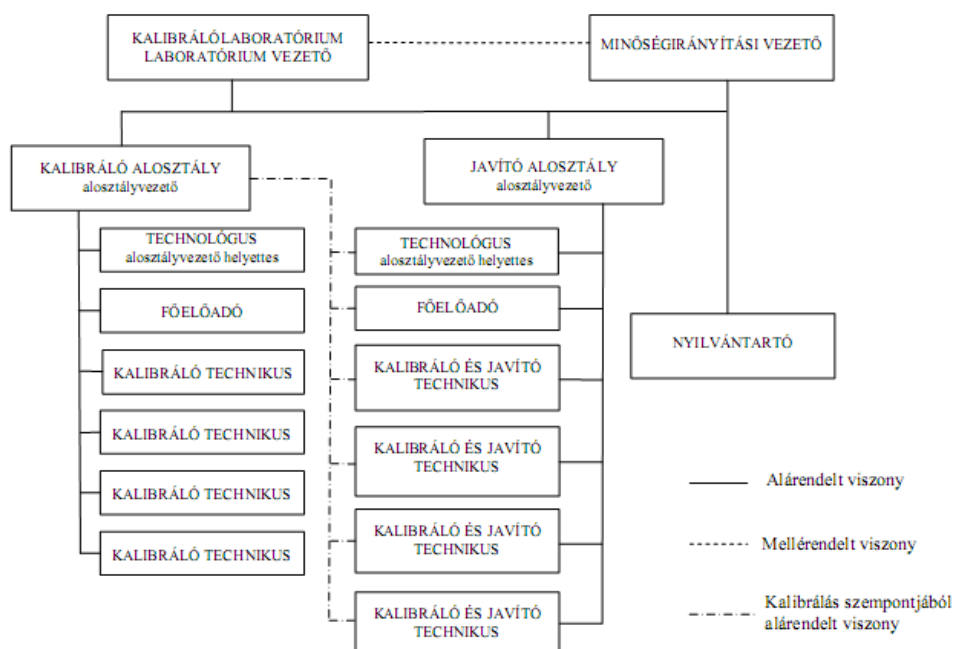
szolgáltatások végzésére jogosította fel. A hivatalos Kalibrálási Szolgálat működésére vonatkozó metrológiai feltételrendszer szabályozásának kidolgozása után a laboratórium joggyakorlatának véglegesítése 1993-ban az akkreditálással történt meg. Ettől kezdve akkreditált státuszunkat 2000-ig folyamatosan fenntartottuk.

Az OMH a laboratóriumot 1995-ben nyomásmérő készülékek hitelesítést helyettesítő minősítésére is feljogosította. A laboratórium MSZ 45001 szerinti akkreditációja 2000-ben lejárt. A megújítására 2001-ben az alakulat jogelődjét érintő szervezeti változások miatt nem került sor. A 2001. év októberében a szervezetileg megújult MH Lé. Jü. legfelső vezetése a laboratórium MSZ EN ISO/IEC 17025 szabvány szerint működő minőségirányítási rendszerre való áttérést tűzte ki célul a laboratórium elé. Az MSZ EN ISO/IEC 17025 minőségirányítási rendszerre a laboratórium 2002. január 31-ével tért át, amit 2002. november 15-én a Nemzeti Akkreditáló Testület (NAT) az akkreditált státusz odaítélésével ismert el.

Egy 2005. évi területbővítést követően a NAT 2006. július 03-tól újra akkreditálta a laboratóriumot. A laboratórium 2007. 01. 30-tól áttért az MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 szerinti irányítási rendszerre, amit 2010-ben sikeresen megújított.

Az Üzem parancsnoka a következő újra akkreditáció időpontjára a laboratórium vezetése részére célul tűzte ki a kalibrációs tevékenység kibővítését a hossz mérés területével.

A Kalibrálólaboratórium szervezeti felépítését mutatja az 1. számú ábra, itt jól látható a minőségirányítási vezető prioritása, valamint a különböző alá- és fölérendeltségi viszonyok. [2]



1. ábra A kalibrálólaboratórium szervezete<sup>5</sup>

## Az akkreditált Vizsgálólaboratóriumban kiépített minőségirányítási rendszer

A Vizsgálólaboratórium tevékenysége, mint akkreditált tevékenység is a Légi jármű Javitóüzem

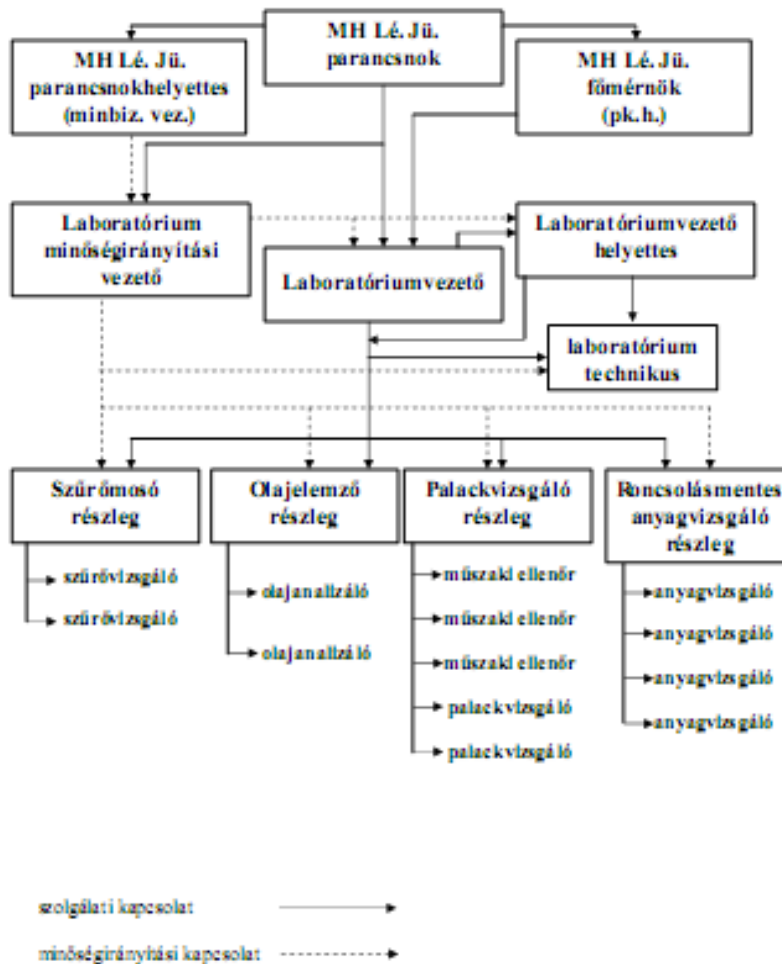
<sup>5</sup> Minőségirányítási Kézikönyv a MH Lé. Jü. Repülőipari Metrológiai Osztály MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 szabvány szerint működő kalibrálólaboratóriuma 03. számú melléklet, Kecskemét, 2011. 04. 07.

alaptevékenységét egészíti ki.

A Vizsgálólaboratórium elsődleges feladata:

- a repülőeszközök fedélzetén alkalmazott olajsűrűk ultrahangos mosása, majd ezt követően az áteresztő képességük vizsgálata;
- az MH-nál meglévő haditechnikai eszközök alkalmazásba vett és rendszeresített légijármű fedélzeti oxigén, levegő, nitrogén, hidraulika, tűzoltó és egyéb speciális rendeltetésű palackok, a légijárművek földi kiszolgáló eszközein alkalmazott, továbbá az egyéb rendszeresített speciális rendeltetésű palackok időszakos biztonságtechnikai vizsgálata;
- olajminták kopadék vizsgálata;
- az MH-nál rendszeresített haditechnikai eszközökön különböző roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárások végrehajtása.

A vizsgálólaboratórium elsődleges feladatkörén túl, de nem annak terhére, külső vevők vizsgálati igényeit is kielégíti az akkreditálás műszaki területének megfelelően.



2. ábra A vizsgálólaboratórium szervezete<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Minőségirányítási Kézikönyv a MH Lé. Jü. MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 szabvány szerint működő vizsgálólaboratóriuma 3. számú melléklet, Kecskemét, 2012. 05. 24.



Magyarországon a katonai repülés fejlesztése során már az 1960-as években szükségessé vált a repülőgépek berendezéseinek rendszeres ellenőrzése, és azok mérésügyi, illetve vizsgálati háttérének kialakítása. A vizsgálólaboratórium közvetlen elődje a MN OLP 66/21. számú utasítás alapján létrehozott, a MN KÖRÜ szervezetén belül működő Palackhitelesítő műhely. A további tevékenység bővítése során 1977-ben létrehozták a Szűrőmosó részleget, majd pedig 1995-ben az Olajelemző részleget.

Vizsgálólaboratóriumunk vezetése 1999. közepén elhatározta, hogy kiépíti a minőségirányítási rendszert a vizsgálólaboratóriumban, és egyúttal célul tűzte ki az akkreditált státusz megszerzését.

A következő munkák eredményeképpen, az MSZ EN 45001:1990 szabvány szerint, 2001. december 15-ével a NAT 501/0779. számon akkreditálta vizsgálólaboratóriumunkat.

A Magyar Honvédségben rendszeresített haditechnikai eszközöknél felmerülő igények kielégítése céljából 2004 óta roncsolásmentes anyagvizsgálatokat hajtunk végre.

Vizsgálólaboratóriumunkat 2005. április 26-án az MSZ EN ISO/IEC 17025:2001 szabvány szerint a NAT újraakkreditálta NAT-1-1392/2005 számon, 2006. 04. 26-tól pedig igazolta, hogy irányítási rendszerünk megfelel az MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 szabvány előírásainak, az akkreditált területen dolgozó kollégák képzése megtörtént és munkájukat ennek megfelelően végzik.

Vizsgálólaboratóriumunkat 2008. július 09-én az MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 szabvány szerint a NAT újraakkreditálta NAT-1-1392/2008 számon. Az akkreditált státusz megszerzésén kívül az Üzem parancsnoka a laboratórium vezetésének célul tűzte ki az akkreditációs terület bővítését a roncsolásmentes anyagvizsgálat (folyadékbehatolásos –penetrációs–) vonatkozásában. A laboratórium a feladat bővítéssel egybekötött felülvizsgálaton átesett, az akkreditáló mérnökök az akkreditált státusz odaítélését javasolják a szemlét követően a NAT márciusi ülésén.[3]

## **Az MH LÉGIJÁRMŰ JAVÍTÓÜZEM RENDELTETÉSE**

Az MH Összhaderőnemi Parancsnokság (továbbiakban MH ÖHP) repülőcsapatainál rendszeresített repülőtechnikai eszközök és földi tartozékainak a Nemzeti Közlekedési Hatóság és az MH ÖHP által meghatározott mértékű jogosultságainak keretén belüli karbantartása, javítása, felújítása gyártása és fejlesztése.

Az alaprendeltetésbe tartozó fő feladatok:

- An-26 típusú állami légi jármű (szállító-repülőgép) 6, 18 és 36 havi időszakos karbantartó, javító munkáinak végrehajtása, szervizjavítása;
- az MH ÖHP repülőcsapatainál rendszeresített állami légi járművek és tartozékainak, földi kiszolgáló eszközeinek – a repülőcsapatok javítási lehetőségeit meghaladó karbantartása, javítása, szerkezeti átalakítása, azokhoz komponensek gyártása;
- műszaki fejlesztési feladatok technológizálása, kivitelezése;
- légi járműről leválasztott komponensek (berendezések, blokkok) javítása;
- földi kiszolgáló eszközök, tartozékok felújítása, gyártása;
- állami légi járművek sérülésszerű javítása bel- és külföldön, saját, szövetségi, illetve idegen repülőtéren;



- fedélzeti és földi nyomástartó edények, tűzoltó palackok biztonságtechnikai ellenőrzése, töltése (oxigén, nitrogén, levegő, tűzoltófolyadék), hajtóművek, reduktorok, áttételházak olajmintáinak analizálása, tüzelőanyag-, kenőanyag- és hidraulikarendszer szűrőinek tisztítása korszerű berendezésekkel, ultrahangos technológiával, a NAT által MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 szabvány szerint akkreditált Vizsgálólaboratóriumban;
- az MH ÖHP repülőcsapatok általános- és speciális mérő és ellenőrző berendezéseinek, komplexumainak, műszereinek, központi nyilvántartása, javítása, kalibrálása a NAT által MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 szabvány szerint akkreditált Kalibrólaboratóriumban;
- a „Nyitott Égbolt” nemzetközi szerződésben vállalt feladatok (2004. évi V. törvény) mérnök-műszaki biztosítása bel- és külföldön, saját, szövetségi, illetve idegen repülőtéren;
- a Nemzeti Közlekedési Hatóság munkájának támogatása (légiközlekedési baleset kivizsgálás) technikai feltételekkel és vizsgázott szakember háttérrel;
- a hadrendből kivont állami légijárművekkel kapcsolatos, államilag elrendelt feladatok végrehajtása (hatástalanítás a CFE szerződés szerint, teljes lefegyverzés, múzeumi célú előkészítés, darabolással történő megsemmisítés, földi kiképzési célra történő előkészítés) Belügyminisztérium Jogi Főosztály engedélye alapján;
- roncsolásmentes anyagvizsgálatok (NDT) végzése (szemrevételezéses, folyadékbehatolásos, örvényáramú, mágneseshető poros, ultrahangos rezgéselemző) Vizsgálólaboratóriumban;
- állami légijárművek állapotfelmérése, javításközi naptári és össztechnikai műszaki üzemidő hosszabbítása, állapot szerinti üzemeltetésre történő átállítása céljából;
- feljogosítás alapján kiegészítő tevékenység folytatása.

Az MH Lé. Jü. az MH ÖHP parancsnokának közvetlen katonai és az MH ÖHP Haditechnikai Főnökének (továbbiakban HTECHNF) szakmai alárendeltségébe tartozik. A felügyelet kiterjed a repülőtechnikai mérőeszközökkel kapcsolatos mérésügyi feladatok végrehajtására is.

Az MH Lé. Jü. gazdálkodási tevékenysége feletti felügyeletet –hatáskörünknek megfelelően– a Honvédelmi Minisztérium (továbbiakban HM) és a MH logisztikai (Fegyverzeti és Hadbiztosági Hivatal, továbbiakban FHH), illetve pénzügyi és számviteli feladatokat ellátó központi szervei (Központi Pénzügyi Hivatal, továbbiakban KPH) látják el.

Az MH Lé. Jü. kiegészítő tevékenységet is folytathat. A kiegészítő tevékenységének szabályozására kiadásra került a Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzem Kiegészítő Tevékenységének Szervezeti, Működési és Önköltség Számítási Szabályzat-a.

Az MH Lé. Jü. feladataiból ízelítő a teljesség igénye nélkül:

- légijárművek harci sérülései javítása hadműveleti területen is – terület bővítési törekvés a kiterjesztése JAS-39 Gripen típusú repülőgépre, illetve SUAV pilótánélküli repülőeszközre is;
- An-26 típusú repülőgépek 6, 18 és 36 hónap utáni időszakos munkáinak végrehajtása;
- légijárművek és tartozékaik konstrukciós változtatása, műszaki fejlesztési feladatok technológizálása és megvalósítása a fedélzetről leválasztott berendezések javítása;
- „Nyitott Égbolt” megfigyelő repülések mérnök-műszaki biztosítása bel és külföldön;

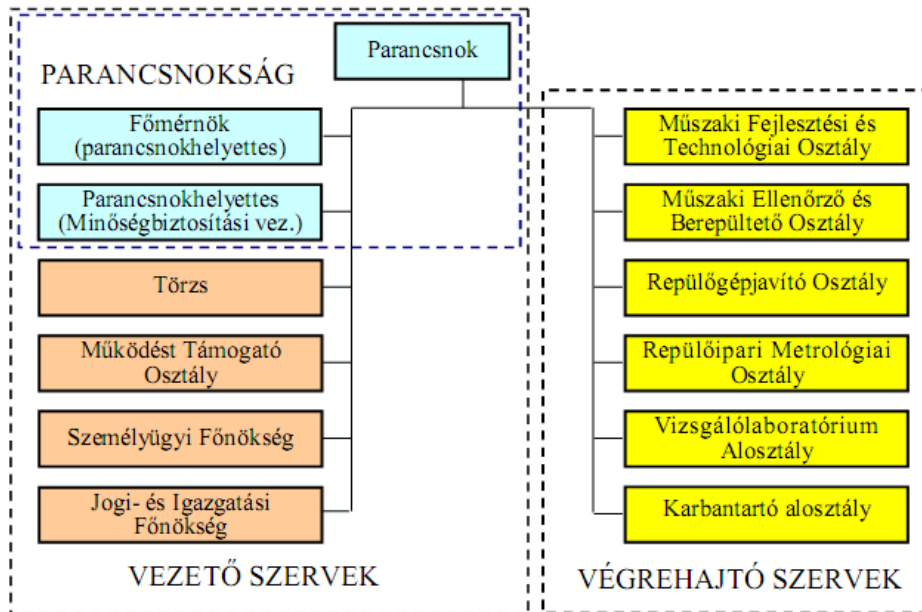
- olajanalizálás, ultrahangos szűrőmosás, hermetikusság ellenőrzés akkreditált laboratóriumban;
- nyomástartó edények (oxigén, nitrogén, levegő), fedélzeti és földi tűzoltópalackok biztonságtechnikai ellenőrzése, töltése akkreditált laboratóriumban, szükség szerint hadműveleti területen –a szárazföldi haderőnem igényének a kielégítése– is;
- roncsolásmentes anyagvizsgálatok –a szárazföldi haderőnem részére (pl.: aknavetőcsövek vizsgálata) is– akár hadműveleti területen is;
- a rendszerben lévő légijárművek üzemeltetését biztosító speciális igények kielégítése, különböző földi tartozékok, berendezések, eszközök, tartozékok felújítása, gyártása, a repülőtéri vészelfogó rendszerek időszakos karbantartása, javítása;
- általános és speciális mérő és ellenőrző berendezések kalibrálása, javítása akkreditált laboratóriumban, illetve mobil laboratóriummal hadműveleti területen is –tevékenységi terület bővítése a Gripen és C-17 repülőgépek üzemeltetési igényeinek megfelelően. (hosszmérésekre történő felkészülés);
- légijárművek és különböző szárazföldi haditechnikai eszközök muzeális kialakítási, hatástalanítási munkái;
- repülőesemények kivizsgálásában műszaki háttér biztosítása;
- légi és szárazföldi haditechnikai eszközökre merev és flexibilis tömlők (fékcsövek) gyártása;
- további vizsgálataink– kéziszerszámok érintésvédelmi ellenőrzése az MH ÖHP alakulatai részére, az MH tűzivíz hálózatának időszakos ellenőrzésének karbantartásának végrehajtása.

Az Üzem újonnan megszerzett képessége az MH ÖHP alárendelt katonai szervezeteinél rendszeresített különböző típusú kompresszorok, légzőkészülékek és összetett anyagszerkezetű palackok biztonságtechnikai vizsgálata, javítása, karbantartása.

Az Üzemünk volt az, amely végrehajtotta 2 db finn Mi-8T típusú helikopter avionikai átalakítását az előírásoknak és elvárásoknak megfelelően 2011. december- 2012. március között.

Mindezen feladatok ellátásához elengedhetetlen egy jól működő és a megszerzett új képességekhez kapcsolódó logisztikai ellátási rendszer működési feltételeinek biztosítása, a logisztikai ellátási tevékenység kiterjesztése, valamint az egyéb központi ellátó szervezet státuszából fakadó feladatok végrehajtása.

Az MH Lé. Jü. minőségirányítási rendszerének tanúsíttatása az MSZ EN ISO 9001:2009 szabvány és a NATO AQAP 2110:2009 normatív dokumentum szerint megtörtént. Az Üzem parancsnoka és felső vezetése nagyon nagy hangsúlyt fektet arra, hogy a kiépített minőségirányítási rendszerrel is bizonyítsa és biztosítsa az Üzem a képességeit a megrendelőink irányában is. Az Üzem teljes állomány elkötelezett a tökéletes feladat végrehajtásra és szem előtt tartják a folyamatos fejlődés iránti igényt.



3. ábra Az MH Légijármű Javítóüzem szervezeti felépítése

Természetesen nagyon sok érv és ellenérv hangzott el a minőségirányítási rendszer kialakításáig és tanúsításáig.

Keresetlenül egy-két kérdés:

- miért kell az üzemnek –MH katonai szervezetnek– minőségirányítási rendszer;
- miért kell tanúsítani a rendszert, nem elég, ha mi azt mondjuk, hogy van és működik;
- kivel és miért azzal tanúsítatjuk?

A kérdéseknek se szeri se száma. A válasz a feltett kérdésekre a mai világban nagyon sok tevékenység végzéséhez alapkövetelmény a kiépített minőségirányítási rendszer. Az elvárásoknak megfelelően az Üzemünk kiépítette a minőségirányítási rendszerét. Mivel az üzemvezetése azt vallja, hogy csak a tanúsítás által kapható az a külsőbizonyíték, hogy valóban jól csináljuk azt, amit csinálunk, ezért a minőségirányítási rendszer tanúsítása szükséges. A NATO AQAP normatív dokumentum szerinti megfelelés pedig leszűkítette a tanúsító szervezetek számát.

Az üzem kiegészítő tevékenység keretében igény szerint gyártásokat végez a NATO SUPPORT AGENCY-vel (C-17 repülőgépek üzemeltetésével kapcsolatosan), kalibrálási feladatok ellátását az FÖRSVARETS MATERIELVERK-vel (JAS-39 Gripen repülőgépek üzemeltetésével kapcsolatosan) és a Lufthansa Technik Budapest Kft.-vel kötött szerződésnek megfelelően. Ezek a szervezetek első kérdéseinek egyike volt a közös munka kezdése előtt, hogy van-e minőségirányítási rendszere az Üzemnek és az tanúsított-e. Ez is megfontolandó volt az üzem vezetése részére. A 2007 évben nagy volt az üzem életében a nyugdíjba távozóak száma és ez érintett minőségirányítási szakembert is. Az vezetése elhatározta, hogy hiányzó szakembert pótolni kell, valamint a vezetés –parancsnokhelyettes– szintjére emeli a minőségirányítás vezetését. 2008 év végén elkészült az üzem minőségirányítási kézikönyve –amely csak az ISO 9001 szabványt vette alapul és a dokumentációs rendszeréből hiányoztak az eljárásutastások. 2011 év végén változott a minőségbiztosítási vezető személye, a meglévő minőségirányítási dokumentáció átdolgozásra és kibővítésre került a minőségirányítási eljárás utastásokkal, valamint a NATO AQAP normatív dokumentum követelményeivel.

Az Üzem parancsnokhelyettes, aki több éves minőségirányítási oktatási tapasztalatokkal rendelkezik az állományából 11 főt a belső auditori (felülvizsgálói) feladatok elvégzésére felkészített és vizsgáztatott, valamint általánosan tájékoztatta a teljes személyi állományt a minőségirányítási rendszerről. A minőségirányítási rendszer bevezetésre került az MH Lé. Jü., a tanúsítási igényünket felterjesztettük a HM FHH felé. A HM FHH Haditechnikai Intézet rendszer auditorai felvették az MH Lé. Jü. vezetésével a kapcsolatot a tanúsítás lefolytatásával kapcsolatban. Az MH Lé. Jü. a lefolytatott tanúsítási folyamat során megfelelt a rendszer audit elvárásainak és 2012. december 19-én az MH Lé. Jü. parancsnoka személyesen vehette át az erről szóló tanúsítványokat.



4. ábra A HM FHH vezérigazgatója átnyújtja a tanúsítványt az MH Lé. Jü. parancsnokának



5. ábra Az MH Lé. Jü. parancsnoka és parancsnokhelyettese (minőségbiztosítási vezetője) a tanúsítványokkal

A MH LéJü. parancsnokai által sokat emlegetett az a tény, hogy nem volt véletlen, a repülőgép hangár egyik falát díszítő vicces szállóige „A lehetlent azonnal megoldjuk, a csodákra kicsit várni kell” – hiszen az élet gyakran hozta úgy, hogy az üzem dolgozói nagyon is igaznak érezték ezeket a szavakat.



6. ábra Az MH Lé. Jü. rendszer tanúsítványai

MAGYAR HONVÉDSÉG  
LÉGIJÁRMŰ JAVÍTÓÜZEM



#### A MAGYAR HONVÉDSÉG LÉGIJÁRMŰ JAVÍTÓÜZEM MINŐSÉGPOLITIKÁJA

Az MH Légijármű Javítóüzem a légijárművek és földi kiszolgáló eszközeinek karbantartása, javítása, alkatrészek gyártása során az MSZ EN ISO 9001:2009 szabvány, valamint a NATO AQAP 210:2009 normatív dokumentum előírásai szerint kialakított integrált minőségirányítási rendszer működésével biztosítja a megrendelői igények hatékony és maradéktalan kielégítését.

Az MH Légijármű Javítóüzem vezetése elkötelezett a megrendelők elvárásainak megfelelő követelmények teljesítése és a minőségirányítási rendszer eredményességének fokozása és folyamatos fejlesztése, javítása iránt.

Megrendelőinkkel és beszállítóinkkal hosszú távú kapcsolatok kialakítására törekszünk, együttműködünk velük a minőségi célkitűzések előmozdításában. Megrendelőink bizalmát hibamentes szolgáltatások nyújtásával és termékek létrehozásával kívánjuk megnyerni.

Szakmai tevékenységünk során nem követelünk el hibákat, mert ennek súlyos következményei lehetnek. A tevékenységünk végrehajtása során a hibák megelőzésére összpontosítunk.

A megrendelői visszajelzéseket a fejlődés lehetséges útjaként alkalmazzuk.

**Az MH Légijármű Javítóüzem alapvető célja: a megrendelői igények maximális kielégítése.**

A cél megvalósításának érdekében a minőségirányítási rendszert folyamatosan fejlesztjük. Az MH Légijármű Javítóüzem vezetése és teljes állománya elkötelezte magát abban, hogy mindenki ismerje, és saját munkakörében alkalmazza a bevezetett minőségirányítási rendszert, és annak előírásai szerint járjon el feladatai végrehajtása során.

A vezetők kezdeményező, példamutató szerepet vállalnak a minőségirányítással összefüggő tevékenységek szervezésében és végrehajtásában, de a minőség biztosítása az MH Légijármű Javítóüzem teljes állományának a feladata. Szakembereink nevüket adják végzett munkájuk minőségéhez, és személyes felelősséget vállalnak érte.

Kecskemét, 2012. december 19

paráncsnok

7. ábra Az MH Lé. Jü. minőségpolitikája



## Mit várunk a jövőtől?

Az üzem eddig szerzett képességeinek a megtartását, lehetőség szerint kibővítését. Az Üzem részére odaítélt tanúsítványok és feljogosításoknak folyamatosan megfelelni és élni az általuk biztosított lehetőségekkel és jogokkal.

Új feljogosítások megszerzése a polgári repülőgép karbantartó szervezetekre vonatkozó EASA által javasolt Part-145 illetve ha szükséges Part-M (A légi járművek és repüléstechnikai termékek, alkatrészek és berendezések folyamatos légi alkalmasságának biztosításáról és az ezzel összefüggő feladatokban résztvevő szervezetek és személyek jóváhagyásáról) ezzel együtt az EDA által javasolt EMAR 145. Ezek a légi jármű karbantartó szervezeteknek feladatul szabja, hogy rendelkezzenek minőségirányítási rendszerrel

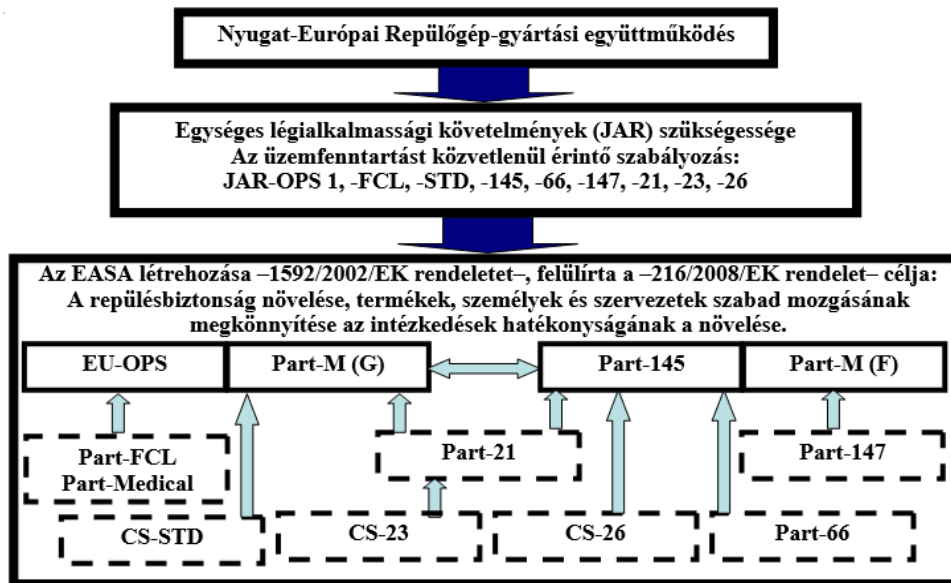
A minőségirányítási rendszer és a légi járművek karbantartó szervezete közötti kapcsolat:

- légi járművek karbantartó szervezete esetében elvárás a minőségirányítási rendszer működtetése és minőségirányítási (minőségbiztosítási) vezető kinevezése, aki figyelemmel kíséri a biztonságos üzemeltetés és a repülőgép légi alkalmasságához előírt eljárások teljesítését és pontosságát;
- a minőségirányítási rendszer foglalja magába a minőségbiztosítási programot, amely eljárásokat tartalmaz annak ellenőrzésére, hogy minden üzemeltetési tevékenység végrehajtása a vonatkozó követelmények és előírások szerint kerül végrehajtásra;
- a minőségirányítási rendszer és a minőségirányítási (minőségbiztosítási) vezető a Hatóság által elfogadott legyen;
- a minőségirányítási rendszert kötelező ismertetni a vonatkozó dokumentációban.

A légi járműveket karbantartó szervezetek esetében az elvárások lehetőséget adnak arra, hogy a szervezetben két minőségbiztosítási vezető is kijelölésre kerüljön, egy az üzemeltetés területéhez és egy a karbantartás területéhez.

Rövid áttekintés arról, hogy hogyan alakultak ki ezek a szabályozók, ezek az elvárások. A közös vállalkozások típus alkalmassági problémáinak minimumra csökkentése, a repülőipari termékek exportjának és importjának elősegítése, valamint abból a célból is, hogy az európai országok polgári légügyi hatósága közös átfogó és részletes repülési követelményekről állapodtak meg (amelyet közös légügyi előírásoknak (JAR) neveznek). A JAR jogosított karbantartó szervezet (JAR-145) formai és, ahol lehet tartalmi alapjául az Amerikai Egyesült Államok szövetségi légügyi hatósága által kiadott FAR 43 és 145-ös megfelelő részeit választották.

Az EASA létrehozásának (2002.07.15) okai: A repülésbiztonság növelése a közös biztonsági szabályok és olyan intézkedések révén, amelyek biztosítják, hogy az Európai Közösségben a termékek, személyek és szervezetek megfelelnek a szakmai és a környezetvédelmi szabályoknak. A termékek, személyek és szervezetek szabad mozgásának megkönnyítéséhez a belső piacon. Jobb intézkedésekre van szükség abból a célból, hogy a közösségi vagy nemzeti szinten pillanatnyilag végzett bizonyos feladatokat egyetlen, erre szakosodott szakértő szerv végezze el. [4]



8. ábra történelem és egymásra épülés

Ha a karbantartó szervezetnél már meglévő EASA Part 145 eljárás van érvényben, a szervezetre vonatkozó EASA Part 145 kézikönyv részeként, amely egyaránt alkalmazható, hogy megfeleljen az EMAR 145 követelményeknek, a Katonai Légügyi Hivatal egyenértékűnek fogadja el az EMAR 145 kézikönyvében leírtak betartásával. Ebben az esetben megengedhető, hogy csak a külön katonai vonatkozású rendeleteket kell meghivatkozni az EMAR 145 kézikönyvben; az EASA kézikönyv egyes szakaszait kereszthivatkozó rendeleteket az EASA dokumentum záradékában idézni szükséges.

## Összefoglalás

Az üzem vezetése elkötelezett a minőségkultúra további fejlesztésére és kiterjesztésére az üzem egészére vonatkozóan. Az üzem vezetése (a menedzsment) már huzamosabb időn keresztül tudatosan készül az üzem minden területét lefedő irányítási rendszer kialakítására. Ez a tudatosság eredményezi azt a tényt, hogy az üzem több aktív állományban lévő dolgozója is rendelkezik minőségirányítási, és/vagy környezetirányítási, és/vagy munkahelyi egészségvédelem és biztonság irányítási rendszer ismerettel. Az üzem vezetése ezeknek a dolgozóknak a segítségével kialakíthat az üzemben külső segítség nélkül is egy olyan integrált irányítási rendszert, amely magába foglalja a minőséget, a környezet tudatosságot valamint a munkahelyi egészség és biztonság védelmét. Az ilyen jellegű integrált rendszerrel az üzemünk bemutatja a társadalmi szerep vállalását a környezetvédelem iránti elkötelezettségét, a dolgozóival szembeni elkötelezettségét a munka- és egészségbiztonság vonatkozásában. Az üzem vezetése tudatosan támogatja a dolgozók további fejlődését és tanulását valamint jó példával jár elől ebben is, ezzel megalapoz egy öntanuló szervezetet.[5]

Az Üzemünk felkészül arra, hogy megfeleljen EDA ajánlásában szereplő EMAR és az EASA ajánlásában szereplő Part és CS elvárások esetében elvárt, karbantartó szervezettel szemben támasztott feltételeknek. Üzemünk támogató segítségét felajánlja Magyar Honvédségi szinten a katonai légijárműveket karbantartó szervezetek részére a minőségirányítási rendszer kialakításában és az EMAR feltételeknek való megfelelésben.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] A Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzem Alapítóokirat 2012. 10. 10
- [2] Minőségirányítási Kézikönyv a MH Lé. Jü. Repülőipari Metrológiai Osztály MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 szabvány szerint működő kalibrálólaboratóriuma, Kecskemét, 2011. 04. 07.
- [3] Minőségirányítási Kézikönyv a MH Lé. Jü. MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 szabvány szerint működő vizsgálólaboratóriuma, Kecskemét, 2012. 05. 24.
- [4] Dr. Szilágyi Dénes PhD: Légijárművek Üzemfenntartása című előadás sorozatának ismeretanyaga, 2009
- [5] Czechmeister István: A Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzem minőségirányítási rendszer bevezetési projektje, ZMNE, szakdolgozat, Budapest, 2007.
- [6] Zupkó Tibor: Minőségbiztosítás az MH Légijármű Javítóüzemében, Repüléstudományi Közlemények különszám 2008. 04. 11

## SZABVÁNYJEGYZÉK

- [1] MSZ EN ISO 9000:2005 Minőségirányítási rendszerek. Alapok és szótár
- [2] MSZ EN ISO 9001:2009 Minőségirányítási rendszerek. Követelmények
- [3] MSZ EN ISO 1012:2003 Mérésirányítási rendszerek. A mérés folyamatokra és a mérőberendezésekre vonatkozó követelmények
- [4] MSZ EN ISO 19011:2011 Útmutató irányítási rendszerek auditjához
- [5] MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 Vizsgáló- és kalibrálólaboratóriumok felkészültségének általános követelményei (ISO/IEC 17025:2005)
- [6] MSZ 28001:2008 A munkahelyi egészségvédelem és biztonság irányítási rendszere (MEBIR). Követelmények (BS OHSAS 18001:2007)
- [7] NATO AQAP 2009:2010 NATO használati útmutató az AQAP 2000-es kiadványsorozathoz
- [8] NATO AQAP 2105:2009 NATO követelmények benyújtandó minőségtervekhez
- [9] NATO AQAP 2110:2009 A hadfelszerelések gyártásának NATO minőségbiztosítási előírásai
- [10] NATO ACMP-1 NATO követelmények a konfigurációirányítási tervek elkészítéséhez
- [11] 2042/2003/EK rendelete A légijárművek és repüléstechnikai termékek, alkatrészek és berendezések folyamatos légi alkalmasságának biztosításáról és az ezzel összefüggő feladatokban résztvevő szervezetek és személyek jóváhagyásáról(2003.november20.)

Reményi Ákos<sup>1</sup> – Grósz Andor<sup>2</sup> – Helfferich Frigyes<sup>3</sup>

## AZ ALLERGIÁS NÁTHA REPÜLŐORVOSI JELENTŐSÉGE<sup>4</sup>

*A népbetegséggé vált allergiás nátha kezelése speciális feladat elé állítja a polgári- és katonai egészségügyet. A katonai állomány ellátása és az alkalmasság megadása speciális katonai orvosi feladat. Katonák esetében az allergiás nátha fennállásakor mérlegelni kell a beteg besorozhatóságát és bevetettségét. A téma legnagyobb jelentőséget a katonai- és polgári repülésben kap, ahol az adott nemzeti repülési hatóság előírásait kell figyelembe venni. A dolgozat egyszerű formában ismerteti a diagnosztikai és terápiás irányelveket, a speciális elbírálást igénylő - például repülő személyzet - gyógyszeres ellátásának kérdését, különös tekintettel a kezelés gerincét képező antihisztaminok közötti választás szempontjaira, a szedáló mellékhatás megelőzése érdekében. A dolgozat áttekinti a kórkép prevalencia adatait, az ide vonatkozó előírásokat, a hazai és nemzetközi javaslatokat és összegzi a szerzők megállapításait.*

### THE REGARDS OF ALLERGIC RHINITIS IN AEROMEDICINE

*The treatment of endemic allergic rhinitis is a challenging task for the civil and military medicine. Medical officers are in charge for treating the personnel and they bolt deployability. In case of military men with allergic rhinitis enlistment and deployment must be reconsidered, in case of pilots the guidelines of the National Authority must be followed. The paper briefly presents the diagnostic facilities and the therapeutic principles. The medical treatment of pilots is stressed since it bears special considerations, with special interest for the choice among antihistamines, in order to prevent sedative side-effects. The review presents the prevalence data of allergic rhinitis, the relevant civil and military regulations, the domestic and international guidelines, and the author summarizes his findings.*

## AZ ALLERGIÁS RHINITIS DEFINÍCIÓJA

Az allergiát, mint meghatározást 1906-ban Clemens von Pirquet bécsi gyermekorvos alkalmazta először. Vizsgálatai során néhány betegénél ártalmatlan, környezetünkben előforduló anyagokkal, például pollenekkel, háziporral, egyes élelmiszerekkel szemben túlérzékenységi reakciót tapasztalt. Az általa létrehozott új kifejezés a görög allosz („más, eltérő”) és ergon („működés”) szavak összetételéből származik. Az allergiás nátha (allergiás rhinitis, AR) az orr-, és melléküregek nyálkahártyájának, submucosájának IgE mediálta gyulladós reakciója, az azt érő légúti allergének hatására, amelyet gyakran kísér a szem kötőhártyájának gyulladása is. Időszakosan megjelenő formája a szezonális allergiás rhinitis; ez definíció szerint „az év

<sup>1</sup> o. százados, adjunktus, Magyar Honvédség Egészségügyi Központ, Fül-orr-gége, Fej-nyaksebészeti Osztály, Budapest, a.remenyi@mailbox.hu

<sup>2</sup> o. dandártábornok, CSc, Magyar Honvédség Egészségügyi Főnök; tanszékvezető egyetemi tanár, SZTE-ÁOK Repülő- és Űrorvosi Tanszék, Szeged

<sup>3</sup> orvos ezredes, PhD, osztályvezető főorvos, Magyar Honvédség Egészségügyi Központ, Fül-orr-gége, Fej-nyaksebészeti Osztály, Budapest

<sup>4</sup> Lektorálta: Dr. Szabó Sándor András o. alezredes, MH Egészségügyi Központ Védelem-egészségügyi Igazgatóság Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet Intézetvezető főorvos helyettese, sasi19620@gmail.com

meghatározott időszakában, visszatérően jelentkező, pollen vagy gombaspóra okozta légúti allergia” [1]. Újabban intermittálónak is nevezik, a tünetek hetente 4 vagy kevesebb napig illetve évente 4 vagy kevesebb egymást követő héten keresztül tartó fennállása alapján [2]. Perenniális formába soroljuk az év során a fentieknél hosszabban fennálló panaszokkal jelentkező formát – ezt perzisztálónak is nevezik –, ilyenkor a tünetek hetente több mint 4 napon át és több mint 4 egymást követő héten keresztül jelentkeznek.

A betegség – elterjedtsége, évről-évre emelkedő száma, jelentős gazdasági kihatásai, továbbá az életminőségre gyakorolt hatásai miatt – egyre nagyobb jelentőséggel bír. Számos kiváló, hazai és nemzetközi konszenzus riport született vele kapcsolatban. A két legfontosabb közülük a széles nemzetközi együttműködéssel elkészített ARIA –Allergic Rhinitis and its Impact on Asthma (ARIA) 2008 Update (in collaboration with the World Health Organization, GA2LEN and AllerGen); és a témában érintett öt hazai szakmai kollégium közös ajánlása a rhinitisről [1][2]. Előbbi az ún. evidence based medicine elveinek megfelelően – tehát objektív, kettős vak, placebo-kontrollált vizsgálatok alapján felállított – diagnosztikai és kezelési elveket határoz meg; utóbbi ugyanennek a hazai körülményekre vonatkoztatott implantálása.

## AZ ALLERGIÁS RHINITIS PREVALENCIÁJA

A betegség előfordulási gyakorisága világszerte nő. Az utóbbi években nagy mintán, kérdőív segítségével végzett felmérések a szezonális AR esetén 3–42%-os prevalencia adatokat adtak meg, a pereniális AR esetében az arány 1,14–13% között volt [3]. Japán szerzők 2010-ben közölt adatai 43%-os eredményt mutattak, mely az utóbbi 10 évben 10%-os emelkedést jelentett [4].

Hazai vizsgálatok gyermekek esetében 1987-ben 8,1%-os, 1997-ben 14%-os, 2002-ben 17%-os előfordulási gyakorisági adatokat mértek [5]. Egy szegedi munkacsoport 1994-ben felnőttek kérdőíves és allergológiai vizsgálatával 11%-os eredményre jutott [6]. 2004-ben 5–70 évesek körében végzett magyar kérdőíves kutatás 25%-os, allergológiai vizsgálatokkal pontosítva 16%-os előfordulását találta az allergiás rhinitisnek [7].

Hazai hadköteles állományánál 1973-ban 1,7%-ot, míg 2001-ben 4,6%-ot mértek [8]. További, 1999-ben végzett felmérés már 8,4%-os prevalencia adatot talált [9]. Az USA hadseregében a Perzsa-öbölben történt harcok kapcsán az AR fokozott megjelenését észlelték. A résztvevő katonák 9,9 %-a szenvedett a betegségben, szemben az otthonállomásozó csapatok esetében mért 5,1 %-kal [10].

## AZ ALLERGIÁS NÁTHA SPECIÁLIS VONATKOZÁSAI KATONÁK ESETÉN

Az allergiás rhinitis népességen belüli magas prevalenciája komoly probléma elé állítja a sorozóbizottságokat és a katonai, felelős hatóságokat. Amennyiben ugyanis az ebben a kórképben szenvedő földi vagy repülő személyzetet alkalmatlanná nyilvánítják a szolgálat ellátására, úgy – statisztikailag – mintegy ötödét elveszítik a népesség egyébként egészséges és bevethető részének. Speciális katonai egységek esetén (pl. mesterlövészek) az AR a bevethetőséget meghatározó tényező lehet. A repülőgép-vezetőknél az allergiás nátha – a betegség szokványos tüneteinek túl – jelentős, további zavaró tényezőként jelentkezik. Felszálláskor és landoláskor, amikor a



pilóta figyelme kritikus tényező, a légnyomás-változás az orrmelléküregekben és a fülben fájdalmat válthat ki (barotrauma). További probléma lehet az, hogy az allergiás conjunctivitis által okozott látászavar megnehezítheti a létfontosságú műszerek folyamatos megfigyelését; a tüszögés szintén elterelheti a pilóta figyelmét. Az allergiás rhinitis kezelése, tünetmentessé tétele – a pilóta közérzetének javításával – növeli a repülés biztonságát. A hajózó személyzet részére engedélyezett gyógyszereknek azonban szigorú ellenőrzésen kell átesniük arra vonatkozóan, hogy nem jelentenek-e fokozott kockázatot a kognitív képességek lerontása révén [11].

## AZ ALLERGIÁS NÁTHA DIAGNOSZTIKÁJA A PANASZOK ALAPJÁN

Az allergiás nátha igen jellegzetes tünetekkel rendelkezik: tüszögés, orrdugulás, vizes orrfolyás, szem- és garatviszketés, esetenként a conjunctiva vérbősége, váladákozása. Ezek alapján igen könnyű lenne a kórisme felállítása, azonban a betegséget néha nehéz elkülöníteni a hasonló tünetekkel jelentkező egyéb rhinológiai kórképektől. Akár egy egyszerű meghűléstől, vírusos náthától való differenciálás is problémás lehet az alapellátásban.

### Az AR jellegzetes tünetei:

1. tüszögés,
2. orrfolyás,
3. orrdugulás,
4. szemviszketés, orr-, garatviszketés,
5. fáradtság, levertség.

### A meghűlés leggyakoribb tünetei:

1. orrfolyás,
2. orrdugulás,
3. fejfájás,
4. hőemelkedés, esetleg hidegrázás, láz,
5. tüszögés,
6. elesettség, gyengeség,
7. ritkábban: szemváladákozás, izomfájdalmak.

A legjellemzőbb eltérés a két kórkép között az, hogy allergiában soha sincs láz, meghűlésben pedig nincsenek „viszkető tünetek”, továbbá egy banális vírusfertőzés átlagosan egy hétig tart, az allergiás rhinitis jellemzően hosszabb ideig.

A szakmai kollégiumok már említett, a Háziorvosi Szemlében közölt ajánlása [1] és az ARIA [2] is ún. „strukturált kikérdezést” lehetővé tévő kérdőívek (kérdés-sorok) használatát javasolja, amely segíthet a diagnózis felállításában és a légúti betegségek differenciál-diagnosztikájában. A szezonális allergiás rhinitisre jellemző tünetek meglétét az alábbi kérdésekre adott „igen” válaszok valószínűsíthetik (idézet a hazai ajánlásból):

Rendelkezik-e Ön az alábbi tünetekkel, naponta legalább egy órán keresztül, vagy a legtöbb napon egy adott szezonban, ha a panaszai szezonálisak:

- vizes orrváladákozás;
- tüszögés rohamokban;

- orrdugulás;
- orrviszketés;
- kötőhártya-gyulladás (vörös, viszkető szem)?

A hasonló nazális panaszokat kiváltó, de nem allergiás hátterű rhinitis, vagy egyéb rhinológiai kórképektől (pl. orrpolyposis, idült sinusitis vagy akár orrüregi daganatok) való elkülönítést az alábbi kérdőív segíti, az erre adott „igen” válaszok esetén mérlegelni kell a fül-orr-gégész szakorvoshoz történő irányítást (idézet a hazai ajánlásból):

Rendelkezik-e Ön az alábbi tünetekkel:

- féloldali orrpanaszok;
- sűrű, zöld- vagy sárga színű orrváladék;
- hátsó garatfalon lecsorgó nyák vizes orrfolyás nélkül;
- arcfájdalom;
- ismétlődő orrvérzések;
- szaglásvesztés?

Igen lényeges, hogy az AR diagnosztizálása mellett ne sikkadjon el az esetlegesen fennálló asthma bronchiale felismerése sem. Utóbbi kórkép a beteg számára komolyabb veszélyeket is rejt, mint az inkább csak az életminőséget rontó allergiás nátha. Erre gondolva, a hazai szakmai kollégiumok az alábbi kérdőív megválaszolását javasolják (asztmaszűrő kérdések):

1. volt-e valaha (vagy akár többször is) sípoló légzése;
2. tapasztalt-e már zavaró köhögéseket, különösen éjjel;
3. fizikai terhelés után tapasztalt-e sípoló légzést, vagy köhögött-e;
4. érez-e időnként mellkasi feszülést?

„Igen” válaszok esetén asthma (együttes) fennállása valószínűsíthető. A már említett rhinológiai figyelemfelhívó (ún. alarm) tünetek, tehát: a gennyes orrfolyás, arcfájdalom, fejfájás, szaglásvesztés, orrvérzés, arc-, és periorbitalis duzzanat, láz, rossz általános állapot, továbbá asthma gyanúja esetén a beteg szakorvoshoz irányítása feltétlenül szükséges [1].

## AZ ALLERGIÁS NÁTHA SPECIÁLIS DIAGNOSZTIKÁJA

### Fül-orr-gégészeti vizsgálat

Első lépésként a részletes, célzott anamnézis, kórtörténet felvétel, majd fül-orr-gégészeti fizikális vizsgálat javasolt, amely az orrnyálkahártya állapotának, esetleges orrüregi elváltozásának megítélését teszi lehetővé, például orrpolyposis észlelését, de akár egy malignus daganat kiszűrését is.

### Allergológiai vizsgálat

#### *Bőrpróba*

A bőrpróbák lényege a szenzitizált egyén specifikus IgE-mediált, azonnali allergiás túlérzékenységenek kimutatása. A vizsgálat során az allergént (annak kivonatát vagy rekombináns úton előállított, tiszta változatát) a bőrbe juttatjuk, majd figyeljük és kiértékeljük az ennek hatására kiala-

kult bőrreakciót: vérbőség és csalánkiütés a beadás helye körül [12]. Számos módszert alkalmaznak az allergén bőrbe juttatására, ezek közül a legjobban standardizálhatónak és ezáltal a legmegbízhatóbbnak egyértelműen az ún. prick-tesztet tartják. Gyakori félreértés, hogy ez nem „szerzői” név, hanem az angol prick (megszúr, megbökö) igéből ered, és a bejuttatás módjára utal. Fontos megjegyezni, hogy gyakorlatilag fájdalommentes, gyermekeken (kb. 3 éves kortól) is elvégezhető, és szakavatott kézben (amely növeli a megbízhatóságot is) könnyen kivitelezhető, gyors, olcsó [12]. Referenciának a Pepys által leírt metodika ajánlott [2][13]. Az eredményt 15 perc elteltével olvassák le, a késői bőrreakciók értékelése nem szükséges, ugyanis nem kapcsolódik IgE-mediált folyamatokhoz [14][15]. Helyes kiértékelése, az eredmények korrekt interpretációja teljesen egyenértékű diagnosztikus eszközzé teszi a többi módszerrel összehasonlítva. Némileg időigényes volta ellenére számos európai országban alkalmazzák háziiorvosi praxisban is [16][17]. A jó eredményhez okvetlenül begyakorlott kivitelező személyzet szükséges [12]. Eredményét számos tényező befolyásolhatja, így többek között bizonyos gyógyszerek szedése, életkor, a szezonális allergének esetén az adott évszak, aspecifikus bőrreakciók fennállása [2]. Utóbbiak miatt gyakori az álnegatív vizsgálat (általában a technika hibájából), az álpozitivitás pedig akár 43 %-ot is elérhet, általában a tünetmentes szenzitizáció eredményeképpen. Fontos megjegyezni, hogy az AR diagnózisa csak és kizárólag a klinikai kép és a specifikus vizsgálatok eredményének együttes fennállása esetén mondható ki biztonsággal, viszont a kezelés megkezdéséhez nem szükséges a pozitív tesztek megléte. A teszt előtt az antihisztaminok és kromolinok adása legalább 48-96 órára, mindenképpen felfüggesztendő! A prick-tesztet számos nemzetközi állásfoglalás az AR elsődleges diagnosztikai eszközének tartja [14][15][18].

#### *Allergén-specifikus IgE-szintek vizsgálata vérből:*

Az allergén-specifikus IgE jelenléte (kvalitatív vizsgálat) és mennyisége (kvantitatív vizsgálat) in vitro, vérből is kimutatható. Hátránya, hogy lényegesen drágább, előnye, hogy az eredményt gyógyszereszedés, bőrbetegség nem befolyásolja [6]. A nonspecifikus, össz-IgE szint nem mutat korrelációt az AR fennállásával, így ennek vizsgálata nem szükséges és nem javasolt [2][19].

## AZ ALLERGIÁS NÁTHA SÚLYOSSÁGÁNAK MEGÍTÉLÉSE

Az ARIA két csoportba sorolja a tünetek súlyossága, illetve az ebből következő életminőségromlás alapján a szezonális allergiás náthát: enyhe és középsúlyos/súlyos forma [2]. A besorolás azért bír jelentőséggel, mert ennek alapján tesznek különbséget a javasolt kezelési protokollokban (utóbbiak részletes bemutatása nem képezi jelen dolgozat részét). A súlyosság megbecslése azért jelent problémát, mert nehezen mérhető, szubjektív panaszokra alapul. Tudományos kutatásokban az objektivitás javítására ún. „vizuális analóg skálákat” alkalmaznak, azonban a hétköznapi gyakorlatban hasznosabb a következő elkülönítés:

- enyhe forma: nincs alvászavar, a napi aktivitás nem zavart és a tünetek nem bántóak;
- középsúlyos /súlyos forma: legalább egy a fentiekből, és a tünetek bántóak, zavarók; tehát: van alvászavar és/vagy a napi aktivitás zavart.

## ÁLTALÁNOS TERÁPIÁS IRÁNYELVEK ALLERGIÁS RHINITISBEN

Az allergiás rhinitis kezelését illetően a hazai szakmai kollégiumok ajánlását vesszük át, amely a tünetek kezelésének lépcsőzetes elvét követi [1]. Általánosságban orális II. generációs antihisztamin, nasalis antihisztamin, intranazális szteroid, ezek kombinációja, átmeneti lokális és/vagy szisztémás vazokonstriktor alkalmazás, orális szteroid lökésterápia, immunterápia, antileukotrién kezelés, fényterápia és műtét végzése jön szóba. A pontos terápiás protokollok ismertetése nem képezi jelen dolgozat tartalmát.

### AZ ALLERGIÁS RHINITISBEN ALKALMAZOTT ANTIHISZTAMINOK HATÁSA A KÖZPONTI IDEGRENDSZER MŰKÖDÉSÉRE

A kezelés alapvegyületei a H<sub>1</sub>-receptor blokkoló antihisztaminok leggyakoribb és legfontosabb centrális mellékhatása lehet a szedáció. Minden, a központi idegrendszerbe jutó gyógyszer kifejti pszichoaktív hatásokat: változásokat okoz az éberségben, koncentrációban, figyelemben, memóriában, észlelésben, a pszichomotorium pontosságában, teljesítőképességében, sőt az érzelmi állapotban is [20]. Az Aerospace Medical Association Renoban (Nevada) tartott 2001-es tanácskozásán az allergiás rhinitis és a repülőorvostan témakörében összehívott nemzetközi grémium áttekintette a szelektív H<sub>1</sub>-receptor antagonisták használatának lehetséges veszélyeit, a biztonságossági szempontból kiemelt foglalkozású (safety-critical job) betegek körében történő alkalmazás esetén [21]. Fontos megjegyezni, hogy a szedáció annak szubjektív észlelése nélkül is előfordulhat, illetve megfelelő tesztekkel kimutatható lehet a kognitív működések romlása, akár az allergiás rhinitisből, akár annak kezeléséből ered [22]. Így a szedációt két szempontból lehet vizsgálni; az egyik a szubjektív észlelés: álmoság, letargia, enyhe szellemi zavar, a másik a magasabb kognitív funkciók romlása; ilyen a rövid távú emlékezet, a figyelem, koordináció, pszichomotoros teljesítmény zavara. A kognitív működések csökkenése a probléma-megoldó képesség latenciáját eredményezheti, amely komoly gondot jelenhet kritikus biztonsági helyzetekben.

A kognitív funkciók objektív mérésére számos vizsgálati módszert vezettek be. A vizsgálatokat Mohler és mtsai. dolgozatából [21] átvett 1. táblázat mutatja be.

Teszt	Leírás
Repülőorvosi éberségi feladat	A repülésben szereplők tartós figyelmi képességét és reakcióidejét mérő vizsgálat
Számjegy helyettesítő teszt	A látás és finom motoros-, valamint az integrációs képességeket vizsgáló teszt
Követési teszt	A pontos és folyamatos követési képesség vizsgálata
Összetett álmosági teszt	Az álmoság mérésére szolgáló egész napos teszt
CogSreen-AE teszt	Egy hitelesített, számítógép vezérelt műszer, mellyel pilóták és a gyakorlatozók memóriáját, figyelem megoszthatósági képességét, döntési reakcióidejét és kognitív képessége mérhető (a kereskedelmi repülés, haditengerészeti-, katonai légierő, valamint a Szövetségi Légügyi Hatóság/FAA által is használt)
Novascan	A Szövetségi Légügyi Hatóság/FAA által fejlesztett, a repülés egészségügyi képességek vizsgálatára szolgáló teszt

1. táblázat

A specifikus katonai kognitív-funkciós vizsgálatok leírását a 2. táblázat mutatja be.

Teszt	Leírás
AVT (Repülés egészségügyi Éberségi Teszt)	Betű felvillanások a képernyőn 1ms-ig, másodpercenként. A „cél” betű az X, minden más betű lényegtelen. A teszt 18 blokkot tartalmaz, blokkonként 6 „cél”betűvel és 114 egyébvel. A tesztet neuropszichológus értékeli.
CogScreen-AE teszt	11 altesztet tartalmaz, közülük kettő további két feladatból áll. A tesztet neuropszichológus értékeli.
VAS (Vizuális Analóg Skála)	Az álmoságérzet értékelésére szolgál, egy függőleges vonal 100 mm-es vízszintes skálára történő rajzolása által. Értékeli továbbá a kapcsolatot az álmoságérzet és a kognitív funkciók változása között.(pl. reakcióidő)

2. táblázat

A fenti, kognitív működéseket vizsgáló eljárásokkal több, nem szedatívnak tartott antihisztaminról bebizonyosodott, hogy terápiás dózisban (cetirizin) vagy afölött (loratadin) szedatív hatással bírnak. Loratadin esetében a kognitív képesség csökkenésének lehetséges aránya 0,27-nek adódott placebo-hoz képest, fexofenadin esetében ez 0, azaz alkalmazása esetén nincs kimutatható kognitív zavar [20]. A loratadinhoz és fexofenadinhoz képest a cetirizin 3,5-szer, az acrivastin 2,8-szor gyakrabban okoz szedációs hatást [21]. Számos nemzetközi tanulmányt áttekintve, a fexofenadint szokványos terápiás dózisban pilóták számára veszélytelennek nyilvánították [11][21]. A fexofenadin sem a terápiás (120–180 mg/nap) dózisban, sem afölött (240 mg) nem okoz a placebonál magasabb arányban álmoságot (un. „sleep-latency” és „szubjektív álmoság” vizsgálatok) vagy pszichomotoros teljesítmény-csökkenést. Az első generációs antihisztaminokról, továbbá a cetirizinről bebizonyosodott, hogy szedatív hatása autó- és repülőgép-balesetekhez vezetett. Meglepő módon, még a harmadik generációs levocetirizin esetében is igazolni lehetett szedációt emelt dózisok esetén, melyet a gyógyszer saját leírása is elismer [21].

## KATONA-, REPÜLŐORVOSI SZABÁLYOK ÉS ELŐÍRÁSOK ALLERGIÁS NÁTHA FENNÁLLÁSA ESETÉN, ENGEDÉLYEZETT KEZELÉSI MÓDOK

Az Amerikai Egyesült Államok hadseregének érvényes sorozási szabályzata szerint (Military Medical Standards for Enlistment & Appointment) az allergiás rhinitis (pollenallergia vagy más allergén, továbbá ismeretlen ok miatt) kizáró tényező, hacsak orális vagy helyi kezeléssel nem kontrollált. Korábban az Egyesült Államok Szövetségi Repülési Hatósága és a Haditengerészet szabályzata is megtiltotta a repülést orrdugulás vagy allergiás rhinitis gyógyszeres kezelése esetén [24]. Már az 1990-es években a leggyakoribb, repülést kizáró ok az AR volt [28], annak ellenére, hogy a betegséget nem találták egyéb rhinológiai betegségre hajlamosító oknak. Manapság a kérdés megítélése és szabályozása változott. Az Amerikai Repülőorvosok Társasága által kiadott guideline szerint (Clinical Practice Guideline for ASTHMA Developed for the Aerospace Medical Association by their constituent organization American Society of Aerospace Medicine Specialists) az Amerikai Légierő engedélyezte az intranazális kortikoszteroidok, a montelukast, és/vagy az immuntherápia alkalmazását. Az USA-ban repülőorvosilag egyedül a fexofenadin és a második generációs antihisztaminok közül a loratadin (max. 10 mg dózisban) engedélyezett. A loratadin 10 mg/nap feletti dózisban átlépheti a vér-agy gátat, és ezért nem adható USAF pilótáknak [26]. A fenti antihisztaminok adása is külön





engedélyezéshez kötött („waiver”), továbbá hétnapos földi kipróbálásnak kell megelőznie a repülést, az esetleges mellékhatások észleléséhez. A Haditengerészet légi személyzete esetén csak az említett antihisztaminok tiszta formáinak alkalmazása megengedett, dekongesztánsokkal (pl. pseudoephedrin) együttes formáik nem. Az immunterápia szintén csak külön engedély mellett alkalmazható, és beadása után a beteg 12 óráig nem szállhat fel [27].

Az USA-ban a fexofenadint és a loratadint a Szövetségi Légi Hatóság (Federal Aviation Administration) alkalmazhatónak nyilvánította a kezelőorvos személyes javaslata esetén. Az Amerikai Légierő és Haditengerészet szintén engedélyezte a két gyógyszer használatát hatályos felmentés esetén. Nagy-Britanniában a katonai és polgári szabályozó hatóságok (Joint Aviation Authority) szezonális allergiás náthában szenvedő pilóták részére a fexofenadin alkalmazását engedélyezte [21]. A NATO Kutatási és Technológiai Szervezete (RTO) munkacsoportot hozott létre a katonai repülőszemélyzetnél alkalmazható gyógyszerek körének meghatározására. Véleményük szerint kellő bizonyíték támasztja alá a fexofenadin (napi 120–180 mg) és a loratadin (napi 10mg) megbízhatóságát. Mindezekkel szemben, Japánban semmilyen szisztémás hatású antihisztamin sem engedélyeznek a pilóták részére [21]. Hazánkban a KRK (nyt. szám: 675/2005), illetve a MH HEK Pk. 1056/2007 sz. módosító parancs (nyt. szám: 1/155/2007) szerint antihisztamin nem adható repülő személyzetnek.

## KONKLÚZIÓ

A betegség – elterjedtsége, évről-évre emelkedő száma, bemutatott kihatásai, az életminőségre és a katonai alkalmasságra gyakorolt hatásai miatt – egyre nagyobb jelentőséggel bír. Az allergiás rhinitis kezelése fontos és lehetséges a polgári és katonai egészségügyben és repülésben. A kezelő fül-orr-gégész szakorvossal történő konzultáció után, megfelelő biztonsági rendszabályok betartása mellett, jól megválasztott gyógyszeres kezeléssel a katonai alkalmasság megőrizhető, a személyzet bevetésének, így pl. a repülésnek nincs fokozott kockázata. Irodalmi adatok alapján megállapítható, hogy a betegségben leginkább használt, és ma már orvosi rendelvény nélkül is kapható antihisztaminok közül, a széles terápiás ablakkal rendelkező fexofenadin adható legnagyobb biztonsággal a kritikus biztonságú munkahelyeken dolgozóknak [21], de biztonsági szempontból a terápiás tartományon belül alkalmazott loratadin és a dezloratadin is elfogadható [23]. A kérdés katonae egészségügyi előírásai nemzetközileg sem egységesek. Ezen új, bizonyított tapasztalatok még számos ország szabályozásába nem épültek bele, így például a hazaiába sem. A szerzők véleménye szerint az ide vonatkozó hazai repülési szabályzatváltoztatás időszerű lenne.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] HIRSCHBERG A.: Rhinitis: Szakmai Kollégiumok ajánlása 2010-ben. Háziorvos Továbbképző Szemle, 2010, 15, 5–8. o.
- [2] BOUSQUET J., KHALTAEV N., CRUZ A.A., et al.: Allergic Rhinitis and its Impact on Asthma (ARIA) 2008 Update (in collaboration with the World Health Organization, GA2LEN and AllerGen). Allergy, 2008, 63(Suppl. 86), 8–160. o.
- [3] JONES N.S., CARNEY A.S., CAVIS A.: The prevalence of allergic rhinosinusitis: a review. J. Laryngol. Otol, 1999, 112, 1019-1030. o.
- [4] SAKASHITA M., HIROTA T., HARADA M., et al.: Prevalence of allergic rhinitis and sensitization to common aeroallergens in a Japanese population. Int Arch Allergy Immunol, 2010, 151, 255–261. o.
- [5] BITTERA I., GYURKOVITS K.: A gyermekkori rhinitis allergica epidemiológiai és kórtörténeti adatainak elemzése. Gyermekgyógyászat, 1990, 41, 401-407. o.
- [6] KADOCSA E.: Az allergiás eredetű nátha prevalenciájának meghatározása Szegeden. Fül-orr-gégegyógyászat, 1994, 39, 182-188. o.
- [7] KOPPÁNY J., BALOGH K., AUGUSZTOVICZ M., PINTÉR J.: Allergiás légúti megbetegedések hazai epidemiológiája a környezeti tényezők tükrében. Háziorvosi Továbbképző Szemle, 2004, 9, 505-509. o.
- [8] JOUBERT K., GYENIS Gy.: A 18 éves sorköteles ifjak egészségi állapota, testfejlettsége I. Bp.: Központi Statisztikai Hivatal Népegészségtudományi Kutatóintézet, 2001/5, 21-22. o. ISBN 963 7109 81 1.
- [9] MEDVECZKI Z., KOLLÁR D.: Az allergiás nátha növekvő gyakorisága Magyarországon a katonai szolgálatra bevonulók körében. Honvédorvos, 1999, 51, 36-42. o.
- [10] SZEMA A. M., PETERS M.C., WEISSINGER M.K., et al.: Increased allergic rhinitis rates among U.S. military personnel after deployment to the Persian Gulf. J. Allerg. and Clin. Immunol., 2008, 121(Suppl.1), 230. o.
- [11] BOWER E.A., MOORE J.L., MOSS M., SELBY K.A., AUSTIN M., MEEVES S.: The effects of single-dose fexofenadine, diphenhydramine, and placebo on cognitive performance in flight personnel. Aviat Space Environ Med, 2003, 74(2), 145-52. o.
- [12] DEMOLY P., MICHEL F., BOUSQUET J.: In vivo methods for study of allergy. Skin tests, techniques and interpretation In: Middleton, E., Reed, C., Ellis, E., Adkinson, N., Yunginger, J., Busse, W., editors. Allergy, principles and practice, 5th edn. St Louis, MO: Mosby Co., 1998, 530–539. o.
- [13] PEPYS J.: Skin testing. Br. J. Hosp. Med., 1975, 14, 412-416. o.
- [14] American Academy of Allergy and Immunology Board of Directors: Allergen skin testing. J. Allergy Clin. Immunol., 1993, 92, 636–637. o.
- [15] BOUSQUET J., LOCKEY R., MALLING H.: Allergen immunotherapy: therapeutic vaccines for allergic diseases. WHO Position Paper. Allergy, 1998, 53(Suppl. 44), 1-42. o.
- [16] CROBACH M. J., HERMANS J., KAPTEIN A. A., et al.: The diagnosis of allergic rhinitis: how to combine the medical history with the results of radioallergosorbent tests and skin prick tests Scand. J. Prim. Health Care, 1998, 16, 30–36. o.
- [17] SIBBALD B., BARNES G., DURHAM S. R.: Skin prick testing in general practice: a pilot study. J. Adv. Nurs., 1997, 26, 537–542. o.
- [18] BERNSTEIN I. L., STORMS W. W.: Practice parameters for allergy diagnostic testing. Joint task force on practice parameters for the diagnosis and treatment of asthma. The American Academy of Allergy, Asthma and Immunology and the American College of Allergy, Asthma and Immunology. Ann. Allergy Asthma Immunol., 1995, 75, 543–625. o.
- [19] DYKEWICZ M.S., FINEMAN S.: Executive summary of joint task force practice parameters on diagnosis and management of rhinitis. Ann Allergy Asthma Immunol., 1998, 81, 463–468. o.
- [20] HINDMARCH I., SHAMSI Z.: Antihistamines: models to assess sedative properties, assessment of sedation, safety and other side-effects. Clin and Exp Allerg, 1999, 29(Suppl. 3), 133-142. o.
- [21] MOHLER S.R., NICHOLSON A., HARVEY P., MIURA Y., MEEVES S.G.: The use of antihistamines in safety-critical jobs: a meeting report. Current Medical Research and Opinions, 2002, 18(6), 332-337. o.
- [22] HINDMARCH I., SHAMSI Z., STANLEY N., FAIRWETHER D.B.: A double-blind, placebo-controlled investigation of the effects of fexofenadine, loratadine and promethazine on cognitive and psychomotor function. Br J Clin Pharmacol, 1999, 48, 200-206. o.



- 
- [23] MANN R., PEARCE G., DUNN N., SHAKIR S.: Sedation with „non-sedating” antihistamines: four prescription-event monitoring studies in general practice. *BMJ*, 2000, 320, 1184-1187. o.
- [24] KALUZA C.L.: Allergic rhinitis and aviation. *Aviat Space Environ Med*, 1989, 60, 83-85. o.
- [25] WALKER C., WILLIAMS H., PHELAN J.: Allergic rhinitis history as a predictor of other future disqualifying otorhinolaryngological defects. *Aviat Space Environ Med*, 1998, 69(10), 952-956. o.
- [26] Clinical Practice Guideline for ASTHMA Developed for the Aerospace Medical Association by their constituent organization American Society of Aerospace Medicine Specialists) [http://www.asams.org/guidelines/Completed/NEW%20Asthma\\_2.htm](http://www.asams.org/guidelines/Completed/NEW%20Asthma_2.htm) (2012.10.11.)
- [27] Aviation Ear Nose and Throat Medicine <http://www.brooksidepress.org/Products/OperationalMedicine/DATA/operationalmed/OperationalSettings/Naval%20Aviation%20Medicine/AviationEar-NoseandThroatMedicine.htm> (2012.10.11).
- [28] BAILEY D. A., GILLERAN L. G., MERCHANT P. G.: Waivers for disqualifying medical conditions in U.S. naval aviation personnel. *Aviat. Space Environ. Med.*, 1995, 66(5), 401-407. o.

Szabó Sándor András<sup>1</sup>

## UAV (PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰ) MŰVELETEK HUMÁN TÉNYEZŐINEK ELEMZÉSE REPÜLÉSBIZTONSÁGI SZEMPONTBÓL<sup>23</sup>

*UAV műveletek során a műveleti célok eléréséhez szükséges elvárt mentális teljesítmény, érzékszervi teljesítőképesség szükségessé teszi az adott beosztásra jelentkező operátorok megfelelő egészségügyi alkalmassági vizsgálatát, szelekciós kritériumok meghatározását. Ezek az egészségügyi követelmények természetesen eltérnek a valós repülést (légiharcot) végrehajtó pilóta élettani-teljesítmény mutatóitól, mivel a repülésélettani stresszorok súlya, repülésbiztonsági kockázati szintje eltérő. A fizikai tűrőképesség és szellemi teljesítőképesség prioritásait repülésbiztonsági, hadműveleti szempontból elemzi a cikk. Egyúttal hangsúlyozza az UAV operátori munkával járó kognitív-mentális teljesítmény igény, a kísérő pszichés stressz és a vegetatív kísérőtünetek együttes értékelésének szükségességét. Az UAV operátorjelöltek pszichés stressztűrő képességének értékelésével, szimulátorban nyújtott teljesítmény és az élettani stressz mutatók elemzésével validálhatjuk a szelekciós kritériumokat.*

### **HUMAN FACTOR ANALYSIS IN UAV OPERATIONS FROM FLIGHT SAFETY ASPECT**

*In UAV operations the achievement of operational task is highly depends on the operators' proper mental performance, sensomotoric skills and abilities, so the medical screening shall be incorporated into the general selection process. The medical requirements naturally can differ from the physiological parameters of the pilot performing real flight (and real fight) because the weighted importance of aeromedical stressors and the level of flight safety risk are different. The priorities of physical tolerance (endurance) and mental performance are discussed from flights safety and operational aspects. The importance of simultaneous evaluation of cognitive performance, accompanying psychic stress and vegetative stress indicators is also emphasized. Based on the combined assessment of psychic stress tolerance, overall performance of UAV operators in ground-based simulator and physiological stress parameters the selection criteria might be validated prospectively.*

## BEVEZETÉS

A légierők stratégiai koncepciójának hosszútávú fejlődésében új irányt nyitott a pilóta nélküli légi járművek rendszeresítése és fejlesztése: míg például az Amerikai Hadsereg 2001 októberében 54 UAV eszközzel kezdte meg a harci műveleteket Hunter és Shadow típusokon, addig ma **csak a US Army több, mint 4000**, különböző méretű és képességű UAS<sup>4</sup> platformot alkalmaz. A tapasztalatok alapján megszülettek azok a stratégiai elképzelések, amelyek gyökeresen új irányt szabnak a repülőeszközök alkalmazásának, új képességek költségghatékony kialakítását

<sup>1</sup> o. alezredes, MH Egészségügyi Központ Védelem-egészségügyi Igazgatóság Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet Intézetvezető főorvos helyettese, sasi19620@gmail.com

<sup>2</sup> Új Széchenyi Terv: TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat; "Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások". Adatintegráció alprogram, A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Dunai Pál alez; egyetemi docens, NKE Katonai Repülő Tanszék, dunai.pal@uni-nke.hu

<sup>4</sup> UAS: Unmanned Aerial System, Pilóta nélküli Repülési Rendszer

teszi lehetővé.<sup>5</sup> Ez utóbbi egyértelmű: az UAV légi jármű építésének, üzemeltetésének tényleges költsége nagyságrendekkel kisebb, mint a 4–5. generációs harci gépeké. Az egyik legátfogóbb erre vonatkozó tanulmány az amerikai hadsereg UAS Kiválósági Központjában készült el, ahol 2035-ig fejtettek ki nagy ívű elképzelést az UAV platformok harci alkalmazásáról.<sup>6</sup>

Bár definíció szerint az UAV légi járművet nem fedélzeti pilóta irányítja, mégis olyan komplex repülési és harci rendszer, ahol a működtetésért felelős földi operátor felelőssége alapvető. Az ő kiképzésének, rendszerben tartásának anyagi vonzata is költséghatékonyan kezelhető: az UAV-t távolból irányító operátor kiválogatásának, kiképzésének és rendszerben tartásának költsége – az egészségügyi vizsgálatok spektrumának szűkítése, a szimulátoron történő képzés és az UAV irányítás analógiáján alapuló képzés egyszerűsítése – lényegesen alacsonyabb anyagi ráfordítást eredményez. Bizonyos típusú emberi hibák és hajlamosító háttértényezők (gyorsulás-túlterhelés és hypoxia okozta cselekvőképtelenség) pedig egyszerűen kiiktathatók, és az ellenük való technikai védelem, megelőző kiképzési eljárások (oxigénhiány demonstrációja barokamrában, gyorsulástűrő képesség fejlesztése centrifugában) fölöslegessé válnak.

Ugyanakkor az UAV légi járművek eszköztárának épsége – akár harcászati felderítésről, akár csapásmérésről van szó – nemcsak repülésbiztonsági, de nemzetbiztonsági problémát is felvet. Egyrészt polgári légtérben nem veszélyeztetheti a légiközlekedés biztonságát, másrészt műveleti területen nem kerülhet az ellenség kezébe, még műszaki meghibásodás esetében sem, még elemezhető roncsok formájában sem. Ilyen szempontból az operátor egészségi állapota, cselekvőképessége is ugyanolyan repülésbiztonsági, illetve harci-műveleti-tényező, mint például a „valódi” pilóta gyorsulás-túlterhelés elleni tűrőképessége. Az operátor munkavégző képességének elemzése, a humán faktor hiba lehetőségeinek kizárása ezért alapvető. Erre vonatkozóan például az Amerikai Repülőorvosi Társaság (ASMA) 2010-es kongresszusa (Phoenix, Arizona) már külön UAV szekciót<sup>7</sup> szervezett, ahol az előadásokon nagy hangsúlyt kapott a kiválogatás szempontjainak elemzése, a szellemi teljesítmény magas szinten tartásának hatékony módszerei és a kifáradás megelőzésének lehetősége.

A szakirodalom releváns adatainak áttekintése és elemzése mellett saját vizsgálati protokoll kialakítását is folytatjuk, amely földi körülmények között, szimulátorban nyújtott repülési teljesítmény és mentális funkciók értékelésén alapul, és alkalmas a kognitív feladatot kísérő stressz reakció jellemzésére, ezáltal a tűrőképesség és beválási valószínűség megállapítására. Ez hosszú távon alátámaszthatja a szelekciós kritériumok életszerűségét és validálhatja a kiválogatás szempontjait.

---

<sup>5</sup> Joint Capabilities Integration and Development System (JCIDS): Közös képességek Integrációja és Fejlesztési Rendszere

<sup>6</sup> „Eyes of the Army” US ARMY Roadmap for Unmanned Aircraft Systems 2010-2035. UAS ARMY UAS Center of Excellence, Fort Rucker, Alabama url: [http://www-rucker.army.mil/usaace/uas/US Army UAS RoadMap](http://www-rucker.army.mil/usaace/uas/US%20Army%20UAS%20RoadMap), letöltve 2013. február 25-én

<sup>7</sup> ASMA annual conference, [www.asma.org](http://www.asma.org), (2010. 12. 6.)





## AZ EMBERI TÉNYEZŐ MINT HIBAFORRÁS

### Pilóta és operátor környezeti kihívásai

A 4–5. generációs vadászgépek korában a katonai repülésben magasan képzett, „tökéletesen egészséges”, a repüléssel járó kombinált élettani stressz helyzetekre földi szimulációs helyzetekben (centrifuga, barokamra, forgó GYRO laboratóriumi létesítményben) felkészített pilótákra van szükség. Az ilyen pilóták kiválogatásának, felkészítésének és rendszerben tartásának összköltsége vetekszik a korszerű harci technika és csapásmérő képesség árával.

Az RPA (Remotely Piloted Aircraft), azaz UAV műveleteiben az emberi hibaforrások skálája eltér az ember vezette légi járművön kiemelt szerepet játszó, a valós repülési környezetből és élettani stresszor tényezőkből eredő hibáktól. Míg a repülőgép fedélzetén a gyorsulás-túlterhelés, az oxigénhiány és a térbeli dezorientáció a leggyakoribb baleseti ok, addig az UAV műveletek során az első két okcsoport egészében kiesik, a térbeli tájékozódó képesség elvesztésének pedig új típusai kerülnek előtérbe, ahol nem a mozgási élmény, hanem annak hiánya csapja be az emberi érzékszerveket és vezet hamis helyzetérzékeléshez. Ennek átfogó elemzését a az USAF vezérkaránál végezték el.<sup>8</sup>

### Az UAV „pilótakabinja” a repülőeszköztől térben és időben elszakadva új helyzetet teremt:

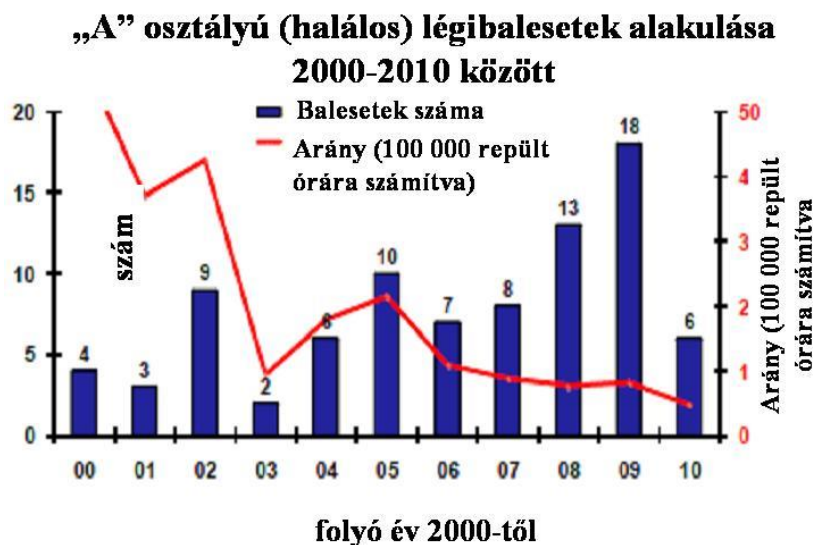
1. hiányoznak (korlátozottak) az érzékszervi ingerek: vizuális funkció tekintetében még több kamera képéből is nehéz összerakni a teljes látóteret. Hiányoznak a hang effektusok (hajtómű hangváltozása rendellenesség esetén, a szél és sebesség érzékelése). Atípusos a tapintás-nyomási ingerhiány (orrfutó leérése, rendellenesség okozat bukdácsolás);
2. pszichológiai szempont: a bevetés újí történiok, hogy nem hagyja el a megszokott környezetét (maradhatnak a családi, helyi problémák, miközben „léleekben” a feladatra koncentráció miatt messze jár);
3. ergonómiai eltérések: más lehet a kapcsolók helyzete (gyújtás és fegyver indítás kapcsolója a gázkaron);
4. munkalétkör (nagy számú oktatót egy-egy kiképzőre, 50 fő 1 kiképzőre);
5. egyedi kiképzési kihívások, magas műveleti tempó.

Az amerikai szerzők összehasonlították az „A” osztályú UAV katasztrófák alakulását a 2000-es években („A” osztályú az esemény, ha halált – rokkantságot, vagy totálkáros megsemmisülését okozza a technikai eszköznek (vagy anyagi veszteség 2 millió dollárnál magasabb.). (1. ábra.)

A 2010-es év adatait a megelőző 10 év (2000–2009) átlagához viszonyítva megállapítható, hogy a megelőző években átlagosan 8 „A” osztályú légibaleset történt UAV-okkal (katasztrófa gyakoriság 11,72 – százezer repült órára számolva), addig 2010-ben 6 katasztrófa, és 4,69 a katasztrófa gyakoriság, ami tendenciájában biztató. (A statisztika magában foglalja az MQ-1 Predator, RQ-4 Global Hawk, és MQ-9 Reaper baleseteket.) Leglátványosabb csökkenés 2009–2010 trendfordulóján következett be, főleg a Predatoroknál: 2009-ben 13 MQ-1 baleset történt (6,99/100 000 repült óra), 2010-ben csak 6 eset volt (5,55/100 000 repült óra). Az is látható,

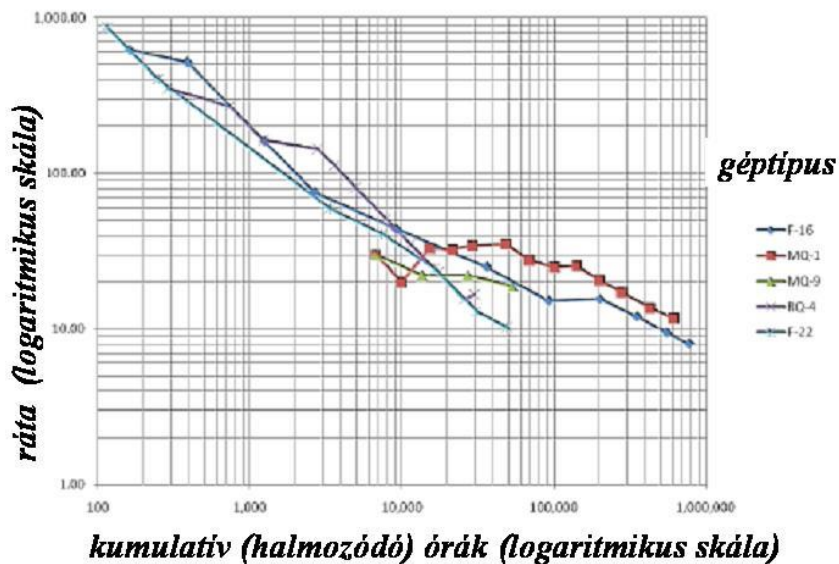
<sup>8</sup> Farley, R., Heupel, K., Lee, K., Gardetto, P., Johnson, B.: Human Factors in Remotely Piloted Aircraft (RPA). HQ AFSC/SEHI DSN 246-0880, ASMA annual conference, www.asma.org., (2010. 12. 6.)

hogy a teljes UAV élettartamot figyelembe vevő kumulatív eseményráta nem különbözik alapvetően a pilóta vezette vadászgépek hasonló balesetei statisztikáitól. (2. ábra)



1. ábra UAV eszközök „A” osztályú légi baleset gyakorisága (100 ezer repült órára számítva)

**UAV eszközök és pilóta vezette vadászgépek  
kumulatív (halmozódó) eseményrátája (logaritmikus skála)**



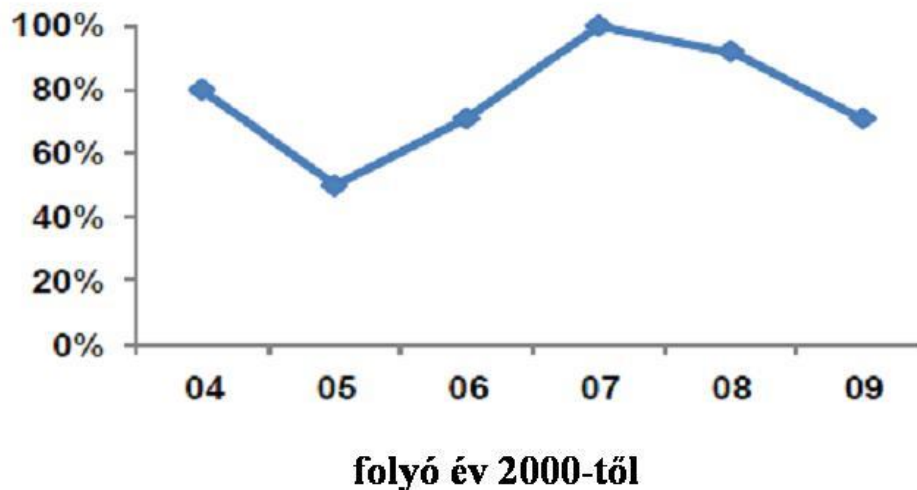
2. ábra UAV eszközök és pilóta vezette vadászgépek halmozódó eseményrátája

A beosztási tábla alapján az Amerikai Légierőben bevezetett számítógépes modell (WorkAwake) meghatározza a „veszélyes zónákat”, ahol a szellemi reakcióképesség csökken: ez ellen megfelelő személyzet cserével, a kezelők (operátorok) váltási idejének csökkentésével lehet tenni.

Az emberi hiba aránya magas és következménye sem elhanyagolható: míg az USAF légierős UAV baleseteinek 92 %-a volt emberi hibának tulajdonítható 2008-ban, addig 2009-ben ez 71 %-ra csökkent. (3. ábra)

## UAV GÉPEK EMBERI HIBA OKOZTA ESEMÉNYRÁTÁJA

### UAV GÉP BALESETEK SZÁZALÉKOS ARÁNYA HF (humán faktor, azaz emberi hiba) miatt



3. ábra UAV gépek emberi hiba okozta eseményrátája

Ugyanakkor az emberi hiba okozat kárösszeg csak kisebb mértékben csökkent: 58 millió dollárról 51 millió dollárra azonos időszakot tekintve. Az emberi hiba amerikai rendszerű hierarchizált csoportosításában<sup>9</sup> mind eljárásbeli – felügyeleti-ellenőrzési (rendszerhibák), mind személyhez köthető hibák (hibás érzékelés, félreértelmezés, elvárt esemény, tévesztés) is előfordultak.

### Valós hadműveletek repülésbiztonsági aspektusai

Műveleti-repülésbiztonsági oldalról tekintve a legfontosabb humán tényezőket, a szenzorok alapján történő közvetett térbeli tájékozódó képesség („a nagy kép megragadása”) és a *folymatos* logikai információ feldolgozó képesség a legfontosabb, „mintha Bill Gatesnek dolgozna az ember, amíg a harci bevetést repüli”<sup>10</sup>. (Valós gépen a pitot cső fűtésének rákapcsolása csak egy rápillantást jelent a kapcsolóra, majd a kapcsolót „be” állásba fordítani. Ugyanez az UAV földi irányító paneljén: fel kell lapozni a képernyőn az utasítások menüsorát, a billentyűzeten M6 kulccsal belépni a konfigurációs menüsorba, M4 kulccsal a jégtelenítés menüsorba, M2-M3 menüsorral a pitot cső fűtése menüsorba, majd kétszeri ESC gombbal vissza a Főmenübe, minden lépésnél vizuálisan visszaellenőrizve, hogy jó helyen vagyunk-e. Kettő helyett legalább hat lépés minden egyes alkalommal még akkor is, ha csak ellenőrizni akarjuk a fűtés meglétét!)

Különösen 2007-ben volt nagy a humán tényezők okozta baleseti ráta, a leszállási balesetek mindegyikében pedig egyértelműen azonosítani lehetett az emberi hiba szerepét. (1. táblázat)

<sup>9</sup> HFACS: Human Factors Analysis and Classification System – Emberi Tényező Elemzése és Osztályozási Rendszere

<sup>10</sup> Harris, T.: Human Factors Challenges in Remotely Piloted Aircraft Amerikai Repülőorvosi Társaság (ASMA) 2010-es kongresszusa (Phoenix, Arizona) www.asma.org., (2010. 12. 6.)



(A kódolt emberi hibaforrások: műveleti eljárás leírás hiánya, adatgyűjtés pontatlansága, műszeres és szenzoros visszacsatolás elmaradása, hibás érzékelés, negatív transzfer, jártasság és rutin hiánya, összetévesztés.)

<b>KATEGÓRIA</b>	<b>Gyakoriság az összes "A" osztályú események számához viszonyítva</b>	<b>Humán faktor oki vagy hozzájáruló szerepe</b>
Leszállási baleset	17 %	100 %
Energia ellátási üzemzavar	33 %	50 %
Fedélzeti rendszer meghibásodása	50 %	50 %

1. táblázat 2009 évi UAV baleseti statisztika és az emberi tényező szerepe az USAF Amerikai Légierőnél

### Humán faktor hatásainak korrekciója UAV műveletekben

Az emberi hibák – megfelelő kódolt rendszerben az UAV balesetek esetén is adatbázisba és folyamatos elemzésre kerül, így az esetleges biztonsági kockázatok mennyiségileg becsülhetők és megfelelő korrekció tehető.

- Légi jármű tervezése** – bármilyen tervezési, konstrukciós hiba a baleseti adatok alapján javítható.
- Földi irányító központ tervezése**
  - intuitív (az operátor szándékát „megérző”) műszerezettség, szenzoros visszajelzés;
  - automatizáció;
  - leszállást segítő rendszer (súly a futóművön terhelésérzékelő, perifériás látómező biztosítása, orrfutó érzékelő);
  - immerzív környezet (fokozottan valósághű kijelzők).
- Kiképzés:**
  - elméleti előadások, javított jegyzetek;
  - szimulátor repülés (javított MQ-9 modell), több vészhelyzeti eljárással (keresztzél);
  - valós repülések/UAV repültetések: szakképzett instruktorok, több idő a vészhelyzetek gyakorlására
- Egyéb operatív tényezők:**
  - vészhelyzeti ellenőrző lista, Technikai Karbantartási Utasítás kiadása;
  - akut és krónikus alvási problémák okozta kockázatok csökkentése;
  - személyzeti utánpótlás biztosítása.

A földi kiképző berendezések (szimulátor földi vezérlő állomások) nagy segítséget jelenthetnek, még akkor is, ha kívülről (kereskedelmi forgalomból) került a rendszerbe az első platform (RQ-1), alapvetően a mérnökök oktatására, nem kimondottan „pilóta-barát” kijelzőkkel. Utólag került beépítésre a szimulátorba például a rakétaindítási (Hellfire) imitáció (MQ-1 verzió). A későbbi Predator B (MQ-9) típus, még több fegyverzet imitációval és nagyobb sebesség tartományban szolgálta a kiképzést. Jelenleg Irakban hadműveleti területen (OIF és OEF hadművelet<sup>11</sup>) 41

<sup>11</sup> OIF: Operation Iraqi Freedom, OEF: Operation Enduring Freedom (Iraki szabadság és Tartós szabadság hadművelet) A szövetséges erők hadműveletei Irakban



CAP<sup>12</sup> (harci járőr szolgálat) kerül végrehajtásra állandó készenléti rendszerben, a légierő komponens parancsnokának utasítása szerint forgó jelleggel. A növekvő hadműveleti igény miatt 2011 végére ez 65 CAP szolgálat ellátását teszi szükségessé, a személyzet dinamikus bővítésével együtt. Az átképzésbe bevonható repülő-hajózó állomány (vadász/szállító/bombázógép pilóta, navigátor) számára kialakult repülési ösztöneik ellen működik a kiképzési folyamat. A szenzor operátorok (akik a kijelzők adatait elemezve segítik elő a térbeli orientációt) alapvetően képfeldolgozó specialisták (nem feltétlenül a sorkatonai állományból kerülnek felvételre).

Egy pilóta operátor mellett akár 4 szenzor operátor is dolgozhat, akik csak az érzékelők információit dolgozzák fel. Még így is túl sok feladat hárulhat egy operátorra, nőhet a cselekvési idő. (főleg MAC – Multi Aircraft Control – többgépes környezetben, ahol az UAV-ok „rajokban” repülnek.) Ebben a felállásban akár 4 gépet is irányíthat egy csapat az LVC-IA<sup>13</sup> hangsúlyozottan valóság-hű környezetben. Ez megköveteli az ember-gép rendszer elemeinek teljes integrációját a HSI<sup>14</sup> alapelveinek megfelelően. Ennek legfontosabb része a **HMD – sisakcélzó (head mounted display)**.

### Előnyei

- a) könnyű, nappali fényviszonyok között is olvasható kivetítés, mely javítja a térbeli tudatosságot;
- b) mélységlátás sztereoszkópikus feldolgozás révén;
- c) vestibuláris (egyensúlyozó szerv felőli) információk alapján mozgásélmény generálása;
- d) már átkutatott területek képi információinak megőrzése;
- e) földi célpontok/tárgyak gyors beazonosítása;
- f) fejmozgás vezérelt dóm kivetítés.

### Hátrányai

- a) térbeli dezorientáció;
- b) szimulátor betegség;
- c) térbeli feloldás nehezítettsége;
- d) időbeli késés;
- e) cél kijelölés duplikált folyamata.

### Kifáradás

Külön kell elemezni a tartós munkavégzésből fakadó szellemi teljesítmény deficitet. A valós repülést végrehajtó harci pilótánál (pl. bombázó bevetésen) jól ismert probléma a hosszútávú repülés közben fellépő idegi fáradtság és testi vegetatív tünetek jelentkezése, a szellemi teljesítmény hanyatlása jól korrelál a véralkohol szint emelkedésével. Az UAV operátorok munkája során szintén jelentkezhetnek a folyamatos munkavégzés okozta problémák: felborul a 24 órás napi munkarend és a munkahét ciklusa, miközben a folyamatos váltáshoz szükséges állomány

<sup>12</sup> CAP: Combat Air Patrol

<sup>13</sup> Live, Virtual, and Constructive (LVC) simulation- -LVC Integrating Architecture (LVC-IA) hangsúlyozottan valóság-hű (élő, virtuális, konstruktív szimuláció, integrált szerkezettel)

<sup>14</sup> HSI: Human System Integration – ember-gép integrációja



általában nem áll rendelkezésre.<sup>15</sup> Ennek következtében a kognitív éberség, mentális reakcióképeség adott napszakhoz köthető szintje felborul az alvás és munkafázis rendszertelen változásával. A hosszantartó UAV műveletek és az aktív munkaidőszak napszaki vándorlása aktív Predator pilótánál is okozott már hirtelen teljesítménycsökkenést, a műveleti helyzet átláthatóságának elvesztését és „bealvást”. A kognitív éberség időbeli alakulását függvényként felfogva számos algoritmust dolgoztak ki (Rajaraman, 2009) különböző változókkal, ahol a legfontosabbak: a pillanatnyi teljesítmény potenciál, a teljesítmény hanyatlás időgörbéje, az alvás alatti regeneráció időgörbéje, és a napszaki együttható értéke. Ezeket együttesen a napi ébrenlét és alvás mennyiségi viszonya határozza meg, amelyek alapján komplex kockázat elemzés végezhető az elemi és járulékos domének tényezőinek súlyozott analizisével. (4. ábra).

A nappali és éjszakai műszak periódust összehasonlítva megállapítható, hogy az éjszakai műszak (22 ó 30 p és 07 ó 00 p) **első nyolc napjában** a munkahatékonyság a kritikus 75 % alá csökkenhet. (A program nem veszi figyelembe az egyéni különbségeket és a gyógyszeres, pszichostimulánsok okozta teljesítmény növekedést és természetesen valódi műveleti körülmények között elvárt és mért teljesítmény adatokhoz kell hasonlítani. Ilyen értelemben a végfelhasználók a Predator századok, ahol a WorkAwake beosztást tervező program használhatósága eldől.

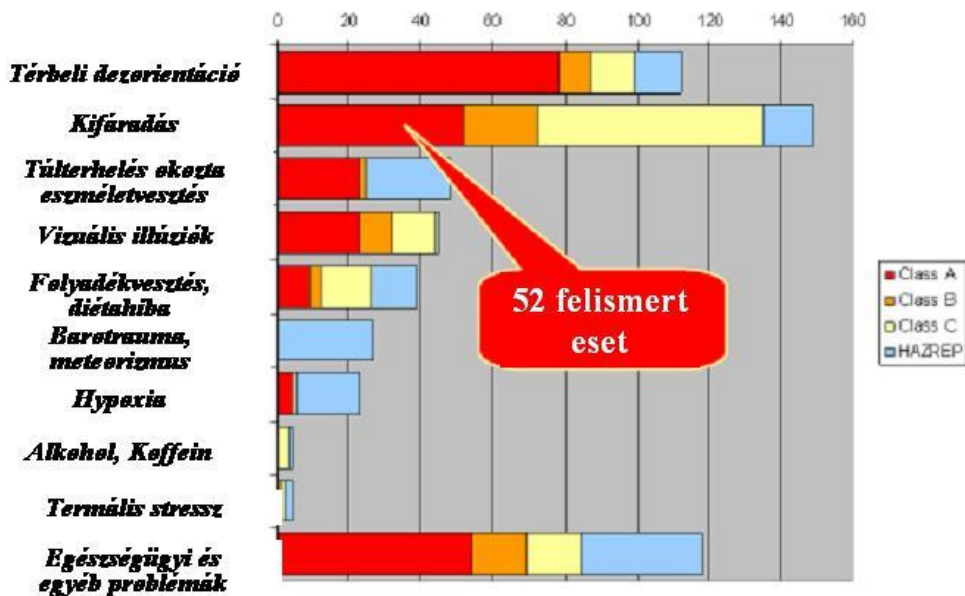


4. ábra Kifáradás elemei és járulékos tényezői

Az US NAVY Amerikai Haditengerészet szintén nagy erőfeszítést tesz a fáradtság okozta műveleti problémák megelőzésére: a két évtizedet átívelő felmérésben közel 150 légieseményben igazolták a kifáradás elsődleges oki szerepét, ebből 52 eset „A” osztályú légikatasztrófa volt. (2000–2006 között 20 ilyen eset volt) (5. ábra)

<sup>15</sup> Lee, L, Wesensten, N: Fatigue Risk Mitigation in UAS Operations. , www.asma.org., (2010. 12 6.)

## REPÜLŐORVOSI PROBLÉMÁK A JELENTETT LÉGIBALETEK (A,B,C osztály) és BALESET VESZÉLYES HELYZETEK BEN



*Capt. Davenport, N.: NSC data from Mr. J. Scott, FY 1990-2008*

5. ábra Kifáradás oki szerepe az Amerikai Haditengerészeti légi baleseteiben

Egyéb balesetekben is közel 20 %-ban hozzájáruló tényező volt, megháromszorozza a téves érzékelés és a repülési szabálysértési esetek gyakoriságát. Összesen 25 repülőeszköz elvesztéséért, 70 halálos áldozatért, és 560 millió dollár anyagi kárért felelős 2000-2008 között a haditengerészet vonatkozásában.<sup>16</sup> Bár a haditengerészeti UAV műveletek során a közvetlen humán veszteség minimalizálható, az anyagi kár a repülőeszközök és speciális felszerelések egyre elterjedtebb alkalmazása miatt tovább nőhet, a repülési idők analógiájára heti-havi-éves bontásban az UAV operátorok számára is maximalizálni kell a szolgálatban töltött időt. Erre vonatkozóan saját számítógépes ütemtervező/beosztást készítő programjuk van, és oktatják is az alvászavarok, kifáradás operatív jelentőségét<sup>17</sup> is.

Az FAA a polgári repülési hatóság keretein belül szintén elemzi a kifáradás okozta kockázatot hasonló állománycsoporton.<sup>18</sup> (Az USA területén 316 létesítményben több, mint 15 ezer légiforgalmi irányító napi 55 000 repülőgépet irányít, akiknél a kifáradás okozta kockázat csökkentése alapvető.) Valamennyi irányító, felügyelő kérdőívet töltött ki, 15 irányító központban 208 légiforgalmi irányító pedig kéthetes kifáradásos vizsgálatban is részt vett, ahol a teljesítményüket, fizikai aktivitásukat, alvásukat naplózták, pszichomotoros agyi teljesítményüket (vigilancia-éberség) monitorizálták. Ezek alapján módosítják a munkarendet, az elvárt feladat intenzitást, a munkaközi szüneteket, értékelik a potenciális alvászavarokat, nagy hangsúlyt fektetnek az oktatásra, egészségügyi felvilágosításra.

<sup>16</sup> Davenport, N.: Fatigue in Naval Aviation. 2010. május 11. ASMA konferencia [www.asma.org](http://www.asma.org), (2010. 12. 6.)

<sup>17</sup> FAST: Fatigue Avoidance Scheduling Tool (Kifáradás elkerülését célzó beosztás tervező eszköz.)

<sup>18</sup> Huss, R.: Fatigue Risk Management, 2010. május 11. ASMA konferencia [www.asma.org](http://www.asma.org), (2010. 12. 6.)



## SZELEKCIÓ

### Általános szempontok az UAV operátor jelöltek kiválogatásában

A modern légierő változó stratégiájában az azonnali reagálóképesség prioritást élvez. Ennek kvintesszenciája az új jelmondat: „Jeled előre a jövő történéseit, győzd le a váratlant és formáld a jövőt.”<sup>19</sup>

A hagyományos, pilóta vezette csapásmérő eszközökhöz képest az USAF Amerikai Légierő RPA<sup>20</sup>, azaz UAV műveleteiben a szimultán tömeges csapásmérő képesség új helyzetet teremt: míg a hagyományos vadászgép pilótája egyszerre néhány cél leküzdésére alkalmas fegyverzet közül választhat, kognitív döntés eredményeként, egyetlen „kibernetikus operátor”, azaz például egy UAV operátor, mint autonóm bevetés irányító számtalan légicélt tud kezelni, részben automatizált döntéshozatali mechanizmusok révén. Az új háborús zóna a telekommunikációs képességeket biztosító (hátszági) földi irányítóterem (ground control station) lesz, ahonnan az operátorok a bevetéseket irányítják. (Az USAF 330 ezres állományából jelenleg is 106 ezer ember (32 %) vesz részt speciális műveletekben, míg a tényleges hajózó állomány létszáma csak 23 800 fő (7 %)).

Természetesen ez azt is jelenti, hogy egyre nagyobb számú – magas színvonalú operátori munkára képes - szakállományt kell kiválogatni. A repülő-hajózó állomány kiválogatásának menete a legtöbb légierőben azonos: a jelöltnek először az általános, katonatiszti pályaalkalmassági (beleértve az egészségügyi) vizsgálatokon kell megfelelnie, alapvető pszichomotoros (műszeres) és kognitív tesztekkel kell megoldania, speciális repülőorvosi vizsgálaton kell megfelelnie, utána pedig a repülő alapkiképzés során rendszeres szűrésen és válogatási teszteken kell átmennie, a legrosszabb teljesítményűek „kirostálásával”. Nyilvánvaló, hogy a specializált repülőorvosi intézetek képesek a többcélú, teljes szűrési igénynek megfelelni, akár több vonatkozó alkalmassági rendelet minősítését alkalmazva, ezzel térben és időben lerövidítve a szelekció folyamatát. Itt döntő szerepe van a pszichológiai műszeres vizsgálatok computerizált, számítógépes teszt bázisának, amelyek folyamatosan újra validáltak, előjelzik a jelölt teljesítménye alapján a beválási esélyt.

Ugyanez az elv követhető az UAV operátorjelöltek esetében, azzal a különbséggel, hogy tekintve a bevetések harcászati jellegét, a legtöbb légierő saját állományából válogat, és a korábbi repülőfedélzeti, pilóta tapasztalat határozottan előnyt jelent. Felmerül a kérdés, hogy a nagyobb, általánosabb populációból válogatva kiszűrhető-e a jelentkezők azon csoportja, akik jobb eséllyel, nagyobb valószínűséggel lesznek jó UAV operátorok. Erre a videojátékokban nyújtott teljesítményt vizsgálták a Német Repülőorvosi Intézetben, összevetve a pilóták minősítéséhez is használt tesztekben nyújtott teljesítménnyel.<sup>21</sup>

<sup>19</sup> „Anticipate the Unknown, Overcome the Unexpected, & Shape the Future” in Ortega, B.: So what makes special duty special? Amerikai Repülőorvosi Társaság (ASMA) 2010-es kongresszusa (Phoenix, Arizona) [www.asma.org](http://www.asma.org), (2010. 12. 6.)

<sup>20</sup> Remotely Piloted Aircraft – földről távirányított repülőgép

<sup>21</sup> Reeb, C., Eisl, M., Schwab, A.: PC-based flight simulator Experience as a predictor for Success in the German Armed Forces Pilot Aptitude Test Battery 2010. május 11. ASMA konferencia előadása, [www.asma.org](http://www.asma.org), (2010. 12. 6.)

Több szerző szerint a videojátékokat gyakran játzóknál jobb a szem-kéz koordináció, jobb a vizuális rövidtávú memória, és jobb a mentális térbeli forgatásos képesség. Gyorsabb lehet a reakcióidő, jobb a szelektív figyelmi képesség, tökéletesebb a párhuzamos feladatok megoldási képessége („multi-tasking”). A konkrét összefüggést a videojátékban és a pszichomotoros alkalmassági teszteken nyújtott teljesítmény között kevesebben vizsgálták: Goeters és Lorenz 1985-ben úgy találta, hogy egy adott videojáték (PAC MAN) javította a térbeli tájékozódó képességet és koncentrációt, felfogási-érzékelési sebességet, reakcióidőt és koordinációt. Lang-Ree és Martinussen pedig 2008-ban írta le, hogy a számítógépes PC szimulátorokon szerzett tapasztalatok javítják a pszichomotoros koordinációt és térérzékelést.

A pszichológia profil szempontjából amerikai szerzők a két legszélesebb körben alkalmazott UAV típus, az MQ-1 Predator és az MQ-9 Reaper operátorainak követelmény rendszerét elemezték.<sup>22</sup> Műveleti pilóták és parancsnokok véleményét összegezték, hogy szerintük ki a „jó anyag” operátori kiképzésre a személyiségi jegyek, a kognitív szellemi képességek, és a motiváció szempontjából. (A hadműveleti „kereslet” oldaláról nagy a nyomás, 2010-ig 600 %-os a túlteljesítés a műveleti repülésekben, a Predator esetében a missziós repült órák száma elérte a 700 000 órát. Mindenképpen szükség van a válogatható – nem pilóta - populáció bővítésére, a lemorzsolódás csökkentésére, a minősítési szempontok egységesítésére)

Az általános intelligencián túlmenően a vizuális nyomkövetés, a feladatok tér- és időbeli rangsorolása (térbeli orientációs képesség), gyors reakcióidő, tartós és megosztott figyelmi képességek a fontos kognitív jellemzők. A személyiségi jellemzők vonatkozásában a döntési érettség és határozottság, a pozitív hozzáállás-csoportszellem, rugalmasság és kitartás optimális keveréke fontos szempont. A motiváció tekintetében a munkaköri elégedettség, az UAV platform, mint munkahely elfogadása és egyúttal a sajátos „háborús” szerep elfogadása (akár távolról ölni) elsőrendű. Ugyanakkor ezen követelmények aránya, fajsúlyossága nem tisztázott abban, hogy az UAV operátor sikeresen „repüljön”, harcoljon és győzzön. A témakör szakértőivel<sup>23</sup> (SME) folytatott beszélgetések, a szükséges tulajdonságok listáinak összeállítása után szükség volt a validálásra, a szempontok konszenzus alapján történő beválási valószínűségének értékelésére. Ez majd a kiképzés alatti és az operatív körülmények közötti teljesítmények összevetésével együtt ad átfogó képet mindegyik tényező vagy tulajdonság tényleges fontosságáról.

## **UAV SZEMÉLYZET VIZSGÁLATI PROTOKOLL**

A vizsgálat alaphypotézise, hogy pozitív korreláció található a kedvezőbb (élettanilag normális vagy normálishoz közelebbi) paraméterek és a pszichológia tesztek során mérhető paraméterek, valamint az UAV szimulátorban különböző repülési helyzetekben mért teljesítmény között. Amennyiben a pozitív korreláció bizonyítható, az azt jelenti, hogy az alany kisebb stressz szint mellett (vagy jobb stressz tűrőképességgel) hajtja végre feladatát, akkor adott UAV operátor valós körülmények közötti teljesítménye előrejelezhető. (ANOVA statisztikai csomag, t-próba segítségével az összefüggés szignifikancia szintje előre jelezhető.)

<sup>22</sup> McMillan, K., Chappelle, W., King, R., McDonald, K.: Psychological Profile of MQ-1 Predator & MQ-9 Reaper Pilots. Amerikai Repülőorvosi Társaság (ASMA) 2010-es kongresszusa (Phoenix, Arizona) előadás, www.asma.org., (2010. 12. 6.)

<sup>23</sup> SME: Subject Matter Expert: adott téma szakértője

## *Pszichomotoros koordináció*

**Elv:** UAV szimulátoron adott repülési irány (irányszög, sebesség, magasság stb.) tartása, térbeli illetve a kísérő élettani stressz jelek (pulzus variabilitás) együtt értékelhetők a Schufried féle visuomotoros alappályás teljesítménnyel.

**Hypothesis:** Bármelyik repülési paraméterben bekövetkezett deviáció (száma, időtartama) korrelációja a pulzus eltéréssel nagyobb stressz szenzitivitást (esetleg szelektív figyelmi funkciót) igazol, és összevethető az alacsonyabb visuomotoros (osztrák Schufried műszeres teszt battérián nyújtott) teljesítménnyel is.

### **Vizsgálati csoportok:**

1. csoport: 10 fő vizsgálati alany – valós repülési tapasztalattal (pilóta)
2. csoport 10 fő vizsgálati alany – nulla repülési tapasztalattal
3. csoport 10 fő vizsgálati alany – minősített légiirányító
4. csoport 10 fő vizsgálati alany – videojáték/szimulátor tapasztalattal

### **Módszer:**

**A., A pszichés teljesítmény jellemzése:** a Hornyik József kutató munkatárs által összeállított virtuális repülési feladat végigrepülése: a laptop-on telepített UAV szimulátor program segítségével légtérrepülést kell végezni adott ideig (5 perc vizsgálati idő minimum), majd bizonyos tájékozódási pontokat visszakeresni., összevetve a visuomotoros koordinációs teszt során nyújtott teljesítmény szinttel, a hiba-tévesztés számát külön értékelve. (Külön cikkben részletezve.)

**B., Élettani jellemzők monitorizálása:** valamennyi páciensnél a feladat végrehajtása során végig monitorozni kell a szívfrekvencia variabilitást. Több évtizede ismert, hogy döntően szellemi munkavégzés alatt is kimutatható testi változások jelennek meg, amiket objektív mérési módszerekkel ki lehet mutatni. Ezek a következők a teljesség igénye nélkül: idegrendszeri aktivitás (szummációs EEG-P300, fMRI, CFF), endokrin (kortizol), motoros (EMG, pupillatágasság), kardiovaszkuláris (pulzus, vérnyomás, szív frekvencia variabilitás) stb.<sup>24</sup>. Az EKG alapú analízisek előnye a non-invazivitás és olcsóság, ezért a pszichés kognitív teszt feladat mellett szívfrekvencia variabilitás analízist és végzünk.

A szívfrekvencia variabilitás és a szellemi munka összefüggése először az a 60-as évek körül merült fel<sup>25</sup>. Mégpedig általánosságban a megfigyelések alapján a mentális munkaterhelés összességében csökkenti a szívfrekvencia variabilitását. A szívciklusok közötti idő normális körülmények között kismértékben, de ciklusról ciklusra változik. A ciklusok közötti idők mérésével kapott idősorokban kvázi-periodikus ingadozások figyelhetők meg, melyek egymásra rakódása, szuperpozíciója (más hullámtermészetű jelenségekhez hasonlóan) hozza létre a varia-

---

<sup>24</sup> Izsó, L (2001): *Developing evaluation methodologies for human-computer interaction* Ch 3 p: 11-43. Delft University Press, Delft, The Neatherlands.

<sup>25</sup> Kalsbeek, JWH, Ettema JH (1963): Scored regularity of the heart rate pattern and the measurement of perceptual and mental load. *Ergonomics* 6, 306.



bilitást. Rövidtávon (másodperces-perces tartományokban) a szívciklusok ingadozásai frekvencia tartomány analízisekkel három fő összetevőre bonthatók le<sup>26272829</sup>:

- magas frekvenciás komponens (0,15–0,45 Hz között), ami a légzési szinusz aritmiával, ezáltal a légzési frekvenciával kapcsolható össze, továbbá a paraszimpatikus szabályozás gátlásával megszüntethető<sup>30</sup>;
- közepes frekvenciás komponens (0,1 Hz körül, irodalomban gyakran ez az alacsony frekvenciás tartomány), ami a vazomotor rendszer vezérelte vérnyomás változásokkal, a baroreceptorok aktivitásával hozható összefüggésbe<sup>26</sup>. Ebben a tartományban az oszcillációk mind a szimpatikus, mind a paraszimpatikus rendszer által mediáltak<sup>31</sup>. Sayers vizsgálata alapján ez a frekvencia tartomány érzékenyen reagál szellemi munkára<sup>27</sup>, valamint szenzitívebb erre a teljes spektrum varianciához képest<sup>32</sup>. Az előző vizsgálatok alapján a szellemi terhelés elnyomja az oszcillációt ebben a tartományban, továbbá a terhelés megszüntével egyféle visszacsapás jelenség figyelhető meg, utóbbi mértéke arányos a megelőző terhelés nagyságával. Másrésztől, Izsó szerint, hosszabb ideig tartó, folyamatos terhelés során a középső frekvencia tartomány elnyomásának ingadozása az idő vetületében (szórás) arányos lehet a munkaterheléssel, amit egy adott feladat okoz az alanyok<sup>33</sup>;
- alacsony frekvenciás komponens (0,03 Hz alatt, irodalomban nagyon alacsony frekvenciás komponens) élettani háttere nem pontosan tisztázott, a testhőmérséklet reguláció és a renin-angiotenzin rendszer periodikus változásai merültek fel lehetséges forrásként<sup>27 29</sup>.

A fentiek alapján közepes tartomány, a vazomotor tónus ingadozása az autonóm idegrendszer egyensúlyi állapotának változását tükrözi. A kapcsolatot az autonóm idegrendszer, a központi idegrendszer valamint szellemi erőfeszítés között Boucsein és Backs integrált modellje írja le, mely szerint az „erőfeszítés rendszer” az input-output össze- és szétkapcsolásáért felelős a kontrollált információ feldolgozás folyamata során, elősegíti az analízist (időt nyer szükség esetén szétkapcsolással) a kortikális, szubkortikális (kérgi és kéreg alatti) körökben. A hippocampus a fő idegrendszeri struktúra ahol ez megvalósul és innen kerülhetnek ki az autonóm idegrendszert befolyásoló ingerek is<sup>34</sup> (a frontális lebeny és a hipotalamusz egyes vegetatív magjai a

<sup>26</sup> Hyndman, BW, Kitney RI, Sayers, B (1971): Spontaneous rhythms in psychological control systems. *Nature*, 233, 5B18: 339.

<sup>27</sup> Sayers, B (1973): Analysis of heart rate variability. *Ergonomics*, 16, 17-32.

<sup>28</sup> Womack, BF (1971): The analysis of respiratory sinus arrhythmia using spectral analysis and digital filtering. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 18, 399-409.

<sup>29</sup> Akselrod S, et al (1981): Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science* ;213:220-223

<sup>30</sup> Porges, SW et al (1981): The influence of methylphenidate on spontaneous autonomic activity and behaviour in children diagnosed as hyperactive. *Psychophysiol.* 18, 42-48

<sup>31</sup> Weise, F, Heydenreich, F, Runge, U. (1987): Contributions of sympathetic and vagal mechanisms to the genesis of heart rate fluctuations during orthostatic load: a spectral analysis. *J. Auton. Nerv. Syst.*, 21, 127-134

<sup>32</sup> Mulder, G, Mulder-Hajonides van der Meulen, WREH (1973). Mental load and the measurement of heart rate variability. *Ergonomics* 16, 69-83.

<sup>33</sup> Izsó, L (2001): Developing evaluation methodologies for human-computer interaction. Ch 4. p 88 Delft University Press, Delft, The Netherlands.

<sup>34</sup> Boucsein, W, Backs RW (2000): Engineering psychophysiology as a discipline: Historical and theoretical aspects. In *Engineering psychophysiology: issues and applications* Backs, RW, Boucsein, W (Eds). Publisher:

hippocampussal együtt a magasabb szintű szimpatikus központok közé tartoznak).

A vizsgálatok során az UAV operátor jelöltekre/pilótákra csatlakoztatjuk a Láng, Horváth és munkatársaik<sup>35,36</sup> által kifejlesztett ISAX (Integrated System for Ambulatory Cardio-Respiratory Data Acquisition and Spectral Analysis) 5.0-ás prototípusát. A készülékkel folyamatosan rögzítjük az EKG alapú szívciklusokat, a kognitív stressz mérési fázisoknak megfelelően pedig idő-tartomány (közepes frekvencia tartományra, time-domain) és frekvencia-tartomány (frequency-domain) alapú elemzéseket végzünk. Az általunk használt készülék csak online üzemmódban alkalmas adattárolásra, ezt folyamatos USB alapú számítógép csatlakozással (netbook) hidaljuk át. A vizsgálat vezető nyomógombos távkapcsoló segítségével jelölőket helyez el a mérési fázisok (nyugalmi és feladat fázis, feladatváltás/vészhelyzet szimuláció fázisa) kezdésénél és végénél a rögzített EKG jel sorozatokban, ezáltal azonosíthatóvá válnak az általunk vizsgálni kívánt szakaszok. Új távkapcsolókat fejlesztettünk ki a készülékhez, amik visszajelzést adnak az alanyok a jelölők elhelyezéséről. (Jelölők nélkül a pontos értékelés kivitelezhetetlen.) A készülék és a csatlakozó szoftver működési elve: az EKG jelsorozatról időablak-eltolással, periodikusan mintavételezést végez, majd gyors Fourier transzformációval meghatározza a jelek frekvencia komponenseit és relatív intenzitásukat.

Idő-tartomány analízisben a demonstráció céljából bemutatásra kerül a közepes frekvencia tartomány elnyomása a feladat alatt és a „visszacsapás” jelensége a feladat végeztével. Megvizsgáljuk a közepes frekvenciatartomány intenzitásának változását az idő függvényében, meghatározzuk az értékek szórását a mérés előtt, alatt és után. Frekvencia-tartomány analízisben meghatározzuk a közepes frekvenciatartomány intenzitásának alakulását a mérések alatt és az azt követő időszakban, továbbá meghatározzuk a közepes/magas frekvencia tartományok intenzitásának arányát. A fenti adatokat a stressz és nyugalmi szituációk illetve a feladatok bonyolultsága függvényében értékeljük. A statisztikai elemzésekhez internetes alkalmazásokat használunk.<sup>37</sup>

## ÖSSZEFOGLALÁS

1915-ben Nikola Tesla disszertációjában vázolta fel egy pilóta nélküli repülőgép koncepcióját, amely képes lesz az Egyesült Államok védelmére. A pilóta nélküli repülőeszközök napjainkban már ígéretes komplett rendszert alkotnak, a jövőben „a hadsereg szemei” lehetnek. Ugyanakkor az operátor emberi esendősége, hibahajlama változatlan kockázati tényező, még a hagyományos pilóta vezette műveletekkel összehasonlítva is komoly költség kihatással jár katasztrófa esetén. A hadműveleti tapasztalatokra alapozva (OIF, OEF) ugyanakkor kimondható, hogy számottevően javítják a bevetések sikerességét, csökkentik a katonák közvetlen harci terhelését, és

---

Lawrence Erlbaum Associates. Place of Publication: Mahwah, NJ. Publication Year: 2000. pp: 6-7. Retrieved from: <http://www.questia.com/PM.qst?a=o&d=97191094> 2012.06.19

<sup>35</sup> Láng, E., Horváth G (1994): Integrated System for Ambulatory Cardio-Respiratory Data Acquisition and Spectral Analysis (ISAX). User's Manual. Budapest, Hungary.

<sup>36</sup> Láng E. (2001). Szívperiódus variabilitás. Oktatási segédanyag. Munka- és szervezetpszichológia Budapesti Műszaki Egyetem. Retrieved from url: <http://www.erg.bme.hu/szakkepzes/fiziolgia/2001szpv.pdf> (2013. 03. 07.)

<sup>37</sup> Lowry, R: VassarStats: Website for Statistical Computation. <http://faculty.vassar.edu/lowry/VassarStats.htm> Vassar College. Poughkeepsie, USA.



az ellenségnek történő közvetlen harci kitettséget, a sérülés veszélyét, fejlesztésük perspektivikus.<sup>38</sup> Az 1990-es évek elején fő feladatuk az információ gyors összegyűjtése, feldolgozása és visszaosztása volt, hogy lerövidítsék a szenzorok és a lövés/harci csapás között eltelt időt (A Sivatagi Vihar hadműveletben a pionírok 300 harci bevetést repültek). Jelenleg pedig minden szinten (zászlóalj szinten 25 km-ig 1–2 órás időtartamban, dandárszinten 125 km-ig 5–10 órás időtartamban, hadosztály szinten 200 km fölötti hatótávolsággal 16 óránál tovább tartó missziókban) alkalmazott, összesen 328 db rendszerben lévő UAS több, mint 1 millió órát repült eddig az iraki-afganisztáni hadműveleti övezetben. Csak az Amerikai Hadsereg 2100 fő UAV operátort képez 2012-ben, ami 2003 óta 300 %-os növekedést jelent.

A dinamikusan növekvő, speciális szaktudást és képességeket igénylő operátori feladatkör a potenciális jelölt állomány költséghatékony és logikus, szekvenciális szűrését, a szelekciós kritériumok pontos meghatározását, és az igényeknek megfelelő folyamatos áttekintését követeli meg. Bár a gazdasági válság miatt a kiválogatási rendszer preferálja a már előképzettséggel, akár repülési tapasztalattal rendelkező állomány operátori szakkiképzést, a szelekciós elvek egy közös minimumra kell, hogy épüljenek, amelyek mindenkire egyformán vonatkoznak. A jelöltek kiképzése és végső gyakorlati oktatása is egységes elvek szerint történik, a kiképzettségi szint is elvárt, azonos. Ha ezt a kiképzés során az operátorok többsége képes teljesíteni, az már jól minősíti a szelekciós elvek életszerűségét.

Az általunk kiválasztott szimulátoros feladat végrehajtás és a kísérő pszichés stressz autonóm idegrendszeri egyensúlyvesztését leíró kísérleti módszer alkalmas lehet a pszichés stressz tűrőképesség jellemzésére, a jelölt alkalmasságának komplexebb megítélésére. A visszajelzés is fontos, a valós UAV repülések repülésbiztonsági adatainak retrospektív elemzése támpontot adhat arra nézve, hogy a kiválogatás során mely egyedi (érzékszervi és kognitív szellemi teljesítményt jellemző) paramétereket kell hangsúlyozni és részletesebben megítélni. Az elemzés arra is módot ad, hogy a humán faktor problémáit ergonómiai, döntést segítő (az emberi döntést kiváltó) automatizmusokkal minimalizáljuk, ilyen módon is segítve az UAV repülésbiztonság javulását.

***Ebben a feladatban a Nemzeti Köszolgálati Egyetem és a MH Honvédkórház/Egészségügyi Központ szakállománya is részt vállal, TÁMOP pályázat keretében „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata” kezdődött meg. (TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat, "Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások".)***

---

<sup>38</sup> Eyes of the Army” US ARMY Roadmap for Unmanned Aircraft Systems 2010-2035. UAS ARMY UAS Center of Excellence, Fort Rucker, Alabama url: <http://www-rucker.army.mil/usaace/uas/US Army UAS RoadMap>, (2013.02.25.)

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] AKSELROD S, et al (1981): Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science* ;213:220-223
- [2] BOCSEIN, W, BACKS RW (2000): Engineering psychophysiology as a discipline: Hystorical and theoretical aspects. In *Engineering psychophysiology: issues and applications* Backs, RW, Boucsein, W (Eds). Publisher: Lawrence Erlbaum Associates. Place of Publication: Mahwah, NJ. Publication Year: 2000. pp: 6-7. Retrieved from: <http://www.questia.com/PM.qst?a=o&d=97191094> (2012.06.19)
- [3] DAVENPORT, N.: Fatigue in Naval Aviation. 2010. május 11. ASMA konferencia [www.asma.org](http://www.asma.org), (2010. 12. 6.)
- [4] Eyes of the Army” US ARMY Roadmap for Unmanned Aircraft Systems 2010-2035. UAS ARMY UAS Center of Excellence, Fort Rucker, Alabama url: <http://www-rucker.army.mil/usaace/uas/US Army UAS RoadMap>, (2013. 02. 25)
- [5] FARLEY, R., HEUPEL, K., LEE, K., GARDETTO, P., JOHNSON, B.: Human Factors in Remotely Piloted Aircraft (RPA). HQ AFSC/SEHI DSN 246-0880, ASMA annual conference, [www.asma.org](http://www.asma.org), (2010. 12. 6.)
- [6] HARRIS, T.: Human Factors Challenges in Remotely Piloted Aircraft Amerikai Repülőorvosi Társaság (ASMA) 2010-es kongresszusa (Phoenix, Arizona) url.: [www.asma.org](http://www.asma.org), (2010. 12. 6.)
- [7] HUSS, R.: Fatigue Risk Management, 2010. május 11. ASMA konferencia url.: [www.asma.org](http://www.asma.org), (2010. 12. 6.)
- [8] HYNDMAN, BW, Kitney RI, Sayers, B (1971): Spontaneous rhythms in psychological control systems. *Nature*, 233, 5B18: 339.
- [9] IZSÓ, L Developing evaluation methodologies for human-computer interaction Ch 3 p: 11-43., Ch 4. p 88 Delft University Press, Delft, The Neatherlands. (2001):
- [10] KALSBEKK, JWH, Ettema JH (1963): Scored regularity of the heart rate pattern and the measurement of perceptual and mental load. *Ergonomics* 6, 306.
- [11] LÁNG, E., HORVÁTH G (1994): Integrated System for Ambulatory Cardio-Respiratory Data Acquisition and Spectral Analysis (ISAX). User’s Manual. Budapest, Hungary.
- [12] LÁNG E. (2001). Szívperiódus variabilitás. Oktatási segédanyag. Munka- és szervezetpszichológia. Budapesti Műszaki Egyetem. Retrieved from url: <http://www.erg.bme.hu/szakkepzes/fiziolgia/001szpv.pdf> (2013. 03. 07.)
- [13] LEE, L, WESENSTEN, N: Fatigue Risk Mitigation in UAS Operations., url.: [www.asma.org](http://www.asma.org), (2010. 12. 6.)
- [14] LOWRY, R: VassarStats: Website for Statistical Computation. <http://faculty.vassar.edu/lowry/VassarStats.htm> Vassar College. Poughkeepsie, USA.
- [15] MCMILLAN, K., CHAPPELLE, W., KING, R., McDONALD, K.: Psychological Profile of MQ-1 Predator & MQ-9 Reaper Pilots. Amerikai Repülőorvosi Társaság (ASMA) 2010-es kongresszusa (Phoenix, Arizona) előadás, [www.asma.org](http://www.asma.org), (2010. 12. 6.)
- [16] MULDER, G, MULDER-HAJONIDES van der Meulen, WREH (1973). Mental load and the measurement of heart rate variability . *Ergonomics* 16, 69-83.
- [17] ORTEGA, B.: So what makes special duty special ? url.: [www.asma.org](http://www.asma.org), (2010. 12. 6.)
- [18] PORGES, SW at al (1981): The influence of methylphenidate on spontaneous autonomic activity and behaviour in children diagnosed as hyperactive. *Psychophysiol.* 18, 42-48
- [19] REEB, C., EISL, M., SCHWAB, A.: PC-based flight simulator Experience as a predictor for Success in the German Armed Forces Pilot Aptitude Test Battery 2010. május 11. ASMA konferencia előadása, [www.asma.org](http://www.asma.org), (2010. 12. 6.)
- [20] SAYERS, B (1973): Analysis of heart rate variability. *Ergonomics*, 16, 17-32.
- [21] WEISE, F, HEYDENREICH, F, RUNGE, U. (1987): Contributions of sympathetic and vagal mechanisms to the genesis of heart rate fluctuations during orthostatic load: a spectral analysis. *J. Auton. Nerv. Syst.*, 21, 127-134
- [22] WOMACK, BF (1971): The analysis of respiratory sinus arrhythmia using spectral analysis and digital filtering. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 18, 399-409.

Dunai Pál<sup>1</sup>

## UAV KEZELŐSZEMÉLYZET KIVÁLOGATÁSÁNAK BEMENETI FIZIKAI KÖVETELMÉNYEI<sup>2</sup>

*Az alkalmasság kérdése rendkívüli jelentőséggel bír a szervezetek hatékony funkcionálása céljából. A Magyar Honvédségképesség palettáján nem régen jelentek meg a pilótanélküli légi járművek. A kezelőszemélyzet gerincét a szárazföldi haderőnemhez tartozó lövész katonák alkotják. Az eszköz hatékony alkalmazásának előfeltétele az egzakt kiválasztási rendszer, amely hozzájárulhat ahhoz, hogy a képzésbe bevont katonák gyorsan és hatékonyan fogják elsajátítani és megszerezni az üzemeltetéshez szükséges ismereteket és képességeket. Az alkalmasság egyik fontos alapeleme a fizikai alkalmasság. A cikk, e paraméterek meghatározására és alkalmazási lehetőségeinek lehetséges módjainak vizsgálatára irányul.*

### **PSYCHICAL INPUTS REQUIREMENTS OF SELECTING FOR UAV OPERATORS**

*The question of the aptitude has the utmost importance for organizations to function effectively. The Unmanned Aerial Vehicles have recently appeared in the palette of Hungarian Defence Force capabilities. The infantry soldiers from the land forces are the backbone of UAV operator crew nowadays. The device is a prerequisite for the effective implementation of the exact selection system, which can contribute to training the soldiers involved will be quickly and effectively learn the knowledge and skills necessary for operation. Physical fitness is an important basic element of competency. The article aimed to review these parameters determine and possible ways of use of them.*

### **A FIZIKAI FITTSÉG RENDSZERE ÉS ÖSSZEFÜGGÉSEI**

A Nemzeti Közszerológati Egyetem Katonai Repülő tanszékén jelenleg is folyik a „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” című pályázati kutatás. Az „Adatintegráció” nevű alprogram keretében kiemelt kutatási területként (KKT) a „Pilóta nélküli légijárművek alkalmazásának humán aspektusából történő vizsgálata” nevet viselő kutatási projekt zajlik. Befejeződött a kutatásban alkalmazott vizsgálati módszerek és eljárások szakmai összeállítása. Kialakításra kerültek a kísérletekben résztvevők csoportjai. A humán vizsgálatok fontos részét képezi az UAV kezelőszemélyzetek motoros tulajdonságainak kutatása, mely vizsgálatok befejezése után a kapott adatok statisztikai feldolgozása alapján elkészülő kutatási jelentésben számolnak majd be a kutatók azokról a javaslatokról, amelyek alkalmazásával egzaktan kialakíthatóak a pilótanélküli légijárművek alkalmazásában résztvevőkkel szembeni alkalmassági követelmények és fejleszhető lesz az érintett személyi állomány képzési rendszere. Ezáltal járulnak hozzá a kutatásba bevont szakemberek ezen eszközök minél hatékonyabb és biztonságos üzemeltetéséhez. Jelen cikk a bemeneti fizikai követelmények meghatározásának elméleti alapjaival és a konkrét rendszer felépítésével kapcsolatos kutatások jelenlegi helyzetével ismerteti meg az olvasót.

<sup>1</sup> PhD, alezredes, egyetemi docens, NKE Katonai Repülő Tanszék, dunai.pal@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Szabó Sándor András o. alezredes, MH Egészségügyi Központ Védelem-egészségügyi Igazgatóság Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet Intézetvezető főorvos helyettese, sasi19620@gmail.com



A tudományos pályaalkalmasság-tan elméletének fő problémái:

- az alkalmasság mibenléte;
- megismerhetőség;
- a vizsgálatok indokoltsága;
- validitás;
- felhasználhatóság;

gyakorlata, pedig a legcélravezetőbb alkalmassági vizsgálatok módszertanának kidolgozására irányul. Az alkalmassági vizsgálatban lehetőség szerint a beválás valószínűségét is kutatni kell. [2]

**Az alkalmasság vizsgálat a kiválasztási folyamat része, szakasza:**

- a tevékenység jellemzőinek figyelembevétele;
- az alkalmassági követelmények elbírálása;
- a kiválasztás célszerű módszereinek alkalmazása;
- a kiválasztással kapcsolatos döntés-előkészítés és döntés;
- a beilleszkedés és a beválás elősegítése.

Egy adott tevékenység végzésére az alkalmas, aki ismeretei, képességei és az egész személyisége (érzelmi adottságai, alkalmazkodása, motivációi, tulajdonságai) alapján az adott területen, tartósan legalább átlagos teljesítményt tud nyújtani, egészségének károsodása és személyiségének torzulása nélkül. Az alkalmasság vizsgálatának egyidejűleg kell az alkalmasság megállapítására és az alkalmatlanság kiszűrésére irányulnia. Az alkalmasság csak potenciálisan állapítható meg, a tevékenység végzés gyakorlatában dől el, hogy a valóságos megfelelés, beválás létrejön-e.

Az alkalmasság, az **ember- tevékenységi kör** rendszer, többrétű megfelelést jelent (egészségügyi, jogi, szakmai, vezetői stb.). Ugyanakkor az alkalmasság minden esetben az egész emberre, annak egész személyiségére vonatkozik. Ennek alapján beszélünk az alkalmasság belső személyi (pszichológiai) feltételeiről:

- ismeretek (tudás);
- képességek – készségek;
- személyiség tulajdonságok. [1]

**A fizikai alkalmassági vizsgálatok modellje**

Az alkalmasság kérdésének pszichológiai aspektusain kívül rendkívül nagy jelentősége van a fizikai teljesítőképességnek is. Ez a megállapítás fokozottan igaz a hadsereg tevékenységére vonatkoztatva, mivel az alkalmasság csak ezeknek a fontos alkotórészeknek az ideális megléte esetén áll fenn, és biztosítja a katona számára a megfelelő harcképességi szintet. A fizikai alkalmasság (physical fitness; [5] физическая пригодность [6]) minden katona alkalmasságának fontos alkotó eleme.

Az amerikai szakirodalmi források szerint a katonai alkalmasság struktúrája a következő:

A katonai alkalmasság alapelemei:

- technikai;
- értelmi;
- érzelmi (emocionális);

- fizikai alkalmasság.

A fizikai alkalmasság komponensei:

1. állóképesség;
2. erő;
3. erő állóképesség;
4. ízületi mozgékonyág\*;
5. testösszetétel.

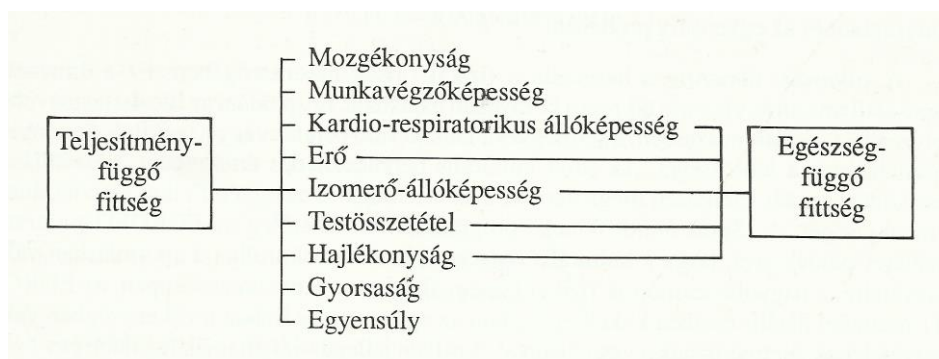
A technikai alkalmasság nélkül a katonának nem lehetnek megfelelő szintű ismeretei (elméleti és gyakorlati), jártásai és készségei, melyek nélkül nem tud majd harcolni. Értelmi és érzelmi alkalmasság nélkül hiányzik a harchoz szükséges motiváció és akarat, fizikai alkalmasság hiányában nem lesz elegendő ereje a harchoz.

Fizikai alkalmasság alatt az amerikai szakértők azt az állapotot értik, mikor a katona teljesen egészséges, képes arra, hogy magas fokú mozgás koordinációt igénylő feladatokat hajtson végre és szervezete képes jelentős kifáradás után minimális időintervallum alatt regenerálódni, valamint a váratlan helyzetekben rövid határidő alatt képes maximális teljesítményt nyújtani.

#### A tesztek kiválasztásának kritériumai:

- a tesztek belső (szerkezeti) érvényessége a faktor-analízis segítségével megállapítható legyen, hogy meghatározhatóak legyenek a független paraméterek, kiválaszthatóak legyenek a fizikai fittség dimenzióinak és elemeinek megfelelő tesztjei;
- kimutatható legyen a tesztek külső (egybehangzó) érvényessége, hogy pontosan jellemezze az átlagos fizikai fittség szintjét s, hogy lehetővé tegye a különböző csoportok közötti megkülönböztetést a teljesítmény szintje, illetve intenzitása alapján;
- a tesztek megbízhatósága és objektivitása magas szinten legyen mérhető. ezt részben a teszt-reteszt próbával, másrészt a különböző tesztelést végrehajtók által mért értékek összehasonlításával ellenőrizhető;
- végül, a nagy volumenű kutatási célú használhatóság mellett, a teszteknek praktikusnak és alkalmazhatóknak kell lenniük más szervezeti keretek között is. ezért az egyszerűbb tesztek előnyben részesülnek a bonyolultabbakkal szemben, ha ez nem megy a megbízhatóság, az érvényesség és az objektivitás kritériumának rovására. [3]

Az 1. táblázat a fizikai fittség kilenc elemét mutatja be. Látható, hogy egyes elemek közösek, mind a teljesítmény – mind az egészségfüggő fitsséggel kapcsolatosak.



A fizikai fittség fogalmának három fő alkotórésze különíthető el: az organikus, a motoros és a kulturális. Az organikus dimenzió szoros kapcsolatban van az egyén testalkatával az energiatermelési és a munkavégzési folyamatok miatt. A motoros dimenzió a mozgáskontrollt és az izommunkához szükséges ügyesség pszichomotoros kapacitás fejlettségét is magába foglalja. Erre a nagyon összetett fogalomra általánosan a „motoros fittség” kifejezés használatos. Ezt nem lehet egyetlen teszttel vizsgálni, ehhez a motoros fittség különböző elemeit vizsgáló tesztesyűttes szükséges. Az alapösszetevők közül három – erő, izomerő-állóképesség és gyorsaság – önmagában is több faktort fed le, ezért két tesztre van szükségünk, hogy ezeket a faktorokat mérhessük. Az ízületi mozgékonyaság (hajlékonyság) és az egyensúly egy-egy teszttel mérhető. Lényeges, hogy a teszteknek annak figyelembevételével kell összeállítani, hogy az általános motoros teljesítőképességet mérjék és ne a mozgás-végrehajtási vagy a szakmabeli gyakorlottságot.

### Munkahipotézis

A kutatási témából eredő feladatok átgondolása után a kutatók a vizsgálatokkal kapcsolatosan az alábbi munkahipotéziseket alakították ki:

1. a testi-fizikai képességeken belül a kondicionális képességek alapszintje mellett az összetett koordinációs képességeknek meghatározó szerepe van az UAV kezelőszemélyzet készségeinek kialakításában;
2. a fizikai képességeken belül a kondicionális képességek nem mutatnak jelentős eltéréseket a hivatásos állomány átlagértékeihez képest;
3. a koordinációs és pszichomotoros képességek területén az UAV kezelőszemélyzet jobb eredményt produkálnak az előbbieknél.

Ezek az alábbiak:

- szenzomotoros koordináció;
- egyensúlyérzék tér- és tájékozódási képesség;
- vesztibuláris rendszer terhelhetőségének fokozása;
- finom motoros koordináció;
- reakció- és mozdulatgyorsaság;
- szenzorium- és mozgásszervek koordinációja.

A fizikai felkészítés eszközeivel ezek a képességek kialakíthatók, a szakkiképzést modelláló módszerekkel a speciális képességek fejleszthetők.

1. A speciális erőjellelű adatok értékei elmaradnak attól a szinttől, amelyet a végzett feladatok élettani hatásai igényelnek.
2. A döntési képességnek meghatározó szerepe van az alternatív helyzetmegítelő képességére, és az azt követő cselekvésre, amelyet a szorongás skálán elfoglalt helyük is befolyásol.
3. A jelenlegi normatáblázatban megkövetelt mutatók csak egyes kondicionális képességek mérésére alkalmasak. Hiányzik a koordinációs képességek mérésére alkalmas eljárás, pedig a készségekhez kapcsolódó koordinációs képességeket is mérni, illetve fejleszteni kell.
4. A teljesítmény mennyiségi és minőségi értékei jelentős mértékben romlanak nagyfokú fizikai és pszichikai igénybevétel során, amely a fáradás által kiváltott artefaktumoknak köszönhető.

5. A szorongás skálán elfoglalt helyük nagymértékben befolyásolja a döntés kockázati fokát, amelynek pontos mérését elengedhetetlennek tartjuk.

Az elvégzett elemzés eredményeképpen összeállításra került a kutatott témához kapcsolódó pálya tesztek rendszere, amely a 2. táblázatban látható:

Dimenzió	Faktor	Kijelölt teszt feladat
Kardio-respiratorikus állóképesség	Kardio-respiratorikus állóképesség	Állóképességi ingafutás
Erő	Statikus erő	Kézi szorítóerő
	Explozív erő	Helyből távolugrás
Izomerő állóképesség	Karerő funkcionális	Függés hajlított karral
	Törzserő	Felülés
Gyorsaság	Futási gyorsaság	10x5 m-es ingafutás
	Végtagmozgás gyorsasága	Lapérintés
Ízületi mozgékonyosság	Ízületi mozgékonyosság	Ülésben előrenyúlás
Egyensúly	Teljes testegyensúly	Flamingó teszt

2. táblázat Kutatási tesztfeladatok [4]

A tesztek végrehajtásának sorrendje: egyensúly, lapérintés, ülésben előrenyúlás, helyből távolugrás, felülés, függés hajlított karral, 10x5 méteres ingafutás, állóképességi ingafutás.

## A teszt feladatok rövid leírása

### 1. állóképességi ingafutás

Vizsgált tényező: kardio-respiratorikus állóképesség

Leírás: a teszt gyaloglási tempóban indul, majd gyors, futási sebességgel fejeződik be. A kísérleti személy az egymástól 20 méter távolságra lévő vonalak között halad, a futás irányát változtatva, a hangjelzés diktálta tempóval összhangban, fokozatosan gyorsulva. Az a szint, ahol a próbázó kiesik, jelzi a kardio-respiratorikus állóképességet.

### 2. Flamingó egyensúly teszt

Vizsgált tényező: általános egyensúly

Leírás: egy lábon való egyensúlyozás a megadott méretű gerendán

### 3. Lapérintés

Vizsgált tényező: a végtagmozgás gyorsasága

Leírás: két lap gyors megérintése, váltakozva az ügyesebbik kézzel.

### 4. Ülésben előrenyúlás

Vizsgált tényező: ízületi mozgékonyosság

Leírás: ülőhelyzetben a lehető legtávolabbra nyúlás

### 5. Helyből távolugrás

Vizsgált tényező: explozív erő

Leírás: álló helyzetből távolugrás

### 6. Kézi szorítóerő

Vizsgált tényező: statikus erő

Leírás: hitelesített kézi dinamométer alkalmazásával végrehajtott mérés

#### 7. *Felülés*

Vizsgált tényező: törzs ereje (hasizom erő-állóképessége)

Leírás: a fél perc alatti maximális számú felülés

#### 8. *Függés hajlított karral*

Vizsgált tényező: funkcionális erő ( a kar és a váll izomerő-állóképessége)

Leírás: megtartani a hajlított karú helyzetet rúdon való függés közben

#### 9. *10x5 méteres ingafutás*

Vizsgált tényező: futási sebesség

Leírás: maximális sebességű futás, fordulás tesztje

### **Az adatfeldolgozás matematikai-statisztikai módszerei:**

- a mért adatok átlagszámítása;
- az átlag szórásának számítása;
- egymintás "t"- próba;
- szórásszámítás;
- variációs együttható számítása;
- korrelációs számítás;
- megbízhatósági intervallum, szignifikancia számítása.

### **A kutatás ütemterve**

A vizsgálatok április hónaptól kezdődnek és szeptember végéig zajlanak. A kísérleti csoportokban részt vesznek a Magyar Honvédség 86. Szolnok Helikopter Bázis hajózó beosztású katonái (15 fő), a Magyar Honvédség 5. Bocskai István Lövészdandár 24. Bornemissza Gergely felderítő zászlóalj Elektronikai hadviselés század Pilóta nélküli felderítő szakasz állományából 6 fő, a Magyar Honvédség Ludovika zászlóalj Kvasz András század állományából 20 fő honvéd tisztjelölt. A kontrolcsoport 15 fős. A vizsgálati eredmények publikálása a statisztikai feldolgozás után az év második felében várható.

### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] DUNAI Pál: „Alkalmassági követelmények meghatározásának modelljei, a fizikai teljesítmény mérésének módszerei, teljesítményprognosztizálás lehetőségei” – Repüléstudományi Közlemények – XII. évfolyam 30. szám, ZMNE Repülőtiszt Intézet Szolnok, 2000.
- [2] ÁNGYÁN Lajos Az emberi test mozgástana Motio Kiadó, Pécs 2005. ISBN 963 85718 6 1
- [3] NÁDORI László Sportképességek mérése – Sport kiadó, Budapest, 1989 ISBN 963 253 831 5
- [4] EUROFIT A fizikai fittség mérésének európai tesztje, Magyar testnevelési Egyetem Budapest, 1993. ISBN 963 7166 30 0
- [5] FM 21-20 *Physical Fitness Training* Headquarters Department of the Army, Washington, DC, 1 October 1998
- [6] МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, *Наставление по Физической Подготовке и Спорту Вооружённых Силах Российской Федерации (НФП-2001)*, Редакционно-Издательский Центр Генерального Штаба ВС РФ, Москва 2001



Bánó Imre<sup>1</sup>

## KÁRMÁN TÓDOR ÖRÖKSÉGE<sup>2</sup>

*50 éve hunyt el a világhírű, magyar származású tudós aki a repülésen kívül több más tudományban is jelentőset alkotott. Neki állít emléket ez az írás.*

### **SPIRITUAL HERITAGE THEODORE VON KARMAN**

*The year 2013 marks the 50th anniversary of the world famous Hungarian born scientist, Theodore Von Karman's (Todor Karman's) death, who achieved great results not only in aviation but numerous other fields of science. The object of this paper is to pay tribute to his memory.*



Ebben az évben, május 7.-én lesz ötven éve, hogy Kármán Tódor meghalt. Egy olyan embert, tudóst, és mérnököt vesztett el vele a világ, akinek munkássága meghatározó lett korunkra és jövőnkre. Olyan tudós volt, akinek a munkáira alapozódik a világunk. Legnagyobb eredményeit kétségtelenül a repülés és az űrrepülés területén érte el, de maradandót alkotott az atomfizikában (pl. Born – Kármán modell), lerakta a korszerű talajmechanika alapjait (pl. e nélkül nem lehetne magasabb épületeket emelni), szilárdságtanban a mérnökök naponta dolgoznak az ő általa megalkotott elméletekkel, megalapozta az aerotermokémiát (ez tette lehetővé a biztonságos szilárd tüzelőanyagú rakéták készítését).

1881. május 11-én született, Budapesten a Szentkirályi utca 21 alatt. Édesapja, Kármán Mór kiemelkedő nevelési szakembere volt. Ő hozta létre korának legjobb középiskolai rendszerét Magyarországon, Ennek minőségét Nobel díjas tudósaink és világhírű mérnökeink fémjelzik. Ezért és Albrecht főherceg neveléséért 1908-ban nemességet kapott. A kis Kármán Tódor már kisgyermekkorában is kitűnt matematikai tehetségével (hatjegyű számokat fejben szorzott és osztott), de édesapja, aki nem szerette a csodagyerekeket, megpróbálta ezt kinevelni belőle. A világ szerencséjére ez csak részben sikerült. Tizenhét éves korában elnyerte az országos Eötvös Lóránd díjat. A Budapesti József Nádor Műegyetemre iratkozott be, ahol hamarosan kitűnt matematikai tehetségével, Bánki Donát legjelesebb tanítványa lett. Az önkéntesi év letöltése után,

<sup>1</sup> Dr. Bánó Imre okl. repülőmérnök banoimre@aeroconsult.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Óvári Gyula, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

Bánki 1903-ban elhelyezte a Ganz gyárban és egyidejűleg tanársegédként is dolgozott mellette.



A Kármán család



A Kármán testvérek



A tüzér hadnagy úr

Első tudományos közleményét 1902-ben jelentette meg a Matematikai és Fizikai Lapokban. 1906-ban a Magyar Tudományos Akadémia ösztöndíjával Göttingába utazott, ahol Prandtl irányításával készítette el doktori disszertációját, a rudak plasztikus kihajlásának témájában (1910 *Untersuchungen über die Bedingungen des Bruches und der plastischen Deformation, insbesondere bei quasi-isotropen Körper*). Prandtl mellett különösen nagy hatással volt rá két matematikus, Hilbert és Felix Klein. Közben elkezdett foglalkozni a folyadékok és gázok áramlásával is. A doktori fokozat elnyerését követően Prandtl felajánlotta neki egy magántanári státuszt a Göttingai egyetemen. Habilitációs témája a közetek viselkedése nagy nyomás alatt volt. (*Zur theorie der Spannungszustände in plastischen sandartigen Medien*). Magántanári éve alatt jó barátságba került Max Bornnal (aki 1954-ben kapott Nobel díjat), több közös atomfizikai témájú munkájuk jelent meg. Kármán nagy, élethosszig tartó, szakmai szerelme azonban az örvények, és azok matematikai leírása lett. A Zeppelin művek részére épített szélcsatornában végzett kísérletek alapozták meg, a később róla elnevezet örvénysor felismerését. A szélcsatornával szerzett tapasztalatok azután egy életre a repüléshez kötődtek.

Közben, mivel nem látott más lehetőséget arra, hogy önálló egzisztenciát teremtsen magának, 1912-ben elvállalt a Selmecebányai Bányászati és Erdészeti Egyetemen egy tanszékvezetői állást. Erre azután megmozdultak a németországi körök is, és Prandtl ajánlására 1913-ban kinevezték a Junkers által alapított és addig általa vezetett aacheni Aerotechnikai Intézet vezető tanárának. Tizenhét évig volt az aacheni műegyetem tanára, ebből azonban öt évet elvitt a háború. 1914 őszén Kármán Tódor tüzér hadnagyot behívták az Osztrák Magyar Hadseregbe. Egy év múlva a német hadsereg kikérte őt, mint aerodinamikai szakértőt az osztrákoktól. Erre már az osztrákok is észbe kaptak és gyorsan áthelyezték az *Österreichische und Ungarische Luftarsenal*-hoz. Itt szervezte meg a Fischamendi repülőkísérleti Intézetet. Ebből az időből a legkiemelkedőbb eredménye a PKZ kötött helikopter megalkotása, és a helikopterek stabilitásával kapcsolatos munkái voltak. A háború után a forradalomban felkérték, hogy az oktatási minisztériumban szervezze meg a magyar felsőoktatást, ezt a munkáját a Kommün alatt is folytatta, de 1919 őszén visszazökött Aachenbe. Hamarosan a világ, vezető aerodinamikusai közé számították és számos országba meghívták, hogy tanácsokat adjon, és előadásokat tartson. Amerikába először 1926-ban invitálták meg a Caltech-re, hogy építsen fel egy szélcsatornát. 1928-tól gyakorlatilag fele idejét már Amerikában töltötte, majd 1930-tól véglegesen a Caltech tanszékvezető tanára lett.



A fiatal professzor



Dr. Klemperer 1920-ban a Wasserkuppen világrekordot repül



Az Aacheni szélsatorna átépítés előtt

Kármán Tódor önmagát, mint alkalmazott mechanikust definiálta, de ha áttekintjük, életművét, egy olyan tizenkilencedik századbeli kifejezés jut eszünkbe, hogy polihisztor. Ezt bizonyítandó célszerű rövid felsorolás az általa művelt fontosabb témaköröket, amelyekben maradandót alkotott.

- tevékenységének legnagyobb részét kétségkívül az aerodinamika területén végezte. Különösen kiemelkedők az örvényekkel és a hangsebesség feletti aerodinamikával kapcsolatos munkái;
- az űrrepüléssel és rakétatechnikával is sokat foglalkozott. Már a harmincas években elkezdte az ilyen irányú tevékenységet. Különösen a szilárd hajtóanyagok terén voltak kimagasló eredményei;
- munkássága a szilárdságtan területén is elismerést érdemel. Különösen a nem lineáris kihajlások vizsgálatában számottevőek eredményei;
- tevékenységének első éveiben máig maradandót alkotott az atomfizika terén. Max Bornnal közösen végzett vizsgálati eredményeit máig is hasznosítják;
- alapozó munkát végzett a geotechnika területén is;
- matematikában az operációkutatásban alkotott jelentőset, de ő írta meg e tudomány egyik legjobb egyetemi tankönyvet is;
- a kémiában is jelentősen hozzájárult a gázok égésméletténeke fejlesztéséhez.

Oktatási tevékenysége egészen rendkívüli. Már a József Nádor Műegyetem tanársegédékeként is bizonyította családi pedagógiai örökségét, majd Aachenben is kiváló oktatónak bizonyult. Diákjait a Bánki Donáttól tanult alapelvek szerint kísérletezésre és a gyakorlattal való szoros kapcsolatra nevelte. Jellemző, egyik meghatározó – egyben repüléstörténet formáló - cselekedete volt, a világ első egyetemi repülőklubjának (Akademische Flieger Gruppe) megalapítása, melyet azután, számos más Akaflieg követett. Ennek célja - a korlátozott anyagi lehetőségek mellett - a szükséges tudományos és matematikai alapok felhasználásával egy, a kor színvonalának megfelelő vitorlázó repülőgép megépítése volt. az elkészült légi járművel tanársegédje, Wolfgang Klemperer az 1920-as Rhön-i (Wasserkuppe) versenyen világrekorddal lett első. Hazánkban a Műegyetemi Sportrepülő Egyesület 1921-ben alakult. A Kaliforniai Caltechen már 1928-tól tartott előadásokat, majd 1930-tól végleg ott oktatott, rengeteg kiváló mérnököt és tudóst nevelve.

Meghatározó eleme volt Kármán Tódor tevékenységének – mivel már Budapesten, Bánki Donáttól megtanulta, hogy milyen fontos ez – az iparral és a felhasználókkal tartott kapcsolat. Mivel a repülés és a rakétatechnika legfőbb alkalmazói ebben az időben a katonák voltak, ezért

a légierőkkel (döntően az Egyesült Államokéval!) épített ki folyamatos kontaktust. Göttingában a Zeppelin művek tették lehetővé aerodinamikai kutatásait és a Krupp művek pénzén vizsgálhatta a plasztikus kihajlást, ami akkor korszakalkotó volt. Aachenbe Junkers által fenntartott intézet élére került, a Caltech nagy szélcsatornáját a Guggenheim alapítvány finanszírozta. Külön fejezetet érdemelne a katonai repüléssel való kapcsolata.

Kiváló tudományszervezőként, már 1922-től megszervezte az alkalmazott mechanika tudósainak rendszeres találkozóját, hogy az első világháború miatt szétzilálódott tudományos életet újra indítsa és összefogja. Ez a mozgalom a mai napig is rendszeresen tartja kongresszusait, jelenleg International Union of Theoretical and applied Mechanics néven. A második világháború után 1952-ben a NATO keretében megszervezte az AGARD-ot (Advisory Group for Aerospace Research and Development), 1958-ban az ICAS-t (International Council of the Aeronautical Sciences) majd 1960-ban a Nemzetközi Asztronautikai Akadémiát.

Külön kell beszélnünk Kármánnak a rakétatechnikával és az űrkutatással kapcsolatos tevékenységéről. Már Németországban is foglalkozott e kérdéskörrel, ahol Opel kísérletezett ilyen járművekkel. Ennek során egy vitorlázó repülőgépre rakétát szereltek. 1936-ban a Caltechen alakítottak egy rakétákkal foglalkozó csoportot, amelyből később kialakult a Jet Propulsion Laboratory, ami jelenleg a világ egyik legnagyobb rakétatechnikával foglalkozó szervezete (1958-tól már a NASA keretein belül). 1939-ben már az amerikai hadsereg is támogatta az ilyen kísérleteket. 1942-ben megalapították a napjainkra ipari óriássá nőtt – AeroJet vállalatot, melynek első munkája a felszállást segítő, ún. JATO rakéták gyártása volt.



Az AeroJet alapítói



Felszállás előtt



Az első segéd rakéta start

A második világháború a rakétatechnika hatalmas fejlődését hozta magával, és ezzel előtérbe került az űrrepülés is. A kapcsolódó kutatások egyik meghatározója Kármán Tódor volt. A háború után, részben a német tapasztalatok segítségével Amerika is belépett az űrkorszakba, és a Jet Propulsion Laboratory a nagy hatótávolságú lövedékek fejlesztésének és az űrkísérleteknek első amerikai központja lett. Első sikeres rakétájuk a WAC Corporal volt, ami 1945-ben 71,5 km magasságra emelkedett, majd 1949-ben második fokozatként (az első fokozat egy V-2 volt) 393 km-es magasságot ért el, és így az USA első űrrakétája volt. Az USA első műholdját, az Explorer 1-et is a Jet Propulsion Laboratory készítette. Kármán tevékenyen részt vett az USA űrprogramjának kidolgozásában. Érthető tehát, hogy amikor Kennedy elnök megalapította a tudomány nemzeti érme kitüntetését (United States National Medal of Science), akkor ezt elsőként a magyar származású Kármán Tódornak adta át.





Az első „rakétások” a Caltechen



A Corporal első startja



Kennedy elnök átnyújtja a kitüntetést

### Mit tanulhatunk Kármán Tódortól?

Talán elsősorban azt, hogy munkájában töretlenül szem előtt tartotta a Bánki Donát féle örökséget, a gyakorlat és az elmélet szoros egységét. Mindig hangsúlyozta a kísérletek fontosságát, ugyanakkor azok elméleti megalapozását is, amihez felhasználta a matematika teljes fegyvertárát. Szigorúan ragaszkodott az *„elmélet nélkül nincs jó gyakorlat, gyakorlat nélkül nincs használható elmélet”* filozófiához. Munkái nagy részét úgy végezte, hogy társakat vett maga mellé, legtöbbször fiatal tanítványai közül. Egy feladat megoldásához általában csoport szerveződött köréje. Rendkívül fontosnak tartotta a matematikai módszereket, és a problémákat olyan modell alapján próbálja megközelíteni, amelyek a lehető legjobban közelítették a valóságot. Jellemző a Tacoma híd elhíresült esete, amikor, a tisztán szilárdsági szemlélet mellett a rugalmasság és az alakváltozások figyelembe vételével lehetett megközelíteni a problémát. Igen érdeklődött az interdiszciplináris megoldások után. Sok problémára más területeken elért eredményeket és módszereket vett figyelembe. Büszke volt magyarságára.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Kármán Tódor Örvények és repülők (önéletrajz) Akadémiai Kiadó 1994
- [2] Biot - Kármán Tódor: Matematikai módszerek műszaki feladatok megoldására Műszaki Könyvkiadó 1963
- [3] Karman, Theodor von: :From Low Speed Aerodynamics to Astronautics, Pergamon Press 1961



Hornyik József<sup>1</sup>

## „ÚJ” DIMENZIÓK A PROTOKOLLON TÚL – AZ UAV PSZICHOLÓGIAI MEGKÖZELÍTÉSE<sup>2</sup>

*UAV műveletek elengedhetetlen meghatározója a folyamatokat irányító ember. A jelentkezők kiválasztása a pszichológia feladata. Nem volna viszont helyes, csupán egy nagy biztonsággal elvégezhető feladatra koncentrálni, figyelmen kívül hagyva a kockázatosabbnak tűnő határterületeket. Ahogyan az sem volna helyes, ha nem keresnénk a kapcsolatot, a szoros szakmai együttműködés lehetőségeit a társtudományokkal és más szakmai csoportokkal. E rövid összefoglaló az éppen folyamatban lévő, a kiválasztást, alkalmasság-vizsgálatot célzó pszichológiai munka olyan bemutatása, ahol éppen a határterületek figyelmébe ajánlható témák kerülnek kihangsúlyozásra.*

### **"NEW" DIMENSIONS BEYOND THE PROTOCOL – A PSYCHOLOGICAL APPROACH OF UAV**

*Essential determinant of UAV operations is the human factor, the man who controls the process. Selection of candidates is one of the roles of psychology. It would not be correct, however, to focus only on the task that can be performed with high degree of certainty, ignoring more risky areas. Similarly it would not be right if we do not look for the link to co-sciences and would not search the possibilities to work in close cooperation with other professional groups. This is a brief summary of an ongoing progress of research in the field of psychological selection of UAV operator candidates in a way that may be of interest for other professional field representatives as well.*

## BEVEZETÉS

Ritkán fordul elő, hogy egy kutatási folyamat kellős közepén, csupán a részeredményekről szóló publikáció szülessen – hiszen az eredményekre is kiterjedő, részletes beszámoló a vizsgálatok befejeztével készülhet. Ilyesmire akkor kerülhet sor, sőt akkor van erre igazán nagy szükség, amikor egy kutatási projekt esetében, rendkívül széles, a témában érintett – esetenként egymást kevéssé ismerő, az elméleti alapok és megközelítések tekintetében pedig egymástól meglehetősen nagy távolságban munkálkodó - szakmai közösség együttműködése nem csupán kívánatos, de egyben elkerülhetetlen is. Az UAV, mint kutatás-fejlesztési feladat mindenképpen ilyen, átfogó tudást, tapasztalatot, különböző elméleti megközelítéseket igénylő terület, annak ellenére, hogy már jelentős múltra tekinthet vissza, hiszen a gyökereket valahol 1916-ban, az első bevetés [1] környékén kell keresnünk.

Ami a pszichológiát illeti az adott téma kapcsán, legalább két síkon, két (mint az kiderül, igazából négy) nézőpont felvétele szükséges az igazán hatékony munkavégzéshez. Ezek pedig, ami a gondolati síkokat illeti, a következők:

- I. az aktuális projektben kitűzött konkrét kutatási cél elérése, a kapott feladat maradéktalan végrehajtása;

<sup>1</sup> orvos alezredes, szakpszichológus, Magyar Honvédség Honvédkórház Repülőorvosi- Alkalmasságvizsgáló és Kutató Intézet, Kecskemét pszicholab@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Szabó Sándor András o. alezredes, MH Egészségügyi Központ Védelem-egészségügyi Igazgatóság Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet Intézetvezető főorvos helyettese, sasi19620@gmail.com

- II.** az aktuális projekt működési sajátosságainak, tágabb összefüggéseinek elemzése, különös tekintettel a közös munka alapján kialakuló továbblépési lehetőségek feltárására, azaz a lehetősége határainak feszegetése.

A követendő – szakmai – nézőpontok pedig:

- (a) munka- és (b) szervezetpszichológia;
- (c) neuropszichológia ((d) pszichofiziológia).

Ezen felosztás természetesen mesterséges, inkább a szakmai elaprózódást tükrözi, hiszen a már elvégzett, vagy még folyamatban lévő (pszichológiai) vizsgálatok során is jelentős átfedések tapasztalhatók, viszont az értelmezési keret felvétele, a későbbiekben pedig zárójeles jelzése segítheti a helyenként bonyolultnak tűnő összefüggések követését. Már most ki kell azonban hangsúlyozni, hogy felvehetünk végtelen számú gondolati keretet, s hasonló számú szakmai nézőpontot, a pszichológiai tevékenység akkor is csupán szűk szeletét képezi az elvégzendő munkának, hiszen önmagában is csak egy része az érintett nagyobb szakterületnek, a repülőorvostannak. Ez utóbbi kapcsán, illetve annak az UAV kutatásban betöltött szerepéről a repülésbiztonság fényében nagyszerű, a lényegre koncentráló összefoglalás olvasható Dr. Szabó Sándor András tollából. Elkerülve az általa ismertetett tények felesleges ismétlését, itt csupán a már elvégzett és még folyamatban lévő pszichológiai természetű munka bemutatása következik, részben egy-egy elemre koncentrálni – a jelenleg is tartó kutatási tevékenység aktualitása által behatárolt mértékig, másrészt pedig már most kívánatos a pszichológia kompetenciahatárait átlépő jelenségek megfogalmazása, ajánlva azokat a társszakmák figyelmébe, bemutatva azt, hogy ezeken a területeken a pszichológia miben lehet a szolgálatukra.

Amint az a társtudományok esetében is megszokott, a pszichológiai kutatás során is kötelező legelső lépés a konceptualizáció, röviden: miről is van itt szó? Az UAV kutatás-fejlesztés a pszichológia, mint szakma számára, már annak felvetésekor is különleges lehetőséget (**I. a, b**) biztosít. Ez egyben, természetesen felelősséget is jelent. Ennek tisztázása előtt érdemes viszont néhány szót ejteni a munka jelentőségéről is, figyelembe véve két, természetüket tekintve egymástól – csupán – látszólag távol eső területet. Ezek az emberi (tudományos) kíváncsiság és a pénz. Ami az elsőt illeti, napjainkban már-már lassan – pl.: a metaanalízisek során – elfogadott, ha nem is bizonyító erővel bíró jelzésnek tekinthetjük az internetes megjelenések, hivatkozások számát. Egy-egy új feladat kezdetén, már szinte rutinszerűen „nézünk körül” az interneten: vajon az előttünk álló feladat, a terület, amelyre merészkedünk újdonságnak számítt-e? A kevés számú (keresési) találat alapján próbáljuk felmérni az esetleg hiábavaló munka során ránk „leselkedő” kockázatokat, vagy éppen a lehetőségeket. Máskor pedig ellenkezőleg, a rengeteg találat mutatja, hogy a munkaterületen már sokan szorgoskodnak, nyilván nem véletlenül, azaz inkább annak a kockázatával kell számolnunk, hogy kimaradunk valami izgalmasból. Nos, a projekt [3] kezdetén elvégzett szándékosan egyszerű keresés („UAV research”) kerekén **35 500** találatot mutatott. Eltekintve az elkerülhetetlen kereszt-hivatkozásoktól, az interneten megszokott információs redundanciától, ez a szám bizony elég magas. Jóval magasabb annál, mintsem megengedhessük magunknak a kimaradás luxusát. Ami pedig az anyagiakat illeti: a nem az erőforrások biztosításával foglalkozó, vagy nem konkrétan azért felelős szakembernek, kíváncsisága kielégítéséhez szintén elegendőek lehetnek a publikus információk. Úgy a nyilvánosan elérhető (U.S. Department of Defense, 2012.02.14 ), mint az ide kapcsolódó üzleti munkaanyagokról készült rövid beszámolók (pl.: Teal Group 2012-es piaci elemzése) a

válság – illetve az ennek hatására bevezetett takarékosági lépések – ellenére is, jelentős növekedést várnak az UAV vásárlások illetve fejlesztések terén. Ez utóbbi különösen az érintett eszközök képességei és a szállított hasznos teher – speciális eszközök, berendezések – kapcsán kiemelkedő, egészében pedig mintegy 4,08%-os növekedést, illetve a globális piacon összességében és várhatóan 91,7 milliárd amerikai dollárt jelent a 2011–21 közötti évtizedre. A finanszírozással foglalkozó szakemberek számadatai minden bizonnyal részletesebbek, következtetéseik pedig jóval pontosabbak. Az egyéb területek számára ezek így is éppen elégséges erővel jelzik előre, hogy várható a gazdaság szereplőitől szakmai érdeklődés, igény egy-egy olyan konkrét kérdés megválaszolására, amelyhez már most szükséges komoly eszközökkel elkezdenünk a felkészülést. Ennek főbb tendenciáira utaló iránymutatást is kaphatunk. A pénzügyi adatokból úgy tűnik, a „főcsapás” iránya a MALE UAV (Medium-Altitude Long-Endurance Unmanned Aerial Vehicle) terén várható, ami 3 és 10 000 méteres magasságtartományt, illetve 24–48 órás bevetési időt jelent. Ezen paraméterek alapján könnyen eshetnének abba a hibába, hogy csupán megoldandó technikai/technológiai problémákat lássunk. Nem szabad azonban elfeledkeznünk arról sem, hogy a kifejlesztett eszközöket üzemeltetni, a kapott információkat integrálni, az esetleges távoli beavatkozásokat pedig koordinálni kell egy olyan, már meglévő rendszerben, ami bizony emberekből, azok munkatevékenységéből áll. Függetlenül attól, hogy a szóban forgó „nagy” rendszer miből tevődik össze, azaz a hadsereg, a légierő, vagy a katasztrófavédelem stb. erői és eszközei képezik-e, az adott tevékenység részleteire koncentrálni, a pszichológiának van keresnivalója a **(I.a)** kiválasztás/alkalmasság-vizsgálattól kezdve, a humán erőforrás fejlesztésen **(II.a)** át, akár egészen a **(II.b)** szervezeti kultúrát érintő változásmenedzsmentig bezárólag.

## AZ EMBERI TÉNYEZŐ MINT A KIVÁLOGATÁS ALANYA

### **Alkalmasságvizsgálat (I.a) – a kezelőszemélyzet kiválasztása, szűrése**

A korábban említett konceptualizáció, illetve felelősség kérdése e helyütt óhatatlanul összekapcsolódik. A „Miről is van itt szó?” megválaszolásához az irodalmi kutatáson, a metaanalízisekben rejlő összefüggések feltárásán túl elengedhetetlennek tűnik további analógiák keresése, szakmai hasonlóságok esetén akár a messzi múltban is. A felelősség az analógiában rejlő hasonlóság folyamatos tudatosításában rejlik: jó, ha vannak gyökerek, azonban inkább a korábbi hibákból kell tanulni, avagy: az első látásra kínálkozó hasonlóságból nem következhet, egyes módszerek szolgálai átvétele (pl.: más hadseregek szervezeti kultúrájának beleérőszakolása a hazai viszonyok közé), másolása, így inkább az érvényes különbségeket szükséges hangsúlyozni. Az alkalmasság-vizsgálati gyökerek valahol a rendszeresített (hadi célokat szolgáló) repülés kezdeteinek környékén találhatóak. Az UAV kutatás-fejlesztés, ezen belül is a kezelőszemélyzetet érintő alkalmasság-vizsgálati kérdések kapcsán jól tesszük, ha ebbe a korba mi is visszatekintünk, majd a repülőeszközök fejlődésére koncentrálunk, bizonyosan találunk itt is releváns szempontokat.

A kiválasztási feladatok őse leginkább akkoriban került a szakemberek látóterébe, amikor az egyre szaporodó repülőeszközök miatt, egyre több pilótára volt szükség. Az eszközök (a gépek) kezdetlegesebbek voltak, kis tömegűek (főként a rendelkezésre álló teljesítményhez viszonyítva), repülésükhöz a pilóták részéről többre volt szükség az egyszerű bátorságnál. Inkább vakmerőségről beszélhetünk. Ezt az erényt leginkább a lovasság körein belül vélték megtalálni. A

szakma őseit/hőseit kötelezően megillető tiszteleten túl, ez egyben az első analógiás hibának is tekinthető. A kor (I. vh-t megelőző) repülőeszközei drága mulattságnak, úri huncutságnak számítottak. A kiváltságos, nemesi osztály vakmerőbb fiaival pedig gyakran, mint lovassági tisztekkel találkozhatunk a hadszíntéren – vagy a tiszti kaszinóban. Koncentrálva a kiválasztásra megállapítható, hogy az, az első körben nem is igazán létezett. A kevés számú, már gyakorlottnak tekinthető pilóta „adott” volt. Az igényelt létszám növekedésekor pedig kezdetben, az akkor már szintén „adottnak” tekintett tulajdonságokat, készségeket keresték, főként a szintén már „adott” körben: a vakmerő lovasság soraiban. Nem meglepő tehát, ha a komoly kiválasztási követelmények, vizsgálati eljárások sorában kissé szokatlanokat is találunk. Ilyen volt például, amikor a felsorakoztatott jelöltek mögött hirtelen és váratlanul pisztolyt sütöttek el. Aki össze-rezzent, az „nyilvánvaló” módon nem volt alkalmas. Az sem meglepő, hogy a létszámigények további emelkedésekor némiképpen finomodtak az eljárások.

Ami a repülőeszközök fejlődésének történetét illeti, ott is találhatunk megszívlelendő támpontokat. Mi is történt e tekintetben? A már említett hőskorban, a kezdetleges eszközök korában vált tréfás mondássá, – némiképp finomított formában – hogy az igazán jó pilóta a nadrágjával érzi a repülést, frappánsan utalva arra, amit ma tudományosan az intero- és proprioceptív (a test belsejéből származó) információkra, a gyorsulások irányára és nagyságára való utalásnak tekinthetnénk. Azonban ugyanez a nadrág a későbbiekben – a jelentős teljesítménynövekedés korában – már inkább zavaró tényezővé, a repülési illúziók forrásává vált, kivételes rutint megkövetelve a pilótáktól, jelentős repülési óraszám biztosítását a „rendszeről” annak érdekében, hogy az eszközt irányító ember csalhatatlan reflexekkel bízson a műszereiben, szemben a „gyárilag beépített” ösztöneivel. Hol van ez a nadrág napjainkban? Helyet foglal például egy, Afganisztán úttalan hegyei között zötykölődő terepjáróban, vagy egy bunker mélyén, több ezer kilométer távolságban található székben, vagy éppen egy másik nagysebességű repülőeszköz ülésében [4]. Röviden megfogalmazva azt kell látnunk, hogy a téri tájékozódás emberi evolúciós „műszerei” kikerültek az irányított eszközökből, és vagy nem biztosítanak korrekt, fiziológiás információt (egy bunkerben ülve), vagy eltérő, – az irányítandó eszköz szempontjából – zavaró jelekkel látják el a központi idegrendszert (egy másik jármű fedélzetén végzett munkatevékenység esetében).

### **A tanulság, avagy Lessons Learned?**

A kötelező tanulság kimondatlanul is az eszközök fejlődésének, fejlesztésének robbanásszerű üteme. Elég, ha csak az I. világháború befejezésétől a második világháborúra való felkészülés kezdetéig tekintünk a fejlesztésekre, s olyan mérnöki megoldásokra bukkanhatunk, ami a Wright fivéreknek még eszébe sem juthatott. A mai kor fiatal vezetőinek, az érintett parancsnokoknak a hadseregben, vagy a katasztrófavédelmi csoportok esetében, szintén a fiatalabb korosztályhoz tartozó vezetőknek tehát arra kell felkészülniük, munkahelyük szervezeti kultúráját pedig felkészíteniük, hogy még bőven a saját aktív karrierjük előre belátható közeljövőjében jelentős változásoknak lesznek nem csupán tanúi, de aktív részesei, irányítói is egyben, például az UAV technológia fejlődése és alkalmazása kapcsán.

Az aktuális kutatási feladatok fényében jó, ha a – folyamatban lévő – teendőket szakaszokra, gondolati egységekre bontjuk:

- hagyományos keretek: információ-feldolgozó képesség
- „új” dimenziók: stressz-tolerancia – fejlődési potenciál („új” paraméterek)

Talán nem is képzelhető el olyan kutatás, ahol a korábbi, hagyományos kereteknek tekinthető tények figyelmen kívül hagyhatók. Az UAV kezelők lehetséges kiválasztási protokolljának összeállításakor sem tehetünk másként még akkor sem, ha a már említett konceptualizáció során nem illik rögtön – már meglévő – eszközökben, eljárásokban gondolkodni. Viszont az is megengedhetetlen luxus volna, ha a munkalélektan, közelebbről pedig a közlekedés, illetve repüléspszichológia hagyományosnak tekinthető eszközeit egyszerűen valamiféle modernitás jegyében sutba dobánk, különösen akkor, ha ezekre az eszközökre épülő, évtizedekre visszatekintő standard adatok állnak rendelkezésre. Ezek alatt az évtizedek alatt pedig, a vizsgálati személyek érintett – hajózó és irányító – csoportjai olyan jelentős technikai, technológiai fejlesztéseknek voltak alanyai, amelyeket az időközben kapott vizsgálati eredmények standardjai mentén lehetséges volt korrekt módon értékelni. Az eszközök oldaláról számba véve az igényelt és elvárt készségeket, ezek:

- komplex szenzométer – egyszerű és döntési reakcióidő (különböző információs modalitásokban);
- disztributív cselekvésvizsgáló – jelentős információs-terhelést jelentő szituációban szükséges monotónia-tűrés, a teljesítményváltozás és a hibázások számának változása alapján, illetve részben vizuo-motoros koordináció-készség vizsgálata az eszköz jellege miatt;
- tachistoscope – a rövidtávú memória vizsgálatára, amely minden komplex, gyors feladatváltás igénylő információs helyzetben elengedhetetlen;
- Schuhfried-féle un.: „kétkéz koordinációs” képességvizsgálat – kifejezetten a vizuális ingerekre (képernyő, műszerek stb. ) adott motoros válaszok minőségének vizsgálatára (a felhasználható paraméterek egyike, azonban már az „új” dimenziók közé sorolható, lásd: később);
- 3D vizuális téri tájékozódási készség – a korábban említett „nadrág” hiányában szükséges a jelölt ilyen irányú kognitív képességeinek felmérése.

A felsorolt eszközök, az esetleges modernitásuk (a Shuhfried-féle teszt korszerű, számítógépes eszköz) ellenére oly mértékben hagyományosnak tekinthetők, hogy e helyütt nemhogy a részletezésük, de még jóformán a megemlítésük sem volna indokoltnak tekinthető, hiszen már létező eszközökről van szó, esetleg csak a korábbi standardok, normák pontosítására lehet nyilvánvaló igény. Ami mégis indokoltá teszi, az a már korábban említett konceptualizációs felelősség, ami bizony érinti, de egyben jelentősen túlmutat a kiválogatást végző szakember kompetenciáján. Miről is, miféle felelősségről is van itt szó? Idézzük emlékezetünkbe a vakmerő lovassági újoncok, leendő pilótanövendékek sorfalát. Eldördül a pisztoly, s a jelölt vagy alkalmas, vagy nem. Növendék lesz, vagy sem. Valóban ilyen egyszerű volna, mint egy pisztolylovás? Persze most nem a módszer a lényeges, sokkal inkább a döntés kimenetele. A világháború (az első) sok szárazföldi katonát, hozzájuk képest pedig viszonylag kevés pilótát igényelt és követelt. Akkoriban nem volt (ha kizárólag a bekerülési költségekre koncentrálunk) a mai viszonyokhoz hasonló, nagy anyagi ára a döntési helyzetben egyébként nyilvánvaló létrejövő illúzióknak: „igen, vagy nem”. A döntéseméletben némi elvontsággal csak elsődleges, vagy másodlagos, más szavakkal elsőfajú és másodfajú hibaként emlegetett jelenség itt, a kiválasztás



gyakorlati szempontjából némiképpen elfedi a lényegét: még az elméletileg lehetséges legegyszerűbb helyzetben (ha ilyen egyáltalán elképzelhető) sem a „vagy igen, vagy nem” tiszta egyszerűsége érvényesül. A valóságot alkalmazva a kiválasztási helyzetre, még elméletben is négy kimeneteli lehetőséggel kell számolni:

1. kiválasztunk valakit, aki alkalmas;
2. elutasítjuk az alkalmatlant.

Ez eddig még tetszetős is volna! Mi egyéb lehetne a kiválasztás dolga? A logika és a valóság azonban könyörtelen és tartogat még két lehetőséget:

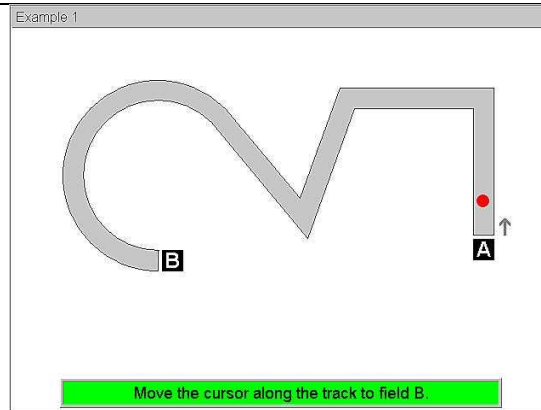
3. elutasítunk valakit, pedig alkalmas volna;
4. beválasztunk egy, amint az róla később kiderül, alkalmatlant jelöltet.

A 3. pont esetében még legyintheünk is némi könnyedséggel: sebj, az elveszt(eget)t jelölt majd megtalálja a helyét másutt. A 4. azonban már igen problémásnak tűnik: a rosszul beválogatott egészen biztosan csak gondot okoz, amikor abból úgyis van elég. A kiválasztási rendszerek önvédelmi reflexnek tekinthető „öszttönei” éppen ennek a gondolatnak a mentén igyekeznek „kezelni” a helyzetet: az illetékes szakemberek tegyék hát magasra a lécet, úgy később nem lehet majd nagy baj! Napjainkban azonban ez a reflex már problémás. Elég, ha a kiképzési költségekre gondolunk: az elvesztegetett jelölt adott esetben jelentős költségvetési megtakarítást is jelenthetett volna, hiszen alacsonyabb költséggel és rövidebb idő alatt lehetett volna hadra fogható. Az alkalmatlanságával együtt beválogatott személy pedig nem egyszerűen gondok, kellemetlenségek, hanem balesetek, emberi és anyagi veszteségek forrásává válhat később. Ennek a helyzetnek a megfelelő kezeléséhez a kiválasztási rendszer, a maga elszigeteltségében, önmagára utalva nem elegendő. A kiválasztási protokoll kialakítása során tehát olyan eszközök, eljárások alkalmazása, kifejlesztése a követendő cél, amelyeket az alapfokú kiválasztást követően, szoros együttműködésben a „rendszer” egyéb – például: az illetékes vezetői tagozattal, vagy a kiképzéssel foglakozó – elemeivel, egy szakaszos, egymásra épülő kiválasztási folyamat alapjaivá lehet – de legfőképpen kellene - tenni.

### **„Új” dimenziók – pszichofiziológia és társai (I. c és d)**

Az idézőjel ebben az esetben annak a jelzése, hogy nem alapjában új lehetőségek kereséséről, teljesen új paraméterek felhasználásáról beszélünk, hanem olyanokról, amit már használunk, csak a pontos értékelés hangsúlyát szükséges feltehetően módosítani, vagy olyanokról, amely mutatókat a társszakmák és tudományok már alkalmaznak, s kellő kutatási anyag áll rendelkezésre. Természetesen a „kölcsonzött” paraméterek használhatóságát saját területünkön igazolni kell – ez, az aktuális kutatás részfeladatai közé tartozik.

A lényeg ismertetését ismét jó, ha a klasszikusoknál kezdjük, az egyébként a kutatási protokollban is felhasznált Schuhfried-féle koordinációs teszt bemutatásával. Az eszköz számítógépes tesztadminisztrációt tesz lehetővé, azonban ennek ellenére klasszikusnak számít, hiszen funkciójában a korábbi szakmai zsargonban csak „omega”-ként emlegetett eljárás modern megfelelője.



1. ábra

A tesztfeladat (1. ábra) önmagában egyszerű(nek látszik): a piros jelet kell végigvezetni az adott pályán a lehető legpontosabban és a lehető leggyorsabban úgy, hogy jobb kézzel csak függőleges, míg bal kézzel kizárólag vízszintes irányú mozgásra van lehetőség. Mielőtt egyszerű kézügyességi vizsgálatnak gondolnánk, jusson eszünkbe, hogy a kéz önmagában nem ügyes, vagy ügyetlen. Ahogy mondani szokás – itt is – az „agyban dől el minden”. Abból pedig, ami az agyban eldől, két dolognak van jelentősége a leendő UAV kezelőszemélyzet kapcsán – nem beszélve most arról, amit hagyományosan kézügyességnek tekintünk, s aminek természetesen kiemelt jelentősége van a közvetlen (táv)irányítást igénylő, kevés fedélzeti, repülési automatikával rendelkező eszközök esetében.

Az első ilyen jelentősnek tekinthető következtetést – korábbi tapasztalatainkra is építve – a vizsgálati személy teszt közbeni taktikájában, az ezzel kapcsolatos reakcióiban fedezhetjük fel. E téren a tapasztalataink egyszerűen megfogalmazhatók: a közvélekedéssel ellentétben a repüléssel foglalkozók körében egy nehezített szituáció nem a hollywoodi Ray-Ban napszemüveges, villámgyorskezü döntéshozót, épp ellenkezőleg, az akár a tevékenység sebességének a rovására is, de a pontosságot, egészen a precizitásig hangsúlyozó beavatkozó személyt hozza előtérbe. Ezzel kapcsolatban – egyelőre kiegészítő vizsgálati eredmények hiányában – csupán egy, leginkább a kognitív képességek, illetve a neuropszichológia területére eső feltételezéssel élhetünk. A feltételezés viszont, ha igazolható eredményeket kapunk egyéb kutatásainkban, kiemelt fontosságú lehet az UAV kezelők kiválogatása során is – ez volna itt a hangsúlyeltolódás. Nem volna jogos ugyanis azt feltételezni, hogy kiképzett, nagy tapasztalatokkal rendelkező pilóták a nehezített koordinációs helyzetben pánikba esnek, s emiatt lassulnak le (némiképpen). Az agyműködés törvényszerűségeinek ismeretében, átlagosan megtartott „globális” teljesítmény esetén, inkább azt kell feltételeznünk, hogy a lassulás annak az eredménye, hogy a központi idegrendszer az erőforrásait másként osztja el a hatékony feladat-végrehajtás érdekében. Feltételezhető továbbá, hogy mindez annak a jele, hogy nem egyszerűen a figyelem fordul az apró – a hibázási lehetőséget csökkentő – részletek felé, hanem hangsúlyosan: jelentős energiák kötődnek le, vagy kerülnek átcsoportosításra a fokozott figyelem tartós fenntartása érdekében. Mi következik ebből, s számunkra az UAV kezelők kiválasztása szempontjából miért is fontos ez? A tartós, fokozott figyelem egy konkrét szituációban emeli az adott helyzetben érvényesülő – elvárt!? – tanulás hatékonyságát. Attól a jelölttől pedig, aki erre képes, joggal várható, hogy később, a kiképzés során is megtartja a hatékony (gyakorlatorientált) tanulási képességét. Ennek a képességnek a jelei már a teszt folyamatában is mérhetők, hiszen a számítógépes próba

során, rövid begyakorlást (két kör a pályán) követően a feladatot tízszer egymásután, megállás és pihenő nélkül kell végrehajtani. Azok, akik egy nehezített helyzetben, magukra hagyva (hiszen nincs külső segítség, még az instrukció sem segít abban, hogy a gyorsaság, vagy a pontosság a fontos) képesek a szituáció apró részleteiből, s legfőképpen a saját reakcióikból, az óhatatlanul is elkövetett hibáikból tanulni, nos azoknak a próbánkénti teljesítménye egy határozott tendencia mentén javul.

A másik olyan nézőpont, amely a jelen kutatás szempontjából nagyobb hangsúlyt kapott, már nem a konkrét koordinációs feladat jellegéből, vagy eredményeiből, hanem a próba intézetünkben kialakított protokollja által tehető könnyen érthetővé, illetve abból ered. Hagyományosan a tesztet egyszerű körülmények között végzik: a vizsgálati személy helyet foglal, kényelmesen elhelyezkedik, megkapja az instrukciót és képességei szerint teljesít. Az általunk követett protokoll során egy kiegészítő mérést, és némi kiegészítő időtartamot vezettünk be. A konkrét tesztfeladat végrehajtása előtt, valamint azt követően, adott időtartamú pihenőszakaszok vannak beiktatva, és úgy a pihenők során, mint a feladat végrehajtása közben EKG adatokat rögzítünk, az úgynevezett *közepes szívfrekvencia variabilitás [HRV]* elemzése érdekében. A vizsgálat leírása Dr. Szabó Sándor András már említett beszámolójában, illetve egyéb [5] forrásokban [6] részletesen megtalálható. Itt elegendőnek tűnik csupán röviden összefoglalni a lényegét: szintén az általános felfogással szemben, egy tevékenység közben a mérhető pulzusszám, illetve annak változása – a fizikai megterhelést most figyelmen kívül hagyva – nem egyszerűen attól függ, hogy mennyire vagyunk izgatottak éppen. A szervezet egyensúlyának fenntartását ebben a kérdésben is sokkal finomabb erők összjátéka határozza meg, meglehetősen sok tényező alapján. Ezen tényezők komplex hatása jelenik meg azután a pulzus rövid időtartamokon belül tapasztalható, apró változásaiban. A megfelelő módon értékelve, jól értelmezhető jelzéseket kaphatunk a szabályozó folyamatok, például a pszichés terhelés [7] tekintetében. Visszatérve a tesztfeladathoz: az eredmények értékelése során elméletileg azt várjuk, hogy a két (a vizsgálatot megelőző, illetve az azt követő) pihenési szakaszban, a konkrét vizsgálati személy esetében a pihenésre jellemző értékeket (illetve az ilyenkor természetes laza hullámzó jelleget) lássuk, míg a terheléskor az annak megfelelő irányú elmozdulás (jelen esetben a számított paraméter csökkenése) az elvárt reakció. Ennek ráadásul jól illeszhetőnek kell lennie a terhelés (1 szekundumos pontossággal követett) változásaihoz. Ami a második pihenő szakaszt illeti, ott a fizikai terhelésekhez hasonlóan elvárható (egy potenciálisan alkalmas jelölttől), hogy a terhelés befejezését követően, megfelelő időn belül álljon vissza a pihenésre jellemző érték és mintázat.

Az UAV kutatás-fejlesztési projekt a fenti eljárásnak különleges aktualitást és hangsúlyt is ad. A céleszközök alkalmazásakor ugyanis kimutatható a fokozott munkaterhelés, és az esetleg egyéb forrásokból származó stressz hatása – hazánk haderejében megtalálható, már meglévő SUAV eszközök Afganisztánban kerültek bevetésre, de gondolhatunk akár a katasztrófavédelem leendő eszközeire is. Ezek alkalmazása már önmagában jelzi, hogy valahol, valakik bajban vannak, s az ilyen helyzetek fokozott terhelést jelentenek a mentésben résztvevők számára is. Ez a típusú terhelés, stressz pedig éppen azokat az agyi területeket meríti ki [8] elsődlegesen, amelyek – főként – a téri és időbeli tájékozódás harmonikus szervezésében vesznek részt. Tehát az UAV kezelők, bevetésük során éppen ott vannak kitéve a kimerülés veszélyének [9] (a térbeli tájékozódás), amely pszichés funkció egyébként is fokozott igénybevétel alatt áll, hiszen az eszköz irányítását nem a hagyományos módon, az eszközben helyet foglalva végzik. Ez így

együttesen csak megerősíti egy olyan kompakt, gyors mérési lehetőség kialakításának az igényét, amellyel akár a bevetési területen is nyomon követhető a tartós munkavégzés során, a fokozott stressznek kitett állomány munkavégző képességének alakulása.

Ami az aktuális kutatási feladatot (egy kiválasztási protokoll elkészítését, az ehhez szükséges vizsgálatok elvégzését) jelenti ennyi elegendő is volna. Azonban, ahogyan az korábban említésre került, egy hatékony kutatástól elvárható, hogy a kutatási cél elérésével párhuzamosan a következő lépést (a jövő kutatási kérdéseit, feladatait) is előkészítse, valamint az ebben a projektben érvényesülő szoros együttműködés által is előrevetített későbbi, az együttes munka folytatásának az igénye felveti ugyanennek a paraméternek (a közepes szívfrekvencia variabilitás és a pszichés terhelés közötti korrelációnak) a jelenlegitől kissé eltérő felhasználási lehetőségét. Előre szükséges hangsúlyozni, hogy ez a lehetőség csakis a különböző eszközöket fejlesztő, és a kiképzést folytató szakemberekkel való igen szoros együttműködésben valósulhat meg.

Ahhoz, hogy a felmerült lehetőséget könnyen érthetővé tegyük, ismét egy – az „Agy évtizede” hatására bekövetkezett robbanásszerű fejlődés miatt ma már – klasszikusnak számító vizsgálat-hoz [10] kell visszanyúlnunk. Az említett vizsgálat során a kiemelkedő téri tájékozódási, és városismereti képességeikről méltán híres londoni taxisok központi idegrendszerét vizsgálták képalkotó eljárások segítségével. Az eredmények az agyi szürkeállomány jellemző és szignifikánsan kimutatható eltéréseit mutatták a téri tájékozódásban érintett területek megfigyelésekor. Röviden: a szóban forgó agyi területek jelentősen fejlettebbek, nagyobbak voltak, összevetve egyéb területek nagyságával, illetve a mért értékek az adott képességek színvonalával korreláltak. Tanulva az elődöktől, s koncentrálna saját kutatási feladatainkra, úgy tűnhet nincs és nem is lehet más dolgunk, mint „szerezni” egy korszerű nagyfelbontású képalkotó masinát, bedugni a jelölteket, és elég lesz egy tolómérő is. Ami az anyagiakat (a képalkotó technikák árát) illeti, úgy sajnos, ami pedig a kutatást, úgy szerencsére itt sem ilyen (a korábbiakban már idézett „pisztolylövéshez” hasonlóan) egyszerű a helyzet. A többször megemlegetett gyors fejlődés ellenére kevéssé valószínű, hogy az UAV kezelők (de még akár a vadászpilóta jelöltek) pszichológiai kiválogatásához képalkotó technológiák álljanak a rendelkezésünkre a belátható közeljövőben. Aktuálisan ez nem is jelent megoldhatatlan akadályt, ugyanis az említett vizsgálatnak nem az a legfontosabb lényege, hogy a kiváló londoni taxis jobb oldali posterior (pontosabban: postero-medial) hippocampusának a szürke állománya jellemző eltéréseket mutat. A tanulmány legfontosabb értéke, hogy ékes és valóságos helyzetre mutató, konkrét bizonyítékát adta az agy plaszticitásnak. Agyunk azon kiemelkedő tulajdonsága ez, amivel állandóan alkalmazkodni, fejlődni képes, igazodva a környezetünk elvárásaihoz.

Amennyiben nem áll módunkban a legmodernebb képalkotó eljárások alkalmazása, úgy kerülő úton is elindulhatunk, azaz, ha megfelelő neuropszichológiai eszköz közvetlenül nem áll (még) rendelkezésünkre, úgy az akadály megkerülhető, a terület megközelíthető a pszichofiziológia hátsóajtaján keresztül is, a következők szerint:

A korábban részletezett, Schuhfried-féle teszthez kialakított vizsgálati menetet, protokollt alkalmazzuk (pihenés-terhelés-pihenés) úgy, hogy a koordinációs tesztet az UAV projekt keretében fejlesztett repülési szimulátorral helyettesítjük. A hatékony erőforrás-gazdálkodás jegyében erre a fokra már egy előszűrt, előzetesen kiválogatott jelöltsoport esetében kerül sor. A vizsgálatok aktuálisan folynak, így csupán – jelenleg – egy vázlatos leírásra van lehetőség. A jelölt (ne felejtjük

el, hogy kiképzés előtt álló egyénről van szó) a szimulátorban egy előre beállított helyzetbe kerül. Már „levegőben” van, elkerülve a fokozott nehézséget jelentő le- és felszállást, mint feladatot. Az instrukció során a vizsgálati személy tájékoztatást kap arról, hogy a vizsgálati feladat a részéről nem igényel jelentős „reptechnikai” készségeket, e tekintetben a lényeg csupán az, hogy képes legyen a levegőben maradni. A korábbi (koordinációs) protokoll bevezető pihenési fázisa is, az adott rendelkezésre álló időn belül azt a célt szolgálja, hogy a jelölt a lehetőségekhez képest hozzászokjon a vezérlési szituációhoz. Nincs kitűzött feladat, szabadon manőverezhet. A következő fázisban, előre meghatározott rendben kap olyan feladatokat, meghatározva az elérendő célt, amelyek teljesítése inkább a taktikai készség, a memória stb. próbáinak tekinthetők. Amint a rendelkezésre álló idő letelik, amolyan levezetésképpen, adott időtartamú pihenési szakasz következik. A kapott adatokat a koordinációs helyzethez hasonlóan értékeljük. Ehhez a vizsgálati metodikához kapcsolódik szorosan az a lehetőség, amelynek kiaknázása az érintett szakemberek, parancsnokok, kiképzők későbbiekben elképzelhető szoros együttműködésén alapul. Az imént ismertetett vizsgálat ugyanis egy korai kiválasztást szolgáló, szándékoltan laboratóriumi jellegű helyzet. A mérések közben adott feladat, úgyszintén szándékosan, nem próbál valamiféle éles helyzetet imitálni – hiszen az arra történő felkészítés, csak a sikeres kiválasztást követően kezdődik meg. A tesztfeladat célja csupán annyi, hogy annak a központi idegrendszeri hatása várhatóan és jellemzően különbözzék a kezdeti „laza manőverezés” szakaszától, illetve a feladatként kitűzött cél elérése korrekt módon ellenőrizhető, jelölhető legyen. Tehát röviden: az elvégzendő feladat csupán provokáció, amellyel a várt fiziológiás történéseket igyekszünk kiváltani. Azonban a későbbiek – akár a kiképzés – során nincs szükség mesterséges feladatok kitalálására. Maga a kiképzés, az egymásra épülő kiképzési feladatok sora válik – egyre fokozatosan emelkedő – terheléssé. Ebben a helyzetben kap(hat) ismét fontosságot a londoni taxisokon (is) igazolt agyi plaszticitás. Ennek illusztrálásához nem szükséges a neuropszichológiai kísérletek, vagy a kognitív tudomány elméleti világába belebonyolódunk, elég, ha a gépjármű vezetési vizsgára való felkészülésünket idézzük emlékezetünkbe. Ebből az időszakból is elég a sebességváltás művészetének kezdeti nehézségeit magunk elé idézni azzal együtt, hogy ma már leginkább azt nem értenénk, hogy annakidején miért is volt ez akkora probléma. Nos, az agyi plaszticitás, alkalmazkodóképesség érhető tetten itt is. Amennyiben viszont tetten érhető, úgy a feladat-végrehajtás által igényel erőforrás (pl.: figyelem) áthelyeződése, konkrétan az érintett folyamatok könnyebbé válása a fenti módszerrel jól követhető, értelmezhető és értékelhető. Ami az érintett szakemberek, szakértők szoros együttműködését igényli, az a potenciálisan mérendő – konkrét kiképzési – feladatok, az egymásra épülő lépcsők kijelölése. Elméletben ugyan nem volna elképzelhetetlen, vagy tilos a teljes kiképzési folyamat mérése, hiszen az alkalmazott eszköz kicsi, könnyedén hordozható, azonban ekkora tetemes adatmennyiség feldolgozása, részben sem hatékony nem volna, másrészt viszont az adatok folyamatos és nem diszkrét jellege az értékeléshez szükséges standardizációt is igen – egyben feleslegesen – bonyolítaná. Az itt részletezett eljárás által szolgáltatott adatok sem a forrásukat, sem pedig a jellegüket alapul véve, nem tekinthetők valamiféle új paraméternek, azonban feltéve, hogy a kutatási projekt lezárását követően valóban létrejön és állandósul az igényelt együttműködés, úgy alkalmasság-vizsgálati eljárásként (pontosabban folyamatként) a maga nemében mégis újdonság lehet.

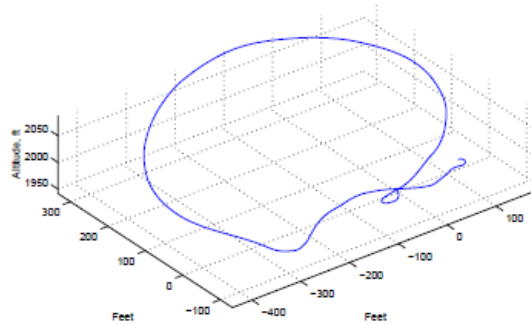


## A valóban „új” dimenzió – káosz!?

Az alcímben továbbra is szereplő idézőjel ismét csak azt jelöli, hogy nem teljesen számítanak újdonságnak az itt következők. Mi több, éppen az UAV irányításával kapcsolatos biztonsági és automatizálási kérdésekkel foglalkozó mérnökök számára teljesen ismerősen csengenek az olyan kifejezések, mint például Lyapunov funkció, vagy komponens. A mérnökökön kívül, a társadalomtudományok képviselői, de akár a pszichológiai is tett már kalandozásokat jóval korábban [11] már a röviden bemutatásra kerülő területre.

A bevezetőben már említésre került, hogy a konkrét kutatási feladaton túl, részben a későbbi együttműködési lehetőségek előkészítése gyanánt is, úgy gondoltuk, egymás iránt érzett kötelességünk, hogy a meglévő lehetőségek (például: a rendelkezésre álló kutatási eszközök) határait feszegessük. Korábban is volt arra példa, hogy kifejezetten egy, a kiképzés céljára, annak igényei alapján összeállított eszközökből némi gondolkodást követően kutatási berendezést „varázsoltunk”, és végeztünk vele publikáció [12] minőségű munkát. Ilyen eszköznek tekintjük most a projekt által számunkra biztosított szimulátort is. Amennyiben csupán az érvényes kutatási határok között mozognánk, elég volna annyit mondani, hogy: a szimulátor könnyen kezelhető, jól idomul a kutatási feladat által támasztott követelményekhez, kompakt, könnyen hordozható, röviden: remek eszköz. „És ennyi!” Az érintett munkatevékenység (az UAV irányítása) által okozott pszichés erőfeszítés mérése, annak esetleges haszna a kiképzés során viszont arra indított bennünket, hogy olyan mutatót, esetleges mérési dimenziót keressünk, amely ott lehet az eszközben, ha észre vesszük. Véleményünk szerint találtunk is ilyet, a használhatóság igazolása, az ilyen irányú software-es munkák, számítások és korrelációk keresése, egyfajta melléktermékként, kutatási feladataink elvégzésének most már elérni kívánt célját képezik – aktuálisan még csupán munkahipotézis szintjén. Megtakarítva a messzire vezető, elvont fogalmak tisztázását, e helyütt is az egyszerű, gyakorlatorientált megfogalmazásra törekedve a lényeg a következő: a már részletezett szimulátoros vizsgálati helyzetben a szabad, „laza” manőverezést, a rákövetkező szakaszban, ismételt feladat-végrehajtások sora követi. Ezek, bár különböző repülési tudást, technikát nem követelnek, az eszköz (UAV) mozgását, a vizsgálati személy által követett taktikához (ugye ott, például ez volna a mérés egyik célja) igazodóan befolyásolják. Az UAV mozgása a továbbiakban érvényes, mérhető paraméterekkel számíthatóvá, ellenőrizhetővé tehető. Azonban itt van egy értelmezési buktató, amelyet illendő elkerülni. A repülési paraméterek gyűjtése, azok ellenőrzése, sőt talán osztályozása lehet követelmény a későbbiek során, a kiképzési folyamatban. Ilyen követelmények felállítása viszont a kiválasztási metodikában (a kiképzés megkezdése előtt) szakmaiatlan, de legfőképpen etikátlan volna. A túl sok paraméter egyébként is feleslegesen terhelné, tenné bonyolulttá a szükséges statisztikai eljárásokat. Ráadásul ebben a lépcsőben csupán egy olyan mutató volna szerencsés, amely a maga egyediségében próbálja megfogni a viselkedés minőségét, stílusát, utalva például a háttérben működő taktikai megfontolásokra, lehetőség szerint objektívnak tekinthető mérőszám segítségével. Visszatérve magához az eszközhöz (az UAV, illetve annak szimulált megfelelője), az eszköz egy, a vizsgálat során behatárolt 3D térben mozog, az általa bejárt, leírt pálya (ami nem más, mint egy trajektória – 2. ábra) rögzíthető, paraméterekkel értékelhető. Ennek, az eszköz által leírt 3 dimenziós alakzatnak pedig olyan paraméterei határozhatók meg, illetve ellenőrizhetők, amelyek a kaotikus dinamikában, vagy a fraktálok világában már megszokottak, például

magá a fraktáldimenzió, ami a természetben előforduló szimmetriák egyikének, az ön hasonlóságnak egy mutatója.



2. ábra

Az adott mutatónak létezik a 3 dimenziós alakzatokra alkalmazott számítási (3D box counting) módszere [13], jelenleg éppen az érvényesség kérdésének, a szükséges repülési adatok biztonságos kinyerésének tisztázása folyik a UAV kutatási szimulátor tekintetében. Hol található az egyedi jelleg, a stílusra utaló paraméter? Ugyanott. Nyikos Lajos és munkatársai publikáltak [14] olyan módszert és eredményeket, amellyel ők nagy művészek grafikai munkáit értékelték (nem esztétikailag, hanem csupán a csoportosíthatóság kapcsán) az azokban rejlő fraktáldimenziók alapján. Általuk feldolgozásra kerültek például (úgyisint az imént említett box counting technikával) Dürer, Rembrandt és Munch grafikái. Az emberi szem, vagy az esztétikai érzék (kinek mi tesz) alapján egy ember számára a különbségtétel nem jelent kihívást. Az éppen csak egy kissé gyakorlott szem a közismert művek esetében már a szerzők szerinti csoportosítást is nagy biztonsággal elvégezheti. Ami itt számunkra fontos: a kizárólag a képenként kiszámított fraktáldimenzióra alapuló csoportosítás viszont hasonlóan pontos eredményt adott, egyetlen számított paraméter alapján. Az UAV által megtett 3 dimenziós út, az a bizonyos trajektória, az adatok szintjén csak egy vonal, persze nem a mester keze által húzott ceruzavonás egy grafikán, de technikailag éppúgy értelmezhető. Az erre a számítási metodikára épülő elemző munkánk jelenleg az értelmezés „értelmére” irányul. A projektben érintett vizsgálatok befejeztével az egyelőre csupán munkahipotézisként megfogalmazott kérdésre keressük a választ: a számított fraktáldimenziók alapján a résztvevők sorolhatók-e szignifikánsan elkülöníthető csoportokba, illetve e csoportok egyéb szempontok alapján jól értelmezhető jelentéssel bírnak-e? Felettből csábító lehetőség volna, ha a más okokból és az eltérő forrásokból származó adatok alapján például hatékony taktikával rendelkező vizsgálati személyek csoportját, már a fraktáldimenzió által mutatott „stílus” alapján is meg lehetne különböztetni! Bármennyire is csábító a lehetőség, ennek határozott és kellően bizonyított állítását hagyjuk a lezárt vizsgálatok után elvégzett statisztikai ellenőrzéseket követő időszakra – a projekt beszámoló jelentései között is meg lesz a helyük.

## ÖSSZEFOGLALÁS HELYETT...

Jelen rövid, inkább az érthetőségre koncentrálnó beszámoló rövid összefoglalóját adta egy éppen folyamatban lévő pszichológiai kutatási folyamat témáinak. Nem volt kitűzött cél a minden rész-

letre kiterjedő elemzés, sokkal inkább olyan elemek felmutatása tűnt fontosnak, amelyek a társzszakmák érdeklődésére is számot tarthatnak. Ami még ennél is lényegesebb lehet: leginkább olyan területeken folyó munka került itt némiképpen a figyelem középpontjára, ahol lehetőség mutatkozik a további együttműködésre, különös tekintettel arra is, hogy egy ilyen természetű együttműködés hiányában a kínálkozó lehetőségek kimunkálására nem csupán igény nem volna, de még lehetőség sem! Záró megjegyzésként álljon itt egy, a bevezetőben beígért szervezetpszichológiai nézőpont felidézése: az aktuális projektben folyó együttműködés értékelése – bár ez nem volt feladat, de önkéntelenül adódik egy belső, a folyamatok aktív részeseként, azokat átélő szakmai szemlélő számára. Kiemelést érdemel, hogy a projekt egymástól olyan szakmai távolságokra munkálkodó szakembereket gyűjtött egy csokorba, amely korábban kevésbé volt jellemző, vagy elképzelhető. Természetesnek tűnik ez az olyan területek feldolgozásakor, mint az UAV kutatás-fejlesztés. Azonban éppen a korábbi, együttes munka hiánya és a mostani projekt sikere azt is mutatja, hogy egy hazánkhoz hasonló méretű országban ilyen tevékenységre egybegyűjteni a megfelelő szakembereket, a hagyományos szervezetfejlesztési fogalmak alapján egyetlen munkahelyi közegben (legyen az akár egy tetszetős névvel ellátott intézet) szinte kilátástalan vállalkozás, míg a projekt-szerű szervezeti forma éppen megfelelő, az adódó nehézségek (egyeztetés, stb.) ellenére is az egyetlen hatékony megoldásnak tekinthető.

***Ebben a feladatban a Nemzeti Közszolgálati Egyetem és a MH Honvédkórház / Egészségügyi Központ szakállománya is részt vállalt, a TÁMOP pályázat keretében „A pilóta nélküli légitársaságok alkalmazásának humán aspektusából történő vizsgálata” kezdődött meg. (TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat, "Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások".)***

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Doherty at all.: The WITAS Unmanned Aerial Vehicle Project (<http://www.ida.liu.se/ext/witas/>)
- [2] Dr. Szabó Sándor András: UAV (pilóta nélküli légitársaság) műveletek humán tényezőinek elemzése repülésbiztonsági szempontból.
- [3] Új Széchenyi Terv: TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001. sz. pályázat; "Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások". Adatintegráció alprogram, A pilóta nélküli légitársaságok alkalmazásának humán aspektusából történő vizsgálata
- [4] Kenzo NONAMI: Prospect and Recent Research & Development for Civil Use Autonomous Onmanned Aircraft as UAV and MAV; Journal of System Design and Dynamics, Vol.1, No. 2, 2007
- [5] LÁNG, E., HORVÁTH G (1994): Integrated System for Ambulatory Cardio-Respiratory Data Acquisition and Spectral Analysis (ISAX). User's Manual. Budapest, Hungary.
- [6] LÁNG E. (2001). Szívperiódus variabilitás. Oktatási segédanyag. Munka- és szervezetpszichológia. Budapesti Műszaki Egyetem. Retrieved from url: <http://www.erg.bme.hu/szakkepzes/fiziolgia/001szpv.pdf> (2013.03.07)
- [7] IZSÓ, L Developing evaluation methodologies for human-computer interaction Ch 3 p: 11-43., Ch 4. p 88 Delft University Press, Delft, The Neatherlands. (2001)
- [8] H. M. Duvernoy: The Human Hippocampus; Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2005)
- [9] C. H. Kennedy, J. L. Moore: Military Neuropsychology; Springer Publishing Company, LLC (2010)
- [10] E. A. Maguire, K. Woollett, and H. J. Spiers: London Taxi Drivers and Bus Drivers: A Structural MRI and Neuropsychological Analysis; HIPPOCAMPUS 16:1091–1101 (2006)
- [11] S. Barton Chaos, Self-Organization, and Psychology; American Psychologist (January 1994)
- [12] Grósz A., Szabó S., Hornyik J., Tóth E. Tótká Zs.: The Effects of a Vestibular Illusion (Coriolis) on Pilots General Cognitive Performance.; ASMA 72nd Annual Scientific Meeting, Reno, Nevada, 2001. május 06-10; megjelent az Aviation, Space, and Environmental Medicine 72. évf. 3. számában 2001. márciusában
- [13] M. T. Suzuki: A three dimensional boks counting method for measuring fractal dimensions of 3D models; IMSA, Hawauu, USA, 2007
- [14] Nyikos L., Balázs L., R. Schiller: Fractal analysis of artistic images: from cubism to fractalism; Fractals, Vol. 2, No. 1 (1994), World Scientific Publishing Company

Borján József<sup>1</sup> – Óvári Gyula<sup>2</sup>

## KATONAI VITORLÁZÓ REPÜLŐGÉPEK A II. VILÁGHÁBORÚBAN<sup>34</sup>

*A II. Világháborúban csapatok, kisebb harci járművek szállítására, deszant feladatokra, sőt bombázásra is bevetettek motor nélküli, katonai vitorlázó repülőgépeket. Ha egy erre a célra alkalmas repülőszerkezetet siklósögének megfelelő irányban, az egyensúlyban tartásához szükséges sebességgel elindítunk, akkor az motor nélkül is nagyobb távolságra képes eljutni. Ennek az oka, hogy a gép súly-vektorának a gép haladási irányába eső vetülete helyettesíti a motor vonóerejét kiegyensúlyozva a légellenállást, így állandó sebességű siklórepülés alakul ki. Az alábbiakban német, japán szovjet, angol, amerikai és ausztrál katonai vitorlázó repülőgépeket mutatok be.*

### **MILITARY GLIDER PLANES DURING THE WORLD WAR II**

*During the Second World War the participant countries often used military glider planes transporting troops and smaller military vehicles, carrying out airborne operations and even bombing missions. This kind of Aerial Vehicle with suitable gliding angle is able to reach long distance without engine. That is possible because the component of gravity vector, parallel with the aircraft gliding path, replaces the engine thrust equalizing the aircraft drag. This balance of major forces on the aircraft provides stable flying. In this paper I would like to present German, Japan, English and Australian military glider planes.*

## BEVEZETÉS

A II. Világháborúban csapatszállításra, kisebb harci járművek szállítására, deszant feladatokra, sőt bombázásra is bevetettek motor nélküli katonai vitorlázó repülőgépeket. Ha egy erre a célra alkalmas repülőszerkezetet siklósögének megfelelő irányban, az egyensúlyban tartásához szükséges sebességgel elindítunk, akkor az motor nélkül is nagyobb távolságra képes eljutni. Ennek az oka, hogy a repülőgép súly-vektorának a haladás irányába eső vetülete helyettesíti a motor vonóerejét, kiegyensúlyozza légellenállást, így állandó sebességű sikló repülés alakul ki. Az alábbiakban német, japán szovjet, angol, amerikai és ausztrál katonai vitorlázó repülőgépeket mutatok be. Alkalmazásukra példa a Normandiai Partraszállás: Érdemi rész a 4. perctől.

### **A sikló (vitorlázó) repülőszerkezetekről**

Nézzük meg egy II. világháborús katonai vitorlázó repülőgép ([Horsa](#)) repülését: mi a siklósög? Ezt a siklószámból számíthatjuk ki. Utóbbi azt mutatja meg, hogy egységnyi magasságból milyen vízszintes távolságra képes a siklórepülő eljutni. A gyengébb teljesítményű vitorlázó repülőgépek is kb. 1:10 siklószámmal rendelkeznek, tehát 1 km magasságban indulva 10 km tá-

---

<sup>1</sup> dr; jborjan@gmail.com

<sup>2</sup> prof. dr; egyetemi tanár, NKE Katonai Repülő Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

<sup>3</sup> Ez a dokumentum Internetes linkekre épül, online eléréssel lehet valamennyi szemléltető képet, videót elindítani. Documentumból is megnyithatóak a hivatkozások, de gyorsabban jelennek meg ha az itt látható linkkel a html dokumentumot nyitjuk meg. [HTML](#) (Szerzők megjegyzése)

<sup>4</sup> Lektorálta: Dr. Kavas László okl. mk. alezredes, NKE Katonai Repülő Tanszék, kavas.laszlo@uni-nke.hu



volságban érnek földet. A II. Világháborúban rendszeresített teherszállító vitorlázó repülőgépeknél ez az érték általában 1:15 körüli volt, azaz 3 km magasban kioldva 45 km-re repülhettek be, akár az ellenséges területre is.

## Motor nélküli repülőgépek indítása

Az indításnak több módja van:

1. Legegyszerűbb megoldást a könnyű sport vitorlázó repülőgépeknél alkalmazták (1. ábra). Rendszerint lejtős terepen időlegesen rögzítették azt, orrához, vagy súlypontja közelébe két leoldható gumikötelet erősítettek. Ezt, több ember, leszaladva a lejtőn megfeszítette így a kötél rugalmassága tárolta a kihúzó mozgási energiáját. A rögzítés megszüntetésekor a repülőgép rövid nekifutást követően levegőbe emelkedett, majd leoldva a kötelet sikló pályára állt. Ez a gumiköteles start;



1. ábra



2. ábra

2. második megoldás vízszintes terepen az ún. [csörlős magas](#) start. Egy, a repülőtér végében álló csörlő (2. ábra) megfelelő sebességgel feltekeri a vontató kötelet, aminek a másik végét a vitorlázó gép orrához, vagy a súlypontja közelében rögzítik. Ezzel akkora sebességet biztosítanak, hogy a légi jármű meredeken fel is emelkedjen. Az előírt magasságban kioldják a vontató kötelet és a gép megkezd a siklást;
3. a harmadik megoldás szerint egy [motoros repülőgép vontat](#) 1-3 motor nélküli vitorlázó gépet a megfelelő magasságba, ott leoldva megkezdhetik az önálló repülést;
4. olyan megoldást is kipróbáltak amikor a vontató repülőgép repülés közben „kapta el” a földön, álló helyzetben várakozó vontatmányt, azaz az utóbbi [repülőstarttal](#) indult;
5. németek azzal is kísérleteztek, hogy a vitorlázó repülőgép fölé szerelt állványra egy [vadászrepülőgépet](#) rögzítettek, együtt startoltak majd megfelelő magasságban leoldották a vitorlázó repülőgépet;
6. az autóstart nagy motorteljesítményű vontató gépjárművel történik;
7. még egy módszer ismeretes: lejtőn a megfelelő erősségű szembeszél esetén, gyalogosan „[lábbuszról](#)” is lehet startolni. A [Flinston](#) nevű vitorlázó repülőgép is ilyen.

Természetesen mind a lejtőről történő indításnál, mind a magas startnál, vagy a repülőgépes





vontatásnál a lejtő miatt felemelkedő légáramlatot, a felmelegedett talajról felszálló meleg légáramlatot (termik), vagy a magas légköri hullámokat is felhasználják a repülés tartamának növelésére. A siklószámot ez esetben a mozgó levegőtömeghez képest kell értelmezni.

## A sikló-vitorlázó repülőgépek előtörténete

Tekintsük át a sikló-ill. vitorlázó repülőgépek történetét! A motoros repülés kezdete előtt sikló kísérleteket folytattak a konstruktőrök.

Ismertebbek:

- [Otto Lilienthal](#);
- [siklás az egyfedelűvel](#);
- [egy replika](#);
- [Oktave Chanute](#);
- [egy videó](#);
- [Wright gliderek](#);
- [1900](#);
- [az irányítás](#).

A kezdeti kísérletek megszűntek, miután a motorok fejlődése a motoros repülés felé terelték a konstruktőrök figyelmét. Az I. Világháborúban már légi csatát vívtak a harci repülőgépek, felderítő szolgálatot láttak el, kézből bombavető műveleteket hajtottak végre.

A vitorlázó repülés akkor vált megint fontossá, amikor a békeszerződés értelmében a németek csak rendkívül korlátozott repülőgép-fejlesztésekkel rukkolhattak elő. A vitorlázó repülés fejlesztésére azért áldoztak nagy erőket, mert úgy gondolták, a vitorlázó repülést megismerő fiatalok, amint lehetőség lesz, könnyen átszállhatnak motoros, de akár harci repülőgépekre is. - Az utánpótlás előnevelésére még a modellezést is kormányzati szinten támogatták.

## Vitorlázó repülés a 20-as években

Sportrepülőtereken folyt a [kiképzés](#)

## Katonai vitorlázó repülőgépek megjelenése

Kifejezetten katonai célú vitorlázó repülőgép 1938-ban jelent meg, a német DFS 230 típusú katonai teherszállító vitorlázó repülőgép.

## TÍPUSOK IDŐRENDEN

### DFS-230 Ejtőernyős és teherszállító vitorlázó repülőgép 1938. Németország

Fejlesztését 1933-ban kezdték. 1 fő pilóta és 9 fő katona +270 kg szállítására volt alkalmas. Hossza 11,24 m, fesztávolsága 21,98 m, magassága 2,74 m, szárnyfelület 41,3 m<sup>2</sup>. Üres tömeg 860 kg, hasznos teher 2040 kg, maximális felszálló tömeg 2100 kg. Maximális sebesség 290 km/h, normál vontatási sebesség 180 km/h, maximális vontatási sebesség 209 km/h. Siklós szám 1:18.



Bundesarchiv, Bild 1011-507-1510-18  
Foto: Stocker | 1043

3. ábra (A kép a Wikipédiából idézve)

### [Leírás \(Wikipédia\) Képek a Wikimédián](#)

Magyar vonatkozás: A Szolnoki Repülőkúzeum Honlapján: [1. kép](#). [2. kép](#) DFS-230 katonai vitorlázó repülőgépek maradványai is előkerülhetnek. Ilyenekkel szállították az utánpótlást a védőknek Budapest ostrománál, rendszerint a Vérmezőn szálltak le.

- Videó
  - [Start](#),
  - [első repülés,múzeumban](#).

### **Gotha Go 242 Szállító vitorlázó repülőgép 1941 Németország**

Személyzete 1, vagy 2 fő pilóta. Szállítható személyek száma 23 fő. Hossza 15,81 m Fesztáv 24,5 m Magasság 4,40 m Hordfelület 64,4 m<sup>2</sup> Üres tömeg 3200 kg maximális felszálló tömeg 7100 kg maximális sebesség 300 km/h

- [leírás a wikipédiából](#)
- [leírás, képek és adatok oroszul](#)
- [leírás németül](#)
- [wikipedia németül](#)
- [adatok, 3 nézet, fotók](#)
- [3 nézet](#)
- [váz](#)
- képek: [1](#) [2](#) [3](#)
- [videó](#)



Bundesarchiv, Bild 1011-331-3020-07A  
Foto: Uedike / 1945 Anfang

4. ábra (kép a Wikipediából)

### Gribovszki G-11 Szállító vitorlázó repülőgép 1941 Szovjetúnió

Személyzet: 1 pilóta, vele együtt 11 fő. Hossza 9,8 m, fesztávolság 18 m, magasság 2,7 m. Szárnyfelület 30 m<sup>2</sup> Hasznos teher 1200 kg. Üres tömeg 1200 kg, teljes terheléssel 2400 kg. Felületi terhelés 83 kg/m<sup>2</sup> Maximális süllyedő-sebesség: 2,2 m/s, utazó sebesség 146 km/h, maximális sebesség 280 km/h. Siklós szám 1:5,2.



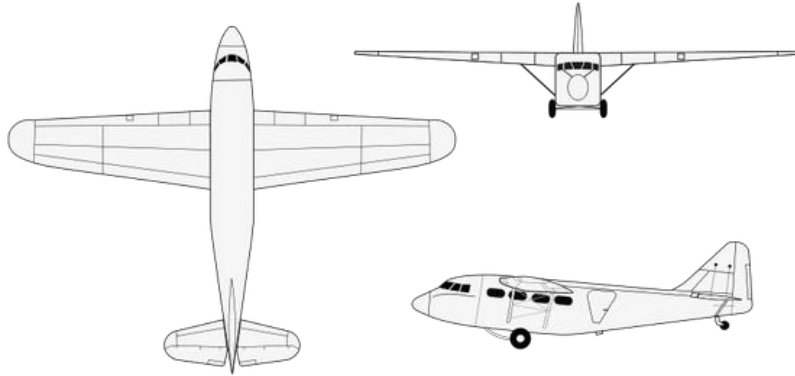
5. ábra (kép a típus makettépítő dobozáról)

[Leírás Wikipédia](#)

Orosz nyelvű leírás, makettrajz: [1](#) [2](#)

### Kokusai Ku-8 Szállító vitorlázó repülőgép 1941 Japán

20 fő szállítására. Hossza 13,31 m, fesztávolság 23,2 m, maximális tömeg 3500 kg, maximális sebesség 224 km/h. Hatótáv 300 km.(?)



6. ábra

- Leírás
  - [angol](#), [angol](#), [orosz](#)
- Képek: [oldalkép](#) [berakodás](#) [roncstelepen](#)
  - 3 nézet: [kontúrrajz](#) [részletes](#)

### Maeda Ku-1 szállító vitorlázó repülőgép 1941 Japán

Pilóta 2 fő. Szállítható 8 utas. Hossza 9,36 m, fesztávolság 17 m, szárnyfelület 30,1 m<sup>2</sup>, üres tömeg 700 kg, hasznos teher 600 kg, maximális tömeg 1300 kg. Maximális sebesség 178 km/h, utazó sebesség 130 km/h.

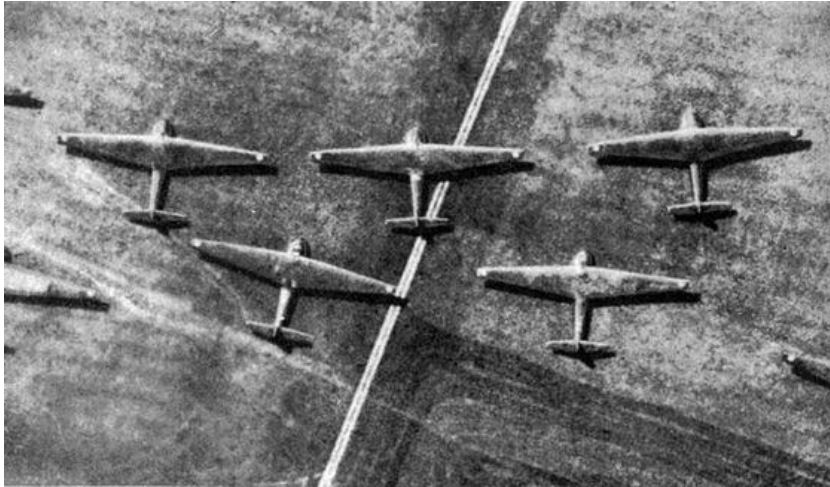


7. ábra

- Leírás:
  - [angol](#)
  - [kép és műszaki adatok](#)
  - [oldalrajz](#)
- Képek
  - [fotó, 3 nézet, oldalkép](#)
  - [fotó](#)
  - [vázlat](#)
  - [méretes](#)
  - [3 nézet](#)

## Messerschmidt Me 321 Gigant Szállító vitorlázó repülőgép 1942 Németország

Személyzet: 3 fő. Szállítható 130 fő. Hossza 28,15 m, fesztávolság 55 m, magasság 10,15 m, szárnyfelület 300 m<sup>2</sup>, üres tömeg 12400 kg, felszálló tömeg 34400 kg. Maximális sebesség 160 km/h.



8. ábra

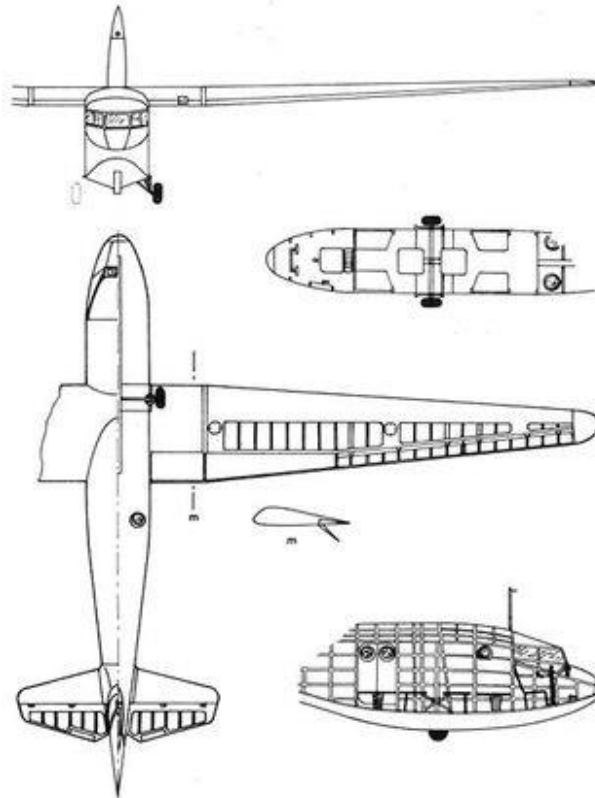
- Leírás
  - [Wikipediából](#)
  - [3 nézet](#)
  - [Képes leírás](#)
  - [Német képes leírás](#)
  - [Angol képes leírás](#)
  - [Leírás és képek orosz nyelven](#)
- Képek
  - [1 2 Cocpit](#)
  - Modell [1](#) [2](#) [3](#) [4](#)
- Videók [1](#) [2](#) [3](#) [bevetésre építés, gyártás](#) [4](#)

## ANTONOV A-7 Szállító vitorlázó repülőgép 1942 Szovjetunió

Pilóta + 7 fő. Hossza 10,54 m, fesztáv 18 m, magasság 1,53 m, szárnyfelület 23,2 m<sup>2</sup>. Üres tömeg 955 kg, hasznos teher 1760 kg, maximális felszálló tömeg 1875 kg. Maximális sebesség 300 km/h. Siklós szám 1:18.

- Leírás
  - [francia](#)
  - [angol](#)
- Háromnézet [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) [5](#) [6](#)
- [Kéttörzsű változat](#) [Háromtörzsű változat](#)
- Képek [1](#) [2](#) [3](#)
- [Makett](#)





9. ábra

### Kolesnyikov-Tsibin KC-20 Szállító vitorlázó repülőgép 1942 Szovjetunió

Személyzet 1 fő pilóta. Kapacitása 20 fő, hasznos teher 2200 kg, hossza 14,2 m, fesztáv 23,8 m, magasság 2,84 m, üres tömeg 2050 kg. Siklós szám 1:16



10. ábra

- [Leírás](#)
- Képek [1](#) [2](#) [3](#) nézet

### AIRSPPEED HORSA Szállító vitorlázó repülőgép 1942 Anglia

Személyzet: 2 fő. Szállítóképesség 20-25 fő. Hossza 20,43 m, fesztáv 26,83 m, magasság 5,95 m, szárnyfelület 102,6 m<sup>2</sup>. Üres tömeg 3804 kg, teljes tömeg 7045 kg. Maximális sebesség 242 km/h. Felületi terhelés 68,7 kg/m<sup>2</sup>. AS.51 és AS.58 készült kb. 5000 darab. Vontatása nehéz-bombázókkal, vagy C47-tel.



11. ábra

- Kép a Wikipédiából
- [Leírás Wikipédia](#)
- Képek
  - [Vázrajz](#)
  - [Vontatás közben](#)
  - [Csapatszállítás](#)
  - [Szerkezete](#)
  - [Egy replika](#)
  - [Cocpit](#)
  - [Siklásban](#)
- Videók
  - [A gépről](#)
  - [Invazió Múzeumban](#)
  - [Lakóház lesz belőle](#)
  - [Repülés közben](#)

### **GENERAL AIRCRAFT HAMILCAR Szállító vitorlázó repülőgép Anglia 1942**

Pilóta 2 fő. Kapacitása 7 tonna. Hossza 20,73 m, fesztáv 33,53 m, magasság 6,16 m. Szárnyfelület 153,98 m<sup>2</sup>. Üres tömeg 8346 kg, maximális felszálló tömeg 16329 kg. Maximális sebesség 240 km/h, felületi terhelés 109,2 kg/m<sup>2</sup>

- [Leírás Wikipédiából](#)
- [Háromnézet](#)
- Képek [1](#) [2](#) [3](#)
  - [Múzeumban](#)
  - Vázrajzok [1](#) [2](#) [3](#) [4](#)
  - [Vontatás közben](#)
  - [Siklásban](#)



12. ábra

- Csapatszállítás [1](#) [2](#) [3](#) [4](#)
- [belső tér 2](#)
- [Szerkezete romokban](#)
- [Modell](#)
- Videók [1](#) [2](#)

### Slingsby Hengist Szállító vitorlázó repülőgép 1942 UK

1 pilóta, 14 fő. Hossza 17,22 m, fesztáv 24,38 m. Szárny felület 72,46 m<sup>2</sup>. Üres tömeg 2100 kg, teljes tömeg 3788 kg, felületi terhelés 52,3 kg/m<sup>2</sup>. Minimális sebesség 77 km/h, maximális sebesség 209 km/h. Siklós szám 1:14.



13. ábra

- [Leírás](#)
- [Angol vitorlázó repülőgépek áttekintése](#)
- [Orosz leírás](#)
- [3 nézet](#)
  - képek: [1](#) [2](#) [3](#) [4](#)

### WACO CG-3 Szállító vitorlázó repülőgép 1942 USA

Pilóta 2 fő, befogadó képesség 6 fő. Hossza 13,21 m, fesztáv 22,28 m. Üres tömeg 937 kg, maximális felszálló tömeg 1996 kg. Maximális sebesség 193 km/h, utazó sebesség 146 km/h, minimális sebesség 61 km/h.

[A kép forrása:](#)



14. ábra

Képek [1](#) [2](#) [3](#)

### WACO CG-4 „Hadrian” Szállító vitorlázó repülőgép 1942 USA

Pilóta 2 fő, szállítható 13 katona, vagy 1 jeep 4 fővel. Hossza 14,8 m, fesztáv 25,5 m, magasság 4,7 m, szárnyfelület 83,6 m<sup>2</sup>. Üres tömeg 1769 kg, teljes tömeg 3402 kg. Sebesség 241 km/h



15. ábra

- Leírás [Wikipedia](#)
- Képek
  - [Szerkezet és használat](#)
  - [Vázrajz](#)
  - [3 nézet](#)
  - [Vontatva](#)
  - [Bepakolás](#)
  - [Cocpit](#)
  - [Jeep a gépben](#)
  - [Modell rajz](#)

- [Az út vége](#)
- [Múzeumban](#)
- Videók
  - [Szerkezet](#)
  - [Gyártásban](#)
  - [Restauráció](#)
  - [RC Modell](#)

### DHA-G Ausztrália Szállító vitorlázó repülőgép 1942 Ausztralia

Személyzet 1 fő pilóta, 6 fő deszantos. Fesztáv 15,39 m, hossza 10,06 m, magassága 2,14 m. Tömege 658 kg, maximális tömeg 1474 kg. Maximális sebesség 322 km/h, sebesség 209 km/h.

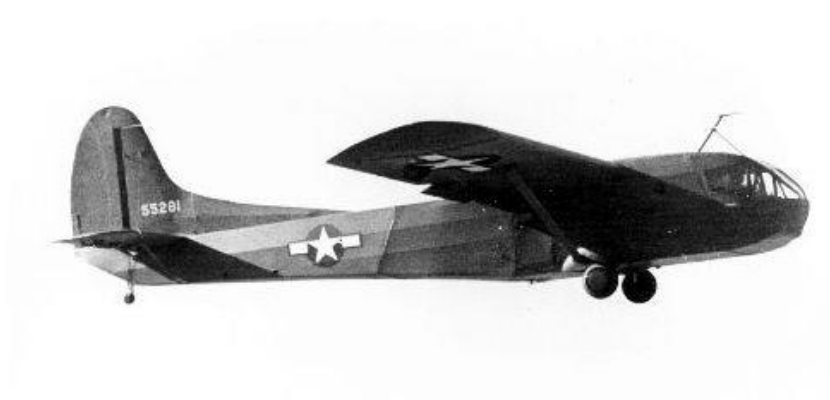


16. ábra

#### [A kép helye:](#)

- Leírás [Wikipedia](#)
- [Ausztrál Airforce](#)
- [Orosz műszaki adatok is](#)
- Képek
  - [Állomány lista](#)
  - [Rajzok](#)

### WACO CG-15 Szállító vitorlázó repülőgép 1943 USA





Személyzet 2 pilóta, 13 harcos. Hossza 14,9 m, fesztáv 18,95 m, szárnyfelület 57,88 m<sup>2</sup>. Üres tömeg 1814 kg, felszálló tömeg 3644 kg. Maximális sebesség 290 km/h. Felületi terhelés 62,96 kg/m<sup>2</sup>.

- Leírás
  - [Wikipedia](#)
  - [Canadian Wwings](#)
- Képek
  - [Waco CG-15A](#)
  - [Vázrészlet](#)
  - [Start előtt](#)
  - [Roncsok](#)
  - [3 nézet](#)
  - [Vontatás közben](#)
- Szerkezete
  - [Vontató horog](#)
  - [Törzs váz roncs](#)

### WACO CG-13 Szállító vitorlázó repülőgép 1945 USA

Személyzet 2 fő pilóta, 30 vagy 42 fő katona. Hossza 16,56 m, fesztáv 26,11 m, magasság 6,17 m, szárnyfelület 8,11 m. Üres tömeg 3946 kg, maximális terhelés 8572 kg. Maximális sebesség 306 km/h, minimális sebesség 127 km/h. Felületi terhelés 105,7 kg/m<sup>2</sup>.



18. ábra

- Leírás
  - [Leírás Wikipedia](#)
  - [Oroszul](#)
- Képek
  - [Oldalkép](#)
  - [3 nézet](#)

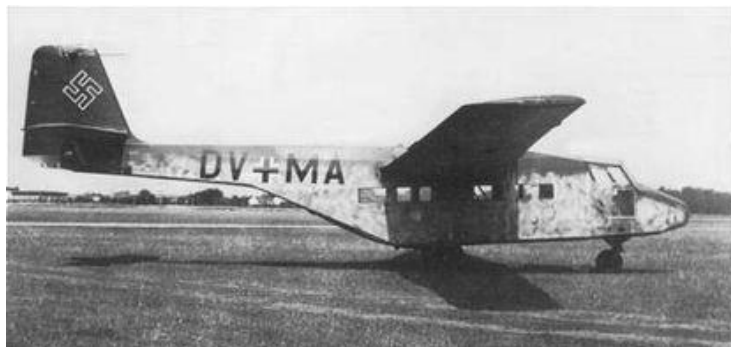
[A háborúban használt vitorlázó repülőgépek listája](#) (Wikipédia)

## SZÁLLÍTÓ VITORLÁZÓ REPÜLŐGÉPEK

A típus megnevezés	Szolgálatba állítás éve	Gyártó ország	További felhasználó országok
<a href="#">Airspeed Horsa</a>	1942	 <a href="#">United Kingdom</a>	U.S.
<a href="#">Antonov A-7</a>	1942	 <a href="#">Soviet Union</a>	
<a href="#">DFS 230</a>	1938	 <a href="#">Germany</a>	
<a href="#">DHA-G</a>	1942	 <a href="#">Australia</a>	
<a href="#">General Aircraft Hamilcar</a>	1942	 <a href="#">United Kingdom</a>	
<a href="#">Gotha Go 242</a>	1941	 <a href="#">Germany</a>	
<a href="#">Gribovski G-11</a>	1941	 <a href="#">Soviet Union</a>	
<a href="#">Kokusai Ku-8</a>	1941	 <a href="#">Japan</a>	
<a href="#">Kolesnikov-Tsibin KC-20</a>	1942	 <a href="#">Soviet Union</a>	
<a href="#">Maeda Ku-1</a>	1941	 <a href="#">Japan</a>	
<a href="#">Messerschmitt Me 321 Gigant</a>	1941	 <a href="#">Germany</a>	
<a href="#">Slingsby Hengist</a>	1942	 <a href="#">United Kingdom</a>	
<a href="#">Waco CG-3</a>	1942	 <a href="#">United States</a>	
<a href="#">Waco CG-4 Hadrian</a>	1942	 <a href="#">United States</a>	UK
<a href="#">Waco CG-13</a>	1945	 <a href="#">United States</a>	
<a href="#">Waco CG-15</a>	1943	 <a href="#">United States</a>	

### Ka 430 Gotha katonai vitorlázó repülőgép 1944 Németország

Személyzet 2 fő, szállítható 12 felfegyverzett katona. Fesztávolság 19,5 m, hossza 13,22 m, magasság 4,17 m. Szárnyfelület 39,9 m<sup>2</sup>. Üres tömeg 1810 kg, repülőtömeg 4600 kg. Maximális sebesség 300km/h



19. ábra

- Leírás
  - [Wikipediában Angolul](#)
  - [Oroszul](#)
  - [Németül](#)

- Képek [1](#) [2](#) [3](#) [4](#)

### További linkek a témában

- [Német katonai vitorlázó repülőgépek pdf](#)
- [Német gyakorlat videó](#)

## UTÓSZÓ GYANÁNT

Van egy érdekes magyar vonatkozása is a szállító vitorlázó repülőgépek építésnek, Rubik Ernő is tervezett egy ilyet, bár csak félig készült el.



20. ábra

A vitorlázó repülőgépek jelentősége teherszállító eszközként ugyan a XX. század második felére megszűnt, de sport célokra napjainkig óriási népszerűséggel bírnak, sőt a kompozit anyagok megjelenése új lendületet adott ennek. A nagygépes építési tapasztalatok sem veszték kárba. Erre kitűnő példa az űrrepülőgép, vagy közkeletű nevén az [űrsikló](#) is (a Wikipédiából), mely az orbitális pályáról történő fékezését követően, a Föld légkörébe belépve, hajtómű nélkül, hiperszonikus vitorlázó- (sikló-) repülőgépként tért vissza valamelyik bázis repülőterére..



21. ábra



Az UAV eszközök között is van olyan, amelyik a harci feladatát két jól elkülönülő üzemmódban hajtja végre. Motorral emelkedik fel egy bizonyos magasságba, azután siklásban hajtja végre a feladat másik felét.

- [Egy példa \(7. ábra\)](#)

Vitorlázás [a természetben. Albatroszok szárnycsapás nélküli hosszú repülése](#)

[Minden gyerek csinált már siklórepülőt.](#)

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 1000 léggépjármű, Alexandra, pécs, 2007
- [2] Das grose Flugzetg Typenbuch (2., bearbeitete und ergänzte Aufgabe), Transpress VEB Verlag für Verkehrswissen, Berlin, 1982.
- [3] Jereb Gábor: Vitorlázó repülőgépek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977 (Rubik szállító vitorlázó repülőgépe. 3 nézet.)
- [4] Oktató vitorlázó repülőgépek
- [5] The Glider Pilot Regiment 1942-1945 url: <http://myweb.tiscali.co.uk/marfleetwright/GPR/gliders.htm>
- [6] Peter Almond: The Hulton Getty Picture Collection: Aviation, Konemann UK Ltd; illustrated edition, 1998 (Kezdeti idők siklórepülői)
- [7] Enzo Angelicci: Rand Mc. Nally Enciklopédia of Military Aircraft, Crescent Books, New York, 1990 (Gotha Go 242, Waco CG 13, Airsped Horsa, General Aircraft Hamilcar oldalnézet és 3 nézet)
- [8] Flugzeugtypen der Welt. Bechtermünz Verlag, Augsburg, 1997 (Blohm & Voss BV 40, DFS 228, DFS 230, General Aircraft Hamilcar, Gotha 242, Northrop M2-F1, )
- [9] Bill Gunston, Aviation Year by Year, Dorling Kindersley, London, 2001 (Me 321).
- [10] David Mondey: The Hamlyn Concise Guide to British Aircraft of World War II, Pilot Press, London 1982 (G. A. Hamilcar)
- [11] David Mondey: The Concise Guide to Axis Aircraft of World War II, Pilot Press, London 1982 (Gotha 242)
- [12] David Mondey: The Concise Guide to American Aircraft of World War II, Pilot Press, London 1982 (Waco CG-3A, Waco CG-4A, Waco CG-13A, Waco CG-15A)
- [13] Owen Thetford, Aircraft of the Royal Air Force, Putnam&Company, London, 1971 (Royal Air Force Gliders 1941-45, Airsped Horsa, General Aircraft Hotspur, General Aircraft Hamilcar, Waco Hadrian)
- [14] Gordon Swanborough & Peter M. Bowers, United States Military Aircraft, Putnam, London, 1971 (Waco CG-3, Waco CG-13, Airsped Horsa)

Halászné dr. Tóth Alexandra<sup>1</sup>

## A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK ALKALMAZÁSÁVAL ÖSSZEFÜGGÉSBEN OKOZOTT KÁROKÉRT VALÓ FELELŐSSÉG<sup>2</sup>

*A magyar légitörvényrendszer úgynevezett diszciplináris joganyagnak tekinthető, mely magába foglalja a légtérhasználatra, a légitörvényrendszeri szakszemélyzetek jogaira és kötelezettségeire, a légi járművek alkalmazására, a repülőterek működésére, a repülésbiztonságra, a légitörvényrendszer védelemre, valamint az egyéb repülési szabályokat. E tanulmány célja a pilóta nélküli légi járművek által okozott károkért való felelősség, mint speciális felelősségi alakzat főbb összetevőinek elemzése. A témaválasztás azért időszerű, mert az UAV „irányítójának” felelősségét átfogóan elemző tudományos munka tudomásom szerint nem született, ellenben számos olyan kérdés merült fel, amelyek a jogalkalmazási, illetve jogértelmezési problémák áttekintését indokolják.*

### LIABILITY ISSUES OF THE UAVs OPERATION

*The Hungarian legal environment is a so-called disciplinary material, including all legislations regarding to the rights and obligations of the crew personnel, aircraft and airport operations, flight safety and security and other ATM related issues. This document analyses of the liability issues of UAVs as a special responsibility category in aviation. The subject is actual because regardless of the many opened legal questions raised up in the recent times, there hasn't been (or just very few) interpretation that examines comprehensively the responsibilities of the UAV operator's.*

## A KÁRTÉRÍTÉSI FELELŐSSÉG ÁLTALÁNOS SZABÁLYAI

A pilóta nélküli légi járművek komoly károkat okozhatnak a légitörvényrendszerben az igénybevett légtérben található épületekben, személyekben, valamint a környezeti és természeti értékekben. Ez a mostanában megjelenő, ilyen jellegű légitörvényrendszer megzavarhatja a légtér közvetlen közelében élő lakosságot, sőt egyes esetekben komoly sérüléseket, károkat okozhat.



1. ábra Hermes 90<sup>3</sup>

<sup>1</sup> őrnagy, kiemelt főtiszt (osztályvezető-helyettes), HM Tervezési és Koordinációs Főosztály, toth.alexandra@hm.gov.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Palik Mátyás alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszerológiai Egyetem Katonai Repülő Tan-szék, palik.matyas@uni-nke.hu

<sup>3</sup> Forrás: <http://elbitsystems.com/elbitmain/area-in2.asp?parent=3&num=249&num2=249> (2013.03.10.)



Véleményem szerint azért is aggasztó a helyzet, mert sem a magyar „repülős társadalom”, sem a hazai légügyi szabályozás nem készült fel a pilóta nélküli légitársaság forgalom befogadására, számos alkalommal a meglévő, egyébként hiányos jogi szabályozás ellenére viszonylag sokan, a repülésbiztonsági előírások megsértésével, az emberek veszélyeztetése mellett használják légitársaságukat (eszközeiket). A pilóta nélküli légitársasággal történt károkozás esetén egyszerűnek tűnik, azonban mégis számos nehézséggel lehet számolni, ezért először röviden tekintsük át a tárgykörhöz tartozó jogi fogalmakat, és az igényérvényesítés feltételeit, módját.

## **A polgári jogi felelősség feltételei**

A kártérítési felelősséget a Polgári Törvénykönyvünk<sup>4</sup> 339. §-a szabályozza az alábbiak szerint: „Aki másnak jogellenesen kárt okoz, köteles azt megtéríteni.” A kártérítés egy olyan vagyoni szankció, amely jogellenes károkozás esetén a károsultat illeti meg, és az okozott kárral egyenértékű. Ez az általános szabály azonban csak azon károkozó magatartásokkal összefüggő igények jogalapja, amelyek a Ptk. speciális felelősségi alakzatai körébe nem tartoznak. Ilyen speciális eset lehet például a veszélyes üzem vagy az állatok által okozott kár.

A kártérítés szankciójának polgári jogban történő alkalmazására az alábbi konjunktív feltételek megléte esetén van lehetőség:

- jogellenes magatartás;
- felróhatóság;
- kár;
- okozati összefüggés a magatartás és a kár között.

Nagyon fontos kiemelni, hogy a magyar jogban nem az a jogellenes károkozás, ha azt jogszabály tiltja, hanem fordítva: az a magatartás jogellenes, amely károkozással jár, és valaki alanyi jogát sérti, tehát a károkozásnál vélelmezni kell a jogellenességet.

A felróhatóság egy olyan sajátos jogi fogalom, mely a felelősség szubjektív feltételét képezi. Azt jelenti, hogy akkor felróható a magatartása valakinek, ha nem úgy járt el, ahogy az adott helyzetben általában elvárható. A károkozó magatartásának megítélésénél a jog egyfajta zsinórmértéket, azaz elvárhatóságot használ, melynek alapja a károkozóval tipikusan hasonló helyzetben lévőkkel szembeni elvárás vagy követelmény. Minden károkozás esetén tehát meg kell vizsgálni azt, hogy az adott tipikus esetben mit lehet a károkozó helyzetében lévő személytől, illetve szervezettől (nem az adott károkozótól) elvárni.

A kártérítési felelősség másik feltétele, hogy a jogellenes magatartásból kár keletkezzék. A kár minden olyan hátrány, amely a károsult vagyonában áll be, vagy a károsult személyében sérti, ez alapján tehát vagyoni és személyi kárt különböztethetünk meg.

Megítélésem szerint a legnehezebb a károkozó magatartás és a kár bekövetkezése közötti okozati összefüggés bizonyítása. A kártérítési felelősség elengedhetetlen feltétele, hogy az okozati összefüggésnek a jogellenes magatartás és a kár között kell fennállnia. Ha az irányíthatatlan pilóta nélküli légitársaság testi sérülést okoz valakinek, akkor fennáll az okozati összefüggés az

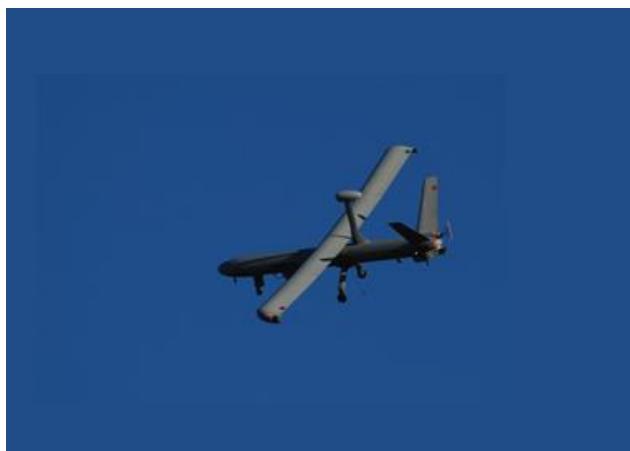
---

<sup>4</sup> 1959. évi törvény a Magyar Köztársaság Polgári Törvénykönyvéről

eszközt irányító személy mulasztása és a káresemény között. Ha azonban valaki annyira csodálja az „elszabadult” pilóta nélküli légi járművet, hogy közben megbotlik egy kőben, melynek következtésben eltöri a lábát, úgy okozati összefüggés már nem áll fenn.

### A kártérítési felelősség fajtái – kontraktuális vagy deliktuális kártérítés?

A hatályos jogunk alapvetően egységesen kezeli a szerződéses és a szerződésen kívüli kártérítés esetét. Kontraktuális kártérítés esetén a felek között szerződéses viszony van, és ennek kapcsán történik a károkozás. Ennek minősül tehát, ha a pilóta nélküli légi jármű nyilvános repülőterezvényen való meg nem jelenése miatt a szervezőknél jövedelemkiesés következett be. A deliktuális, azaz szerződésen kívüli (a károkozó és a károsult között nincs szerződéses kapcsolat) kár tipikus példája a pilóta nélküli légi járművel okozott baleset.



2. ábra Hermes® 450 blue sky<sup>5</sup>

A Ptk. mindössze néhány különbséget tesz a kontraktuális és a deliktuális kártérítés esete között. Ilyen eltérésnek tekinthető az, hogy a szerződésszegéssel okozott károk körében nincs lehetőség a kártérítés mértékének méltányosságból való enyhítésére<sup>6</sup>, valamint eltérések vannak az elévülési idők tekintetében is.

A kártérítési felelősség polgári jogban létező, előbb említett eseteiben a kártérítés szabályait alapvetően egyformán kell alkalmazni.

### Kártérítési alakzatok

A hatályos szabályozás a kártérítési igények minden esetre kiterjedő érvényesítése céljából egy **általános felelősségi tényállást** vezetett be a 339. § (1) bekezdésében, figyelemmel arra, hogy a polgári jogi felelősség valamennyi esete nem határozható meg. Az általános felelősségi alakzat tényállása alapján „*Aki másnak kárt okoz, köteles azt megtéríteni. Mentésül a felelősség alól, ha bizonyítja, hogy úgy járt el, ahogyan az az adott helyzetben általában elvárható.*”

A polgári jogban a rendes vétkességi felelősség körében mind a károkozónak, mind a károsultnak kármegelőzési kötelezettsége van. A megelőzés során mindazokat az intézkedéseket meg kell tenni, melyek kizárják, de legalább csökkentik a károsodás lehetőségét. A pilóta nélküli

<sup>5</sup> Forrás: <http://elbitsystems.com/elbitmain/area-in2.asp?parent=3&num=32&num2=32> (2013.03.10.)

<sup>6</sup> Lásd a Ptk. 318. § (1) bekezdését és a 339. § (2) bekezdését.

légijárműveket bemutató nyilvános repülőrendezvényen például gondoskodni kell a tűzoltó-, az elsősegélynyújtó, stb. szolgálatok megszervezéséről, a légijárművek karbantartásáról, figyelmeztető plakátok elhelyezéséről. A kármegelőzés keretében lehetőség van arra, hogy a veszélyeztetett a veszélyeztető ilyen jellegű magatartásától való eltiltását, illetve a kár megelőzéséhez szükséges intézkedések megtételét kérje az igazságszolgáltatástól.

A kármegelőzés elvével szorosan összefügg a károsult kárenyhítési kötelezettsége, melynek során a károsult köteles a károkozás következményeit enyhíteni, azaz a károsult például nem nézheti tétlenül, hogy a pilóta nélküli légijárművel okozott baleset után hogyan ég le a tulajdonában álló épület, hanem mindent meg kell tennie a tűz eloltására. Viszonylag sűrűn előfordul, hogy maga a károsult is vétkesen közrehat a károkozásban. Ebben az esetben a törvény azt írja elő, hogy nem kell megtéríteni a kárnak azt a részét, amely abból származott, hogy a károsult a kár elhárítása vagy csökkentése érdekében nem úgy járt el, ahogy az az adott helyzetben általában elvárható.

Ha a károkozást többen, közösen követik el, úgy a károkozók felelőssége a károsulttal szemben egyetemleges, egymással szemben pedig magatartásuk felróhatóságának arányában oszlik meg. Amennyiben a felróhatóság mértékét nem lehet megállapítani, a károkozók felróhatósági aránya egyenlően kerül felosztásra.

A polgári jogi kártérítési felelősség alapelve a teljes kártérítés, amely azt jelenti, hogy az okozott kárt általában egészében meg kell téríteni, kivéve a szerződésen kívüli károkozás esetén alkalmazható méltányossági szabály. Ebben az esetben lehetőség van arra, hogy a károkozó rendkívüli méltányolást érdemlő körülmények alapján a kártérítés megfizetése alól részben mentesítésre kerüljön.

A kártérítés, mint vagyoni szankció arra irányul, hogy a károsult részére olyan helyzetet teremtsen, mintha a károkozás be sem következett volna. Erre a célra három, egymás mellett is alkalmazható megtérítési módra van lehetőség. Elsődleges cél az eredeti állapot visszaállítása, ha erre nincsen lehetőség, vagy a károsult a helyreállítást alapos okból nem kívánja, úgy a kárt pénzben szükséges megtéríteni. Ha a körülmények ezt indokolják, különösen ha a kártérítés tárgyát a károkozó maga is termeli, vagy az egyébként a rendelkezésre áll, akkor a kárt természetben kell megtéríteni.

A kártérítési igény érvényesítésére a Ptk. előírása alapján öt évig van lehetőség, ezt követően az igény elévül.

A mindennapi életben előfordulhatnak azonban olyan esetek, amikor az általános felelősségi tényállástól eltérő, speciális szabályozásra van szükség. A különbségek például a felelősség alanyában, a felróhatóságban, illetve az elévülési idő vonatkozásában jelentkeznek. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy az adott helyzetben nem az a személy lesz a felelős, aki az általános szabályok szerint felelős volna. A **speciális felelősségi tényállásokban** a jogellenesség az általános felelősségi tényállással szemben nem került megjelenítésre, mivel ezekben az esetekben minden károkozás jogellenes, amely nem tekinthető jogszerűnek.

A Ptk. a következő speciális felelősségi alakzatokat szabályozza:

- veszélyes üzemi felelősség<sup>7</sup>;



3. ábra Gray Eagle™ UAS<sup>8</sup>

- felelősség más személyért;
- állattartók felelőssége<sup>9</sup>;
- épületről lehulló tárgy által okozott kárért fennálló felelősség<sup>10</sup>.

### A fokozott veszéllyel járó tevékenységért való felelősség

A mindennapi életben számos olyan tevékenységet (pl.: tetőfedés, kútásás, fakivágás, stb.) lehet folytatni, köztük a pilóta nélküli légitárszerek alkalmazását is, melyek folytatása különösen veszélyes, potenciális veszélyforrást jelenthet. A veszélyes üzem lényege – melynek fogalmát jogszabály nem határozza meg<sup>11</sup> –, hogy a kár bekövetkezésének elkerülése céljából különleges elővigyázatosságot kíván meg.

Ebben az esetben a kártérítési felelősség alapja a különleges védekezés elmulasztása. A polgári jogban az e körülmények között bekövetkezett károkért való felelősségre azonban az általános, vétkességi alapú kártérítés szabályai nem alkalmazhatók, ebben az esetben a felróhatóság a vétkességnél szigorúbban kerül elbírálásra. A károkozó csak annyiban vétkes, hogy olyan tevékenységet végez, amely jellegénél fogva magában hordozza a károkozás lehetőségét, a másokra való veszélyességet. Ezen tevékenységeket külön jogszabály szabályozza, illetve annak hiányában a Polgári Törvénykönyvünk speciális kárfelelősségi szabályait kell alkalmazni.

A Ptk. 345. § (1) bekezdésében foglaltak alapján „Aki fokozott veszéllyel járó tevékenységet

<sup>7</sup> A Ptk. 345. § (1) bekezdésében foglaltak alapján „Aki fokozott veszéllyel járó tevékenységet folytat, köteles az ebből eredő kárt megtéríteni....”.

<sup>8</sup> Forrás: [http://ga-asi.com/products/aircraft/gray\\_eagle.php](http://ga-asi.com/products/aircraft/gray_eagle.php) (2013.03.10.)

<sup>9</sup> A Ptk. 351. § (1) bekezdése szerint „Aki állatot tart, az általános szabályok szerint felel a kárért, amelyet az állat másnak okoz.”

<sup>10</sup> „Épület egyes részeinek lehullásából vagy az épület hiányosságaiából másra háramló kárért az épület tulajdonosa felelős, ..., írja a Ptk. 352. § (1) bekezdése.

<sup>11</sup> A jogalkalmazás veszélyes üzemnek tekinti a gépi erővel meghajtott járművek üzemeltetését, a nagy tehetetlenségi vagy mozgási energiát magába foglaló vagy éppen a túl kezdetleges tevékenységeket, a robbanóanyagok tárolását, a lőfegyver tartását, a sugárzó anyagok használatát stb.

folytat, köteles az ebből eredő kárt megtéríteni.” Mint ahogy az előzőekben említettem, a kártérítési felelősség alapja a különleges védekezés elmulasztása, mely az üzembentartó kötelezettsége. Fontos azonban kiemelni, hogy a kárnak a tevékenység veszélyes mozzanatával kell okozati kapcsolatban állnia. A kár bekövetkezésekor a veszélyes üzem üzembentartójának nem elegendő azt bizonyítania, hogy úgy járt el, ahogy az az adott helyzetben elvárható, hanem csak akkor mentesül a felelősség alól, ha bizonyítani tudja, hogy a kárt a fokozott veszéllyel járó tevékenységi körén kívüli külső és elháríthatatlan ok idézte elő. A kárt nem kell megtérítenie viszont akkor, ha a károsult felróható magatartásából származott. Ezt a felelősséget kizárni vagy korlátozni általában nem lehet, e tilalom a dologban bekövetkezett károokra nem vonatkozik.

A kártérítési követelés három év alatt évül el, ezt követően a kártérítést további két évig lehet követelni az általános szabályok szerint.

A fokozott felelősség megállapításának két alapvető feltétele van, egyrészt a kárnak összefüggésben kell lennie a tevékenység veszélyes jellegével, másrészt a kárnak nem szabad külső okból származnia. Egy gyakorlati példával szemlélítve, ha valaki a repülőnapon esik vagy megbotlik, ez a rendes, és nem a „légiközlekedés fokozott felelőssége” szerint bírálendő el.

Elháríthatatlan külső oknak kell tekinteni az alábbiakat:

- vis major<sup>12</sup>;
- károsult elháríthatatlan közrehatása;
- harmadik személy közrehatása<sup>13</sup>;
- más, külső elháríthatatlan erő<sup>14</sup>.

Abban az esetben, ha a kárt okozó tényező elháríthatatlan, de belső jellegű, úgy kártérítést kell fizetni. Ha tehát például egy repülőrendezvényen a pilóta nélküli légi jármű bemutatója során a „biztonsági kordonon” belülré megy egy néző, ez külső ok, de ha az eszközt irányító konzol meghibásodik, ez igaz, hogy elháríthatatlan, viszont a károkozó üzemén belüli.

Ha fokozott veszéllyel járó tevékenység során többen, közösen okoznak kárt, úgy egymásközötti viszonyukban a felelősség általános szabályai alkalmazandók. Ha egyik félnek sem róható fel a károkozás, de a kár egyikük fokozott veszéllyel járó tevékenysége körében bekövetkezett rendelleneségből adódik, a kárt ez utóbbinak kell megtérítenie. Ha a kár mindkét fél fokozott veszéllyel járó tevékenysége körében bekövetkezett rendellenességre vezethető vissza, valamint, ha ilyen rendellenesség egyik félnél sem állapítható meg, felróhatóság hiányában kárát mindegyik fél maga viseli.

## **Bizonyítási teher és kimentő okok**

A fokozott veszéllyel járó tevékenység, így a pilóta nélküli légi járművek irányítása során a környezetre veszélyes magatartás kapcsán számos bizonyítási nehézséggel<sup>15</sup> találkozhatunk

<sup>12</sup> Pl.: árvíz, földrengés stb.

<sup>13</sup> Pl.: a pilóta nélküli légi jármű irányítását egy közvetlen közelben lévő személy átveszi, s ez okozza a kárt

<sup>14</sup> Pl.: állat

<sup>15</sup> A bizonyítási teher alatt azt értjük, hogy valamilyen állítást, illetve tényt kinek szükséges bizonyítania. A polgári jogban az általános szabály szerint valamely állítás bizonyítatlanságát az állító terhére kell értékelni, azonban ez a kártérítési jogban nem mindig van így.



szembe.

A kártérítési felelősség beálltához a károsultnak az alábbiakat kell bizonyítania:

- kár<sup>16</sup>;
- károkozó magatartása;
- a kár és a károkozó közötti okozati összefüggés.

A felelősség alóli mentesüléshez a károkozónak a következőket szükséges bizonyítania:

- a károkozás nem volt jogellenes;
- a károkozás nem volt felróható;
- nem volt okozati összefüggés.

Meg kívánom említeni, hogy a jogellenesség és a felróhatóság véelme érvényesül, minden esetben a károkozónak kell kimentenie magát.

## POLGÁRI JOGI FELELŐSSÉG A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK ALKALMAZÁSA SORÁN



4. ábra Fire Scout<sup>17</sup>

A légitözlekedés, így a pilóta nélküli légi járművek repülése is a veszélyes üzemi felelősség körébe sorolható, mely kisebb lehetőséget biztosít arra, hogy a károkozó mentesüljön a felelősség alól, ezért a hazai légügyi jog az általános kártérítési felelősségnél jóval szigorúbb felelősséget vár el a légitözlekedésben résztvevő szakszemélyzetek által okozott károkkal összefüggésben. A pilóta nélküli légi járművekkel okozott károk esetén a jogi helyzet egyszerűnek tűnik, azonban felvetődhet a kérdés, hogy ki ellen lehet a kártérítési igényvel fellépni, ki a károkozó? További kérdéseket vehet fel, hogy a kártérítés megállapítása érdekében a bíróság előtt mit kell bizonyítani?

### **A pilóta nélküli légi járművet irányítók kötelezettségei**

A polgári jogi kártérítési felelősség rendszerében markáns helyet betöltő objektív felelősség<sup>18</sup> alapján a kártérítési felelősség az üzembentartót terheli. Tekintettel arra, hogy a légitözlekedés, beleértve a pilóta nélküli légi járművek repülése is – főként a légi járművek mozgása miatt –

<sup>16</sup> Beleértve általában annak mértékét is (kivéve az általános kártérítést).

<sup>17</sup> Forrás: <http://www.navair.navy.mil/index.cfm?fuseaction=home.PhotoGalleryDetail&key=D3A594A2-4F1C-4D20-BAF7-3A2B9E6992B2> (2013.03.10.)

<sup>18</sup> Más néven tárgyi felelősség

veszélyes üzemnek tekinthető, nagyon fontos tisztázni, hogy ki minősül a veszélyes üzem üzemben tartójának. Erre a kérdésre a bíróság meg is találta a választ: a Legfelsőbb Bíróság Polgári Kollégiumának 40. számú állásfoglalása alapján a fokozott veszéllyel járó tevékenységet végző üzemben tartójának kell tekinteni azt, aki azt a tevékenységet folytatja<sup>19</sup>. Üzemben tartó továbbá a veszélyes üzemet fenntartó, tartósan üzemeltető, akinek felügyelete, irányítása, ellenőrzése, és a veszélyforrás elleni különleges védekezésre való kötelezettsége mellett megvalósul a veszélyes üzemi tevékenység.

A tárgybeli tevékenységet szabályozó ágazati jogszabály, nevezetesen a légügyi törvény<sup>20</sup> is meghatározza az üzemben tartó fogalmát a következők szerint:

*„üzemben tartó: légitársaság, illetve légitársasággal kapcsolatos eszköz vagy repülőtér működését szervező, fenntartó felelős természetes vagy jogi személy;”*

A két fogalom összehasonlítása alapján megállapítható, hogy az Lt. üzemben tartó fogalma a PK állásfoglalással összhangban van. A hatályos jogszabályban meghatározott légitársaság fogalom alapján a pilóta nélküli légitársaság is légitársaságnak minősül, ezért az Lt.-nek, illetve annak végrehajtási rendeleteinek légitársaságra vonatkozó szabályait a pilóta nélküli légitársaságokra is alkalmazni kell. Sajnálatos módon ezen eszközökre vonatkozó speciális szabályozás – néhány rendelkezéstől eltekintve – a mai napig nem született meg.

A pilóta nélküli légitársaságot irányítóknak önkéntes jogkövető magatartása a jogszabályismeret hiányában nehezen követelhető meg, talán az ezen eszközöket üzemeltető személyek kötelező egyesületi tagságának előírásával lenne növelhető mind a légitársaság, mind a légitársaság körén kívül esők biztonsága.

### **A pilóta nélküli légitársaságok által okozott kár**

A pilóta nélküli légitársaságok repülése során csekély hiba esetén is aránytalanul súlyos károk keletkezhetnek, ettől azonban még ezen eszközök repülésének betiltása nem szükséges, mivel alkalmazásuk össztársadalmi szinten jelentős előnyökkel jár. Indokolt azonban ilyenkor szigorúbb kárfelelősségi szabályok alkalmazása. A veszélyes üzemek fajtái, típusai taxatív felsorolásának hiányában indokolt lenne a légügyi törvényben, illetve annak végrehajtási rendeleteiben a pilóta nélküli légitársaságokra vonatkozó különleges szabályok, köztük a kártérítési felelősséggel összefüggő rendelkezések előírása.

Eltérő rendelkezések hiányában javasolt megfontolásra az Lt.-ben (vagy végrehajtási rendeletében) a fokozott veszéllyel járó tevékenységre vonatkozó szabályokra való utalás esetleg az alábbiak szerint:

*„A pilóta nélküli légitársaság üzemben tartója a Polgári Törvénykönyvnek a fokozott veszéllyel járó tevékenységre vonatkozó szabályai szerint köteles megtéríteni a károsultnak a légitársaság által okozott kárt.”* vagy *„A pilóta nélküli légitársaság üzemben tartója köteles a pilóta nélküli légitársaság repüléséből eredő kárt megtéríteni. Mentésül a felelősség alól, ha bizonyítja, hogy kárt olyan elháríthatatlan ok idézte elő, amely a fokozott veszéllyel járó tevékenység körén kívül esik.”*

<sup>19</sup> A folytatás alatt ismétlődő, rendszeres és tartós tevékenységet kell érteni.

<sup>20</sup> A légitársaságról szóló 1995. évi XCVII. törvény 71. § 20. pontja.

## Veszélyes üzemek találkozása

Sajátos esetnek minősül, ha veszélyes üzemek egymásnak okoznak kárt, például, ha két pilóta nélküli légitársaság, vagy egy pilóta nélküli légitársaság egy tehergépkocsival ütközik. Ebben az esetben a felelősség külső és belső viszonylatban másként érvényesül. A károsult harmadik személy és a közös károkozók (külső) viszonyában az egyetemlegesség és vétkesség nélküli felelősség érvényesül, míg a közös károkozók egymás közötti (belső) viszonyában a kárfelelősség általános szabályait kell alkalmazni.

Gyakorlati példával élve, ha két pilóta nélküli légitársaság összeütközésénél egy harmadik személy megsérül, a két légitársaság üzemeltetője vétkességére tekintet nélkül köteles a kárt megtéríteni. A károkozókkal szemben azonban az egyetemleges felelősségre vonatkozó szabályokat is kell alkalmazni, azaz a károsult választása szerint mindkettőjüktől vagy bármelyikőjüktől követelheti kárának megtérítését. Ha a károsult harmadik személy kárát az egyik légitársaság üzemeltetője téríti meg, ennek a károkozásban részt vett másik légitársaság üzemeltetőjével szemben érvényesíthető megtérítési igényére az általános felelősségi szabályok, és nem a vétkesség nélküli szabályok az alkalmazandók. Ha a pilóta nélküli légitársaságok összeütközése esetén közösen okozott kár az egyik vagy másik, netalántán mindkét légitársaság üzemeltetőjét, nem pedig kívülálló harmadik személyt éri, úgy a felelősség viselése a magatartásuk felróhatóságának arányában oszlik meg.

## A pilóta nélküli légitársaságban esett kár

Az előzőekben a pilóta nélküli légitársaságok alkalmazására jogosultak felelősségéről beszélünk, emellett azonban maga a légitársaság vezető (irányító) is követelheti a mások által a pilóta nélküli légitársaságban okozott kár megtérítését. Ennek a légitársasági szabályokban való külön előírása vitatható.



5. ábra Predator C Avenger <sup>21</sup>

<sup>21</sup> Forrás: <http://ga-asi.com/> (2013.03.10.)

A hatályos magyar felelősségi jogintézmények nagy része a légitözlekedés, azon belül a pilóta nélküli légitjarművek alkalmazásának védelme érdekében is használhatók, mivel számos olyan jogi eszközt említhetünk, amely ezen a területen is alkalmazható. A polgári jogi kártérítési felelősség kimentési lehetőségeknek kevésbé helyt adó, szigorúbb változata célszerű, ha a légügyi törvényben vagy valamelyik végrehajtási rendeletében megjelenik. Indokolt lenne ez annál inkább, mivel az utóbbi években erősödik az a tendencia, amely a repülés területén is a kártérítési felelősség általános lehetőségétől a szigorúbb felelősségi alakzat irányába mozdítja el a jogalkotás irányát.



6. ábra CybAero APID 60<sup>22</sup>

Megítélésem szerint a magyar szabályozás a pilóta nélküli légitjarművek alkalmazásával okozott kár megtérítésének kérdését túlzottan leegyszerűsíti, melynek két oka van. Egyrészt ezen eszközök alkalmazása gyakorlatának hiányában az ezzel összefüggő problémák nem kerülnek felszínre, másrészt a légügyi szabályozás álláspontom szerint nem kellő mértékben erőteljes, sokszor megmarad a más jogágak jogszabályaira való utalással, különösen a felelősség tényleges alkalmazását illetően.

A pilóta nélküli légitjarművek alkalmazásával okozott károkért való felelősség körében több kérdést szükséges szabályozni. A kártérítési felelősség meghatározásánál nem kerülhető el a részletesebb jogszabályi rendezés olyan kérdésekben, mint például annak meghatározása, mely tevékenységekre terjed ki a felelősség, a kár körülírása, az elévülési idő pilóta nélküli légitjarművek által okozott kár sajátosságaihoz, vagy egyes polgári eljárásjogi kérdések rendezése. Mindenképpen indokolt tehát a hatályos légügyi törvényben a kárfelelősség viselése kérdésének egyértelműsítése.

<sup>22</sup> Forrás: <http://cybaero.se/> (2013.03.10.)



---

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DR. ANGYAL ZOLTÁN: Légitözlekedés jog az Európai Unióban. HVG-Orac Lap- és Könyvkiadó Kft., Budapest, 2011.
- [2] 1995. évi XCVII. törvény a légitözlekedésről
- [3] 1959. évi IV. törvény a Magyar Köztársaság Polgári Törvénykönyvéről
- [4] Legfelsőbb Bíróság Polgári Kollégiumának 40. számú állásfoglalása (PK 40.)
- [5] MÁRTON MÁRIA: Okozatossági problémák az objektív felelősség körében, e-dok.url: [http://www.glossaiuridica.hu/gi0901/civ/gi0901\\_civ\\_marton\\_maria.pdf](http://www.glossaiuridica.hu/gi0901/civ/gi0901_civ_marton_maria.pdf) (2013.02.14.)
- [6] SMIED ORSOLYA: Polgári jog I. Felkészülést segítő kártyacsomag a polgári jog tanulásához. JOG-ÁSZ-Kártyák. Dialog Campus Kiadó, 59. kártya
- [7] UJVARINÉ ANTAL EDIT: Felelősségtan (Magyar polgári jog), Novotni Kiadó, 2002.
- [8] <http://elbitsystems.com/elbitmain/area-in2.asp?parent=3&num=249&num2=249> (2013.03.10.)
- [9] <http://elbitsystems.com/elbitmain/area-in2.asp?parent=3&num=32&num2=32> (2013.03.10.)
- [10] [http://ga-asi.com/products/aircraft/gray\\_eagle.php](http://ga-asi.com/products/aircraft/gray_eagle.php) (2013.03.10.)
- [11] <http://www.navair.navy.mil/index.cfm?fuseaction=home.PhotoGalleryDetail&key=D3A594A2-4F1C-4D20-BAF7-3A2B9E6992B2> (2013.03.10.)
- [12] <http://ga-asi.com/> (2013.03.10.)
- [13] <http://cybaero.se/> (2013.03.10.)





**Dr. Gáti Balázs<sup>1</sup>**

## **ROBOTREPÜLŐGÉP A REPÜLŐMÉRNÖK KÉPZÉSBN<sup>2</sup>**

*Az elektronika rohamos fejlődésével sorra jelennek meg a civil célokra kifejlesztett robotrepülőgépek, melyek a vészhelyzet management, az energiaipar, a mezőgazdaság és a környezetvédelem területén segítik a munkát. Azonban a lelkes civil fejlesztői közösségek munkájának köszönhetően már oktatási célokra is elérhető hardverek és szoftverek születtek az utóbbi években. Tanszékünk az ebben rejlő lehetőségeket aknáztta ki a repülőmérnök hallgatók ismereteinek bővítésének érdekében, mivel remek lehetőséget kínálnak aerodinamikai, repülésmechanikai, valamint szerkezeti vizsgálatok elvégzésére, sőt komplex repülőgép tervezési gyakorlat tárgyát is jelenthetik.*

### **UNMANNED AERIAL SYSTEMS (UAS) IN THE AERONAUTICAL ENGINEERING EDUCATION**

*Unmanned Aerial Systems (UAS) have been developed for more and more civil purposes. These systems can provide improved services for emergency management, energy industry, agriculture, environment monitoring. Our department started several projects to introduce this technology for students and involve them into development of new technologies. Our fixed wing UAV is fitted with the Paparazzi autopilot, which was developed by the Ecole Nationale de l'Aviation Civile, an aviation-oriented university in France. The autopilot software and hardware is open source and highly flexible, thus ideal for educational purposes.*

## **1. BEVEZETŐ**

A repüléstudomány egyik legújabb vívmányai a robotrepülőgépek. Angol nyelven az Unmanned Aerial Vehicle (UAV) néven kerültek be a köztudatba, majd később az Unmanned Aerial System (UAS) elnevezést kezdte alkalmazni a szakirodalom jelezvén, hogy a földi munkaállomás is szerves részét képezi a légi eszköznek. A szakmai fórumokon jelenleg a Remotely Piloted Aerial System (RCAS) kifejezésre igyekeznek áttérni annak hangsúlyozása érdekében, hogy autonóm üzemmód esetén is folyamatos emberi felügyelet alatt működnek ezek az eszközök. A magyar sajtóban gyakran olvasható a drón kifejezés is, amely a hidegháború során kifejlesztett katonai célú autonóm repülő eszközök (drone) nevéből származik.

## **2. A RENDSZER JELLEMZŐI**

A Budapesti Műszaki Egyetem Repülőgépek és Hajók Tanszéke 2005 óta dolgozik távirányítású és robotrepülőgépekkel. Először fedélzeti elektronika nélkül, csupán egy drótnélküli kamera, egy laptop és egy modellező távirányító állt rendelkezésünkre, de ezzel is vizsgáltunk aeroelasztikus

---

<sup>1</sup> egyetemi docens, BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, gatib@rht.bme.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Békési Bertold okl. mk. alez. egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Üzemeltető Intézet Katonai Repülő Tanszék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

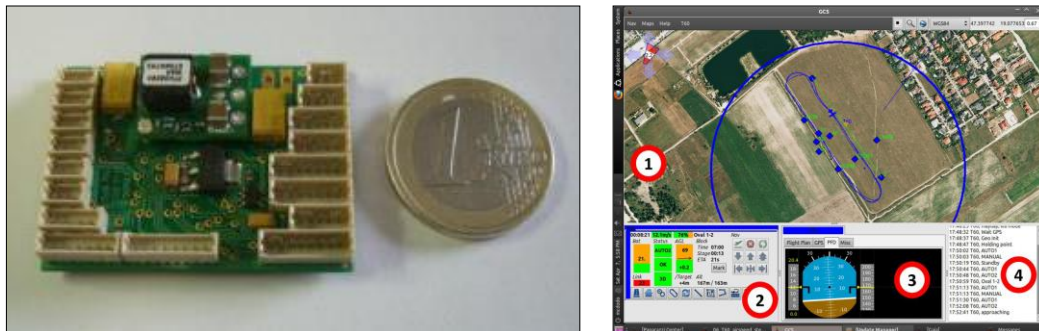
jelenségeket, illetve képi információk alapján működő kéttengelyes stabilizáló algoritmust. Mára a tanszék gépparkja kibővült, melyek közül párat az 1. ábra mutat be.



1. ábra A flotta három repülőgépe

Autonóm repülésre alkalmas legkisebb gépünk a Multiplex Easyglider, melynek felszálló tömege 0,8 kg, fesztávolsága pedig 1,8 m. A legnagyobb, autonóm módon repülő eszközünk pedig a 4,5 kg felszálló tömegű és 1,9 m fesztávolságú Trainer 60-as. Rendelkezőnk robbanómotoros repülőgéppel is, de egyszerűbb üzemeltetése miatt az elektromos meghajtást részesítjük előnyben.

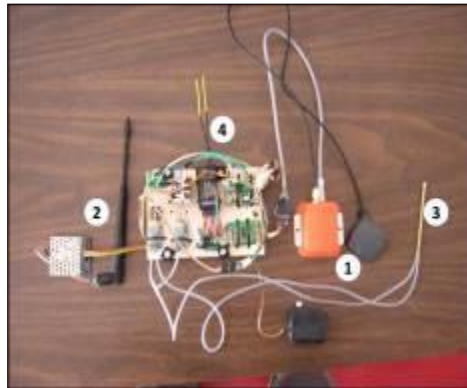
A repülőgépeket a Paparazzi projekt által kifejlesztett egyik robotpilóta irányítja. Ezt a közösségi projektet a francia Ecole Nationale de l'Aviation Civile és a holland Delft University fogja össze. A választásunk a TWOG nevű modulra esett kis mérete és külső GPS vevő fogadására alkalmas szabad soros portja miatt. A Paparazzi projekt nemcsak elektronikát, hanem teljeskörű szoftveres környezetet is kifejlesztett, beleértve a földi felügyelő állomás szoftverét, az útvonaltervezést, a szoftveres szimulációt, a valós idejű, grafikus telemetria megjelenítést és a repülés alatt történő paraméterhangolás lehetőségét is. A nyílt forrású szoftver és hardver fejlesztés lehetővé teszi további saját hardver és szoftvermodulok illesztését is a meglévő rendszerhez.



2. ábra A Paparazzi projekt TWOG robotpilótája és földi felügyelő szoftvere

A 3. ábra mutatja, hogy a robotpilóta modult milyen kiegészítőkkel használjuk. A repülőgép helyzetét és helyét az Xsens MTi-G típusú inerciális egység (1) határozza meg a gyorsulásérzékelő, a giroszkóp, a mágneses térerősség érzékelő és a GPS vevő jelei alapján, melyeket egy kiterjesztett Kálmán-szűrő algoritmus dolgoz fel. A torló- és statikus nyomást egy Pitot-cső (3) segítségével EagleTree modulok továbbítják a robotpilótának. Ezen kívül a motorvezérlő modul közelében elhelyeztünk egy Sparkfun motoráram- és akkufeszültség mérő érzékelőt is. Az Aerocomm AC4868

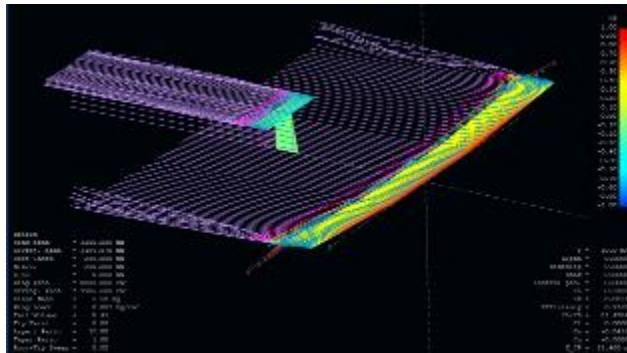
radiómodem (2) segítségével kétirányú digitális adatkapcsolat is megvalósul a földi állomás és a légi eszköz között.



3. ábra A kiépített elektronikai rendszer

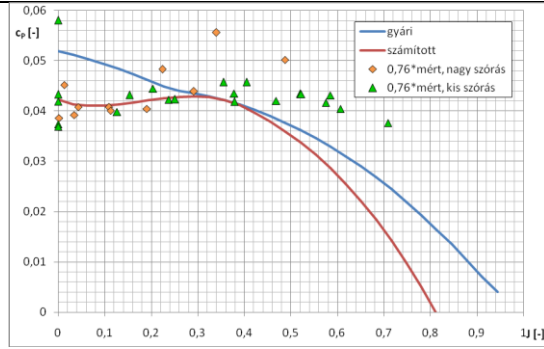
### 3. TELJESÍTMÉNYSZÁMÍTÁS

A robotrepülőgépet kezdetben arra használtuk fel az oktatásban, hogy demonstráljuk az aerodinamika és a repülésmechanika tárgyakban tanított módszerek alkalmazhatóságát. Néhány hallgató elvégezte az XFLR5 szoftver segítségével a robot aerodinamikai elemzését (4. ábra), és kiszámította ez alapján a szükséges vonóerőt különböző repülési sebességeken.



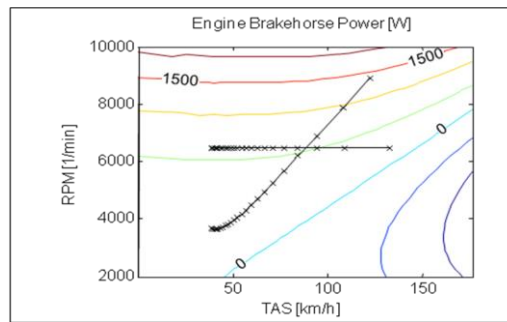
4. ábra Aerodinamikai analízis

Egy másik hallgatónk egy légcsvár elemző szoftvert állított össze a légcsvár karakterisztika számítására. [1] A program elméleti alapját a módosított impulzus elmélet, illetve a lapelem elmélet Schmitz-féle megközelítése adja, és az alkalmazott légcsvár 3D szkennelése során kapott, majd korrigált geometriából indul ki.



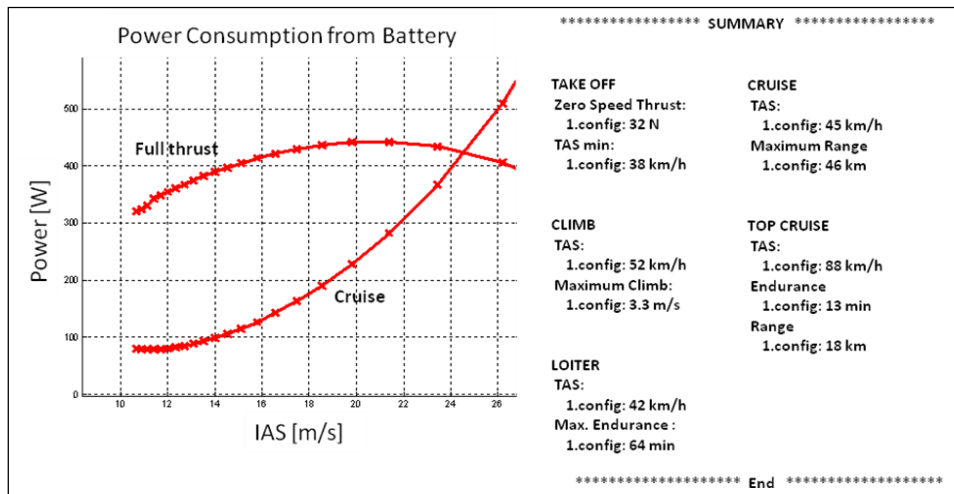
5. ábra A mért és számított légszavar karakterisztika [1]

Következő lépésként eljárást dolgoztunk ki a légszavar munkapontjának számításához, ahol a légellenállás megegyezik a vonóerővel és a motornyomaték megegyezik a légszavar nyomatékszükségletével.



6. ábra A légszavar munkaponti fordulatszáma a repülési sebesség függvényében

Ennek eredményeképpen a Penauld diagramban a rendelkezésre álló teljesítmény görbe már tükrözi a merev légszavarokra jellemző, nem elhanyagolható hatásfokváltozást is, és lehetővé tesz reális eredményt adó, automatikus teljesítményszámítást (max. sebesség, max. emelkedés, max. időtartam, max. hatótávolság) is. A program kimenete a 7. ábrán látható.

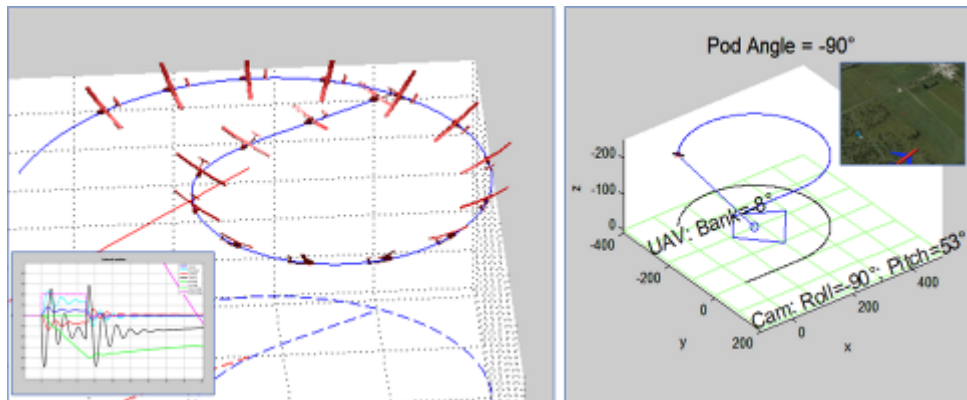


7. ábra A Penauld diagram és elemzésének eredménye

## 4. HARDWARE-IN-THE-LOOP SZIMULÁCIÓ

A teljesítményszámítás mellett megalkottuk a robotrepülőgép szétválasztott, lineáris modelljét kiterjesztett állapotteres formában a [2] alapján. Az a modell alkotta egy kiegészítő trimmszámítással az egyik hazai tulajdonú robotrepülőgép fejlesztő vállalkozás, a BHE Electronics Ltd. számára kifejlesztett hardware-in-the-loop szimuláció alapját. Ez a szimuláció egy olyan PC-n fut, amely össze van kapcsolva a robotpilóta egységgel, és a robotpilóta számára kidolgozza azokat a jeleket, amelyeket az érzékelői mérnének valós repülésben. A szimuláció bemenő kormányjeleit pedig a robotpilóta állítja elő. Ezzel lehetőség nyílt gyorsan és kockázatmentesen tesztelni a robotpilótát, illetve a földi állomást abban a formában, ahogy legyártásra és felprogramozásra kerültek.

Ezt az ipari fejlesztést egy küldetés szimulátorral is támogattuk, amely különböző térképezési, felderítési és célkövetési stratégiák elemzésére alkalmas azáltal, hogy különböző szituációkban futtatva kiszámítja a kameramozgató mechanizmussal szemben támasztott követelményeket (kitérési szögek, szögsebesség, stabilitási követelmények), illetve a repülőgép teljesítményével (sebesség, fordulósugár, repülési idő) szemben támasztott követelményeket. Az analízis eredményeképpen valós idejű videókép is készül az előre definiált 3D virtuális valóságban zajló légieszköz- és kameramozgások alapján. Így ellenőrizni lehet, hogy a kiválasztott stratégia összhangban van-e az operátor emberi tényezők által korlátozott képességeivel.

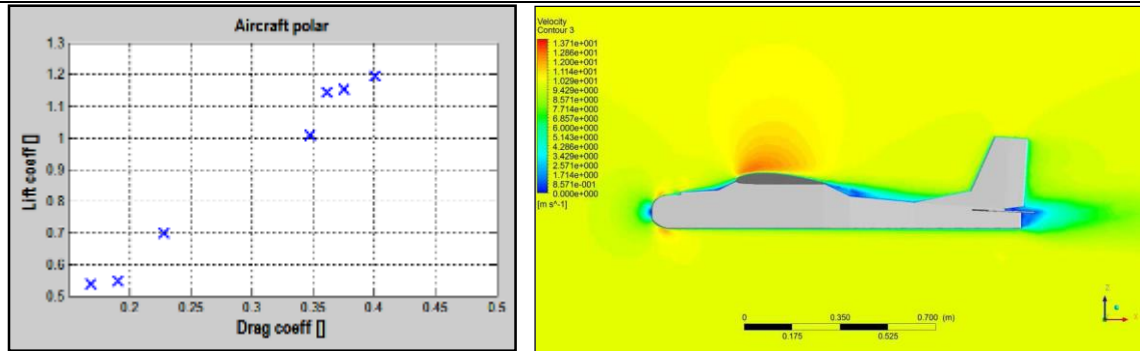


8. ábra HITL szimuláció és küldetés szimulátor

## 5. GYAKORLATI ALKALMAZÁSOK

Néhány hallgatónk a robotrepülőgép gyakorlati alkalmazásainak demonstrálását tűzte ki célul. A Légi mérések tárgy hallgatói az elméleti számításokkal kapott Penauld diagram ellenőrzését végezték el repülési mérésekkel. A repülőgép felületi terhelését  $90 \text{ g/dm}^2$ -re választottuk, hogy csökkentsük a szállókésekkel szembeni érzékenységet, de a fel- és leszállás még ne okozzon problémát előkészítetlen terep esetén sem. Ezzel nyugodt időjárás mellett megfelelő szórású méréseket sikerült végeznünk 25 perces tesztrepülések során. A teljesítménymérés eredményei a robotrepülőgép numerikus áramlástani elemzését is támogatták, mely egyik hallgatónk diplomatervének [3] témája volt.





9. ábra A mért poláris és a CFD számítás eredménye [3]

Egyik hallgatók diplomamunkájaként [4] egy általános repülésben (general aviation) alkalmazható, a repülőtér megközelítését támogató eszköz által felvetett kulcskérdésekre keresett válaszokat. Ennek keretén belül a hallgató megvizsgálta néhány általánosan elterjedt kézi GPS vevő pontosságát dinamikus viszonyok között is, melyre a robotrepülőgépet és a fedélzetén alkalmazott nagy pontosságú Xsens MTi-G navigációs rendszert használta fel.

A robotrepülőgép alkalmas kompakt fényképezőgép hordozására is. Kifejlesztettünk egy kis interfész modult a kamera és a robotpilóta közé, továbbá implementáltunk egy olyan navigációs algoritmust, amely elkészíti a repülési tervet (útvonal, magasság, expozíciós pontok) egy előre kijelölt terület feltérképezéséhez előre definiált felbontással és képek közötti átfedéssel. Egy ilyen repülés alatt adott esetben több száz kép is készült. Kidolgoztunk egy eljárást a további feldolgozásra alkalmas képek kiszűrésére is a képekkel tárolt EXIF adatok és a repülés naplófájlya alapján. Az így kiszűrt képeket pedig a nyílt forráskódú PanoTools (<http://panotools.sourceforge.net>) programcsomag alkalmazásával dolgoztuk fel. A programcsomag lehetővé tette az automatikus ellenőrzőpont keresést, paraméter optimalizációt, újrajvetítést, és képfűzést. A 10. ábrán látható kép 59 fénykép alapján készült egy 35 hektáros területről 600 MegaPixeles méretben.

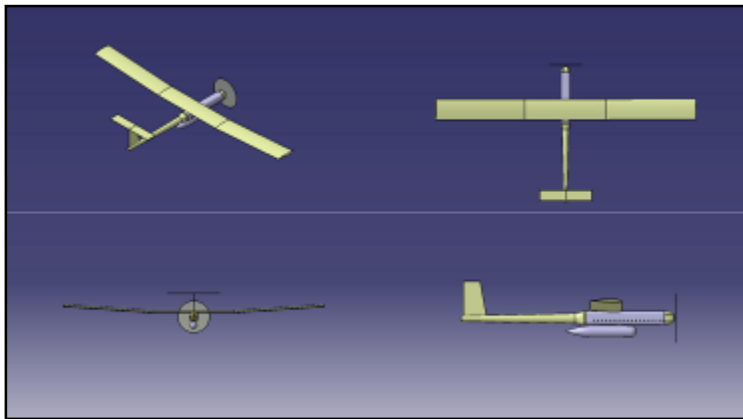


10. ábra Hálós útszerkezetű terület fotómozaikon

## 6. REPÜLŐGÉP TERVEZÉS

Az említett elméleti vizsgálatok és gyakorlati eredmények elegendő tapasztalatot jelentettek egy a céljainkra alkalmas sárkánnyal és hajtásrendszerrel szemben támasztott követelmények megfogalmazásához. A repülőgép tervezés tárgyát felvett hallgatók elemezték ezeket a követelményeket, és az oktatott módszerek segítségével kifejlesztettek egy többcélú robotrepülőgépet, amely optimálisan teljesíti a követelményeket. Az eredményül kapott gép jellemzői:

- max. felszállótömeg = 8,5 kg
- fesztáv = 3,0 m
- max. hasznos teher = 2,5 kg
- max. repülési idő = 1,5 óra



11. ábra Konténerhordozó robotrepülőgép háromnézeti rajza

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

A fenti példák mutatják, hogy a robotrepülőgépek nemcsak az ipar és a hadsereg számára jelentik a fejlődést, hanem a repülőmérnökök képzésének is szerves elemévé váltak a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen köszönhetően áruknak, és üzemeltetésük egyszerűségének, továbbá nem utolsósorban annak a ténynek, hogy kézzel fogható voltak jelentősen motiválva a hallgatókat.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Erdődi, I.: Alacsony Reynolds-számú légszár üzemeltetési jellemzőinek analitikus és kísérleti vizsgálata, Diplomamunka, 2013, Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
- [2] Cook, M. V., Flight Dynamic Principles, ISBN 978-0-7506-6927-6, 2007, Elsevier
- [3] Kóti, D, TRAINER 60 típusú UAV numerikus áramlástani vizsgálata, TDK dolgozat, 2012, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
- [4] Gál, I., Alacsony költségű leszállás-támogató rendszer módszereinek, és egy javasolt rendszer megvalósíthatóságának vizsgálata kisrepülőgépek számára, Diplomamunka, 2012, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

**Bordás Árpád<sup>1</sup> – Weidinger Tamás<sup>2</sup> – Gyöngyösi András Zénó<sup>3</sup> –  
Bottyán Zsolt<sup>4</sup> – Istenes Zoltán<sup>5</sup>**

## **A PLANETÁRIS HATÁRRÉTEG SZERKEZETÉNEK VIZSGÁLATA 1D MODELL SEGÍTSÉGÉVEL<sup>6</sup>**

*A planetáris határréteg (PHR) szerkezetének megismerése és az itt lejátszódó turbulens keveredési folyamatok leírása meghatározó szerepet játszik a meteorológiai modellek fejlesztésében. A határréteg-kutatás fontos eszközei az 1D vertikális modellek, amelyek segítségével tanulmányozható a határréteg szerkezete, napi menete, s ellenőrizhetők a különböző parametrizációs eljárások, turbulencia-modellek. Munkánk célja egy olyan 1D PHR-modell bemutatása, amely a turbulens keveredési folyamatokat kombinált (lokális és nemlokális) keveredési modell segítségével szimulálja. Kitérünk a modelleredmények lehetséges repülésmeteorológiai alkalmazási lehetőségeire is.*

### **INVESTIGATION OF THE PLANETARY BOUNDARY LAYER STRUCTURE USING 1D MODEL**

*Investigation of the structure of the planetary boundary layer (PBL) and description of the turbulent mixing processes in this layer play important role in development of meteorological models. 1D vertical boundary layer models are comprehensive enough to describe structure of the boundary layer, simulate turbulent mixing processes and compare different parameterization processes. The aim of our study is to represent a so called combined 1D boundary layer model which simulates small scale (local) and large scale (nonlocal) processes simultaneously. Possible applications of the model in aviation meteorology are also discussed.*

## **BEVEZETÉS**

Planetáris határrétegek (PHR) a troposzféra alsó (0,1–3 km-es) részét nevezzük, ahol a felszín, mint mechanikus és termikus kényszer hatása érvényesül. Az elnevezésben a planetáris szó arra utal, hogy minden szilárd (vagy folyékony) felszínnel és légkörrel rendelkező égitest felszínközeli folyamatai hasonló fizikai törvények segítségével írhatóak le. A PHR az emberi tevékenység szintere, itt kezdődik és itt zárul a légköri nyomanyagok ciklusa, valamint itt található a szennyezőanyag-források majdnem teljes egésze [1].

A PHR repülésmeteorológiai szempontból is kiemelten fontos. Gondoljunk csak a fel- és a leszállás során kialakuló kritikus helyzetekre (oldalszél, szélnyírás, turbulencia, látótávolság csökkenés, köd, hidrometeorok hatása stb.). A 3D numerikus modellek és a belőlük készített speciális előrejelzések, modell output statisztikák a repülésmeteorológia napi eszközeivé váltak [2][3].

---

<sup>1</sup> fizikus, ELTE Meteorológiai Tanszék, [abordas@caesar.elte.hu](mailto:abordas@caesar.elte.hu)

<sup>2</sup> egyetemi docens, ELTE Meteorológiai Tanszék, [weidi@caesar.elte.hu](mailto:weidi@caesar.elte.hu)

<sup>3</sup> meteorológus, ELTE Meteorológiai Tanszék, [zeno@nimbus.elte.hu](mailto:zeno@nimbus.elte.hu)

<sup>4</sup> százados, egyetemi docens, NKE Katonai Repülő Tanszék, [bottyán.zsolt@uni-nke.hu](mailto:bottyán.zsolt@uni-nke.hu)

<sup>5</sup> tanszékvezető egyetemi docens, ELTE Informatikai Kar, Programozáselmélet és Szoftvertchnológiai Tanszék, [istenes@inf.elte.hu](mailto:istenes@inf.elte.hu)

<sup>6</sup> Lektorálta: Bíró Dr. Kircsi Andrea, egyetemi adjunktus, Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék, [kircsi.andrea@science.unideb.hu](mailto:kircsi.andrea@science.unideb.hu)

A repülőgépek, legyenek azok személyzettel ellátottak, vagy pilóta nélküliek (UAV-k) egyúttal a határreteg mérések (állapothatározók, profilok, turbulens fluxusok) fontos eszközei [4][5], de felhasználhatók a katonai meteorológiai támogatás során is, pl. időjárás felderítésre [6][7]. Másrészt, a fent említett repülő eszközök meteorológiai támogatása is rendkívül fontos a repülés biztonsága szempontjából, hiszen a PHR-ben történő repülési fázisok alatt következik be a legtöbb repülő baleset. Különösen problematikus az UAV-k meteorológiai támogatása, hiszen ezeknél az eszközöknél nincs lehetőség a fedélzeten történő emberi döntéseken alapuló cselekedetekre, és nem rendelkeznek pl. fedélzeti jégtelenítő berendezéssel sem. Ugyanakkor, szerkezetük kialakítása miatt különösen érzékenyek a PHR-ben előforduló turbulenciára, szél-lökésekre és a jegesedésre [8]. Több UAV, mint pl. az ELBIT cég Skylark-I-LE típusa (ez a pilóta nélküli repülőgép a Magyar Honvédségben rendszeresített eszköz) nem alkalmas csapadékban és/vagy felhőben történő repülésre, így különösen fontos, hogy ilyen meteorológiai viszonyok között ne is használják. Nyilvánvaló tehát, hogy a PHR pontos modellezése repülés-meteorológiai szempontból is elsődleges fontosságú feladat és a meteorológiai támogatás alapját képezi, ugyanakkor az említett támogatást már a repülési feladatok előzetes tervezésénél fontos lenne alkalmazni! Ezért is gondolunk a PHR modellezésére, mint kiemelten fontos feladatra az UAV-k komplex meteorológiai támogatásának fejlesztésekor.

Az egydimenziós (1D) PHR modellek alkalmasak (i) a határreteg mérések értelmezésére, (ii) a PHR napi menetének leírására, (iii) a turbulens kicserélődési folyamatok modellezésére, (iv) a szél, hőmérséklet, nedvesség és a nyomanyag profilok vizsgálatára. A 3D numerikus modellekben is kvázi 1D határreteg-modelleket használnak. Az egyes felszíni rácsponthoz felelő turbulens kicserélődési folyamatok csak az adott rácsfelület és a légoszlop állapotjelzőitől függenek. Az egymás mellett lévő légoszlopokat csak az advektív folyamatok kötik össze. E modellek alkalmazásával vizsgálható a turbulencia, a szélnyírás, illetve a PHR felső inverziós záró rétege is. Elemezhető a PHR térbeli szerkezete.

A PHR profiljait alkalmazzák a különböző repülés szimulációs modellekben is [7]. E széles felhasználói kör – a napi szinoptikus gyakorlattól az elméleti feladatokig – indokolja a cikk témaválasztását, az 1D PHR modellek szerkezetének bemutatását, a konvektív határreteg profiljainak vizsgálatát.

A PHR szerkezetét a felszínről induló turbulens örvények és a légkör stabilitási viszonyai alakítják. A turbulencia úgy tekinthető, mint a különböző méretű (a milliméterestől a kilométeres skáláig terjedő) örvények együttese, ami alapvetően nem lineáris jelenség. A turbulens áramlási folyamatok térben és időben is rendezetlenek, pontosabban a turbulens kicserélődés modellezésénél a horizontálisan homogén és izotróp turbulencia feltételezésével élünk.

Az 1D PHR modellek alapját a Reynolds-féle átlagértékeket tartalmazó, hidro-termodinamikai egyenletrendszer adja:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = f(v - v_g) - \frac{\partial(\overline{w'u'})}{\partial z}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -f(u - u_g) - \frac{\partial(\overline{w'v'})}{\partial z}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial (\overline{w' \theta'})}{\partial z}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = - \frac{\partial (\overline{w' q'})}{\partial z}, \quad (4)$$

ahol  $u$  és  $v$  rendre az  $x$  irányú és  $y$  irányú szélkomponensek,  $u_g$  és  $v_g$  a két geosztrofikus szélkomponens,  $w$  a vertikális sebesség,  $z$  a magasság,  $\theta$  a potenciális hőmérséklet és  $q$  a specifikus nedvesség. A fenti egyenletrendszerben  $\overline{w'u'}$ ,  $\overline{w'v'}$ ,  $\overline{w'\theta'}$  és  $\overline{w'q'}$  az adott fizikai mennyiség másodrendű momentuma, vagy fluxusa – a vizsgált tulajdonság (impulzus, hő, nedvesség) felületegységen időegység alatti árama. A különböző 1D PHR modellek a másodrendű momentumok meghatározásában térnek el egymástól – más-más lezárási sémát alkalmaznak [9].

Az 1D PHR modelleket a turbulens keveredés parametrizálása alapján három csoportba sorolhatjuk. Ezek a lokális, a nemlokális és a kombinált (lokális és nemlokális) modellek.

- A lokális modellek a molekuláris diffúzió analógiáját követve a kis méretű örvények keverő hatását szimulálják, ezért alkalmazzák őket a stabilisan és neutrálisan rétegzett PHR szerkezetének leírására.
- A nemlokális modellek a határreteg labilis rétegződése esetén megjelenő nagy méretű (a vertikális rácsfelbontást meghaladó) örvények szállító jellegét hangsúlyozzák, elhanyagolva a kis méretű (rács alatti) örvények keverő mozgását.
- A kombinált parametrizációs eljárások igyekeznek ötvözni a lokális és a nemlokális modellek tulajdonságait. Alkalmazásukkal egyszerre szimulálható a PHR-ben jelenlévő kis méretű örvények keverő és a nagy méretű örvények szállító jellege.

Munkánk célja egy saját fejlesztésű kombinált határreteg-modell bemutatása, érzékenységi vizsgálata és a modell-verifikáció ismertetése. A modell-verifikációt egy mesterségesen generált adatsorral, valamint a határreteg kutatásban klasszikusnak számító Wangara-adatsorra támaszkodva végeztük el [10].

## A LOKÁLIS ÉS A NEMLOKÁLIS KEVEREDÉS ARÁNYA

Egyes, az elmúlt évtizedekben kifejlesztett, kombinált PHR modellek [11][12][13] a potenciális hőmérsékletre vonatkozó (3) egyenletet a következő formában oldják meg:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (\overline{w' \theta'}) = \frac{\partial}{\partial z} \left[ -K_h \left( \frac{\partial \theta}{\partial z} - \gamma_h \right) \right], \quad (5)$$

ahol  $K_h$  a turbulens diffúziós együttható,  $\gamma_h$  a nemlokális keveredést leíró tag, ami szintén hőmérsékleti gradiens dimenziójú. A fenti egyenlet alapján a lokális és a nemlokális keveredés aránya ( $R$ ):

$$R = \frac{K_h (\partial \theta / \partial z)}{K_h \gamma_h}. \quad (6)$$

A nemlokális keveredést leíró tagot a következő alakban adjuk meg [12]:



$$\gamma_h = \frac{aw_* (\overline{w'\theta'})_0}{w_m^2 h}, \quad (7)$$

ahol  $(\overline{w'\theta'})_0$  a felszíni potenciális hőmérsékleti áram,  $w_*$  a konvektív feláramlási sebesség,  $w_m = u_* \Phi_m^{-1}$  a vertikális sebesség skálaparamétere, ahol  $u_*$  a dinamikus sebesség és  $\Phi_m$  a momentumra vonatkozó univerzális függvény,  $h$  a határreteg-vastagsága,  $a$  félempirikus állandó. A képletben is szereplő felszíni szenzibilis hőáram a következő alakba írható [14]:

$$\rho c_p (\overline{w'\theta'})_0 = -\rho c_p k \frac{u_* z_s}{\Phi_h} \frac{\partial \theta}{\partial z}, \quad (8)$$

ahol  $\rho$  a levegő sűrűsége,  $c_p$  az állandó nyomáson vett fajhő,  $\Phi_h(z_s)$  a szenzibilis hőszállításra vonatkozó univerzális függvény és  $z_s = 0,1 h$  (ahol  $h$  a határreteg vastagsága). Itt feltételezzük, hogy a felszínközeli rétegben a turbulens áramok állandók. A konvektív feláramlási sebesség felírható a következő alakban is [14]:

$$w_* = u_* k^{-\frac{1}{3}} \left( -\frac{h}{L} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (9)$$

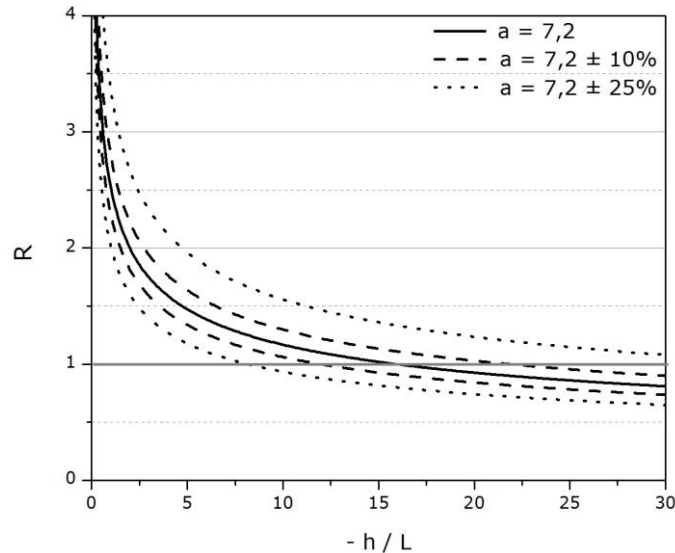
ahol  $k$  a Kármán állandó ( $k = 0,4$ ) és  $L$  a Monyin-Obuhov hossz, melynek alakja:

$$L = -\frac{u_*^3}{\beta k (\overline{w'\theta'})_0}, \quad (10)$$

ahol  $\beta = \frac{g}{\Theta}$  a stabilitási paraméter,  $g$  a nehézségi gyorsulás. Az (5)–(10) egyenletek alapján felírható a lokális és a nemlokális keveredés aránya is:

$$R = \left[ 0,1 \cdot a k^{\frac{2}{3}} \left( -\frac{h}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{\Phi_m^2}{\Phi_h} \right]^{-1}. \quad (11)$$

Az 1. ábrán látható, hogy hogyan változik a lokális és a nemlokális keveredés aránya ( $R$ ) a  $(-h/L)$  stabilitási indikátor függvényében.



1. ábra A lokális és a nemlokális keveredés aránya ( $R$ ) a PHR magasság ( $h$ ) és a Monyin-Obuhov hossz ( $L$ ) hányadosának ( $-h/L$ ) a függvényében különböző  $a$  félempirikus állandók alkalmazásával.

Az  $a$  félempirikus állandó alap értéke  $a = 7,2$  [12]. Az 1D PHR modellben a Dyer-féle univerzális függvényeket alkalmazzuk [15]. Labilis esetben a momentumra ( $\Phi_m$ ) és a szenzibilis hőáramra ( $\Phi_h$ ) vonatkozó univerzális függvények hányadosára teljesül, hogy  $\Phi_m^2 / \Phi_h = 1$ . Ez azt jelenti, hogy a gradiens Richardson-szám ( $Ri$ ) és a dimenzió nélküli magasság ( $\zeta = z/L$ ) egyenesen arányosak. Az  $R$  arányszám függ az  $a$  félempirikus állandó választásától. A következő lépésben ennek az érzékenységi vizsgálatát mutatjuk be az  $a$  félempirikus állandó 10 és 25%-kal történő megváltoztatásával (1. ábra). Indifferenshez közeli helyzetekben ( $L \rightarrow 0$ ) a lokális keveredés a meghatározó, míg erősen labilis rétegződésben a nem lokális (konvekcióból származó) tulajdonságszállítás válik döntővé:  $a$  értékének növekedésével  $R$  értéke csökken, vagyis a nemlokális keveredési folyamatok hatása növekszik. A 25%-kal kisebb  $a$  esetén  $R$  értéke a teljes tartományban 1 feletti lesz, vagyis kis súllyal szerepel csak a nemlokális keveredés. A labilitás erősödésével az  $a$  megadásában rejlő bizonytalanság egyre kisebb relatív hibát okoz  $R$  meghatározásában. Az  $R$  arány egyik esetben sem csökken 0,65 alá, még extrém labilis esetben sem ( $-h/L = 30$ ).

## AZ 1D HATÁRRÉTEG MODELL ISMERTETÉSE

Az 1D PHR modellt három lépésben mutatjuk be. Először a turbulens keveredést szimuláló almodellel foglalkozunk, ezt követően a keveredést befolyásoló együtthatók meghatározásáról lesz szó, végezetül a határréteg vastagság becslését mutatjuk be.

### A keveredési almodell

Stabilis és neutrális rétegződés esetén a már említett lokális turbulens diffúziós modell alkalmazásával ( $K$ -elmélet) írjuk le a határrétegben lejátszódó keveredési folyamatokat. Labilis esetben egy olyan keveredési modellt alkalmazunk, amely a lokális diffúziós- és az úgynevezett Blackadar-féle (nemlokális) keveredési modell házasításával jött létre [16]. Ezt a módszertant

elterjedten alkalmazzuk úgy a hő, mint a momentum turbulens keveredésének modellezésére (lásd pl. a WRF modell parametrizációit [17]). A Blackadar-féle keveredési modell [18] a nagyméretű örvények szállító jellegét a talajmenti réteg (a talaj feletti első rács-réteg) minden egyes, a talajmenti réteg felett található réteg, összekapcsolásával szimulálja. Ezt szemlélteti a 2. ábra.

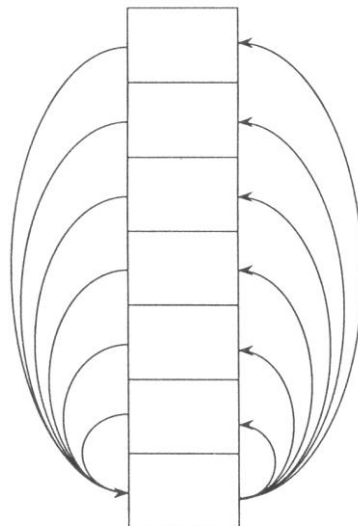
A fent említettek alapján leszögezhetjük, hogy stabilis és neutrális rétegződés esetén a határrétegben lejátszódó turbulens keveredési folyamatok szimulálásához elegendő a turbulens diffúziós együttható ( $K_0$ ) ismerete. Labilis esetben a lokális és a nemlokális keveredés arányát ( $R$ ) a (11) egyenlet alapján határozzuk meg. A turbulens diffúziós együtthatón kívül a feláramlási együttható ( $M_0$ ) is szerepet kap. A kombinált turbulens diffúziós együttható és a kombinált feláramlási együttható rendre a következő alakban írható fel:

$$K = \frac{R}{R+1} K_0, \quad (12)$$

$$M = \frac{1}{R+1} M_0, \quad (13)$$

ahol  $K_0$  a turbulens diffúziós együttható értéke lokális esetben, amikor  $R \rightarrow \infty$ . Ha  $R \rightarrow 0$ ,  $M_0$  a feláramlási együttható értéke nemlokális esetben. A turbulens diffúziós együttható és a feláramlási együttható értékének meghatározásával a következő részben foglalkozunk.

Annak ellenére, hogy a lokális és a nemlokális keveredés arányát ( $R$ ) a hőáramra vonatkozó értékek alapján határoztuk meg, a turbulens keveredés konzisztens leírása érdekében a (12) és (13) egyenletet alkalmazzuk a potenciális hőmérséklet ( $\theta$ ), a vízgőz ( $q$ ) és a szélkomponensek esetében ( $u$  és  $v$ ) is.



2. ábra A Blackadar-féle nemlokális keveredési modell sémája

### A turbulens diffúziós együttható és a feláramlási együttható meghatározása

Ahhoz, hogy alkalmazni tudjuk a (12) és (13) egyenlet segítségével, definiált kombinált turbulens diffúziós együttható ( $K$ ) és a kombinált feláramlási együttható ( $M$ ) értékét az  $R$  értékén kívül, ismernünk kell a turbulens diffúziós együtthatót a lokális ( $K_0$ ) illetve a feláramlási

együtthatót a nemlokális ( $M_0$ ) keveredés esetében.

A turbulens diffúziós együtthatót a következő egyenlet alapján számoljuk [12]:

$$K_0(z) = k \frac{u_* z}{\Phi(z_s/L)} \left(1 - \frac{z}{h}\right)^2, \quad (14)$$

ahol  $z_s = z$  stabilis és neutrális rétegződés esetén, valamint  $z_s = \min(z; 0,1h)$  labilis esetben. A feláramlási együtthatót pedig a következő egyenlet alapján számoljuk [14]:

$$M_0 = \frac{F_{h1}}{(h - z_1)(\theta_{v1} - \theta_{v2})}, \quad (15)$$

ahol  $F_{h1}$  a talajközeli rétegre vonatkozó, felhajtóerőből származó szenzibilis hőáram (kinematic buoyancy flux),  $z_1$  a talajközeli réteg magassága, valamint  $\theta_{v1}$  és  $\theta_{v2}$  a virtuális potenciális hőmérséklet a talajközeli réteg alján és tetején. A talajközeli rétegre vonatkozó feláramlást a következőképpen határozzuk meg:

$$F_{h1} = K_{h1} \frac{\theta_{v1} - \theta_{v2}}{\Delta z_1}, \quad (16)$$

ahol  $K_{h1}$  a talajmenti réteg hőáramára vonatkozó turbulens diffúziós együttható,  $\Delta z_1$  a talajközeli réteg vastagsága. A (15) és (16) egyenlet alapján:

$$M_0 = \frac{K_{h1}}{(h - z_1)\Delta z_1}. \quad (17)$$

### A PHR magasság (vagy keveredési rétegvastagság) meghatározása

A modell a keveredési rétegvastagságot a kritikus Richardson-szám alapján határozza meg. A felszín és a PHR felső határa ( $h$ ) közötti rétegre vonatkozó gradiens (bulk) Richardson-számot ( $Ri_b$ ) alkalmazzuk:

$$h = Ri_b \frac{u(h)^2 + v(h)^2}{\beta(\theta_v(h) - \theta_s)}, \quad (18)$$

ahol  $Ri_b = 0,25$ ;  $u(h)$  és  $v(h)$  a horizontális szélesség komponensek a határréteg tetején, a  $h$  magasságban,  $\theta_v(h)$  a virtuális potenciális hőmérséklet  $h$  magasságban,  $\theta_s$  az úgynevezett ekvivalens talajközeli hőmérséklet, amit a következő munkaformula alapján számítunk [11]:

$$\theta_s = \theta_{v1} + b \frac{\overline{w'\theta_v'}}{w_m}. \quad (19)$$

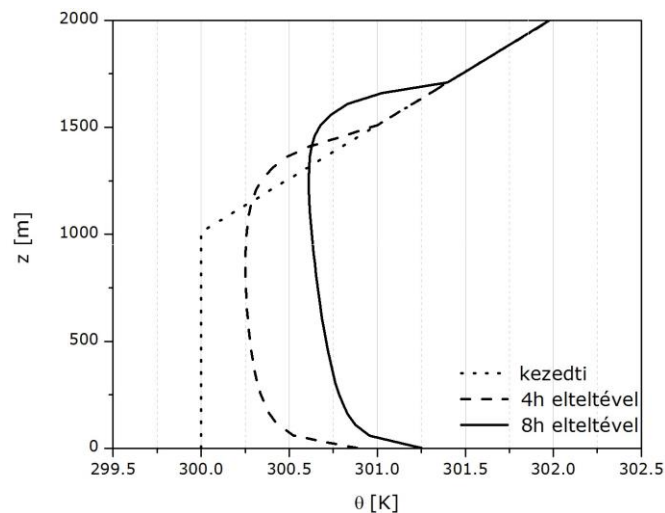
Itt  $b$  egy félempirikus állandó ( $b = 8,5$ ) [19],  $w_m$  értékét a (7) egyenlet alapján számoljuk. A  $h$  PHR magasság annak a szintnek a magasságával lesz egyenlő, ahol a teljes rétegre vonatkozó gradiens Richardson-szám ( $Ri_b$ ) értéke nagyobb lesz 0,25-nél [19]. A PHR magasságot minden időlépcsőben egy iterációs eljárással határozzuk meg.

A modell-verifikáció a fejlesztés egyik legfontosabb fázisa. Ebben a fejezetben két különböző verifikációs eljárás eredményeit ismertetjük. Első lépésként a modellt egy mesterségesen generált adatsor segítségével teszteltük. Ezután a Wangara-adatsorral [10] [20] hasonlítottuk össze a modellfuttatás eredményeit.

### Mesterséges adatsor alkalmazása

A verifikációs eljárás során elfogadott, hogy a modelleket megadott kezdeti vertikális profilok és mesterségesen generált felszíni adatsorok alkalmazásával futtatják. Száraz léghőmérséklet és 0,06 K m/s-os felszíni potenciális hőmérsékleti áramot  $(\overline{w'\theta'})_0$  feltételezve [21] végeztük el a futtatásainkat.

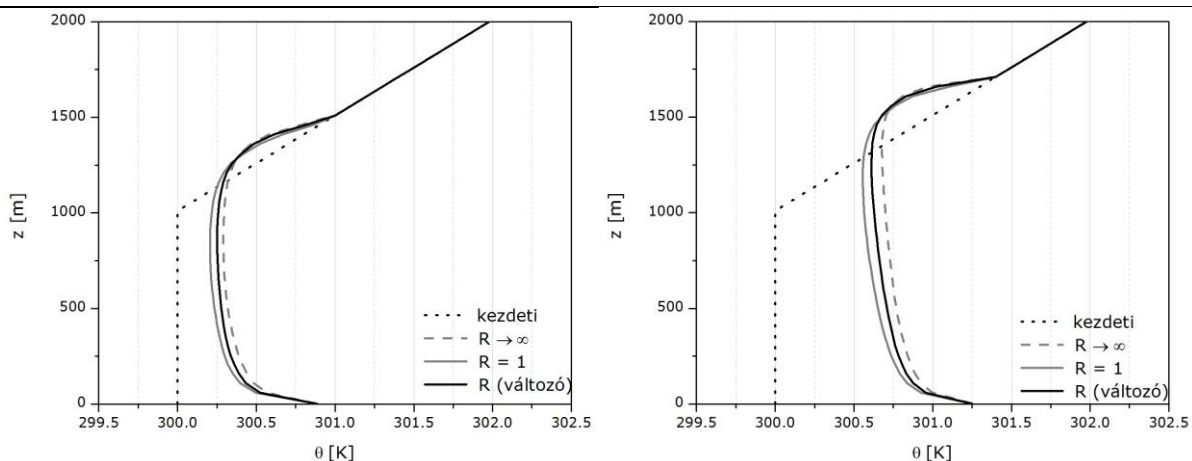
A 3. ábrán a potenciális hőmérséklet kezdeti profilja, valamint 4 és 8 óra elteltével kapott eredmények láthatóak 50 m-es vertikális rácsfelbontás mellett. Nem változtatva a felbontáson a modellt lefuttattuk úgy is, hogy (i) lokális megközelítést alkalmaztunk ( $R \rightarrow \infty$ ), valamint (ii) a lokális és a nemlokális turbulens keveredési folyamatok közötti egyensúly ( $R = 1$ ) feltételezésével. A futtatások során 4 és 8 óra elteltével kapott potenciális hőmérsékleti profilok a 4. ábrán láthatóak.



3. ábra A konvektív PHR fejlődése a lokális és a nemlokális keveredés arányának ( $R$ ) alapbeállításával, 0,06 K m/s-os felszíni potenciális hőmérsékleti áram feltételezésével, a nedvességszállítás elhanyagolásával (száraz levegő). A pontozott vonal a kezdeti potenciális hőmérsékleti rétegződést mutatja.

A PHR kezdeti, modellbeli magassága 1000 m

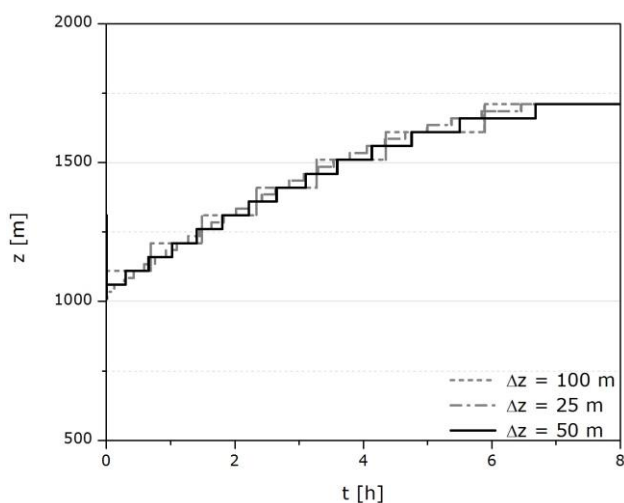




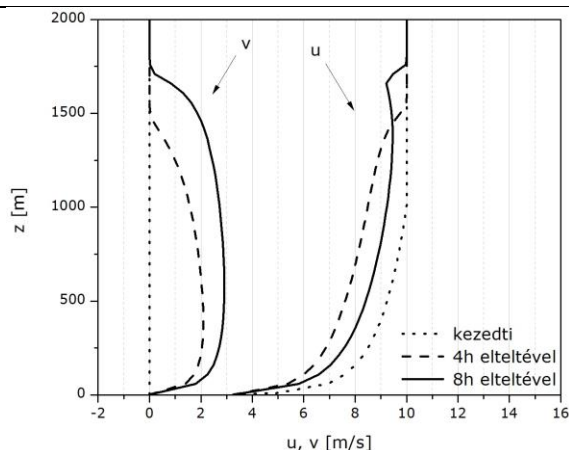
4. ábra A konvektív PHR fejlődése a lokális és a nemlokális keveredés arányának ( $R$ ) különböző beállításával a modell futtatás kezdete után 4 és 8 órával (bal és a jobb oldal),  $0,06 \text{ K m/s}$ -os felszíni potenciális hőmérsékleti áramot feltételezésével és a nedvességszállítás elhanyagolásával (száraz levegő)

A számítások alapján megállapítható, hogy a megadott standard kezdeti profilok és a kis értékű felszíni hőáram [ $c_p \rho (\overline{w' \theta'})_0$ ] esetén a lokális és a kombinált (lokális és nemlokális) megközelítés hasonló eredményt ad. Összehasonlítva a két kombinált megközelítéssel kapott profilt látható, hogy a lokális és a nemlokális keveredés aránya ( $R$ ) általában egynél kisebb, vagyis a nemlokális keveredési folyamatok a meghatározók.

Elvégeztük a modellfuttatásokat a vertikális felbontás csökkentésével, illetve növelésével is:  $25 \text{ m}$ ,  $50 \text{ m}$  és  $100 \text{ m}$ -es vertikális rácsfelbontással. A 4 és 8 óra elteltével kapott eredmények gyakorlatilag nem függtek a vertikális felbontástól. Ezt bizonyítja az 5. ábra is, ahol a PHR magasság változása látható három különböző vertikális rácsfelbontással ( $25 \text{ m}$ ,  $50 \text{ m}$ ,  $100 \text{ m}$ ) végzett futtatással. A vártnak megfelelően az  $1000 \text{ m}$ -es nappali határréteg lassuló ütemben növekszik az idő előrehaladtával.



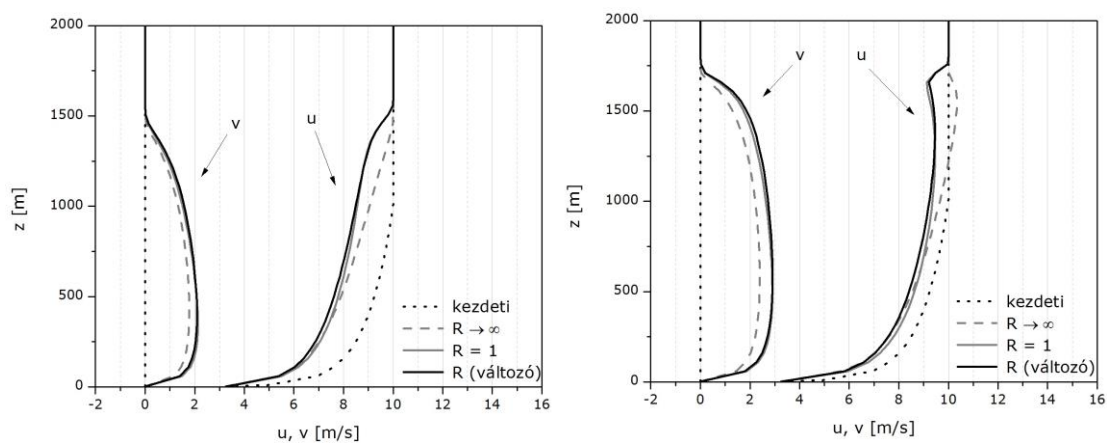
5. ábra A PHR vastagság időbeli menete és függése az alkalmazott vertikális rácsfelbontástól. (A modell nem érzékeny a rácsfelbontás változására.)



6. ábra A mesterséges kezdeti szélprofilok fejlődése az 1D PHR modell alapbeállításával (az 1D PHR modellbeli  $R$  parametrizáció alkalmazásával, lásd a 3. ábrát is)

A horizontális szélesség komponenseire ( $u$  és  $v$ ) vonatkozó 4 és 8 órás mesterséges profilok fejlődése 50 m-es vertikális felbontás esetén a 6. ábrán látható. A 7. ábra ugyanezeket a szélprofilokat szemlélteti a lokális ( $R \rightarrow \infty$ ) és a már említett kombinált ( $R = 1$  és változó  $R$ ) megközelítések alkalmazásával. A két kombinált megközelítéssel nyert szélprofil között – hasonlóan a potenciális hőmérsékleti profilokhoz – kicsi az eltérés.

Elvégeztük a vertikális felbontás horizontális szélprofilokra gyakorolt hatásának a vizsgálatát is. Itt is elmondható, hogy a vertikális felbontás változtatása nincs jelentős hatással a profilokra.



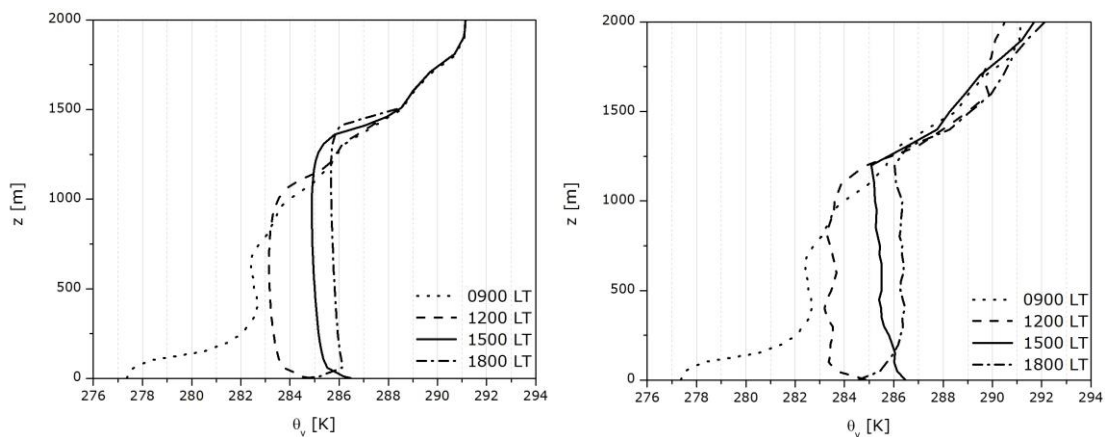
7. ábra A konvektív PHR szélprofiljainak a fejlődése a lokális és a nemlokális keveredési arány ( $R$ ) különböző beállításai mellett a modellfuttatás kezdete után 4 és 8 órával (bal és a jobb oldal), 0,06 K m/s-os felszíni potenciális hőmérsékleti áram feltételezésével, a nedvességszállítás elhanyagolásával, lásd a 4. ábrát

## A Wangara-adatsorral történő összehasonlítás

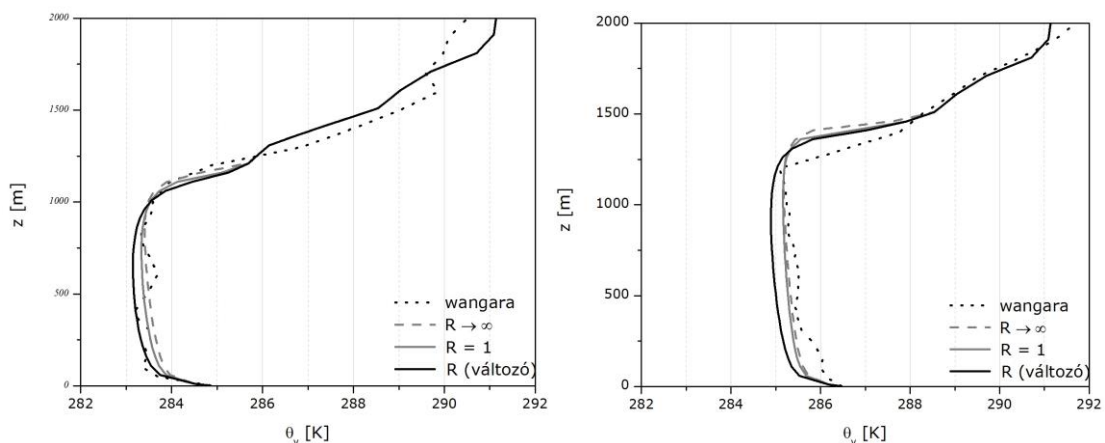
A Wangara mérési expedíció [10][20] volt az egyik első olyan méréssorozat, melynek egyik fő célja a PHR szerkezetének a meghatározása volt. A kampány 1967 júliusában és augusztusában zajlott le Hay város közelében (New South Wales, Ausztrália). A "wangara" kifejezés az ausztrál őslakosok nyelvén a nyugati szél megfelelője. A helyszínt az ideális domborzati viszonyok (homogén sík felszín, mint pl. hazánkban a Hortobágy), gyér vegetáció és a könnyű megközelíthe-

tőség miatt választották. A felszínközeli szélesség és hőmérséklet profilok, valamint sugárzasháztartási mérések mellett óránkénti pilot-léggömbös és háromóránkénti rádiószondás méréseket is végeztek. A megbízható, ellenőrzött és jól dokumentált adatbázist, a mai napig széleskörűen alkalmazzák modellek tesztelésénél [22][23][24].

Modellünket – a szokásnak megfelelően – a Wangara mérési expedíció 33. napján (1967. augusztus 16.) mért adatok segítségével futtattuk. Ez egy gyenge advekción, frontmentes nap volt. A helyi idő szerint 9 órai (0900 LT) virtuális potenciális hőmérséklet ( $\theta_v$ ) és horizontális ( $u$ ,  $v$ ) szélprofilot használtuk kezdeti adatként. A nedvességszállítással itt nem foglalkozunk. A modell peremfeltételeit a felszíni, illetve a modell felső határán mért hőmérséklet, szélesség, továbbá a geosztrofikus szélesség ( $u_g$  és  $v_g$ ) napi menete szolgáltatta, amit több szintben is megadtak. Vizsgálatainkat az alsó 2 km-es rétegben végeztük. Két mérési időpont közötti hiányzó adatokat lineáris interpoláció segítségével pótoltuk. Kivételt a geosztrofikus szélprofil jelentett, ahol egy parabolikus illesztési módszert alkalmaztunk [25]. A modellt 50 m-es vertikális felbontással futtattuk. A Wangara profiladatok felbontása az alsó 1000 m-es rétegben szintén 50 m-es. A felső, 1000–2000 m-ig terjedő, rétegben a felbontás 100 m-es.

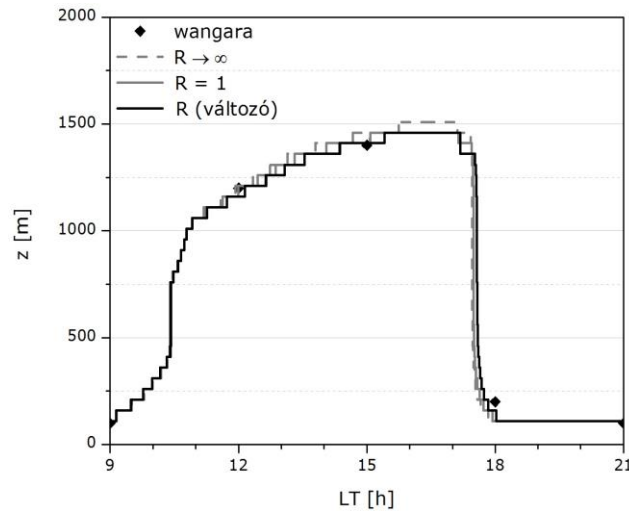


8. ábra A modellezett (bal oldal) és a mért (jobb oldal) virtuális potenciális hőmérsékleti ( $\theta_v$ ) profilok a Wangara mérési expedíció 33. napján helyi időben (LT) 12, 15 és 18 órakor. A modellfuttatás 9 órától kezdődik.

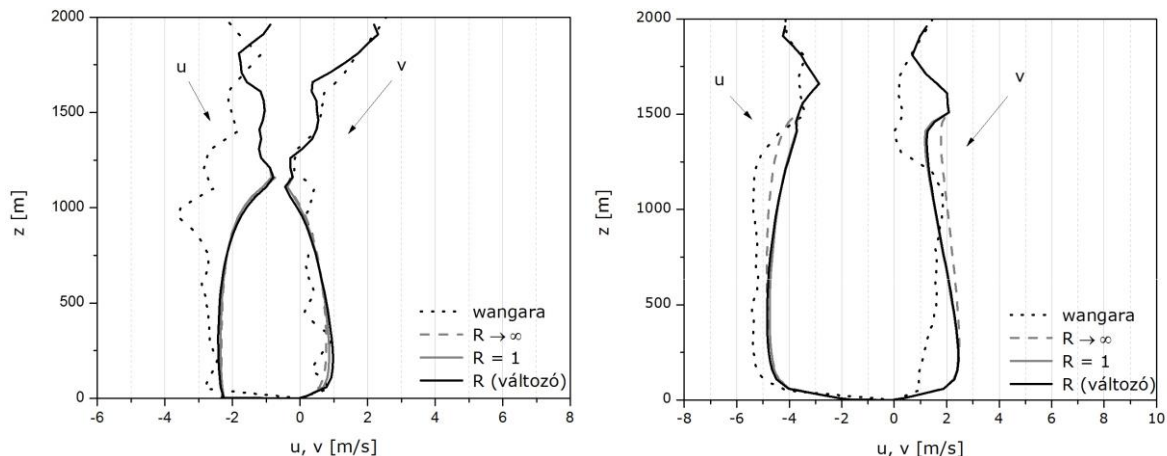


9. ábra A mért és a különböző lokális és a nemlokális keveredési arányok ( $R$ ) mellett végzett modellfuttatások alapján számított virtuális potenciális hőmérsékleti profilok helyi időben 12 órakor (bal oldal) és 15 órakor (jobb oldal) a Wangara mérési expedíció 33. napjára. A modellfuttatás 9 órától kezdődik

A 8. ábrán a modellezett és a mért virtuális potenciális hőmérsékleti ( $\theta_v$ ) profilok láthatóak lokális időben (LT) 12, 15 és 18 órakor. A modellezett és mért eredmények jó egyezést mutatnak. A 9. ábra a 12 és 15 órás (LT) mért virtuális potenciális hőmérsékleti profilokat hasonlítja össze a lokális, valamint a kombinált megközelítéssel ( $R = 1$  és változó  $R$ ) kapott modellfuttatásokkal. Annak ellenére, hogy az 1D PHR modell által generált profilok 12 órakor kissé alulbecslik, 15 órakor pedig kissé felülbecslik a határreteg-vastagságot, nyilvánvaló a profilok közötti egyezés. A határreteg-vastagság napi menetének mért és modellezett értékeit a 10. ábra összegzi. Kicsik az eltérések.



10. ábra A PHR magasság mért és modellezett napi menete a Wangara mérési expedíció 33. napján különböző modellbeállítások (lokális és a nemlokális keveredési arány,  $R$ ) esetén.



11. ábra A mért és a különböző lokális és a nemlokális keveredési arányok ( $R$ ) mellett végzett modellfuttatások alapján kapott szélprofilok ( $u$  és  $v$  komponens) helyi időben 12 órakor (bal oldal) és 18 órakor (jobb oldal) a Wangara mérési expedíció 33. napjára. A modellfuttatás 9 órától kezdődik.

Szintén fontos alkalmazás – mind az előrejelzésben, mind a repülésmeteorológiai oktatásban, esettanulmányok készítésében – a szélprofilok előállítása. A 11. ábrán a mért és a modellezett profilok összehasonlító vizsgálata látható helyi idő (LT) szerint 12 és 18 órakor. Az eltérések, amelyek az egyes szinteken megközelítik a 2 m/s-os értéket, elsősorban a geosztrofikus szél pontatlan meghatározásából erednek [25]. Az eltérések ellenére látható az egyezés a profilok szerkezetében és a változás dinamikájában. A szélmezőben is kirajzolódik a PHR felső határa.

A 8–11. ábrák jól mutatják, hogy az 1D PHR modellek alkalmasak a határréteg fejlődésének a követésére. Ez repülésmeteorológiai szempontból is fontos, hiszen egy egyszerűen futtatható, az adott repülőtérre vonatkoztatható modelleredményeket szolgáltat. Megkönnyíti a PHR folyamatok megértését, illetve a 3D modellekből származó PHR magasságok értelmezését.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A planetáris határréteg szerkezetének megismerése, az itt lejátszódó turbulens keveredési folyamatok megértése és modellezése alapvető szerepet játszik a meteorológiai modellek fejlesztésében. A határréteg-kutatás fontos eszközét adják az 1D vertikális modellek. Segítségükkel egyszerűen bemutatathatóak a határrétegben lejátszódó folyamatok és napi változások. Az 1D PHR modellek további előnye, hogy könnyen beépíthetőek 3D modellkörnyezetbe. Az elmúlt években mind nagyobb teret hódítottak a kombinált (lokális és nemlokális) vertikális modellek. A kombinált modellek fő erénye, hogy a labilis rétegződés esetén a határrétegben jelenlévő kisméretű örvények keverő, valamint a nagy méretű örvények szállító hatását együttesen szimulálják.

A bemutatott kombinált 1D PHR modell talán legfontosabb tulajdonsága, hogy minden lépésnél meghatározza a lokális és nemlokális keveredés arányát ( $R$ ) és ennek alapján „oszt szerepet” a keverő és szállító folyamatoknak. A modell ellenőrzése (verifikációja) két szakaszban történt. Először a modellt mesterségesen generált adatsor segítségével futtattuk. Az így kapott potenciális hőmérsékleti és szélprofilok megmutatták a modell erősségeit, de rámutattak egyes hiányosságaira is. A második szakaszban a Wangara mérési kampány adatait felhasználva futtattuk a modellt. Az így kapott virtuális potenciális hőmérsékleti és szélprofilok jó egyezést mutatnak a mért adatokkal, ami biztató eredmény. Röviden foglalkoztunk az 1D PHR modellek repülésmeteorológiai alkalmazhatóságával is.



A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” pályázat keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] WEIDINGER T. - BORDÁS Á.: A felszínközeli légréteg és a planetáris határréteg kutatásának főbb kérdései. *Felhőfizika és mikrometeorológia*, 32. *Meteorológiai Tudományos Napok 2006*. (Szerkesztette: WEIDINGER T. és GERESDI I.), Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 2007, 105–124. o.
- [2] GULTEPE, I. - TARDIF, R. - MICHAELIDES, S.C. - CERMAK, J. - BOTT, A. - BENDIX, J. - MÜLLER, M.D. - PAGOWSKI, M. - HANSEN, B. - ELLORD, G. - JACOBS, G. - TOTH, G. - COBER, S.G.: Fog Research: a review of past achievements and future perspectives. *Pure Appl. Geophys.*, 2007/164, 1121–1159.
- [3] JACOBS, A.J.M. - MAAT, N.: Numerical Guidance Methods for Decision Support in Aviation Meteorological Forecasting. *Wea. Forecasting*, 2005/20, 82–100.
- [4] BONIN, T. - CHILSON, P. - ZIEÉKE, B. - FEDOROVICH, E.: Observations of the Early Evening Boundary-Layer Transition Using a Small Unmanned Aerial System. *Boundary-Layer Meteorol.*, 2013/146, 19–132.
- [5] LENSCHOW, D.H. - KRUMMEL, P. - SIEMS, S.T.: Measuring entrainment, divergence, and vorticity on the mesoscale from aircraft. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 1999/16, 1384–1400.



- [6] PALIK M.: Pilóta nélküli légi jármű rendszerek légi felderítésre történő alkalmazásának lehetőségei a légi-erő haderőnem repülőcsapatai katonai műveleteiben. *PhD értekezés. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Hadtudományi Doktori Iskola, 2007.* 122 o.
- [7] HADOBÁCS K.: Repülésre veszélyes időjárási helyzetek rekonstrukciójának alkalmazási lehetőségei – Felületi jegesedés becslése és a hozzá tartozó szimulációs környezet kialakítása. *Diplomamunka, ELTE Meteorológiai Tanszék, 2011,* 84 o.
- [8] BOTTYÁN, Z.: Estimation of in-flight icing characteristics of UAVs during different meteorological conditions. *Proc. of the 8th International Conference on Intelligent Unmanned Systems.* 2012, 418–422.
- [9] BAKLANOV, A.A. - GRISOGONO, B. - BORNSTEIN, R. - MAHRT, L. - ZILITINKEVICH, S.S. - TAYLOR, P. - MATHIAS S.E. - ROTACH, W. - FERNANDO, H.J.S.: The nature, theory, and modeling of atmospheric planetary boundary layers. *BAMS*, 2011/92(2), 123–128.
- [10] CLARKE, R.H. - DYER, A.J. - BROOK, R.R. - REID, D.G. - TROUP, A.J.: The Wangara experiment: Boundary layer data. *Tech. Paper, Div. Meteor. Phys., CSIRO, Australia, 1971/19.*
- [11] TROEN, I.B. - MARTH, L.: A simple model of the atmospheric boundary layer; sensitivity to surface evaporation. *Boundary-Layer Meteorol.*, 1986/37, 129–148.
- [12] HOLTSLAG, A.A. - BOVILLE, B.A.: Local versus nonlocal boundary-layer diffusion in a global climate model. *J. Climate*, 1993/6, 1825–1842.
- [13] NOH, Y. - CHEON, W.G. - HONG, S.Y. - RAASCH, S.: Improvement of the K-profile model for the planetary boundary layer based on large eddy simulation data. *Boundary-Layer Meteorol.*, 2003/107, 401–427.
- [14] PLEIM, J.E.: A combined local and nonlocal closure model for the atmospheric boundary layer. Part I: model description and testing. *J. Appl. Meteorol. and Climat.*, 2007/46, 1383–1395.
- [15] DYER, A.J.: A review of flux-profile relationships. *Boundary-Layer Meteorol.*, 1974/7, 363–372.
- [16] BORDÁS, Á.: One-column vertical turbulent mixing model for the atmospheric convective layer. *Physica Scripta*, 2008/T132, (5)
- [17] HU, X.-M. - NIELSEN-GAMMON, J.W. - ZHANG, F.: Evaluation of three planetary boundary layer schemes in the WRF Model. *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 2010/49, 1831–1844.
- [18] BLACKADAR, A.K.: Modeling pollutant transfer during daytime convection. *4th Symposium on Atmospheric Turbulence, Diffusion and Air Quality*, Reno, NV, USA, 1978., 443–447.
- [19] HOLTSLAG, A.A. - DE BRUIJN, E.I.F. - PAN, H.-L.: A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. *Mon. Wea. Rev.* 1990/118, 1561–1575.
- [20] HESS, G.D. - HICKS, B.B. - YAMADA, T.: The impact of the Wangara Experiment. *Boundary-Layer Meteorol.*, 1981/20, 135–174.
- [21] NIEUWSTADT, F.T.M. - MASON, P.J. - MOENG, C.-H. - SCHUMANN, U.: Large eddy simulations of the convective boundary layer: A comparison of four computer codes. *Turbulent Shear Flows, Vol. 8, Springer-Verlag*, 1992, 343–367.
- [22] PLEIM, J.E. - XIU, A.: Development and testing of a surface flux and planetary boundary layer model for application in mesoscale models. *J. Appl. Meteorol.*, 1995/34, 16–34.
- [23] ALAPATY, K. - PLEIM, J.E., - RAMAN, S. - NIYOGI, D.S. - BYUNE, D.W.: Simulation of atmospheric boundary layer processes using local- and nonlocal-closure schemes. *J. Appl. Meteor.*, 1997/36, 214–233.
- [24] LAPPEN, C.-L. - RANDALL, D.A.: Using idealized coherent structures to parameterize momentum fluxes in a PBL mass-flux model. *J. Atmos. Sci.*, 2005/62, 2829–2846.
- [25] YAMADA, T. - MELLOR, G.: A simulation of the Wangara atmospheric boundary layer data. *J. Atmos. Sci.*, 1975/32, 2309–2329.

Szabó Andor<sup>1</sup> – Gyöngyösi András Zénó<sup>2</sup> –  
Szalma János<sup>3</sup> – Kerekes András<sup>4</sup>

## A LÉGKÖRI SEKÉLY KONVEKCIÓ VIZSGÁLATA REPÜLÉSI ADAT- RÖGZÍTŐK ALAPJÁN<sup>5</sup>

*A meteorológia és a repülés tudományának fejlődése mindig is szorosan összekapcsolódott. A repülés minden más emberi tevékenységnél nagyobb mértékben és részletességben igényli a pontos meteorológiai adatokat, cserébe hatalmas mennyiségben szolgáltat közvetlen tapasztalatot a légkörből, mely a meteorológia tudományának területe. A két terület összekapcsolódásának szép példája a vitorlázórepülők által jól ismert jelenség, a termikus konvekció esete. A GPS repülési adatrögzítő eszközök ma már minden vitorlázórepülő versenyen jelen vannak. Fejlődésükkel olyan újabb információ halmaz birtokába jutottunk, mely minőségileg egy magasabb szinten képes hozzájárulni a tudományág fejlődéséhez. Írásunk, a téma rövid összefoglalását követően, beszámol egy, a világon egyedülálló fejlesztésről, melynek segítségével automatikusan lehetséges meghatározni a termikus karakterisztikák térbeli változékonyságának és időbeli menetének eloszlását. A módszer használhatóságát egy Magyarországon 2009-ben rendezett vitorlázórepülő világbajnokság példáján keresztül mutatjuk be.*

### **ANALYSIS OF THE ATMOSPHERIC SHALLOW CONVECTION BASED ON FLIGHT RECORDER DATA**

*The development of meteorology and aviation sciences were always in a positive and mutual interaction. While aviation seeks for meteorological information in such amount and details that is above the needs of any other human activities, it yields in turn direct weather data from the atmosphere in an enormous amount. A nice example to the link of the two fields is thermal convection, a well known and described phenomenon. GPS flight recorders are present at all gliding competitions now days. With the development of such devices a new set of information for the analysis of convection can be captured. This resulted in a new tool for a higher quality assessment of data about thermal updrafts. Following a short introduction to the topic, the development of a new and unique system is described here, which is capable to analyze the spacial and temporal distribution of thermal characteristics. The practical aspects of the method is demonstrated on the example of a gliding world championship, that was held in 2009 in Hungary.*

## I. BEVEZETÉS

A légköri folyamatokban fontos szerepet játszanak azok a kis skálájú, függőleges irányú mozgásrendszerek, amelyeknek a létrejöttében a döntő szerepet a napsugárzásból érkező, földfelszínen megjelenő energia játssza. Ezen folyamatok során a felmelegedő légrések a magasba emelkednek mellyel párhuzamosan kompenzáló, leszálló légmozgás a troposzféra felsőbb-kö-

<sup>1</sup> ELTE-TTK-fizika Bsc, aub-e@caesar.elte.hu

<sup>2</sup> ELTE Meteorológiai Tanszék, zeno@nimbus.elte.hu

<sup>3</sup> okl. meteorológus, metszalma@gmail.com

<sup>4</sup> okl. meteorológus, MH GEOSz, kandras58@freemail.hu

<sup>5</sup> Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt százados, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

zepső rétegeiből levegőt szállít a felszín közelébe. Ezt a jelenséget termikus konvekciónak nevezik, és az ez által keltett horizontális tengelyű cirkuláció felszálló ágának rövid elnevezése a „termik”. A termikek, kiterjedésüket és időtartamukat tekintve, a légköri mozgásrendszerek skálaanalízisében [13] a mikroskálájú folyamatok közé, (azon belül is a mikro béta skálába) sorolhatóak, ugyanis átlagos jellemző horizontális kiterjedésük néhány 100 m, vertikális méretük általában 1–2 km. A jelenség jellemző időléptéke 10–15 perc, ez az az időtartam, ami alatt a vertikálisan és horizontálisan cirkuláló levegő megtesz egy periodust, de az egyes konvektív cellák fennmaradási ideje néhány perctől akár néhány óráig is eltarthat. A termikus konvekcióhoz kapcsolódó mozgásrendszer közvetlen detektálása meglehetősen körülményes, csak drága és nehezen mozgatható berendezésekkel valósítható meg (pl.: LIDAR: Light Detection And Ranging, wind profiler, radiometer stb.). A vitorlázórepülők és a madarak egyaránt arra használják fel a termikeket, hogy a magasba emelkedjenek és ezáltal nagyobb helyzeti energiára tegyenek szert, saját energiabevitel nélkül, majd ezt az energiát alakítják át mozgási energiává, siklórepülés formájában. Ily módon közvetett információt képesek szolgáltatni a légköri konvekciós folyamatokról.

Meteorológia szempontból azért különös jelentőségű a termikus konvekció, mivel kiemelkedő szerepet játszik a légköri planetáris határréteg létrejöttében, a felszínről a légkörbe jutó energia, vízgőz, vertikális szállításában, valamint felelős a szennyező anyagok és aeroszolok függőleges keveredéséért [11][4], ezentúl fontos szerepe van a mozgásmennyiségek kicserélődésében is [6]. A pusztító zivatarok mély konvekciós cirkulációjának is a termikek a lehetnek többek közt a kiváltó okai, cirkulációjának kialakulásában – kedvező meteorológiai körülmények együttes fellépése esetén – a termikek trigger szerepet játszhatnak.

A termik tér- és időbeli eloszlása (erőssége, kiterjedése és időbeli menete) a tapasztalatok szerint nagy területi változékonyságot mutat. Ennek a változékonyságnak az elődleges oka a felszíni inhomogenitásokban keresendő. Ennek vizsgálata jelen munka elsődleges célja.

A cikk első részében ismertetjük a termikus konvekció jelenségét, összefoglaljuk annak elméleti hátterét. Ezt követően a termikek tulajdonságait és az egyes meteorológiai állapotváltozók reá gyakorolt hatását tárgyaljuk a vitorlázórepülőktől származó tapasztalatok alapján. Végül a 2009. évben Szegeden megrendezett Vitorlázórepülő Világbajnokságon végrehajtott repülések repülési adatrögzítőiből származó adatok feldolgozásával Magyarország déli régióinak termikus karakterisztikájára készült becslés kerül bemutatásra.

## II. ELMÉLETI ALAPOK

A következőkben áttekintésre kerül a jelenség elméleti háttere, a kiváltó meteorológiai hatások számbavétele és a meteorológiai jelenségek termikekre gyakorolt hatásának elemzése.

### **Termikus konvekció létrejöttének feltételei**

A termikus konvekció létrejöttében kulcsfontosságú szerepet játszik a felhajtóerő, azaz a nyomási gradiens erő vertikális komponense. Ez az erő akkor képes felfelé irányuló gyorsító hatást kifejteni egy légrézre, ha az a környezeténél kisebb sűrűségű, azaz magasabb hőmérsékletű. Ekkor a nyomási gradiens erő nagyobb lesz, mint a légréz súlya és felfele irányuló gyorsulást

(áramlást) hoz létre. A felszínnel érintkező levegő hőmérsékletének meghatározója elsődlegesen a Naptól érkező energia hasznosulási módja a felszínen.

### Felszíni energiaegyensúly

A Földre közepes Nap- Föld távolság esetén a Naptól a légkör külső határára merőlegesen elektromágneses sugárzás formájában érkező energia teljesítmény fluxusa  $1360 \text{ Wm}^{-2}$ [1]. A melegítő hatás szempontjából a legfontosabb hullámhossz tartomány a  $10^{-8}$  és  $10^{-4}$  m közé eső, tehát az UV-, és látható- (rövidhullámú), valamint közeli infravörös (hosszúhullámú) tartomány. A légkörön áthaladó sugárzás egy része a légkör határán és a felhőkről visszaverődik és jelentős része, elsősorban a sztratoszférában elnyelődik, másik része szóródik, azaz a terjedés irányától eltér. A felszínre közvetlenül vagy szórt sugárzás formájában érkező energia egy része visszaverődik, a többi pedig elnyelődik. A visszaverődés mértéke nagymértékben függ a felszín típusától, hiszen egy sötét, neves, fekete talaj nem veri vissza úgy a bejövő sugárzást, mit egy friss havas felület (lásd 1. táblázat). A különböző felszínek visszaverő képességét, azaz a beérkező és visszavert energia arányát albedónak ( $\alpha$ ) nevezik.

Felület	Albedó ( $\alpha$ )	Felület	Albedó ( $\alpha$ )
sötét, nedves talaj	0,05	beton	0,1–0,35
világos, száraz talaj	0,4	város (középtérték)	0,15
víz (nagy napmagasság esetén)	0,03–0,045	palatető	0,1
víz (kis napmagasság esetén)	0,1–1	cseréptető	0,1–0,35
aszfalt	0,05–0,2	hó (friss)	0,95
gyümölcsös	0,15–0,2	hó (rég)	0,4–0,7
tundra	0,18–0,25	lombos erdő (leveles)	0,2
kukorica	0,24	tűlevelű erdő	0,05–0,15
gabonafélék	0,21	fű	0,2

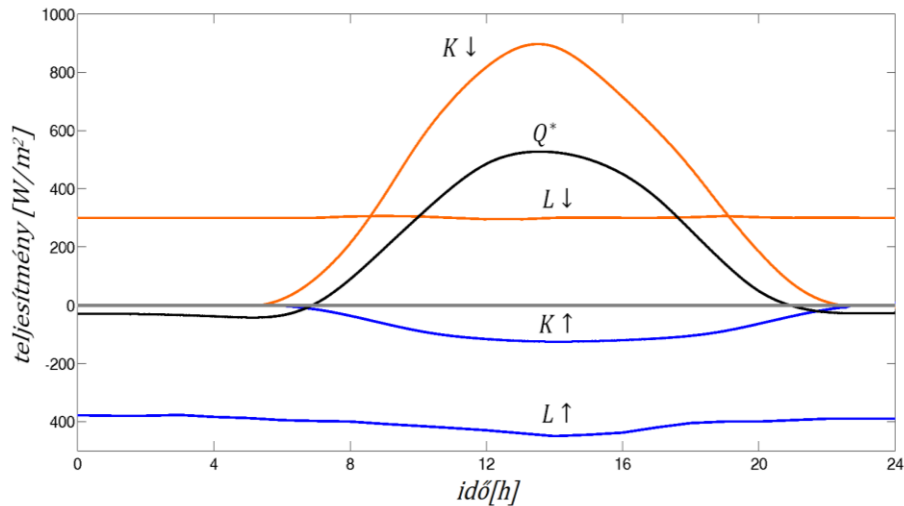
1. táblázat Néhány felszín típus jellemző albedója.

A felszínre közvetlenül érő sugárzás mértéke függ a Nap zenittől vett távolságától ( $\theta$ ), az összefüggés a következő módon adható meg:

$$Q = Q_b \cos \theta \quad (2.1)$$

ahol  $Q$  a felszínen,  $Q_b$  pedig a sugárzás irányára merőleges felületen mért teljesítmény. A Napmagasság napi járásának megfelelően, a talajt érő besugárzás mértékének napi menete az évszaktól függően a maximumát a déli órákban éri el.

Vizsgáljuk meg közelebbről a ciklikusan változó besugárzás által vezérelt energia mérleget a felszínen. Az egyszerűség kedvéért tekintsünk egy vízszintes, homogén és kiterjedt felszín energiamérlegét felhőzet- és ködmentes esetben.



1. ábra A sugárzási mérleg összetevőinek napi menete zavartalan besugárzás esetén.

Megjegyzés: a vízszintes tengelyen az időpontok nem szoláris időben kerültek feltüntetésre

A fenti „ideális” feltételeknek megfelelő hely sugárzási folyamatának összetevőit és azoknak a napi menetét az 1. ábra szemlélteti. A rövidhullámú bejövő sugárzás  $K \downarrow$  a szoláris helyi időben délben éri el maximumát. A felszínről visszavert sugárzás  $K \uparrow$  a beeső  $K \downarrow$  sugárzás mennyiségétől és a felszín albedójától  $\alpha$ -tól függ:  $K \uparrow = \alpha K \downarrow$ , tehát  $K^*$ -ra a következő összefüggés áll fenn:

$$K^* = K \downarrow - K \uparrow = K \downarrow (1 - \alpha) \quad (2.2)$$

A légkör által kisugárzott és felszínre érkező hosszuhullámú sugárzás  $L \downarrow$  a nap folyamán közel állandó, lényegében csak a légkör átlagos hőmérsékletének és a felhőzetnek a függvénye. A felszín által kibocsátott hosszuhullámú  $L \uparrow$  sugárzást a felszíni hőmérséklet és a felszín kibocsátó képessége (emisszivitása) szabályozza. A felszínre vonatkozó hosszuhullámú sugárzási mérleg tehát:

$$L^* = L \downarrow - L \uparrow \quad (2.3)$$

$L^*$  napi menete nem került külön bemutatásra az ábrán, ugyanis értéke rendszerint nullához közeli negatív szám. Ezért általában a rövidhullámú sugárzásnál kisebb mértékben játszik szerepet a termikus konvekció kialakulásában. Így a teljes sugárzási mérleg a talaj felszínén:

$$Q^* = K^* + L^* \quad (2.4)$$

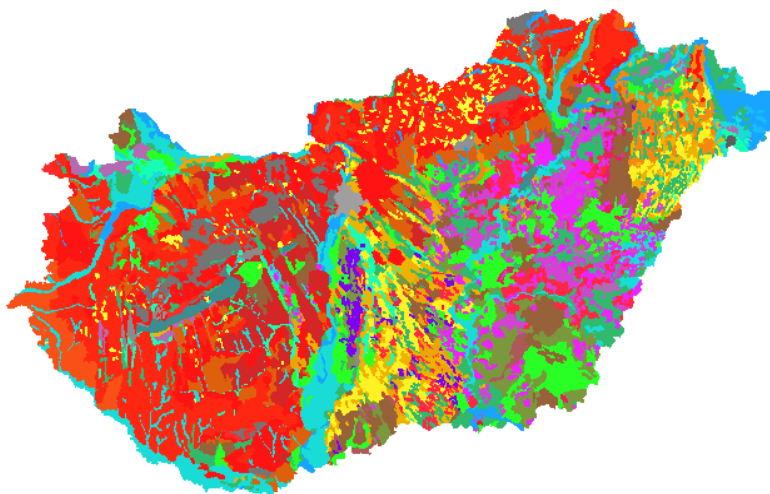
A 1. ábrán látható, hogy  $Q^*$  nem közvetlenül napfelkeltekor vált előjelet, hanem néhány órával az után, hogy a besugárzás megindul a reggeli órákban. Ebből következően a napi minimum hőmérséklet sem akkor következik be, amikor a Nap éppen felkel, hanem egy-két órával később [20]. A napi minimum hőmérséklet beálltának időpontja egyébként nagymértékben függ az évszaktól, a felhőzet mennyiségétől, esetleges köd mértékétől és a talaj tulajdonságaitól. A termikus feláramlások létrejöttéhez a sugárzási egyenlegnek mindenképpen pozitívnak kell lennie, de ez a konvekció megindulásához önmagában még nem elégséges.

### Talajfelszín hatásai

A termikus feláramlások kialakulására igen nagy hatással van az, hogy a bejövő energia milyen



típusú talajfelszínre érkeznek. A talajnak a termikus konvekció létrejötte szempontjából legfontosabb jellemzői: nedvességtartalom, hővezető képesség, érdesség, és albedó. Ezekről a paramétereiktől függ, hogy a bejövő sugárzás energiája mennyire tudja felmelegíteni a felszínt.



2. ábra Magyarország talajtípusai [27]. Az egyes talajokhoz tartozó színek kódok a függelékben találhatóak (A-táblázat)

Az 2. ábra szemlélteti, hazánk talajtípusainak sokféleségét, mely meghatározza az ebből adódó inhomogenitást a termikus karakterisztikák tekintetében is. A termikus konvekció a talajtípuson túl jelentős mértékben függ a talaj nedvességtartalmától. A nedvességnek több olyan tulajdonsága ismert, melyek a termikus konvekció létrejöttének szempontjából igen fontos. Egyik tulajdonsága más természetes anyagokhoz viszonyított kiugró fajhője ( $c_v=4176 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ). Jó hővezető képessége miatt a felszínre érkező energia könnyebben elvezetődik a mélyebb talajrétegek irányába, ami veszteség a felszín melegítése szempontjából. Ezen kívül a párolgáshoz igen sok energiára van szüksége, a víz párolgáshője:  $2257 \text{ kJ kg}^{-1}$ . A víz melegítése és párolgása során felhasznált energia természetesen nem vész el, csak a kötési energiában elrejtődik, ezért a vízgőszállítással a talajfelszínről eltávozó energia áramot látens (azaz rejtett) hőáramnak is nevezzük. Ezzel szemben az energia átvitelnek azt a hányadát, amely a felszín feletti légréteg hőmérsékletének emelésére fordítódik, szenzibilis (azaz érzékelhető) hőáramnak nevezik. Megjegyezzük, hogy fentiekből következik, de a tapasztalat is igazolja, hogy ha a talaj nedvességtartalma nagy és a nap folyamán beérkező sugárzás energiájának a nagy része nedvesség párolgatására fordítódik, akkor ez önmagában elegendő ahhoz, hogy visszafogja, vagy teljes mértékben megakadályozza a termikus konvekció kialakulását [12]. Fontos megemlíteni még a növényzet szerepét. Egyrészt a növények levelei (növénytípustól függően) igen nagy mennyiségű rövidhullámú sugárzást képesek elnyelni és fotoszintézisre fordítani, valamint visszaverni. Itt is fontos megjegyezni, hogy a fotoszintézis során elnyelt energia sem vész el, hanem a növény vázába beépül, és a növény bomlásakor vagy égésével jut vissza ismét a légkörbe. Így vagy úgy, de az energia egy része nem éri el közvetlenül a talajfelszínt. Másrészt pedig a növényzet akár két-háromszor akkora felületen képes párolgattatni a vizet, mint az alatta található talajfelszín kiterjedése, ráadásul gyökereivel a talaj mélyebb rétegeiből képes felszívni a vizet a párolgatáshoz [19].

Talajtípus	Fajhő [MJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Hővezető képesség [W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
száraz homokos talaj	0,8	0,3
nedves (telített) homokos talaj	1,48	2,2
száraz agyagos talaj	0,89	0,25
nedves (telített) agyagos talaj	1,55	1,58
száraz tőzegetes talaj	1,92	0,06
nedves (telített) tőzegetes talaj	3,65	0,5
víz	4,18	0,57
lamináris levegő	1,01	0,025

2. táblázat Talajfajták termális jellemzői összehasonlítva a víz és a száraz levegő jellemzőivel

### Légrétegződés szerepe

A felszínen megjelenő belső energia átalakulását konvektív kinetikus energiává a planetáris határréteg légrétegződése vezérli. A vertikális gyorsító hatást a hidrosztatikus felhajtóerő hozza létre, mely akkor irányul felfelé, ha a termik levegője kisebb sűrűségű a környezeténél. A vertikálisan elmozduló légréteg  $p'$  nyomása folyamatosan változik, amint alacsonyabb nyomású környezetbe kerül, minden szinten megegyezik a környező levegő  $p$  nyomásával. hiszen a légkörben a sztatikus egyensúly állapota uralkodik, a magassággal exponenciális módon csökken a légnyomás. A csökkenő környezeti nyomás hatására az emelkedő termik-levegő kitágul (expandál) és ezáltal mechanikai munkát végez a környezetén. Az ehhez szükséges energiát belső energiájának csökkenése révén képes fedezni, azaz folyamatosan veszít hőmérsékletéből. A vertikálisan felfelé irányuló (felhajtó-) erőhatás addig áll fenn, amíg a fenti folyamat okán bekövetkező hőmérséklet csökkenése nem teszi hűvösebbé, és így módon sűrűbbé a környezeténél [8].

Vizsgáljuk meg először az emelkedő száraz levegő viselkedését termodinamikai szempontból. Kiindulásul vegyük figyelembe a termodinamika I. főtétele, mely a rendszer teljes (mechanikai és termodinamikai) energia megmaradását fejezi ki. Ennek tekintetében megadható egy rendszer belső energiájának megváltozása a rendszerrel közölt  $Q$  hő és a rendszeren végzett  $W$  tárgulási munka ismeretében:

$$Q = dU + W \quad (2.5)$$

A munka felírható a rendszerre ható  $p$  nyomás és a  $dV$  térfogatváltozás szorzataként is:  $W = pdV$ . A térfogatot leosztva a légréteg molekulatömegével specifikus térfogatot kapunk ( $\alpha$ ) így  $W = p d\alpha$ . A belső energiaváltozás a levegőre vonatkozó hőkapacitás, valamint a légréteg hőmérséklet változásának szorzata:  $dU = c_v dT'$ . Megjegyzés: a termik levegő  $T'$  hőmérséklete nem azonos a környező levegő  $T$  hőmérsékletével, ezért a nyomással ellentétben a vesszős jelölést nem lehet elhagyni.

Fentiek figyelembevételével az I. főtétel a következő alakot ölti:

$$Q = c_v dT' + p d\alpha \quad (2.6)$$

Felhasználva az állapotegyenlet ( $p\alpha = RT$ ) deriváltját a lánc szabály alkalmazásával, az összefüggés bal oldalán található második tag, a tágulási munka a következő képen írható fel:  $p d\alpha = -\alpha dp + R dT'$ , ezt visszahelyettesítve a (2.6) egyenletbe:

$$Q = (c_v + R)dT' - \alpha dp \quad (2.7)$$

Jelöljük  $c_p$ -vel a  $(c_v + R)$  összeget, amely nem más, mint az állandó nyomáson vett fajhő, hiszen ha a folyamat során nem változik a nyomás, akkor a közölt hő hatására éppen a  $c_p dT'$  az energia megváltozás mértéke, amely az entalpiaváltozást [1]. A (2.7) egyenlet bal oldalán szereplő második tag felírható a légköri sztatika alapegyenletének a segítségével, mivel a nyomás változás azonos a környezeti nyomás megváltozásával, ami pedig hidrosztatikus egyensúlyban van:  $\alpha dp = -gdz$ . Ezek alapján tehát az a (2.7) egyenlet a következő alakot ölti:

$$Q = c_p dT' + gdz \quad (2.8)$$

Felhasználva azt, hogy a légréz és a környezete közötti hőcsere elhanyagolható és nincs más forrás vagy nyelő tag (adiabatikus feltétel:  $Q = 0$ ), kapjuk:

$$0 = c_p dT' + gdz \quad (2.9)$$

Így az emelkedő légréz hőmérséklet változására vonatkozó összefüggés:

$$\frac{dT'}{dz} = -\frac{g}{c_p} \quad (2.10)$$

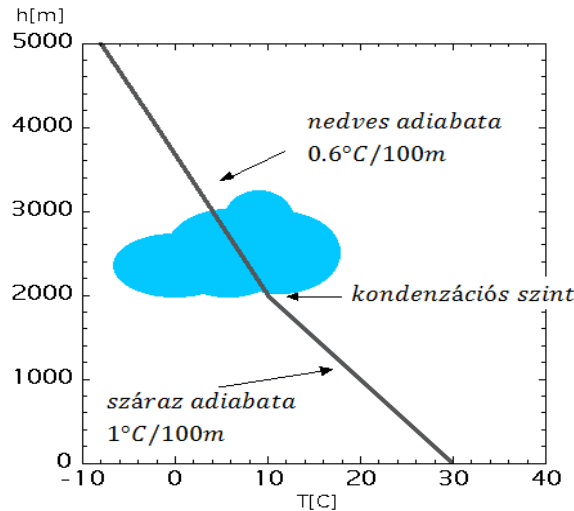
Az (2.10)-es egyenlet bal oldalán szereplő tagot adiabatikus hőmérsékleti gradiensnek nevezük, értéke:

$$\Gamma_d \approx 0.98 \text{ K}/100 \text{ m} \quad (2.11)$$

Megjegyzés: a termikus konvekció vizsgálata során a gradiens értéke alatt mindig annak mínusz egyszerűsítését szokás érteni, tehát a magassággal csökkenő hőmérséklet számít pozitívnak. Szintén megállapodás, hogy a gradiens mértékét  $\text{K}/100 \text{ m}$ -es egységben szokás megadni, ily módon a száraz adiabatikus állapotváltozás esetén közel egységnyi a mértéke.

Fenti összefüggés az emelkedő légréz hőmérséklet változására vonatkozóan csak száraz vagy telítetlen nedves levegő esetén ad megfelelő közelítést. A cumulus felhőzet alapja fölött az adiabatikus feltétel már nem teljesül, melynek oka nem a hőcsere, hanem a kondenzációból származó látens hőfelszabadulás, mely részben fedezi az adiabatikusan expandáló légréz tágulási munkáját. A telített nedvesen emelkedő (felhő-) levegő hőmérsékletváltozásának termodinamikai útját a (pszeudó-) nedves hőmérsékleti gradiens írja le, melynek mértéke függ az emelkedés során kondenzálódó vízmennyiségtől, tehát áttételesen a nyomástól és a hőmérséklettől. Összefoglalásként elmondható, hogy minél alacsonyabb a felhőalap (tehát minél magasabb a nyomás és a hőmérséklet), annál nagyobb az emelkedés során kondenzálódó vízmennyiség, és annál nagyobb mértékű tágulási munkát képes fedezni a látens hőfelszabadulás. Ennek hatására a nedves adiabata kisebb nagyobb mértékben elmarad<sup>6</sup> a száraz adiabata értékétől, száraz levegő esetében kisebb (0,8 körüli érték) nedves levegőben nagyobb mértékben (0,6 körüli érték).

<sup>6</sup> Száraz-hideg levegőben a legkisebb az eltérés, nedves-meleg levegőben a legnagyobb



3. ábra Egy emelkedő légrésezecske útja [26].

Fentiek figyelembevételével, az emelkedő légrészre addig hat pozitív felhajtóerő, amíg a környező levegőre vonatkozó lokális vertikális hőmérsékleti gradiens értéke ( $\gamma = \partial T / \partial z$ ) nem kisebb, az adiabatikusnál. Ez alapján a légrétegződés karakterisztikája lehet stabil, közömbös vagy instabil egyensúlyi állapotú [8]:

$$\begin{aligned} \gamma < \Gamma_a &\rightarrow \text{stabil} \\ \gamma = \Gamma_a &\rightarrow \text{indifferens} \\ \gamma > \Gamma_a &\rightarrow \text{instabil} \end{aligned} \quad (2.12)$$

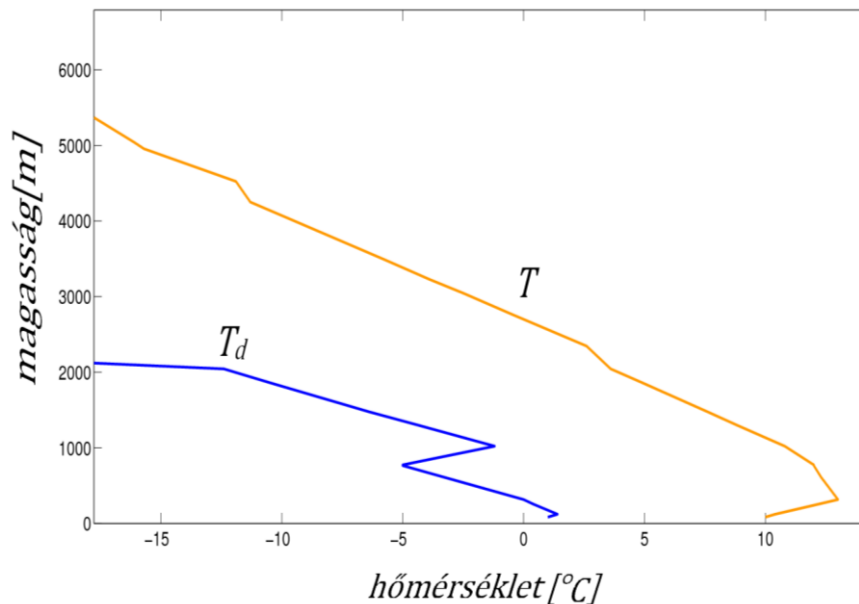
**Stabil** légrétegződés esetén az emelkedő légrész elmozdulása során egyre hidegebb lesz a környezeténél, rá lefelé irányuló sztatikai felhajtóerő hat (pontosabban fogalmazva a súlya nagyobb lesz, mint a nyomási gradiens erő vertikális komponense, mely minden esetben felfelé irányul), ezért függőleges sebessége csökken, majd visszasüllyed kiindulási szintjére. A stabil légrétegződésben lefelé mozgó légrésezecske ezzel szemben nagyobb ütemben melegszik, és ( $T'$ ) hőmérséklete egyre magasabb lesz, mint az őt egyes szinteken körülvevő levegőé ( $T$ ), a felhajtó erő lassítja, majd teljesen lefékezi süllyedő mozgását, majd felfelé visszatéríti a kiindulási szintre. Fentiekből látható, hogy konvekció kialakulásának nem kedvez a stabil légállapot. Ilyen esetben (gravitációs) oszcillációs mozgások jönnek létre mely légköri hullámmozgásokat eredményez.

**Indifferens** rétegződés esetén a vertikálisan elmozduló légrész és környezetének hőmérséklet különbsége nem változik az elmozdulás során, tehát a vertikális áthelyeződés mindaddig változatlanul folytatódik, amíg a körülmények fenn állnak.

**Instabil** vagy labilis légrétegződés esetén nyugalmi helyzetéből vertikálisan kimozdított légrész gyorsulva távolodik egyensúlyi helyzetéből, hiszen emelkedés esetén egyre melegebb, süllyedéskor pedig egyre hidegebb lesz, mint az őt éppen körülvevő levegő. Ez a helyzet csak időlegesen és csak korlátozott kiterjedésben állhat fenn.

A légrétegződésre vonatkozóan információt elsősorban direkt méréssel szerezhetünk. Ezeket a méréseket hidrogénnel töltött léggömbökre erősített, hőmérséklet, nedvesség és légnyomás detektálására alkalmas berendezésekkel, úgynevezett időjárás szondákkal lehet elvégezni. Ezeket

az észleléseket a Föld számos pontján bizonyos rendszerességgel (12 illetve 24 óránként) végrehajtott felszállások formájában végzik. Az így nyert információ alkalmas arra, hogy tudomást szerezzünk a légkör adott területén a pillanatnyilag uralkodó légállapotról, de tekintve azt, hogy a mérések bonyolultak és költségesek, térben és időben csak viszonylag ritkán állnak rendelkezésre (4. ábra).



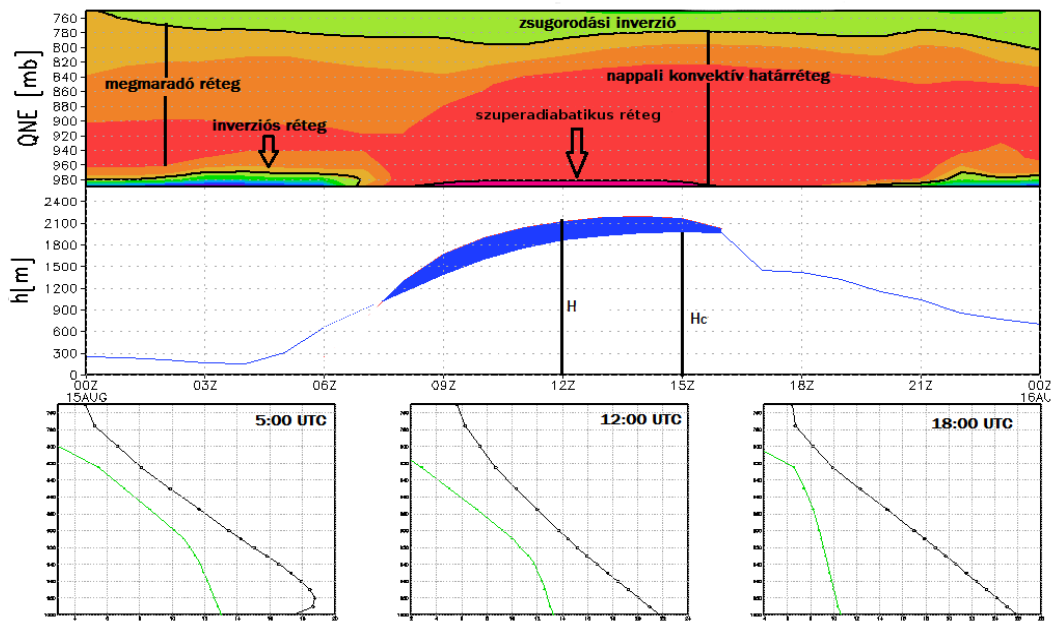
4. ábra Egy ballonszondás felszállás alkalmával<sup>7</sup> mért hőmérsékleti ( $T$ ) és a harmatpont ( $T_d$ ) profil

A légrétegződés jellegzetes magassági menetét bemutató ábrán látható, hogy a talajfelszín közelében az éjszakai órákban a talaj hűtő hatására egy fordított (inverziós) hőmérsékleti menetű réteg alakul ki. Ez az úgynevezett éjszakai inverzió rendkívül stabil légállapotú, melynek feloszlásáig konvekció nem tud kialakulni. A feloszlás a nappali órákban a talaj melegedésével következik be. A talajinverzió kialakulását az éjszakai órákban végbemenő sugárzási folyamatok vezérlik, mely a felszíni karakterisztikáktól nagymértékben függ.

A meteorológiai modellek ma már kellő pontossággal adnak információt a légállapotról a meteorológiai szonda felszállásoktól távoli területekre vonatkozóan akár a szonda kibocsátásának időpontját követő 12–24 órában is. Ennek segítségével lehetőségünk van modell adatok alapján vizsgálni a konvekció kialakulásához szükséges légrétegződés fejlődését (5. ábra)

<sup>7</sup> 2009 augusztus 28 00UTC Szeged





5. ábra A konvektív határréteg, és a felhőzet fejlődése egy nap folyamán. H a konvekciós szint (felhőtető),  $H_c$  pedig a kondenzációs szint (felhőalap) magassága. (2009. 08. 15) a WRF időjárás modellel adatai alapján.

A reggeli órákban bekövetkező sugárzási egyenleg előjel váltásakor meginduló talajközeli melegedés hatására a talajinverzió alulról feloszlik, és a teljes réteg átmelegedéséhez szükséges energiamennyiség bevétele követően a felszínközeli hőmérséklet ( $T_2$ ) eléri azt az értéket, mely a konvekció beindulásához szükséges (termikkiváltó- azaz trigger-hőmérséklet). A jellegzetes napi menet szerint, egy derült nyári napon a minimum hőmérséklet elérése, és a sugárzási kényszer előjel váltása a napkeltét követő 2–3 órán belül következik be, míg a trigger hőmérsékletet általában a késő délelőtti vagy kora délutáni időpontban (helyi időben 11 és 13 óra között) éri el a  $T_2$  [11]. Egyes esetekben megfigyelhető, hogy már reggel 9 óra előtt beindul a konvektív aktivitás, máskor még derült, felhőmentes esetben sem keletkeznek termikek, csak a napi maximumhőmérséklet idején, délután 2–3 óra körül. A talajinverzió feloszlására a szakzsargon szemléletesen úgy hivatkozik, hogy az állapotgörbe „kirúgja” magát. Ezt a folyamatot az 5. ábra felső része, illetve az alsó „virtuális szonda” állapotgörbék szemléltetik modell adatok alapján.

A nappali konvektív határréteg összeomlását követően, a határrétegből létrejött ún. **megmaradó réteget** (melyet a felszínről az inverziós réteg leválaszt és a zsugorodási inverzió alatt található, és amely egészen a következő napi konvektív aktivitás kezdetéig fennmarad, ha a légoszlop stabilitását az advekció<sup>8</sup> jelentősen nem befolyásolja), közel indifferens légállapot jellemzi. Ennek a rétegnek az átlagos lokális hőmérsékleti gradiense és vastagsága meghatározó az elkövetkező napi várható konvekcióra vonatkozóan. Minél közelebb van a lokális gradiens az adiabatikushoz, annál kevesebb energia kell annak aktiválásához, illetve annál aktívabb lesz a konvekció azonos energiabevitel (besugárzás) esetén [12].

A konvekciónak, függőleges irányban, gyakran a **zsugorodási inverzió** szab határt, mely általában egy stabil légállapotú réteg, amely akár inverziós hőmérsékleti menetet is felvehet. Ennek a

<sup>8</sup> Vízszintes irányú légmozgás

stabil rétegnek a létrejötte oka az anticiklon cirkulációs rendszerében jellemző ereszkedő légmozgás következtében végbemenő melegedés: a felső troposzférából leszüremkedő légtömeg adiabatikus kompressziós melegedése folytán magasabb (potenciális) hőmérsékletre tesz szert, mint a konvektív határreteg alulról emelkedő (és adiabatikus expanzióval hűlő) légrésezecskéi. Ez a melegebb levegő „rárétegződik” a planetáris határretegre, és stabilitásával lezárja a további vertikális mozgásokat. Ezt a magassági szintet, mely a felszínről eredő, (sekély-) konvekció vertikális kiterjedését megszabja, **konvekciós szintnek** nevezik. A zsugorodási inverzió gyengülése, vagy megszűnése az anticiklon öregedésével és fokozatos leépülésével összekapcsolódó folyamat. Ebben a fázisában az anticiklonnak a termikék függőleges kiterjedésének már semmi nem szab gátat, és akár – megfelelő feltételek esetén – a troposzféra teljes vastagságára kiterjedő (mély-) konvekció lép fel, ami pusztító zivatarokkal is együtt járhat.

A konvekciós szint magassága egy derült nyári napon a Kárpát-medencében általában 1700–2500 m [1] között alakul, de anticiklon fennállásának esetén, ahol a zsugorodási inverzió nagyon erős, gyakran „lenyomódik” 1000 m-ig, vagy akár az alá is. Aszályos években azonban nem ritka a 3500 m fölötti száraz termikes konvekciós szint sem.

Amennyiben a nappali felmelegedés nem elég erős (felhőzet árnyékoló hatása vagy valamely advektív hatás következtében) a konvekciós szint magassága nem feltétlenül éri el az inverziós szintet. A napi menetet illetően, a trigger hőmérséklet elérését követően a konvekciós szint „bele robban” az előző napról megmaradó határretegbe, majd a hőmérséklet további lassú növekedésével általában lassan tovább emelkedik a  $T_2$ , és ezzel együtt a felhőalap. A CU szint napi menete jellemzően néhány száz méter, de egyes esetekben, amikor például légtömeg csere zajlik, akár 1000 m-t meghaladó felhőalap növekedés is megfigyelhető egy délután leforgása alatt.

Míg a termik aktivitás kezdeti időpontja viszonylag könnyen meghatározható a trigger hőmérséklet és a  $T_2$  előrejelzett napi menetének ismeretében, a konvekció végének időpontjára vonatkozóan sokkal nehezebb becsléseket szolgáltatni. Az elméleti alapokból következően a felszíni energia mérleg negatív előjelűvé válásakor ugyanis elvileg megszűnik az energia utánpótlás, mely a konvekciót fenntartja, mégis, a tapasztalatok szerint nem a felszíni hőmérséklet napi maximum elérésének idején ér véget a termik aktivitás, hanem jóval később. A termik aktivitás vége sokszor órákkal a délutáni csúcshőmérsékleteket követően, sőt egyes esetekben a napnyugta környékén következik be. Ezt sok száz késődélután végződő sikeres vitorlázórepülés is igazolja [9][10].

### III. TERMIKIUS KARAKTERISZTIKÁK MEGHATÁROZÁSA REPÜLÉSI ADATRÖGZÍTŐK ALAPJÁN

A termikus konvekciót, mint azt az előző fejezetekben is láttuk, igen nagymértékben befolyásolja a felszín, amit a modellek nem tudnak kellő mértékben reprezentálni. Ezen téren még igen nagy lehetőség van a további fejlesztésekre. A termikus feláramlások vizsgálatának egy másik lehetséges módját a sportrepülés elterjedése tette lehetővé. Ugyanis azok a repülő eszközök, amelyek ezt a jelenséget felhasználják, közvetlen megfigyelést (lényegében megannyi „termikdetektálást”) tesznek lehetővé. Korábban a vitorlázó repülőgépek magasság-író berendezései által rögzített barogramok kiértékelésével nyílt lehetőség a repülésekből származó információk



számszerű vizsgálatára. Az ilyen berendezések által rögzített grafikon a légnyomást regisztrálta az idő függvényében. A repülés során folyamatosan változó magasság együtt járt a légnyomás változásával, az emelkedési szakaszok során rögzített görbékből következtetni lehetett a feláramlási sebességre. Az ilyen adatrögzítők hazai feldolgozását elsőként Szalma János és munkatársai végezték el 1957-ben, az 1956 augusztus 1–19-es időszakból származó barogrammok kiértékelését hajtották végre [5]. A feldolgozás során meghatározták az egyes napokra a termikus feláramlások erősségének napi menetét.

A következő ilyen jellegű vizsgálatot Ruzsiczky Pál végezte 1990-ben, az 1981–1983-ban megrendezett vitorlázórepülő versenyekről származó barografikus információkat dolgozta fel statisztikai módszerekkel [7]. Az eredmény ebben az esetben is a termikus konvekció karakterisztikáinak a meghatározása volt.

Számos külföldi kísérlet is napvilágot látott az elmúlt néhány évben, amelyek szintén a termikus feláramlások karakterisztikáját hivatottak meghatározni a vitorlázópilóták számára [24][25]. Ezen térképek közül van, amelyik kizárólag empirikus alapon nyugszik, míg más módszerek figyelembe veszik a talaj tulajdonságait is.

A technika rohamos fejlődésével és a GPS elterjedésével lehetővé vált a sportrepülő eszközök számára, hogy ne csupán a magasságuk kerüljön rögzítésre az idő függvényében, hanem időkoordinátáik mellett a repülési pálya pontjaihoz tartozó földrajzi és magassági adatok is másodperc nagyságrendű rögzítési gyakorisággal. Írásunkban beszámolunk a GPS-rögzítőkből származó adatok statisztikai módszer segítségével történő feldolgozásával Magyarország déli régióinak termikus sajátosságairól szóló kiértékeléséről.

### Adatok feldolgozása

Az egyes vitorlázó repülőgépek napi trajektóriája (útvonala) GPS pozíció és barometrikus magassági adatok rögzítésével kerül eltárolásra adatbázisban. Az adatbázis fejléce tartalmazza az adott repülőgép, a repülés és pilóta adatait (dátum, név, típus stb.). A fájlok további rekordjai a repülőgép tér és időbeli helyzetét rögzítik (a rögzítés időbeli gyakorisága az adatrögzítőben állítható, a legtöbb adatrögzítőre a 8–12 másodperces rögzítési gyakoriság jellemző). Azok a sorok, amelyek a repülőgép helyzetét és az ehhez tartozó időpontot rögzítik a következő képen néznek ki:

```
B1124324621599N01950780EA0096501008  
B1124404621545N01950910EA0097901024  
B1124484621485N01950754EA0099501040  
B1124564621546N01950844EA0102001066  
B1125044621419N01950822EA0103301078  
B1125124621484N01950734EA0104601094  
B1125204621431N01950876EA0105701106
```

3. táblázat A GPS-adatbázis részlete

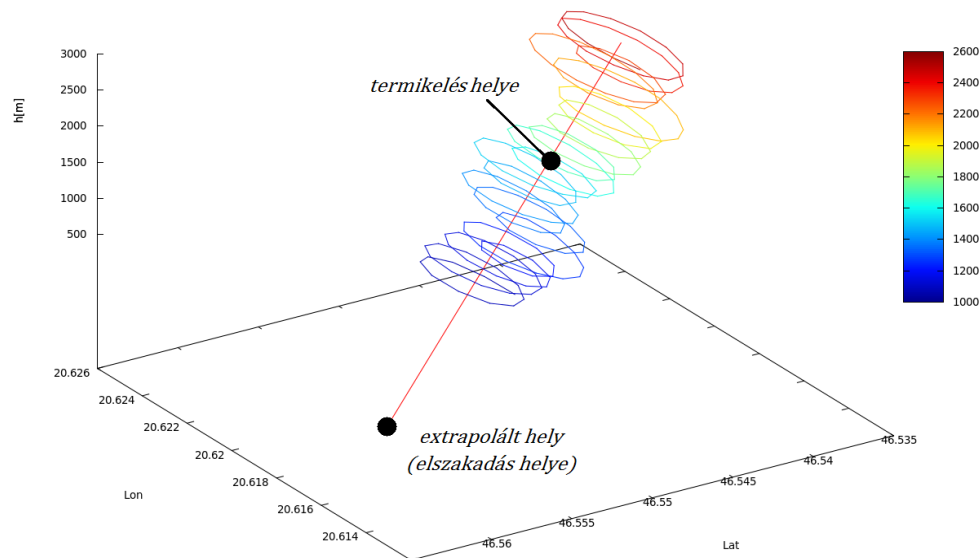
Az egyes sorok a következő tagokra bonthatók fel (első sor): **B 112432 4621599N 01950780E A 00965 01008**, és az egyes tagok a következőket jelentik:

- **B:** a B-vel kezdődő rekordok tartalmazzák a tér és idő koordinátákat
- **112432:** időpont, 11:24:32

- **4621599N**: 46 fok 21,599 perc északi szélesség
- **01950780E**: 19 fok 5,0780 perc keleti hosszúság
- **A**: a rekordnak van érvényes magasság értéke
- **00965**: légnyomásból meghatározott magasság 965 m
- **01008**: GPS-által meghatározott magasság 1008 m

A felhasznált fájlok a Szegeden, 2009 nyarán megrendezett Vitorlázó Világbajnokságon résztvevő repülőgépek adatrögzítőiből származnak<sup>9</sup>. A két hétig tartó versenyről összesen 2027 db állomány áll rendelkezésre, ez közel 8,5 millió helyrögzítési pontot jelent. Ennek a hatalmas adatmennyiségnek a feldolgozása egy Perl nyelven megírt programmal<sup>10</sup> történt, amibe kisebb módosítások kerültek bele. Az eredeti program futtatása során képes meghatározni a repülés során végrehajtott emelkedések földrajzi helyét, az emelkedések kezdeti magasságát, a magasságyerés nagyságát, a köröző repülés során végrehajtott körök számát, a feláramlásban eltöltött időt és időpontját.

A program továbbfejlesztésre került a magasság és a felszállás helyétől vett távolság hányadosának, az úgynevezett siklószám meghatározásának lehetőségével, mellyel kiszűrhetőek a vizsgálat szempontjából irreleváns adatok. Továbbá miután e program a földrajzi helyre vonatkozóan csupán az emelkedés megkezdésének helyét volt képes megadni, de nem volt alkalmas arra, hogy a termik „gyökerét”, azaz azt a földrajzi pontot lokalizálja, ahonnan a feláramlás elszakadt, ezért szükséges volt a termiket a földfelszín közelébe extrapolálni, ezzel pontosítva a későbbi feldolgozást (6. ábra).



6. ábra Egy példa a repülési pálya extrapolációjával kapott trigger pont (termik kiváltó hely) meghatározására.

Példa a továbbfejlesztett szoftver kimenet egy részletére:

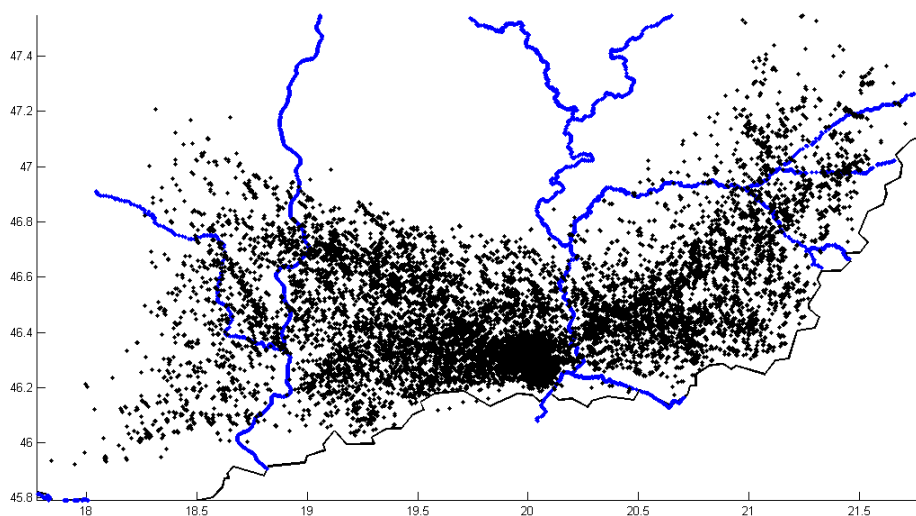
<sup>9</sup>5. Női Vitorlázó Világbajnokság, valamint az azt követő általános Világbajnokság előkészítő versenyén, a 4. Flatland Cup nemzetközi vitorlázó bajnokság során, Szeged térségében valamint a Dél-Alföldön 2009. július 24. és augusztus 22. között keletkezett repülési adatrögzítőkből származó információk.

<sup>10</sup>Az eredeti nyílt forráskódú, GPLIGC nevű szoftver termik feldolgozó szkriptjét a fejlesztő, Hannes Krueger hozzájárulásával jelen mű szerzői módosították és alakították a vizsgálat céljainak megfelelően.

$\varphi$	$\lambda$	$w$	$h$	$\Delta h$	$n$	$\Delta t$	$t$	$d$	$\epsilon$
46,34752	19,96695	0,27	2128	88	12	332	11,824	14,96	7,03
46,30737	20,01467	0,38	2190	76	7	200	11,920	9,15	4,18
46,45913	19,55563	1,66	1354	325	8	196	12,320	48,60	35,89
46,48702	19,81993	1,77	1060	615	15	348	12,562	34,80	32,83
46,42717	20,04832	2,46	1427	413	7	168	12,727	20,74	14,54
46,39895	20,66107	1,48	1326	148	4	100	13,113	46,76	35,26
46,38845	20,67924	2,19	1587	184	4	84	13,147	47,41	29,88
46,41949	21,05744	3,34	1603	561	7	168	13,408	76,01	47,42

4. táblázat  $\varphi$ [decimális fok]: északi szélesség (extrapolált),  $\lambda$ [decimális fok]: keleti hosszúság (extrapolált),  $w$ [ $\text{ms}^{-1}$ ]: feláramlás erőssége,  $h$ [m]: termikfogás magassága,  $\Delta h$ [m]: termikkel nyert magasság,  $n$ [db]: termikben megtett körök száma,  $\Delta t$ [s]: termikben eltöltött idő,  $t$ [tized óra]: termikelés időpontja,  $d$ [km] termik távolsága a starthelytől,  $\epsilon$ : siklószám

Ezekből az adatokból a későbbi becslés számára hasznos információk: helykoordináta, és az ezekhez rendelt időpont, valamint a feláramlás erőssége. Tehát, minden egyes  $w$  értékhez hozzá rendelhető egy-egy  $x, y, t$  tér-idő koordináta. Ezekből a  $w(x, y, t)$  pontokból, körülbelül 25000 feláramlást tartalmazó adatbázis generáltunk (7. ábra), amelynek további feldolgozásához az előző mintájára Perl nyelven írt saját fejlesztésű programok kerültek alkalmazásra.



7. ábra feláramlások elhelyezkedése

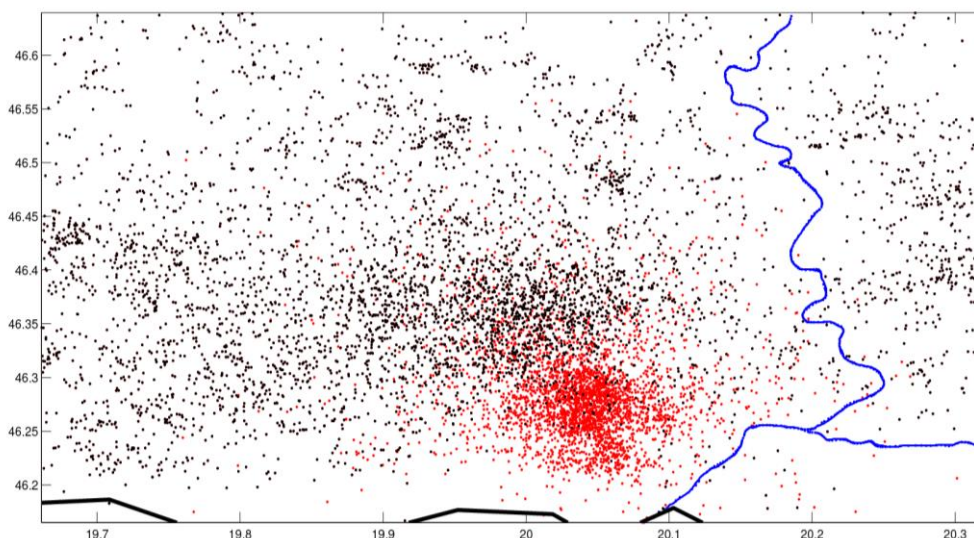
## Pontok leválogatása

Mint az a 7. ábrán is látható, a feláramlási zónák a kiindulási repülőtér, LHUD Szeged környékén igen sűrűn helyezkednek el. Azonban itt nagy számban találhatóak a vizsgálatunk szempontjából irreleváns adatok („helyezés”, azaz a feladatra indulás előtti, kis hatékonyságú várakozás, időtöltés a levegőben), melyeket valamilyen módon ki kell szűrni az adatbázisból.

A pontok kiválogatása, szűrése azért szükséges, mivel a későbbi becslés során torzíthatják az eredményt. A leválogatás siklószám ( $\epsilon$ ) és időpont ( $t$ ) alapján történt, a módszernél azt kötöttük ki, hogy az adott termikhez tartozó siklószám és időpont értéke külön-külön legyen nagyobb egy



bizonyos  $\epsilon$  és  $t$  értéknél. Ha a repülőgép elegendően távol és magasan jár a repülőtértől, de mégis  $t$  időpontot megelőző időben, akkor a siklószám elegendően nagy lesz ahhoz, hogy ne kerüljön leválogatásra, ha viszont a starthely közelében van, de már tényleges távrepülésen, akkor a siklószám ugyan kicsi lesz, de az időpont feltétel miatt nem kerül leválogatásra. Így a leválogatás után körülbelül 20000 pont maradt meg az eredeti, körülbelül 25000 pontból.



8. ábra Leválogatott pontok (piros pontok)

## Pontok normálása

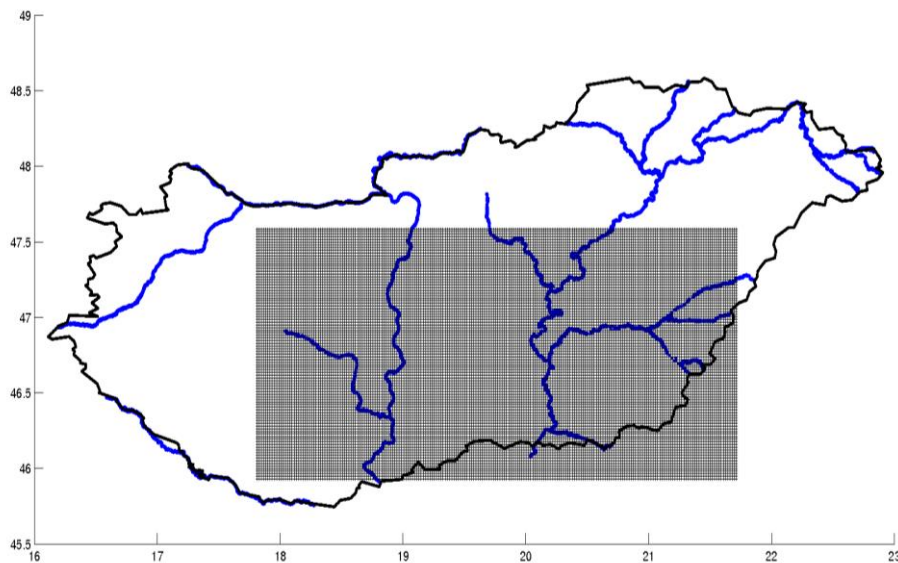
A termikus aktivitás erősségét egy-egy nap folyamán, ahogyan az az előző fejezetben is látható volt, periodikus kényszerek alakítják. Ez a napi kényszer változik az egyes évek, évszakok, de még a különböző napok során is, hiszen a kényszerek szempontjából sincs két egyforma év vagy nap (aszályos évek időjárása teljesen más, mint a csapadékos éveké a termikus aktivitás szempontjából). A termikus feláramlás nem úgy zajlik le egy tavaszi napon, mint ahogyan egy nyári vagy egy őszi napon, de még két egymást követő napon sem ugyanaz a feláramlás napi menete, maximális erőssége vagy periódusa.

Ezért a különböző napokat valamilyen módon összehasonlíthatóvá kívántuk tenni, hogy a napok közötti változékonyság ne okozzon torzítást a területi eloszlásban: ha egyik nap gyengébb időjárásban repült a mezőny (pl.: a felhőzet mennyisége miatt gyengébb sugárzási kényszer miatt), attól még nem kell gyengébbnek tekinteni azt a területet, mely fölött a repülés zajlott ahhoz képest, amely fölött egy erősebb napon történtek a repülések.

A normálást oly módon végeztük, hogy minden repülőgép útvonala során érintett feláramlások vertikális sebessége leosztásra került a legerősebb feláramlás sebességével, amelyet a pilóta érintett. Így nem csak a különböző napok, hanem a különböző repülőgéptípusok által tapasztalt értékek is összehasonlíthatóak. Ezzel az eljárással a normált  $w$  értékek 1 és 0 közötti értékeket vesznek fel. A másik lehetőség ugyanezen a módszeren alapul, csak a maximális érték helyett az útvonalra jellemző átlagos  $w$  értékkel történik az osztás, így az értékek az útvonalakra jellemző átlag körül oszlanak el. Bármely eljárást követően a normált vertikális sebességek területi eloszlása csupán a felszíni inhomogenitásból származik.

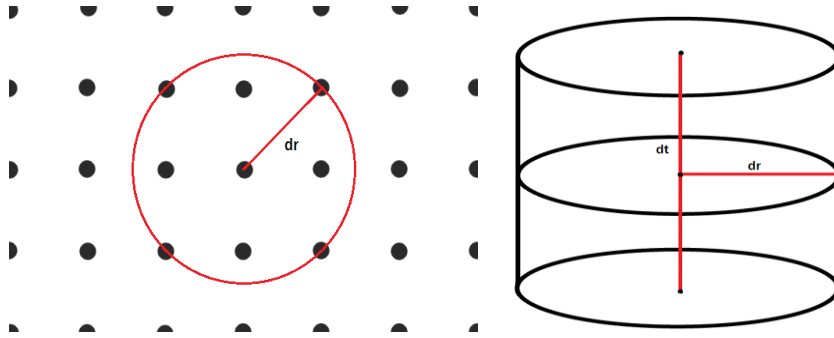
## Diszkrétizáció, rácspont körüli pontok meghatározása

A termikus karakterisztikák eloszlását a területet lefedő diszkrét rács egyes pontjaira határoztuk meg (9. ábra). A rácshálózat térbeli felbontását 2 km értékűnek választottuk, mely biztosítja, hogy kellően finom képet kapjunk a felszíni inhomogenitás hatásáról, de még elegendő számú adattal becsülhessünk minden pontra vonatkozó értéket. Az időbeli felbontást UTC 10:00 és 18:00 óra között 60 perces lépésközzel adtuk meg. Dél előtt 10 óra előtti időpontból is meglehetősen sok adat állt rendelkezésre, azonban ezek nagy része kiszűrésre került az előzőekben vázolt feltételrendszer alapján. A 18 óra utáni adatok már szintén nem reprezentálják a termikus viszonyokat kellőképpen, hiszen ekkor már mezőny nagy része leszállt, vagy a leszállás előtti fázisban tartózkodott.



9. ábra 2 km felbontású térbeli diszkrét rács elhelyezkedése: 220 x 95 rácspont, mely lefedi a repülések során tapasztalt feláramlások területét

Egy adott rácspontra vonatkozó statisztikai becslés esetében azon  $w(x, y, t)$  adatokat vettük figyelembe a nap egy időpontjára vonatkozóan, melyek a pont  $dr$  sugarú környezetében, és az adott időpont körüli  $dt$  hosszúságú időtartamból származik. Az  $x, y, t$  térben ezek a tartományok egy-egy  $dr$  sugarú és  $dt$  magasságú hangerként képzelhetőek el, melyek közepén a rácspont illetve az időpont koordinátái állnak (10. ábra bal oldali panel). A  $dr$  távolság a rácspontok közötti átló nagysága (10. ábra jobb oldali panel). Így a rácspontok köré rajzolt körök kissé fedésbe kerültek, ha a  $dr$ -t ennél kisebbre választjuk, előfordulhat, hogy maradnak felületek, amik a körön kívül esnek, azonban, ha ennél nagyobb, akkor olyan pontok is belekerülhetnek a hengerbe, amelyek nagyon messze esnek a rácsponttól.



10. ábra Rácspont körüli  $dr$  sugarú kör és tér-idő henger

A számítások során egy mátrixba kerültek azon pontok, amelyek a hengeren belülré estek. A tér és időbeli rácspontok száma a 8 idő intervallummal és  $220 \times 95$  térbeli rácsponttal, összesen  $8 \times 20900$ , azaz 167200 elemű tömb, aminek egyes pontjai meghatározására a hengeren belüli adatokat vettük figyelembe a következő módon.

### Becslés

A termikus feláramlások erőssége adott pontban és helyen felírható egy elméleti  $f(x, y, t)$  eloszlás függvény és egy  $z(x, y, t)$  zajfüggvény összegeként. A  $z(x, y, t)$  zajfüggvény reprezentálja a pilóták és a repülőgépek közötti különbségekből származó hibát, azt, hogy az egyes pilóták nem mind egyformán képesek kihasználni a feláramlásokat, valamint hogy a feláramlások időbeli periodikusságát milyen szerencséivel találták el a versenyzők. Tehát:

$$w(x, y, t) = f(x, y, t) + z(x, y, t) \quad (3.1)$$

Az  $f(x, y, t)$  függvény, ami leírja a területi és az időbeli változásokat felbontható időbeli és térbeli, normális eloszlású tagra: azaz egy egydimenziós időbeli és egy kétdimenziós térbeli függvényre. Így a  $j$ -edik rácspontra a következő statisztikai módszerrel történik a becslés:

$$\bar{w}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \exp\left(-b \frac{r_{ij}}{dr}\right) \exp(-h|t_{ij}|) w_i \quad (3.2)$$

ahol:

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3.3)$$

azaz, a két pont távolsága és:

$$t_{ij} = t_j - t_i \quad (3.4)$$

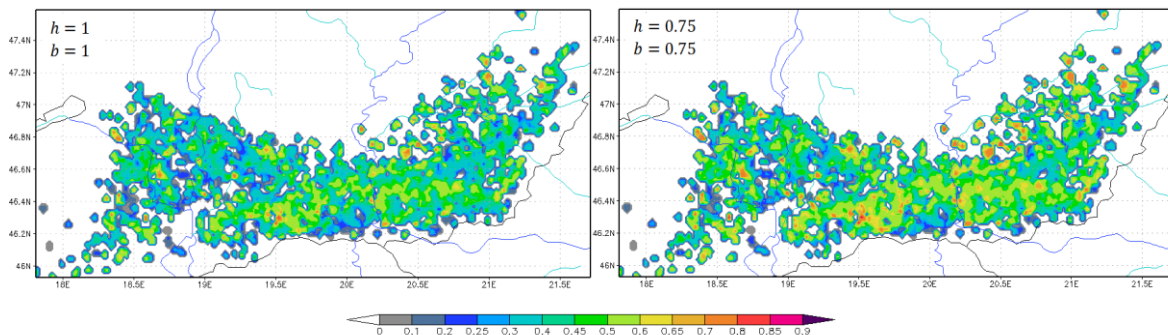
Az  $i$  indexszel jelölt értékek az egyes feláramlásokhoz tartozó tér és időkoordináták, azok a pontok melyek a rácspont körül találhatóak, a  $j$  indexszel jelöltek pedig a rácspontokhoz tartozó koordináták, így az (3.2)-es egyenlet értelmében minden egyes rácspontra meghatározható egy várható érték a rácspont körüli pontok alapján. Azokat a mért pontokat, amelyek közelebb esnek a rácspontokhoz mind térben mind időben azokat a módszer nagyobb súllyal veszi figyelembe, mint a távolabb lévőket. Azt hogy melyik pont mekkora súllyal legyen figyelembe véve, a  $h$  és  $b$  paraméterekkel szabályozható.

## Eredmények

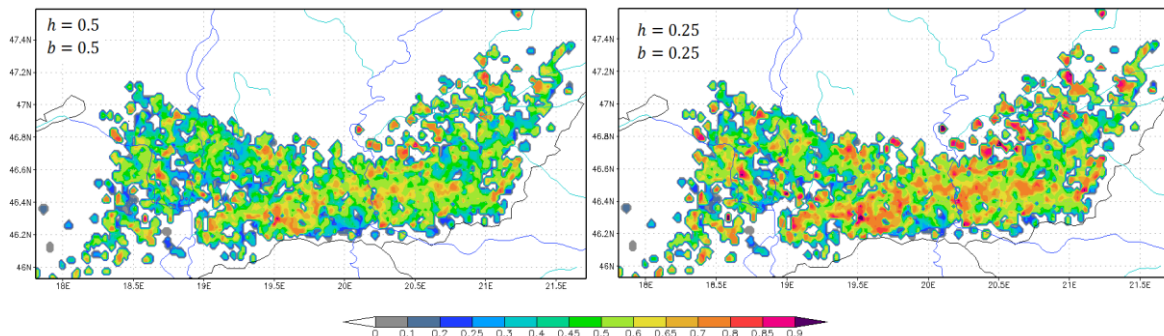
Egy futtatás az előző fejezetekben említett rács és időpontok számával, valamint a rendelkezésre álló adatmennyiséggel jellemzően egy-másfél órát vett igénybe a DELL T610 Power Edge számító szerveren.

### Térbeli menetek

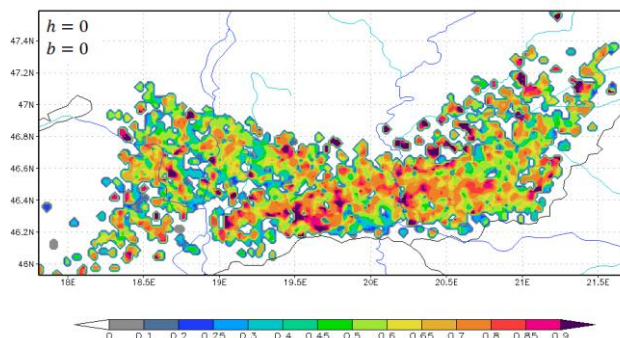
A becslés paraméter megválasztása függvényében a területjellegéről kapott kép változik (11/a, b, c. ábra):  $h$ -val és  $b$ -vel minél inkább nullához tartva egyre nagyobb súllyal vesszük figyelembe a távolabbi pontokat, és fordítva.



11/a. ábra 13:30-hoz tartozó feláramlás erősség térképek különböző  $h$  és  $b$  paraméterek alkalmazásával



11/b. ábra 13:30-hoz tartozó feláramlás erősség térképek különböző  $h$  és  $b$  paraméterek alkalmazásával



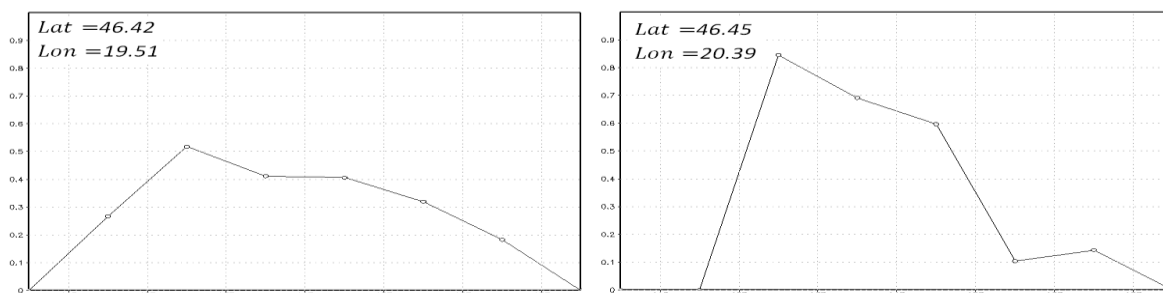
11/c. ábra 13:30-hoz tartozó feláramlás erősség térképek különböző  $h$  és  $b$  paraméterek alkalmazásával

A terület szélein, valamint az egyes különálló pontok környezetében nagy hibák adódhatnak. Ugyanis ezek a területek nem rendelkeznek olyan jó lefedettséggel, mint a Duna-Tisza köze, vagy a Tiszántúl nyugati, illetve déli része.

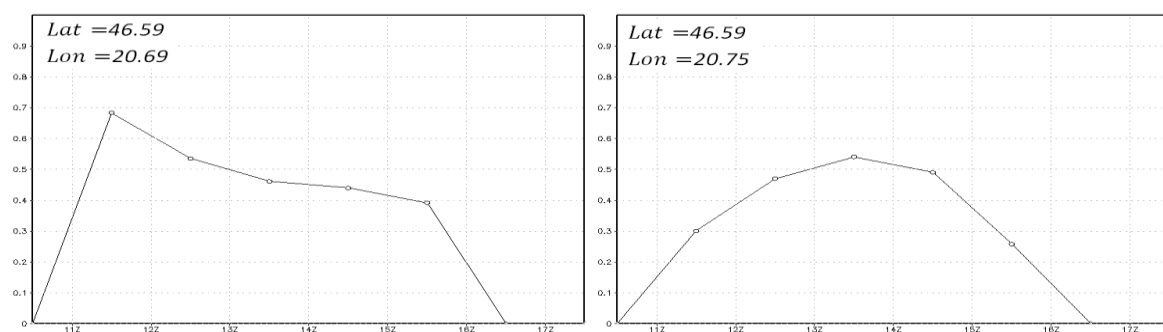


## Időbeli menetek

A módszerrel nem csupán a térbeli, hanem az egyes rácspontokra jellemző időbeli menet is meghatározható, így összehasonlíthatóvá válnak az egyes rácstartományokra jellemző napi menetek (maximális erősség, hullámhossz).



12/a. ábra Termikék erősségének időbeli menete különböző helyeken ( $h=0,5$ ;  $b=0,5$ )



12/b. ábra Termikék erősségének időbeli menete különböző helyeken ( $h=0,5$ ;  $b=0,5$ )

## IV. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS TOVÁBBI TERVEK

Kialakításra került egy informatikai rendszer, mely vitorlázó repülési rögzítő adataiból képes generálni a területre vonatkozó termikus sajátosságok tér-időbeli eloszlását. A rendszert a 2009.-i vitorlázórepülő VB adatain teszteltük, elvégeztük a statisztikai módszer érzékenységvizsgálatát és bemutattuk az első eredmények diszkusszióját. A közeljövő feladata lesz a módszer kiterjesztése bővebb adatbázisra, és a teljes országot lefedő, időpont függő eloszlási térkép létrehozása. A termikus karakterisztikák eloszlás térképének felhasználásával kísérletet teszünk a WRF időjárás előrejelző modell napi termik előrejelzési algoritmusának fejlesztésére is. A módszer iránt nemzetközi érdeklődés jelentkezett, ezért megvizsgáljuk annak kiterjesztési lehetőségét Európa és a Világ más vitorlázórepülő terepeire is. Eredményeinkről – terveink szerint még ebben az évben – a hazai meteorológiai szaksajtó és nemzetközi, vitorlázórepülő és siklóernyős fórumokon adunk számot.

### Köszönetnyilvánítás

A vizsgálatokhoz szükséges számításokat a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2-11-0001 "Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások" pályázat "Adatintegráció" alprogram "A pilóta nélküli repülő eszközök komplex meteorológiai támogatásának kidolgozása" Kiemelt Kutatási Terület (KKT) számítógépen kerültek integrálásra. Illetve szeretnénk köszönetet mondani Matyasovszky Istvánnak a statisztikai modell kidolgozásában nyújtott segítségével.



	Víz
	Köves és földes kopárok
	Kovaványos barna erdőtalajok
	Csernozjom-barna erdőtalajok
	Csernozjom jellegű honoktalajok
	Mészlepedékes csernozjomok
	Alföldi mészlepedékes csernozjomok
	Mélyben sós alföldi mészlepedékes csernozjomok
	Réti csernozjomok
	Mélyben sós réti csernozjomok
	Mélyben szolonyeces réti csernozjomok
	Terasz csernozjomok
	Futóhomok
	Szolonycsák-szolonyecek
	Réti szolonyecek
	Sztyeppesedő réti szolonyecek
	Szolonyeces réti talajok
	Réti talajok
	Réti öntéstalajok
	Lápos réti talajok
	Síkláp talajok
	Lecsapolt és telkesített síkláp talajok
	Hunuszos honok talajok
	Mocsári erdők talajai
	Fiatál, nyers öntéstalajok
	Rendzina talajok
	Erubáz talajok, nyiroktalajok
	Savanyú, nem podzolos barna erdőtalajok
	Agyagbemosódásos barna erdőtalajok
	Pszudoglejes barna erdőtalajok
	Ranann-féle barna erdőtalajok

A-táblázat. Magyarországi talajtípusok

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] CZELNAI Rudolf - GÖTZ Gusztáv - IVÁNYI Zsuzsanna: Bevezetés a Meteorológiába I-III, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
- [2] TARDOS Béla: Sportrepülőknél a Légtérrel, Magyar Repülő Szövetség, Budapest, 1955.
- [3] UNGER János - SÜMEGHY Zoltán: Környezeti Klimalógia, Szegedi Tudományegyetem TTK Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Szeged, 2002.
- [4] GÖTZ Gusztáv - SZALAY Gabriella: A Konvektív Folyamatok Előrejelzéseinek Elméleti Alapjai és Gyakorlati Módszerei, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 1977.
- [5] SZALMA János: Termikus feláramlások és cumulus felhőképződés különböző időjárási helyzetekben (1956. aug. 1-19), Budapest, 1957.
- [6] SZALMA János.: A termik kialakulásának sajátosságai és előrejelzésének lehetősége a Kárpát-medencében. Meteorológus Napok a M. Tud. Akadémián 1979
- [7] RUZSICZKY Pál: A termikus konvekció karakterisztikáinak vizsgálati lehetősége repülési információk alapján, Budapest, 1990.
- [8] GÖTZ Gusztáv - RÁKÓCZI Ferenc: A Dinamikus meteorológia alapjai, Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.
- [9] WMO: Weather Forecasting for Soaring Flight WMO-No. 1083, 2009.
- [10] WMO: Weather Forecasting for Soaring Flight WMO-No. 158, 1993.
- [11] Roland B. STULL: An Introduction to Boundary Layer Meteorology ,Atmospheric Sciences Library, 1988.
- [12] LENSCHOW, DH: The Role of Thermals in the Convective Boundary Layer; Boundary Layer Meteorology, 1980.
- [13] ORLANSKI, I. :A Rational Subdivision of Scales for Atmospheric Processes Bull.
- [14] Amer. Meteorol. Soc. 56, 527-530, 1975



- 
- [15] MITSUTA, YASUSHI, Satoshi UCHIDA,:Convective Motion in the Cumulus Subcloud Layer. *J. Climate Appl. Meteor.* 24, 993–1000,1985
- [16] CORBY, J. A.: The airflow over mountans, *Journal of the Royal Meteorological Society*, 1954.
- [17] CRUETTE, D., Expermental study of mountain lee-waves by means of satelite photograprs and aircraft measurments, *Tellus*, Vol.28, 1976
- [18] KUTTNER, J.: Cloudbands in the Earth's atmosphere, *Tellus*, Vol. 23, 1971.
- [19] REINHARDT, M. E.: Aerologische Strukturen am Alpennordrand nach Flugzeugsondierungen *Annalen der Meteorologie* No.5, 1971.
- [20] D. PIGOTT, ADAM and Charles BLACK: *Gliding: A handbook on soaring flight*, London, 1967.
- [21] BUZ, A. I.: Meteorological conditions for soaring flight, *Transactions of the U.S.S.R. Hydrometeorological Centre*, Vol.162, 1975.
- [22] ARNOLD, ABRAHAM: A Lapse Rate Depiction for Clear Air Convection, *Journal of Applied Meteorology*, 1976.
- [23] <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>
- [24] <http://www.aviationweather.ws>
- [25] <http://glidinghotspots.eu>
- [26] <http://www.xcskies.com>
- [27] [http://hercules.gcsu.edu/~sdatta/home/teaching/hydro/slides/lapse\\_rate.gif](http://hercules.gcsu.edu/~sdatta/home/teaching/hydro/slides/lapse_rate.gif) (2013. március 9.)
- [28] <http://www.enfo.hu/gis/korinfo/> (2012 november 11.)



Balogh Réka<sup>1</sup>

## LÉGIFELVÉTELEZÉS A TERMÉSZETTUDOMÁNY SZOLGÁLATÁBAN<sup>2</sup>

*A légifényképezés, mint információnyerési eljárás nem nevezhető újnak, csupán a technológia fejlődésével egyre szélesebb körben (a katonai mellett közcélra is) elérhető és alkalmazható. Legkorábbi és napjainkban is egyik legnagyobb felhasználója a térképészet, de emellett egyáltalán nem elhanyagolható mértékű az egyéb természettudományos területen való alkalmazhatósága sem. A levegőből történő fotózás előnye, hogy a képalkotás nagy területet képes lefedni, a feldolgozás pedig ennek ellenére is gyors marad. Éppen ezen tulajdonságai miatt, előszeretettel használja fel a légifelvételeket – a teljesség igénye nélkül – a geomorfológia, hidrológia, mezőgazdaság, környezetvédelem és a régészet. Jelen munka célja egy, a geoarcheológia területéről vett példán keresztül, a távérzékelés, azon belül a légifotók gyakorlati hasznosságának bemutatása.*

### **AERIAL PHOTOGRAPHY IN THE SERVICE OF NATURAL SCIENCES**

*The aerial photography, as an information retrieval method can't be called a new way, simply it can more widely available and applicable with the development of technology (military and public aims). The earliest and still one of the largest users of the aerial photography is the cartography, but it has not negligible applicability in other areas of natural sciences. The common advantage of the aerial photography, that the imaging can cover a large area and the processing remains still fast. As a result of advantages – without completeness – the aerial photographs frequently used by the geomorphology, hydrology, agriculture, environmental protection and archeology. The aim of my work is the presentation of remote sensing, and reveals a practical usefulness of aerial photographs via geoarchaeological example.*

## BEVEZETÉS

„Ki gépen száll fölébe, annak térkép e táj” kezdhethetném a költő szavaival bevezetőmet, és milyen igaz. Amint elemelkedünk a földfelszíntől, más dimenzióban látjuk a vizsgált területet, felfedezünk eddig nem ismert kapcsolatokat és rádöbbenünk egyszerű összefüggésekre, új értelmezést nyerhetnek a különböző folyamatok és jelenségek. Lehet az egy építési telek, vagy egy azonos fajokból álló erdőterület, egészen más képet mutat fentről. A vizsgálat terjedelmét a műszaki lehetőségeink mellett, elsősorban a kutatási cél és téma határozza meg, ennek megfelelően a fényképezés léptéke akár km<sup>2</sup>-es, városnyi méretű is lehet. A digitális korszakban ezek a felvételek jóval több adatot képesek szolgáltatni, mint hagyományos elődeik, bár éppen ezen előnyük miatt kell nagyon körültekintően megválasztani a fényképezés helyét és időpontját, a kutatásban megfogalmazott céloknak megfelelően. A technika fejlődésével - mind a repülés, mind a fotogrammetria terén – egyre pontosabb és nagyobb felbontású, zajmentes és különböző spektrális tulajdonságú képek készítésére nyílik lehetőség. A légifényképezés (kiegészülve a műholdas adatgyűjtéssel) legalapvetőbb felhasználási területe a térképészet, hiszen

<sup>1</sup> Doktorandusz hallgató, Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földtudományok Doktori Iskola

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt százados, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

az Európai Unió előírása szerint rendszeresen az egész országra terjedő, légi fényképező repülést kell végrehajtani, a térkép-aktualizálási feladatokhoz szükséges friss adatforrás biztosítására [1]. Mint említettem, a műholdas képalkotás a levegőből való adatgyűjtés nagyobb léptékű, akár globális, ugyanakkor költségesebb formája. Jelen munkában a légifényképezés elméleti hátterét és gyakorlati alkalmazhatósági lehetőségeit kívánom áttekinteni; nem célom a különböző hordozóműholdak és képalkotó rendszerek ismertetése.

## TÁVÉRZÉKELÉS - A LÉGIFELVÉTELEZÉSRŐL ÁLTALÁNOSÁGBAN

A távérzékelés (fotogrammetria) olyan adatgyűjtési eljárás, melynek során valamely tárgy/objektum jellegéről és tulajdonságairól, a tárggyal való közvetlen kapcsolat nélkül, a tárgy által kibocsátott, vagy visszavert elektromágneses sugárzás intenzitás-mértékének vizsgálata alapján nyerünk információt [2][3]. A távérzékelés, mint „tudományterület” kialakulásához és fejlődéséhez, az embernek meg kellett tanulnia emelkedni a földfelszíntől. A légifényképezés, mint információnyerési eljárás nem nevezhető újnak, csupán a technológia fejlődésével egyre szélesebb körben (a katonai mellett közcéla is) elérhető és alkalmazható; hiszen több száz éves múltra tekint vissza. Már XIV. Lajos (a krónikák feljegyzései szerint; XVII. szd.) idejében történtek hőlégballonos repülések, megfigyelési célzattal. Léggömből készítették az első légifényképet is 1839-ben, Franciaországban. Az I. világháború idején, a különböző harci események és mozgások megfigyelése céljából már rendszeresen készültek légifelvételek.[4] Az elsősorban katonai célzattal kialakult és tökéletesített eljárás pedig fokozatosan került át a polgári (kezdetben elsősorban térképészeti) alkalmazási területre is. A levegőből történő fotózás előnye, hogy a képalkotás nagy területet képes lefedni, a feldolgozás pedig ennek ellenére is gyors marad; viszont az igényelt hardver- és szoftverhátér, valamint a feldolgozást és kiértékelést végző, képzett szakember alkalmazása miatt költséges; területegységre vetítve viszont a repülőgépes légifelvételzés jár a legkedvezőbb ráfordítással. A digitális fényképezés megjelenése előtt, már az analóg, repülőgépekről végzett képalkotási eljárások is fontos szerepet töltek be, például a térképészet területén [2]. A digitális képek különböző elven működő felvevőrendszerekkel készülhetnek, kiemelhetnek 1-1 spektrális tulajdonságot, vagy készülhetnek multispektrális felbontásban, a vizsgálat céljának megfelelően. Ezzel szemben hátrányként hozható fel, bár inkább csak korlátozó tényező, hogy a felvételezés időjárásfüggő, tehát a legtöbb esetben a képek készítésének idejét körültekintően kell megválasztani. A fotogrammetriai módszerekkel készített felvételek tartalmazzák azok geometriai, radiometriai és tartalmi adatait és alkalmazásuk többek között ortofotó-térképek, digitális magasságmodellek előállítására, valamint egyes pontok koordinátáinak meghatározására [2].

A távérzékeléses módszerek a megfigyelni kívánt tárgyat, objektumot a mérés során nem károsítják, nem okoznak változást annak tulajdonságaiban. A rendelkezésre álló eszközök lehetővé teszik az egyre nagyobb magasságokból, egyre pontosabb és a valóságnak megfelelő képek készítését, akár a látható tartományon kívül eső hullámhossztartományokban is. A távérzékelési megfigyeléssel mennyiségi és minőségi és térbeli információkhoz egyaránt hozzá tudunk jutni, annak megfelelően, hogy mit kíván meg az adott kutatási cél és témakör. Ezen térbeli adatoknak köszönhetően pedig a vizsgálat bármikor (pl. más vegetációs állapotban) megismételhető, így pedig összehasonlítás és változáskövetés végezhető a különböző időben/állapotban végzett megfigyelések között.[4]

## A fotogrammetria eszköz és módszertana

A fotogrammetria vagy fényképes távérzékelési eljárás, a terepi/térbeli információk gyűjtésének nagy hatékonyságú és széles körben alkalmazott módszere [4]. A távérzékelési eljárások sokfélék lehetnek, az általában műholdas megfigyeléssel készített, globális felvételezésektől a pilóta nélküli, modellgépekről készített, lokális tereket, pl. egy holtág fizikai állapotát bemutató eljárásokig. Ennek megfelelően a felvevőrendszereket elhelyezhetik, pl. földfelszínen álló daruban, vagy mesterséges holdon, jelen munka témakörének megfelelően pedig eltérő magasságon haladó, különböző teljesítményű repülőgépen. A repülőgépes felvételezés az egyik legrégebbi, ennek ellenére napjainkban is széles körben alkalmazott térinformatikai eljárás. Kezdetben a fényképek készítéséhez analóg eszközöket alkalmaztak, a filmek lehettek fekete-fehérek vagy színesek. Az utóbbiak három fényérzékeny réteget tartalmaztak, melyek három különböző hullámhosszra érzékenyek, ezek a vörös, zöld és a kék. Ezek az analóg képek viszont nem teszik lehetővé az azonnali értelmezést, kiértékelést; ezeket előbb digitális állománnyá kell alakítani. A digitalizált (beszkennelt) analóg fényképekből pedig speciális elemző-szoftver segítségével tudunk adatokat nyerni és következtetéseket levonni.[3]

A távérzékeléses eszközöket az észlelési távolság és a hordozóeszköz alapján tudjuk megkülönböztetni. Ennek megfelelően különítünk el légi- és műholdas szenzorokat; a légi hordozók pedig lehetnek modell repülők és helikopterek, quadro- és hexakopterek, könnyűszerkezetes és normál repülőgépek. A repülőgépeket magasság szerint elkülönítve: a modellgépek, sárkányrepülők 100–300 m magasan, a normál gépek pedig „kis magasságon” (300 m–3 km) vagy „nagy magasságon” (3–10 km) haladhatnak. A felvételezést nehezítheti, hogy a repülőgépet állandó magasságban és lehetőleg stabil helyzetben kell tartani; utóbbira, a látószög változására, „billegés” elkerülésére, viszont már a képalkotó eszközök belső mechanikája nyújt megoldást.[4]

Az adatnyerési eljárás két lépésből tevődik össze: az egyik a képek centrális projekcióval történő előállítás, a második lépés pedig az elkészült felvételek meghatározott célnak megfelelő feldolgozása. Általában a légifelvételezéssel készített kép méretaránya a vizsgált területet ábrázoló térkép méretarányának egyharmada.

A repülőgépről készített felvételek nem alkalmasak (magasság, billegés) globális és regionális méretű vizsgálatokhoz, ilyen esetekben már műholdfelvételeket használunk.

## A LÉGIFOTÓK TERMÉSZETTUDOMÁNYOS ALKALMAZÁSI TERÜLETEI

A távérzékelési eljárás során adatok nyerhetőek az adott tárgy vagy terület terepi/térbeli helyzetéről, a megfigyelés gyakoriságáról és az észlelés radiometriai tulajdonságairól egyaránt [4]. Az így előállított adatok pedig forrásul szolgálhatnak a különböző térképészeti, geológiai-geomorfológiai, hidrológiai, mezőgazdasági és környezetvédelmi, valamint régészeti célú vizsgálatoknak.

### Térképészet



A napjainkban használatos térképi adatok nyerését a XX. századi technológia és a repülés fejlődése teszi lehetővé. A térképezés alapját kezdetben a helyszíni megfigyelés és felszíni, geodéziai felvételezés jelentette, míg a repülés és a levegőből való fényképezés elterjedésével a fotogrammetria vette át ezt a szerepet [4]. Az adatnyerés így jóval pontosabb lesz és jóval rövidebb időt vesz igénybe, mint a kezdeti módszerek. Magyarországon a topográfiai térképezés (felmérés, korrigálás) szinte kizárólagosan a légi fényképek fotogrammetriai kiértékelésével történik [4].

## **Geomorfológia**

A levegőből való adatgyűjtés egészen más – és egyben nagyobb léptékű – képet szolgáltat a geomorfológus által kutatott területről. A részleteiben megismert és feltárt geomorfológiai folyamatok kölcsönhatásai könnyebben és egyértelműbben nyomon követhetőek, a különböző természetes formák egyszerűbben definiálhatóak légifelvételezés segítségével és kiegészítik a terepi vizsgálatokat. Ezen információkat kiegészítve, nem csupán a recens, de a múltban lezajlott felszínmozgások és felszínfejlődési folyamatok is detektálhatóak távérzékeléses módszerrel. Így előre meghatározhatóak a tömegmozgás-veszélyes területek és monitoring hálózat kiépítésével lehetőség van nagyobb események előrejelzésére is. A geomorfológiai alkalmazási lehetőségek közé sorolhatóak az egykori bányaterületek rekultivációs-tervezési munkálatai, valamint felszínfejlődési rekonstrukciós vizsgálatok alaptérkép szerkesztési adatforrásai.

## **Hidrológia**

A vízzel és annak tulajdonságaival, mozgásaival foglalkozó szakembereknek kiváló alapot biztosítanak a légifelvételek. A víz ugyanis egységes „színű” (általában sötét vagy fekete, mert nagyon kis mértékben veri vissza az elektromágneses sugárzást) minden fotón, függetlenül kiterjedésétől, természetes vagy mesterséges voltától, így megfelelő szoftver segítségével könnyedén leválogatható a többi képi elem közül (növényzet, talaj). A vízfelületek színét a biológiai aktivitás jelenléte és intenzitása befolyásolhatja (általában világosítja). A felszínen, különböző halmazállapotban jelen lévő víz mennyiségi és minőségi paramétereinek elemzésére a távérzékelés kiválóan alkalmas [3]. A légifelvételezés legjelentősebb hidrológiai alkalmazhatósági területe a vízrajzi térképezés, vízgazdálkodási, lefolyás-szabályozási, rehabilitációs és revitalizációs kérdések tervezése, megoldása. Ezek mellett a hidrológiai felhasználási lehetőségei közé sorolható a hévíz és gyógyvízgazdálkodás, ivó és ipari vízellátás, a csatornázás és szennyvízkezelés, valamint a mezőgazdasági vízhasználat [3].

## **Mezőgazdaság**

A távérzékelés egyik, ha nem a legnagyobb felhasználója, nem csupán hazai, hanem nemzetközi kitekintésben is az agrárszektor. Ez nem is meglepő, ha belegondolunk, hogy a mezőgazdaság az az ágazat, mely a leginkább hasznosítja azokat a természeti erőforrásokat (talaj, bioszféra, víz), melyek állapotváltozásainak nyomon követése távérzékeléses eljárással a leghatékonyabb, hiszen a különböző tereptárgyak jellemző hullámhossztartományban sugároznak vissza. Éppen ezért multispektrális felvételek készítésével könnyen el tudjuk különíteni a különböző felszínborítás-típusokat, vagy az egyes populációk, társulások egészségi állapotát. [3] A légifotók mezőgazdasági alkalmazhatósági lehetőségei rendkívül széles skálán mozognak,

kezdve a fákat károsító betegségek terjedésétől, vagy az előkészített talaj térképezésétől, a belvível sújtott földterületek felmérésén át egészen a termésbecslésig.

### **Környezetvédelem**

A mezőgazdasági és hidrológiai széles körű alkalmazási lehetőségekhez hasonlóan a légifelvételek nagy segítséget nyújtanak a természeti környezetünket érintő, elsősorban negatív hatások felderítéséhez és a környezetállapot-változásainak értelmezéséhez. Az elkészített fotókból tematikus térképek készíthetők – a vizsgálati célnak megfelelően – melyek elemzési eredményeiből pedig a környezet egyes elemire, vagy környezeti rendszerekre vonatkozó modell születhet. A légifotózás alkalmas a védett területek meghatározott időszakonkénti monitorozására; szennyezett területek nagyságának, állapotának, a szennyező forrásnak és a szennyezés terjedésének meghatározására. A teljesség igénye nélkül felsorolva, lehetőséget nyújt a védett populációk mozgásának, növénybetegségek továbbterjedésének, özőnfajok megtelepedésének azonosítására.

Mindezen lehetőségek figyelembe vételével elmondható, hogy egyre sürgetőbb az igény a környezet- és természetvédelem terén egy egységes, speciális szakembergárdát nem igénylő, tehát könnyen kezelhető térinformatikai rendszer üzembe helyezése iránt [3]; a begyűjtött információk így egy közös, országos (esetleg nemzetközi) adatbázis részét képeznék és megkönnyítenék a különböző szervek és hatóságok közötti együttműködést és a környezetben lejátszódó folyamatok komplex értelmezését.

### **Régészet (Légirégészet)**

A légifelvételek egyik első alkalmazási területe a térképészet után a régészet volt, a feltárt lelőhelyek dokumentálásától és térképezésétől, a feltételezett lelőhelyek vizuális megerősítéséig egyaránt. A régészetre különösen igaz az a megállapítás, miszerint eltávolodva a földfelszíntől, a légifotókon sokkal szembetűnőbbek, könnyebben meghatározhatóak egykori települések, sírok, falak nyomai, körvonalai, ugyanis az eltemetett szerves anyag, antropogén eredetű talaját-halmazódások és például logikus(nak tűnő) rendszerben elhelyezett tárgyak, kövek eltérő színe, nedvességtartalma, szerkezete enged következtetni egykori, a maitól eltérő területhasználatra, utak, építmények elhelyezkedésére [3].

## **EGY PÉLDA A GEOARCHEOLÓGIA TERÜLETÉRŐL**

### **Talajtani és geofizikai módszerek a kognitív régészet szolgálatában, Belvárdgyula példáján**

A légifotók nagyon nagy segítséget nyújtanak a geoarcheológia területén dolgozó szakembereknek. A geoarcheológus nem „csupán” régész, hiszen munkája bizonyos tekintetben kiterjedtebb, más megközelítésben viszont szűkebb egy régészeti kutatásnál. A régészet és a természettudományok párbeszéde, több mint százéves múltra tekint vissza. Napjainkban egyre nagyobb hangsúly helyeződik a geomorfológia és különböző határtudományai közül az antropogén geomorfológiai és a geoarcheológiai kutatásokra. Amióta az ember megjelent a Földön, alakítja, saját szükségleteinek megfelelően formálja a környezetét [7]. A geoarcheológia tudománya

geológiai, geomorfológiai, geofizikai és geokémiai vizsgálatokkal, valamint őslénytani (archeobotanikai és archeozoológiai) módszerek használatával bővíti ki a régészeti kutatásokat, a természetes és az azt befolyásoló, antropogén felszínalakító tevékenységének felismerése érdekében [8][9].

A Baranyai-dombság löszös területén, Belvárdgyulától (Baranya megye) DK-re, a Karasica és a Vasas-Belvárdi-vízfolyás összefolyásánál, a Dél-Baranyai-dombság kistáj (4.4.34) területén található, környezetéből 5 méterre kiemelkedő felszínforma kialakulásának kutatását határoztam meg kutatási célomként [7]. A vizsgált forma Baranya megyében, a Mecsek – Villányi-hegység közötti dombvidék morfológiai körzetben fekszik [5][6] Pécestől DK-i irányban körülbelül 30 kilométerre (1. ábra). Áttekintve a vonatkozó vízrajzi, felszínalakítási szakirodalmat, elmondhatom, hogy a vizsgált terület domborzatáról és hidrológiai adottságairól, kis méretük és jelentőségük miatt (2011/12-ben) viszonylag szűkös forrásmennyiség állt rendelkezésemre [6][7][10][11][12]. A kiemelkedés morfológiai hovatartozása kutatómunkámat megelőzően nem volt tisztázott, így nem állt rendelkezésemre a területtel foglalkozó, komplex kutatástörténeti előzmény [7].

Az ártéren, a kiemelkedés tágabb környezetében számos régészeti lelőhely található és a régész munkatársak véleménye szerint egy ilyen izoláltan elhelyezkedő, relatíve kis méretű halom antropogén eredetű – legalábbis ember által átformált – lehet. A felmerült kérdések megválaszolására, 2010 októberétől geoarcheológiai, geomorfológiai és talajtani kutatási módszereket alkalmaztam a későbbi régészeti feltárások megalapozása céljából [7]. A kutatómunka megkezdéséhez, a kialakulási lehetőségek elméleti „latolgatásához” alap”térkép” szerkesztése volt szükséges, melyet a területről készített légifelvételek (2. ábra) alapján készítettem el.



1. ábra A vizsgált forma földrajzi elhelyezkedése ([6] és Google Earth alapján saját szerk.)



1. ábra Légifelvétel-sorozat a kiemelkedés tágabb környezetének értelmezéséhez (saját szerk.)

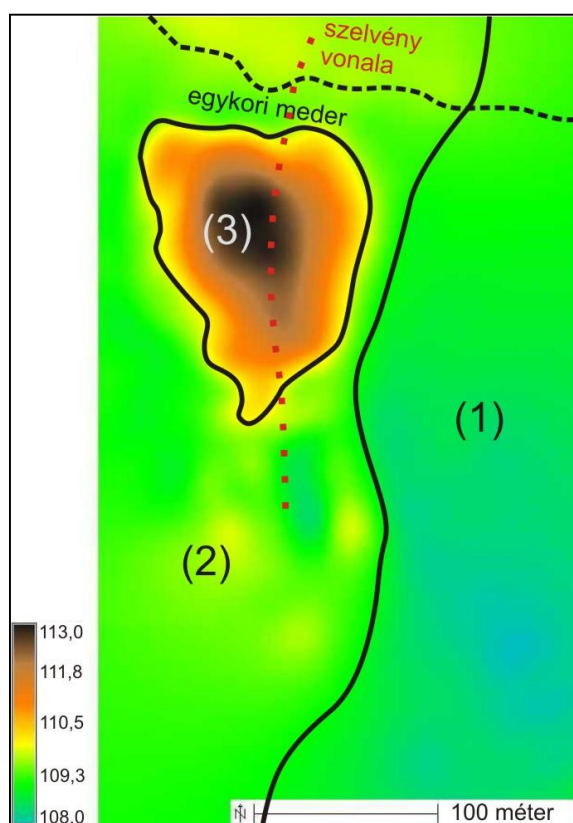
A geoarcheológiai kutatások során következtetni próbáltam elsősorban a domb keletkezésének körülményeire, a terület történelmi tájhasználatára, valamint egykor betöltött szerepére. E célból készültek a területet lefedő légifotók, és végeztem el a terület talajtani, morfológiai elemzését, majd vizsgálataimat kiterjesztettem a dombot határoló ártérre is, mivel feltételeztem, hogy az áthalmozódási folyamatok révén, a környezetének eltemetett rétegei további információval szolgálnak majd a főbb kérdések megválaszolását illetően. Az így előállított térbeli/vizuális és kvantitatív adathalmaz elemzése alapján pedig igyekeztem meghatározni a terület felszínfejlődését, segítve és irányozva ezzel a régészek munkáját [7]. A légifelvételek segítséget nyújtottak a kiemelkedés és a környező terület aktuális (2010 őszi) felszínborítottságának és



művelési ágainak meghatározásában, valamint a domb alakjának (3. ábra/3), és ezzel kialakulási hipotézisének pontosításában. A képek segítségével sikerült beazonosítani a kiemelkedést észak felől határoló egykori csatorna medrét (3. ábra), illetve elkülöníteni az alacsonyabb (3. ábra/1) és magasabb (3. ábra/2) ártéri szinteket.

A domb szerkezetének talajtani feltárása leírása és a begyűjtött talajminták (3. ábra/szelvény vonala) és műtárgytöredékek laboratóriumi elemzésének összegzése nem tartozik jelen publikáció témájához, így ettől eltekintek. A felvázolt példában csupán a légifelvételek alkalmazhatóságát, hasznosságát és jelentőségét kívánom bemutatni.

A kutatómunka kezdetén, a felszínfejlődési hipotézisek felállítása után részletes hálós rendszerű térképezést végeztünk a kiemelkedésen és közvetlen környezetében az így előállítható a 2D-s modellen (3. ábra) való morfológiai pontosítás érdekében [7].



3. ábra Légifelvételek vizuális értelmezése és a lemért pontok alapján szerkesztett 2D-s modell (saját szerk.)

A fent vázolt kutatómunka lehetővé teszi, hogy Belvárdgyula területén a morfológiai, talajtani és régészeti kutatások együttesen tárják fel a terület különleges formakincsét, kultúrtörténeti értékeit. Munkám alapvető célja az volt, hogy megállapítsam, a kiemelkedés fejlődésében milyen arányban játszottak szerepet a természetes és az antropogén folyamatok. A kiemelkedés természetes leválasztódással jött létre és önmagában formálódott tovább, természetes és mesterséges folyamatok által egyaránt. Az elvégzett munka eredményeként javasolni tudom, hogy érdemes a domb feltárását elvégezni. A felszínforma részletes morfológiai és talajtani állapotfelmérése, a fúrások és a földradaros vizsgálat eredményei jó alapot szolgáltattak a jövőbeli régészeti feltárás megvalósításához [7].



A fotogrammetria elméleti, és elsősorban technikai fejlődése a ráépülő tudományterületek, vele együtt történő szerves fejlődését hozta maga után. A távérzékelés, azon belül a légifotózás tehát rengeteg lehetőséget tartogat a természettudományok, elsősorban a geográfia területén. Röviden bemutatva egy-két kiragadott tudományterületet, látható, hogy napjainkban megkerülhetetlen a fotogrammetria alkalmazása. Saját szakmai tapasztalatom, hogy bármilyen természetföldrajzi kutatás központi részét kell, hogy képezze a területet az aktuális vizsgálat szempontjából bemutató alaptérkép. Geoarcheológiai célzatú kutatási munkám bázisát is a területről készített légifelvétel adta, megalapozva tehát, hogy légifelvételek alkalmazása nélkül elképzelhetetlen lenne manapság egy felszínfejlődési rekonstrukció elkészítése.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] TEMESVÁRI Veronika (2010): Légifényképező repülés tervezése a hagyományos eljárásoktól a digitális technológiáig. Szakdolgozat. ELTE, Budapest. 47 p.
- [2] DETREKŐI Ákos – SZABÓ György (2002): Térinformatika. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. 380 p.
- [3] NAGYVÁRADAI László – VARGA Gábor szerk. (2007): Térinformatika és alkalmazása. PTE TTK Földrajzi Intézet, Pécs. 102 p.
- [4] GYENIZSE Péter – NAGYVÁRADAI László szerk. (2008): Térinformatika és alkalmazása II. PTE TTK Földrajzi Intézet, Pécs. 235 p.
- [5] LOVÁSZ György szerk. (1977): Baranya megye természeti földrajza. Baranya Megyei Levéltár, Pécs, 384 p.
- [6] DÖVÉNYI Z. szerk. (2010): Magyarország kistájainak katasztere. 2. átdolgozott és bővített kiadás. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 876 p.
- [7] BALOGH Réka (2012): Geoarcheológiai kutatások a Karasica ártéren. Talajtani és geofizikai módszerek a kognitív régészet szolgálatában, Belvárdgyula példáján. PTE TTK Diplomadolgozat. Pécs, 61 p.
- [8] French, CHARLES (2003): Geoarchaeology in action. Routledge. London. 292. p.
- [9] SÜMEGI Pál (2003): A régészeti geológia és a történeti ökológia alapjai. JATEPress, Szeged. 223. p.
- [10] LOVÁSZ György (1968): Vízföldrajzi tanulmányok a Rinya és a Karasica vízgyűjtőjében. Különnyomat a MTA Dunántúli Tudományos Intézetének „Értekezések 1967 - 1968” c. kötetéből. Akadémiai Nyomda, Budapest. 32. p.
- [11] LOVÁSZ György (1974): Délkelet-Dunántúl geológiája és felszínfejlődése. Baranya Sorozat. Baranya Megyei Levéltár. Pécs, 215. p.
- [12] [www.vizeink.hu/files3/1\\_15\\_Also\\_Duna\\_jobb\\_part\\_vgt.pdf](http://www.vizeink.hu/files3/1_15_Also_Duna_jobb_part_vgt.pdf)

Rácz Gábor<sup>1</sup> – Veress Árpád<sup>2</sup>

## INDUKÁLT SEBESSÉGELOSZTLÁS MEGHATÁROZÁSA ÉS ALKALMAZÁSA LÉGCSAVAROS REPÜLŐGÉP KÖRÜL KIALAKULT ÁRAMLÁS MODELLEZÉSÉRE<sup>3</sup>

A BME<sup>4</sup> Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék munkatársai számos hazai és nemzetközi kutatásban vesznek részt. Ezek közül az egyik az ESPOSA<sup>5</sup> projekt. A munka egyetemünkre eső része, egy turbólégcsavaros repülőgép szívócsatornájának és hajtóműgondolájának CFD<sup>6</sup> vizsgálata és továbbfejlesztése. Ezen cikk a feladat kidolgozásának első lépéseit mutatja be, azaz a légcsavar működésének modellezését Schmitz féle módszerrel, az indukált sebességeloszlásának meghatározását és ezek felhasználásával egy áramlástan szimuláció elkészítését. A kapott eredményeket értékelve kitekintést teszünk a további lépések elvégzésének irányába.

### **DETERMINATION AND APPLICATION OF INDUCED VELOCITY DISTRIBUTION IN FLOW MODELLING AROUND A TURBOPROP AIRCRAFT**

The colleagues of BME<sup>3</sup> Department of Aeronautics, Naval Architecture and Railway Vehicles participate in several industrial and international research projects. One of them is the ESPOSA<sup>4</sup> program, in which the task of the Department is to improve design specifications of the engine intake channel and nacelle of a newly developed turboprop aircraft by means of CFD<sup>5</sup>. The recent article shows the first steps of the work. The induced velocity distribution of the propeller is determined by Schmitz's method and used in the flow modelling software as boundary conditions. The preliminary results of the CFD analyses are presented, evaluated and the next steps of the investigation are outlined.

## 1. BEVEZETÉS

A BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék munkatársai és hallgatói számos nemzetközi munkában vesznek részt. Ezek közül az egyik az Európai Unió 7. keretprogramjának 4. felhívására benyújtott és kidolgozásra elfogadott ESPOSA projekt.

Az ESPOSA projekt 2011-ben kezdődött, európai kis repülőgép és hajtómű gyártók, illetve a repüléstudományokban érdekelt egyetemek és kutató intézetek közreműködésével. A célja az, hogy biztosítsa az innovatív technológiák fejlesztését a kis gázturbina családok számára. A tervhez kiválasztott hajtóművek – turboshaft/turboprop – teljesítmény tartománya 180–450 kW, amely szinte egyedülálló, mivel az általános légiközlekedési szektorban – General Aviation Sector – az ESPOSA hajtóművei az egyik legkisebbek. A program további része a

<sup>1</sup>MSc hallgató, BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, gabor656@gmail.hu

<sup>2</sup> PhD, egyetemi docens, BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, averess@rht.bme.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Óvári Gyula, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

<sup>4</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (Budapest University of Technology and Economics)

<sup>5</sup> Efficient Systems and Propulsion for Small Aircraft

<sup>6</sup> Computational Fluid Dynamics

meghajtó egységekkel szoros kapcsolatban álló elemek hatékonyságának és biztonságának növelése, továbbá a pilóták munkaterhének csökkentése. Nem utolsó sorban, a fejlesztési műveletektől, a kis repülőgépek – direct operating cost – üzemeltetési, fenntartási költségeinek csökkentését (10–14 %) várják eredményül [2].

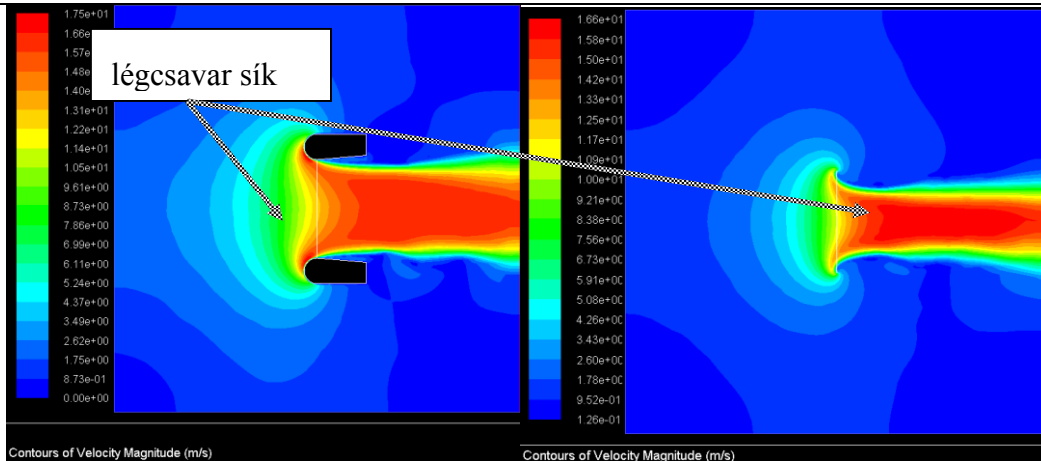
A program nem véletlenül tűzte ki célul ezt a konfigurációt. A turbólégcsavaros repülőgépekkel ugyanis jó propulziós hatásfok érhető el (max. kb. 80–92 %), melynek köszönhetően jelentősen javul a tüzelőanyag fogyasztás. Ez pedig a légijármű fenntartási költségeinek csökkentését is maga után vonja. Az ESPOSA a további hatékonyságnövelés érdekében a meghajtó és a léglátó rendszer számos elemének továbbfejlesztését vette tervbe.

A munka egyetemünkre eső része, egy turbólégcsavaros repülőgép szívócsatornájának és hajtóműgondolójának áramlástani vizsgálata és javaslatok kidolgozása a tervezési specifikációk (pl. nyomásvesztései tényező, részecske-kiválasztási hatékonyság, ellenállás tényező) javítása érdekében. A műveletek első lépéseként a légcsavarok működésének modellezését végeztük el. Ez a hajócsavarok és szélturbinák tervezésében már elterjedt „actuator disc” teórián alapul, ami nem más, mint egy, az áramlásban elhelyezett, a légcsavar sugár hatását modellező vékony tárcsa. Előnye, hogy nem kell a valóságos légcsavar geometriát felhasználni és behálózni, ezáltal jelentős számítógépi kapacitás takarítható meg a szimulációk során. A módszer elméleti háttere a későbbiek során ismertetésre kerül. E munka folytatásaként mindenképpen meg kell győződni arról, hogy az alkalmazott módszerrel végrehajtott vizsgálat eredményei mennyire felelnek meg a valóságnak.

A légcsavar 3D-s modelljének megléte esetén és a megfelelő numerikus áramlástani opció kiválasztásával (pl. forgó „domain”) és alkalmazásával szintén modellezhető a légcsavar hatása. A két módszer összehasonlításával már korábban egy végző hallgató szakdolgozatában foglalkozott a témával [3].

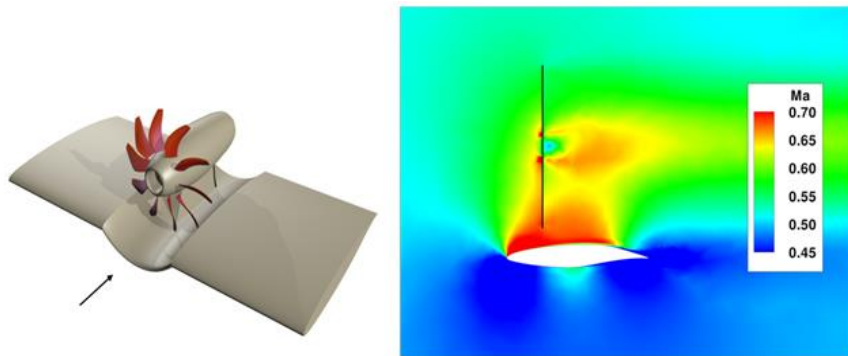
Kitekintésként bemutatunk néhány, mások által elkészített analízist, amelyekben légcsavarok hatását használták fel CFD szimulációkban. Elsőként egy UAV (Unmanned Air Vehicle) pilóta nélküli robotrepülő CFD-s vizsgálatát emelnénk ki, mivel a szimuláció során szintén az „actuator disc” módszert alkalmazták. A cikkben, „Unmanned Air Vehicle (UAV) Ducted Fan Propulsion System Design and Manufacture” összehasonlításra kerül, egy légcsavaros és egy csőlégcsavaros kialakítású repülőgép [4]. A 2D-s szimuláció eredményei közül kiragadva egyet, az 1. ábra jól szemlélteti a sebességmező alakulást mindkét esetben.

Másodikként említjük meg azt a cikket [9] melyben, ahogy a korábbi esetben is, az „actuator disc” szimulációs eljárásra építve alapvetően a helikopter rotorok aeroelasztikus jelenségeit, de kiegészítőleg akusztikai jellemzőit is vizsgálták.



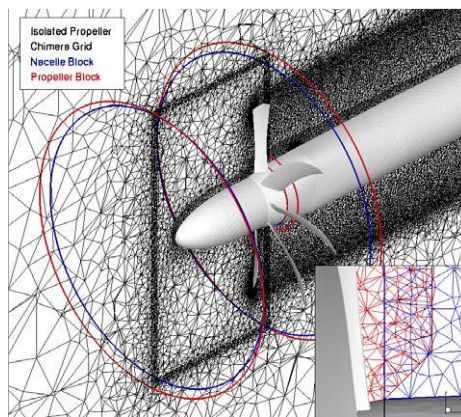
1. ábra A zárt és nyitott propeller konfiguráció sebességmezőjének alakulása [4]

További jó példa a „Technische Universität Braunschweig” által végzett kutatás, melybe egy integrált légcsavar hatásának vizsgálatát végezték el szintén az „actuator disc” módszer segítségével [5]. A modellt és egy kiragadott eredményt a 2. ábra szemlélteti. A kutatás az aerodinamikai jelenségek elemzésén túl, a szerkezet akusztikai vizsgálatára alkalmazták.



2. ábra Az integrált propeller 3D-s CAD modellje és az erről készített „actuator-disc”-es szimuláció egy eredménye [5]

Az utolsó felhasználási példaként említjük a „Unsteady Simulation of a Transport Aircraft Propeller Using MEGAFLOW” [6] munkát, amelyben a forgó „domain” szimulációs módszert alkalmazva vizsgálták egy hajtóműgondola-légcsavar együttest (3. ábra), két különböző működési állapotban ( $0^\circ$  és  $10^\circ$ -os állásszög esetén).



3. ábra A gondola és légcsavar hálózott modellje [6]

Az irodalmi áttekintés után, visszatérünk a saját munkánk bemutatásához. Ebben először az „actuator disc” módszert ismertetjük a légcsavarszámításokhoz szükséges elméleti háttér, a Schmitz-féle módszer bemutatásával, a légcsvavar indukált sebességeinek meghatározása érdekében. A következő lépésben ismertetjük a számítás programozott alakjának felépítését. A matematikai modell eredményeit ezt követően összehasonlítjuk az ESPOSA projekt számunkra rendelkezésre bocsátott adataival. Az értékelés után, a kapott indukált sebességeloszlásokat beillesztjük a CFD modellbe. Végezetül megtekintjük és értékeljük a numerikus számítás eredményeit, és felvázoljuk, hogy milyen további lépések szükségesek az eredmények pontosítása és a program folytatása érdekében.

## 2. A légcsvavar impulzus elmélete [1] – „actuator disc” módszer

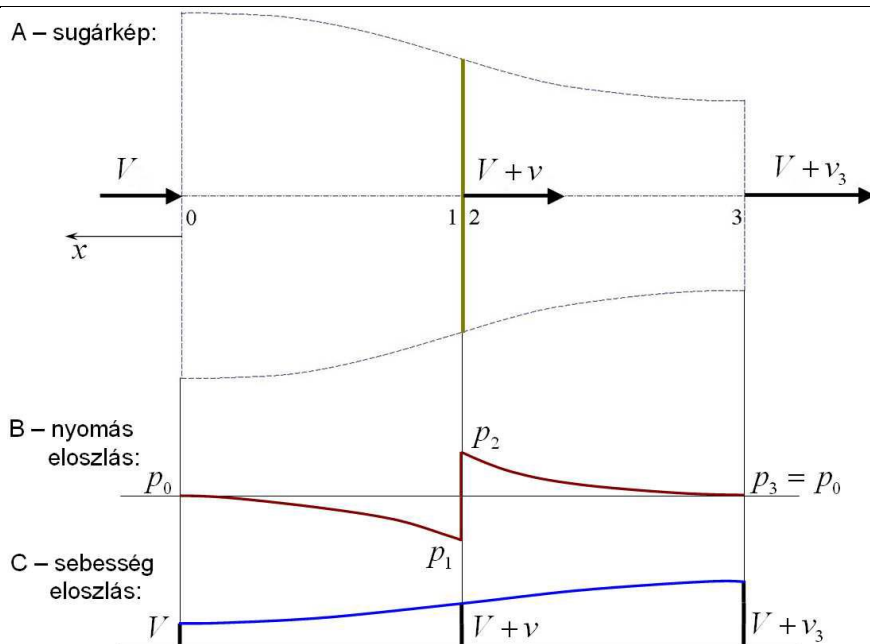
Az „actuator disc” módszer kellő mélységű bemutatása érdekében, átvettük az [1] forrás ide vonatkozó fejezetét.

A légcsvavarok a vonóereje vagy tolóereje a rajtuk áthaladó levegő felgyorsításához szükséges erő reakció-ereje, mely számításának legegyszerűbb módja az áramlástan impulzus tételére alapozott, impulzus elmélet. A vizsgálathoz feltételezzük, hogy a légcsvavar egy olyan, végtelen vékony tárcsa, amelynél az átáramló levegő nyomása ugrásszerűen, de a tárcsa minden pontjában azonos értékkel nő, és ennek megfelelően a levegő sebességváltozása is (ezt nevezzük közeli indukált sebességnek) minden pontban azonos értékű. Első lépésben feltételezzük még, hogy a sugár nem forog. Ez, az egyszerű sugár elmélet – a fentiek alapján – egyméretű feladat, mivel az egyes jellemzők (lásd 4. ábra) csak a hossz mentén változnak.

Az egyszerű, impulzus elmélet szerinti működés jellemzőit a 4. ábra szemlélteti. A légcsvart jelentő, végtelen vékony korong az „1” és „2” pontok között látható, ahol szaggatott vonallal határolva felrajzoltuk a körülötte kialakuló áramlást, a légcsvavar sugarának egy részét. A sugár belépő keresztmetszete (jele „0”) nagy, és a „0”-tól a „3”-as pont felé haladva, az áramlási sebesség növekedésével, az ábrázolt jellegnek megfelelően szigorúan monoton módon csökken.

A következőkben feltételezzük, hogy a légcsvavar pontosan az ebben az áramcsőben áramló levegőre hat. A hozzá érkező zavartalan levegőáram sebessége  $V$  – ez, ellenkező előjellel éppen a repülés sebessége – ha az állásszög változások és az esetleges csúszás hatásától eltekintünk. Ezt a sebességet látjuk a 4. ábra „0” jelzésű pontjában. Az „1” és „2” pontban – a folytonosság következtében – egyaránt „ $V + v$ ” a sebesség. Ez a zavartalan áramlás és a közeli indukált sebesség összege. A kilépésnél („3” pont) a legnagyobb a sebesség ( $V + v_3$ ).





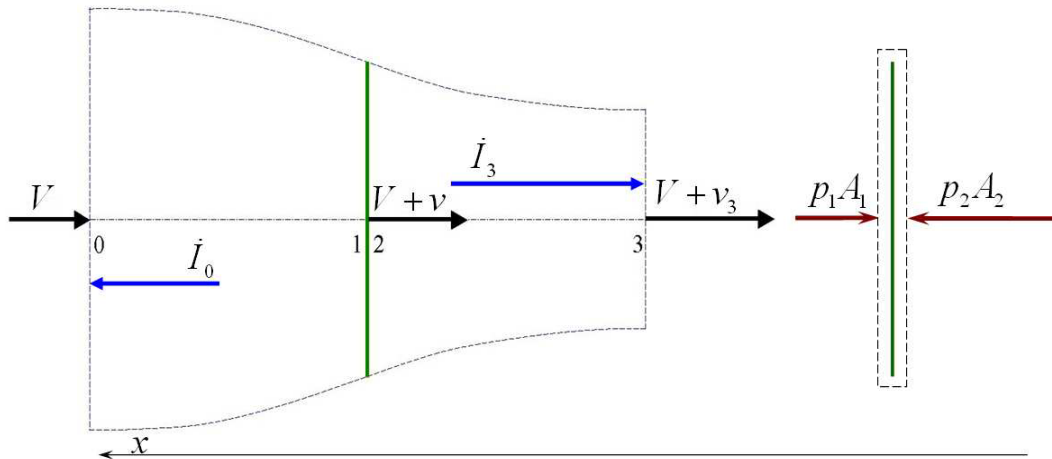
4. ábra A légsavár működése [1] – „actuator disc” módszer

A 4. ábra „B” részén, az áramcső hossza mentén kialakuló nyomásváltozás látható. Mivel a belépő keresztmetszetet elég távol választottuk, azért ott a belépő nyomás egyenlő a környezeti nyomással ( $p_0$ ). A légsavár működése következtében közvetlenül a légsavár-tárcsa előtt, a nyomás – az ábra „B” részén vázolt görbének megfelelően –  $p_1 < p_0$  értékre csökken. E nyomáscsökkenés miatt nő a sebesség a légsavár előtt, mely működése során energiát (teljesítményt) közöl a rajta áthaladó levegővel. Ez az oka, illetve ez magyarázza a nyomás ugrásszerű megnövekedését,  $p_1$ -ről  $p_2$ -re.

A 4. ábra „C” részén a sebesség hossz menti változását tüntettük fel. Látható, hogy a megnövekedett nyomás ( $p_2$ ) értéke a sebesség növekedésével a környezeti nyomásra csökken. Vagyis a kilépésnél  $p_3 = p_0$ , azaz a kilépő nyomás – elég távol a légsavár mögött – egyenlő a környezeti nyomással. A „3”-as pontban az úgynevezett távoli indukált sebesség ( $v_3$ ) alakul ki.

Az fentiekben leírt áramlás a folytonosság törvényének, az úgynevezett impulzus tételnek és a Bernoulli egyenletnek a segítségével vizsgálható. Az áramlástan impulzus tételének felírásához egyszeresen összefüggő, zárt ellenőrző felületet kell kijelölni és koordináta rendszert is szükséges definiálni.

Az 5. ábra jól megfigyelhető két ellenőrző felületet jelöltünk ki: a bal oldalon a már tárgyalt légsavár sugár darabot (szaggatott vonallal határolva); a jobb oldalon pedig, szintén szaggatott vonallal határolva, egy, a légsavár tárcsát szorosan körülfogó, egyszeresen összefüggő, zárt felületet rögzítettünk. Mivel, ez a feladat egydimenziós, elegendő egyetlen irány, az „x” tengely kijelölése. Ebben az esetben a vektor mennyiségek vektori voltát az előjelük jelenti (pozitív előjel esetén a vektor a „+ x” irányba, negatív előjel esetén pedig ellenkező irányba mutat).



5. ábra A légszár működése, ellenőrző felületek [1]

Írjuk fel először az impulzus tételt a bal oldali ábra-rész ellenőrző felületére:

$$\begin{aligned} \dot{I}_0 &= \rho \cdot R^2 \cdot \pi \cdot (V+v) \cdot V \quad \text{és} \quad \dot{I}_3 = -\rho \cdot R^2 \cdot \pi \cdot (V+v) \cdot (V+v_3) \\ \dot{I}_0 + \dot{I}_3 &= \rho \cdot R^2 \cdot \pi \cdot (V+v) \cdot V - \rho \cdot R^2 \cdot \pi \cdot (V+v) \cdot (V+v_3) = -T \end{aligned} \quad (1)$$

Az impulzus tétel bal oldalán az időegységre eső mozgásmennyiség-változás vektorok ( $\dot{I}_0$  és  $\dot{I}_3$ ) található. A jobb oldalon a közeg idegen testre gyakorolt erőhatása ( $-T$ ) áll. Az erő előtti negatív előjel itt azt jelöli, hogy ez egy reakció erő; alapesetben a közegre ható erőt kell (pozitív előjellel) az egyenletbe beírni. A környezeti nyomásból származó erőt nem írtuk ki, mivel, első közelítésben feltehető, hogy a nyomás az ellenőrző felület mentén mindenütt azonos a környezeti nyomással, ezért ez az erő nulla.

Az (1) egyenletben a  $\rho \cdot R^2 \cdot \pi \cdot (V+v) = \dot{m}$  kifejezés a légszár-sugarban haladó, állandó értékű tömegáramot jelenti. Ezt a sűrűségnek ( $\rho$ ), a légszár felületének ( $R^2 \cdot \pi = A_1 = A_2$ ) és a légszárnál érvényes sebességnek ( $V+v$ ) a szorzataként kapjuk meg.

Fejazzük ki az (1) egyenletből a légszár vonóerejét:

$$T = \rho \cdot R^2 \cdot \pi \cdot (V+v) \cdot (V+v_3 - V) = \rho \cdot R^2 \cdot \pi \cdot (V+v) \cdot v_3 = \dot{m} \cdot v_3 \quad (2)$$

Írjuk fel az impulzus tételt az 5. ábra jobb oldalán látható ellenőrző felületre is:

$$0 = -\int_A p \cdot dA - T = -p_1 \cdot R^2 \cdot \pi + p_2 \cdot R^2 \cdot \pi - T \quad (3)$$

Ebben az esetben az időegységre eső belépő és kilépő mozgás-mennyiség változás abszolút értéke azonos, előjelük különböző, az összegük tehát nulla – ez a nulla szerepel az (3) egyenlet bal oldalán. A jobb oldalon viszont ki kell számolni a felületi erőt (ez a középső tagbeli integrál) és az idegen testre ható (reakció) erőt is figyelembe kell venni.

Végeredményben kapjuk:

$$T = R^2 \cdot \pi \cdot (p_2 - p_1) \quad (4)$$

A vonóerőt (tolóerőt) kiszámíthatjuk, akár a (2), akár az (4) kifejezésből. Az erőre (általában) pozitív értéket kapunk, ez azt jelenti, hogy a vonó (toló) erő a pozitív „x” tengely irányában mutat – ez pontosan igazolja a fizikai elvárásainkat.

Az 5. ábra alapján két Bernoulli egyenlet írható fel: az egyik a nulla és egyes pont közé, a másik a kettes és hármas pont közé. (Az egyes és kettes pont között energia bevezetés van, ezért oda Bernoulli egyenletet felírni csak a feltétlenül szükséges megfontolások megtétele után, a bevezetett teljesítmény figyelembe vételével szabad.) A két egyenlet:

$$\frac{p_0}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \frac{p_1}{\rho} + \frac{(V+v)^2}{2} \quad (5)$$

$$\frac{p_2}{\rho} + \frac{(V+v)^2}{2} = \frac{p_0}{\rho} + \frac{(V+v_3)^2}{2} \quad (6)$$

Vonjuk ki (6)-ból (5)-öt:

$$\frac{p_2 - p_1}{\rho} = \frac{(V+v_3)^2}{2} - \frac{V^2}{2} = \frac{2 \cdot V \cdot v_3 + v_3^2}{2} = \frac{(2 \cdot V + v_3) \cdot v_3}{2} \quad (7)$$

A fenti egyenletbe a nyomáskülönbség alapján beírható a vonóerő:

$$\begin{aligned} \frac{(2 \cdot V + v_3) \cdot v_3}{2} &= \frac{p_2 - p_1}{\rho} = \frac{T}{\rho \cdot R^2 \cdot \pi} = \frac{\dot{m} \cdot v_3}{\rho \cdot R^2 \cdot \pi} = (V+v) \cdot v_3 \\ \Rightarrow \frac{(2 \cdot V + v_3)}{2} &= (V+v) \Rightarrow v_3 = 2 \cdot v \end{aligned} \quad (8)$$

A (8) egyenlet szerint a távoli indukált sebesség kétszerese a közelinek. Ez fizikailag azt jelenti, hogy a légcsvár előtti nyomáscsökkenés ( $p_0 \Rightarrow p_1$ ) következtében jön létre a közeli. Ezután, a bevezetett motorteljesítménynek köszönhetően a nyomás hirtelen megnövekszik ( $p_1 \Rightarrow p_2$ ). Mivel a légcsvár síkja után kialakuló nyomás nagyobb az atmoszféricusnál, ez a nyomás lecsökken, miközben létrejön a „második” indukált sebesség, azaz végeredményben a távoli indukált sebesség (kb. 4–5 m távolságra a légcsvarsík mögött).

Ez az eredmény csak ideális közeg áramlására érvényes és csak akkor, ha nem vesszük tekintetbe a légcsvár-sugár forgását (amely forgás mindig létrejön, ha vonóerő keletkezik). Azaz állítás, ami szerint a távoli indukált sebesség a közeli kétszerese valóságos áramlásokban ugyan csak közelítőleg igaz, azonban – egyszerű, de jó közelítés lévén – nagyon sok más kérdés tárgyalásakor is alkalmazzák.

### 3. A LÉGCSAVAR LAPELEM VIZSGÁLATÁNAK SCHMITZ FÉLE KÖZELÍTÉSE [1]

A Schmitz féle közelítés bemutatása érdekében, átvettük az [1] forrás ide vonatkozó fejezetét.



A lapelem és impulzus tétel egyesítésének első kapcsolati egyenlete tehát (a jelen közelítésben) a következő:

$$\rho \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot W \cdot \sin \varphi \cdot (2 \cdot u_D) = B \cdot c_D \cdot \frac{\rho}{2} \cdot W^2 \cdot c \cdot dr \quad (14)$$

Fejazzuk ki az (14) kapcsolati egyenletből a légellenállás irányú indukált sebesség összetevőt:

$$u_D = \frac{B \cdot c}{8 \cdot \pi \cdot r} \cdot \frac{c_D}{\sin \varphi} \cdot W \quad (15)$$

Helyettesítsük be a (15)-öt a (11)-be, illetve fejazzuk ki innen az alap eredő sebességet ( $W_0$ ):

$$W_0 = \frac{W}{\cos(\varphi - \varphi_0)} \cdot \frac{\frac{8 \cdot \pi \cdot r}{B \cdot c} \cdot \sin \varphi + c_D}{\frac{8 \cdot \pi \cdot r}{B \cdot c} \cdot \sin \varphi} \quad (16)$$

Határozzuk meg a második kapcsolati egyenletet is. Ebben az esetben a felhajtóerőt írjuk fel az impulzus tétel és a lapelem elmélet segítségével:

$$dL = d \dot{m} \cdot (2 \cdot v_L) = \rho \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot W \cdot \sin \varphi \cdot (2 \cdot v_L) = B \cdot c_L \cdot \frac{\rho}{2} \cdot W^2 \cdot c \cdot dr \quad (17)$$

A (17) kifejezés utolsó egyenlőség jelének két oldalán látható a keresett kapcsolati egyenlet. Ebből az egyenletből, (10) felhasználásával, illetve a lehetséges egyszerűsítések elvégzése után az alábbi kifejezést kapjuk:

$$2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sin \varphi \cdot [2 \cdot W_0 \cdot \sin(\varphi - \varphi_0)] = \frac{W}{2} \cdot B \cdot c \cdot c_L \quad (18)$$

Helyettesítsük be a (18)-ba az alap eredő sebesség ( $W_0$ ) (16) szerinti alakját:

$$2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sin \varphi \cdot \left[ \frac{2 \cdot W}{\cos(\varphi - \varphi_0)} \cdot \frac{\frac{8 \cdot \pi \cdot r}{B \cdot c} \cdot \sin \varphi + c_D}{\frac{8 \cdot \pi \cdot r}{B \cdot c} \cdot \sin \varphi} \cdot \sin(\varphi - \varphi_0) \right] = \frac{W}{2} \cdot B \cdot c \cdot c_L \quad (19)$$

A (19) kifejezés, a lehetséges egyszerűsítések elvégzése után az alábbi formában írható fel:

$$c \cdot c_L - \left[ \frac{8 \cdot \pi \cdot r}{B} \cdot \sin \varphi + c \cdot c_D \right] \cdot \tan(\varphi - \varphi_0) = c_L - \left[ \frac{4}{\sigma} \cdot \sin \varphi + c_D \right] \cdot \tan(\varphi - \varphi_0) = 0 \quad (20)$$

Ez az egyenlet a számítás alap-egyenlete. Amennyiben (20)-ba a megoldást jelentő ( $c_L, \varphi, c_D$ ) érték-hármaszt írjuk be, akkor a kifejezés értéke nulla lesz. Ha azonban a megoldástól különböző értékekkel próbálkozunk, akkor a jobb oldalon nullától különböző értéket (Reziduomot) kapunk:



$$c_L - \left[ \frac{4}{\sigma} \cdot \sin \varphi + c_D \right] \cdot \tan(\varphi - \varphi_0) = F \cdot c_{L\infty} - \left[ \frac{4}{\sigma} \cdot \sin \varphi + c_D \right] \cdot \tan(\varphi - \varphi_0) = \mathfrak{R} \quad (21)$$

Az (21) felírásánál figyelembe vettük a (33) egyenlettel meghatározott lapátvég veszteséget (lásd a 4.3 alfejezet). A számításban a profil felhajtóerő és ellenállás tényezőjéből indulunk ki. Az ellenállás tényezőt változatlanul hagyjuk, ezzel a ténylegesnél valamivel nagyobb ellenállást veszünk figyelembe. A felhajtóerő tényezőt azonban a lapáton kifelé haladva az „F” lapátvég veszteség tényezővel meghatározott módon csökkentjük – úgy, hogy a lapátvégen mindig nulla felhajtóerő tényezőt kapjunk, hiszen ott felhajtóerő nem keletkezik.

Az (21) egy nemlineáris egyenlet, amelyben azonban a  $(c_L, \varphi, c_D)$  érték-hármas lényegében egyetlen ismeretlent jelent, hiszen a felhajtóerő-tényező és az ellenállás-tényező értéke egyaránt a  $\varphi$  - szög értékétől függ. A numerikus számítást például a Newton-iteráció segítségével végezhetjük:

$$\varphi_{új} = \varphi_{régi} - \frac{\mathfrak{R}}{\left( \frac{\partial \mathfrak{R}}{\partial \varphi} \right)} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathfrak{R}}{\partial \varphi} = & \frac{\partial F}{\partial \varphi} \cdot c_{L\infty} + \frac{\partial c_{L\infty}}{\partial \varphi} \cdot F - \left[ \frac{4}{\sigma} \cdot \cos \varphi + \frac{\partial c_D}{\partial \varphi} \right] \cdot \tan(\varphi - \varphi_0) - \\ & - \left[ \frac{4}{\sigma} \cdot \sin \varphi + c_D \right] \cdot \left[ 1 + \tan^2(\varphi - \varphi_0) \right] \end{aligned} \quad (23)$$

A tényleges számítás elvégzéséhez szükség van a felhajtóerő-tényező és az ellenállás-tényező értékére, melyek különböző változók függvényei (állásszög, Mach-szám, profilvastagság, Reynolds szám stb.).

A lapátvég működési viszonyainak számítása speciális eljárást igényel. A 4.3 alfejezetben leírt lapátvég veszteség számítás módszere szerint ugyanis a lapátvégen mindig nulla a felhajtóerő – és ezzel a  $v_L$  indukált sebesség is mindig nulla lesz. Ezért a lapátvégen a fent leírt iteráció nyilván nem alkalmazható. Másrészt az ábrán látható sebességi háromszög is változik (lásd 6. ábra): a  $v_L = 0$  miatt a  $\varphi_0 = \varphi = \varphi_2$ , vagyis a három eredő sebesség  $(W_0, W, W_2)$  egy egyenesre esik. Felírható tehát, hogy:

$$W + u_D = W_0 \quad (24)$$

A  $\varphi_0$  szög minden további nélkül számolható:

$$\varphi_0 = \arctan\left(\frac{V}{\Omega \cdot r}\right) \quad (25)$$

Ezzel a helyi geometriai állásszög is meghatározható:

$$\alpha = \beta - \varphi_0 \quad (26)$$

Feltesszük, hogy a lapátvégen felhajtóerő nem, ellenállás viszont keletkezik. Feltesszük továbbá, hogy a lapátvég profil ellenállás tényezője a fenti, geometriai állásszöghöz tartozó ellenállás tényező ( $c_D$ ), a lapátvégen alkalmazott profil profiljellemezői közül kiválasztható.

Ezután, a (15) kifejezés felhasználásával az alábbi eredményre jutunk:

$$u_D = \frac{B \cdot c}{8 \cdot \pi \cdot r} \cdot \frac{c_D}{\sin \varphi} \cdot W \text{ és } W = W_0 - u_D \Rightarrow u_D = \frac{\frac{B \cdot c}{8 \cdot \pi \cdot R} \cdot \frac{c_D}{\sin \varphi_0} \cdot W_0}{1 + \frac{B \cdot c}{8 \cdot \pi \cdot R} \cdot \frac{c_D}{\sin \varphi_0}} \quad (27)$$

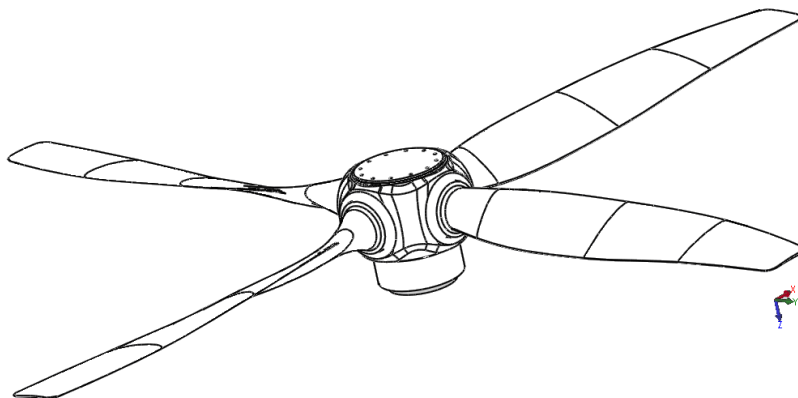
A fenti kifejezésbe a légszavar lapát végének jellemző adatait kell behelyettesíteni, illetve ezzel a lapátvég működési viszonyainak számítása megoldott.

## 4. A SCHMITZ-FÉLE ELJÁRÁS ALKALMAZÁSA

A Schmitz módszer alkalmazását az elkövetkezőekben fogjuk részletezni, bemutatva hogyan is épül fel az eljárás. A módszer MATLAB környezetben került implementálásra. Először a számításokhoz szükséges információkat határozzuk meg az ismert légszavar geometriából. Ezt követően szintén a geometria adatokra alapozva, felvételre kerülnek a felhajtóerő tényező és ellenállás tényező – állásszög függvények. A műveletek során törekedtünk a valósághűségre, ezért lapátvég veszteséggel is számoltunk, ezzel is közelítve a 3D-s áramlást. Mindezek után részletes bemutatásra kerül a számítási algoritmus felépítése. Végezetül összehasonlításra kerül a kapott eredmény és az ESPOSA társintézmény által rendelkezésünkre bocsájtott specifikáció.

### 4.1 A légszavar geometria

A számítás elvégzéséhez, első közelítésben, négy különböző információ előállítására vagy meghatározására szükséges. Az első a profil geometria azonosítása a légszavar modellje alapján (lásd. 7. ábra). Ez elengedhetetlen a felhajtóerő tényező és ellenállás tényező állásszög függvényében történő változásának előállításához.

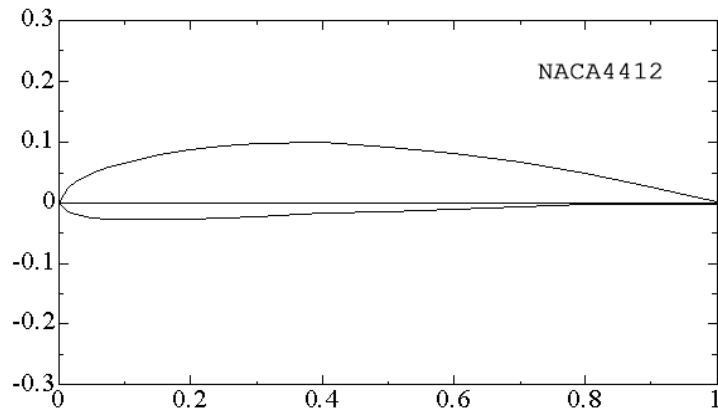


7. ábra A légszavar perspektivikus rajza [8]

A profil azonosítása hasonlósági alapon történt. Metszetek vizsgálatával, megállapítottuk, hogy a profil jól közelíthető a NACA-4412-es számú profillal (lásd 8. ábra). Ez egy igen elterjedt

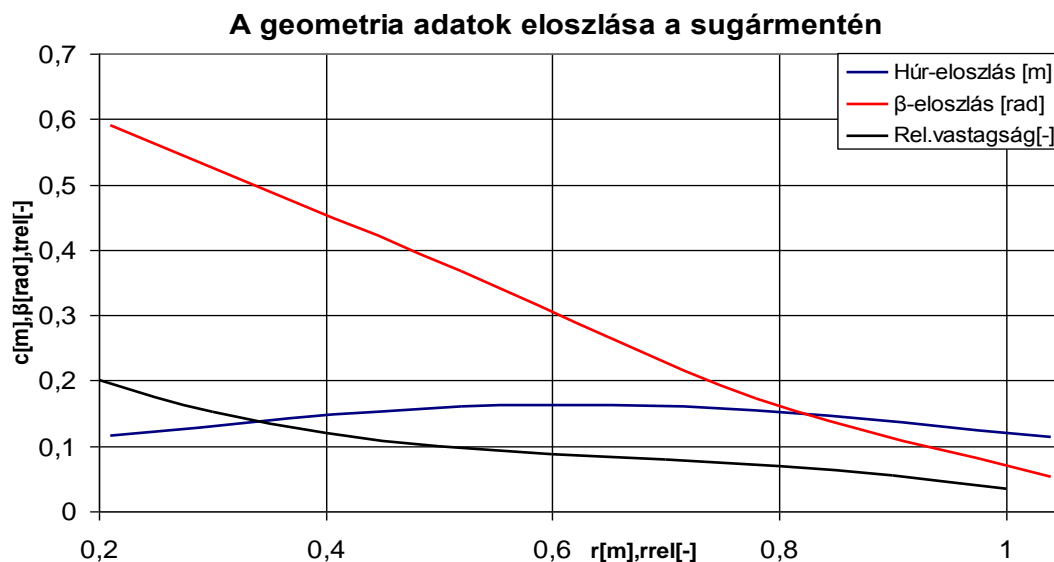
geometria a változtatható beállítási szögű légsavarak között. Mivel ez a légsavar szintén állítható beállítási szögű, így ebből a szempontból is elfogadhatónak tűnik a választásunk.

A profilválasztás után, következő lépésként szükséges megállapítani a húr hossz, a beállítási szög, és a relatív vastagság változását a sugármentén. Kiemelendő, hogy a fenti adatok csak egy adott tartományban szükségesek. Ez az intervallum, a légsavar forgástengelyétől számítva a lapát sugár 20%-tól a lapátvépig tart. Ennek oka az, hogy a lapát bekötési környezetében a profilgeometria jelentősen megváltozik, az itt lejátszódó folyamatok leírása nem szükséges számunkra.



8. ábra A légsavar lapalelem típusa – NACA 4412 [6]

A fent említett jellemzőket a CAD rajz metszeteinek vizsgálatával állapítottuk meg, majd ezeket függvényekké alakítottuk az egyszerűbb kezelhetőség és a műveleti automatizálás érdekében. Ezeket a függvényeket a 9. ábra ábrázoltuk. A húr hossz- és a beállítási szög-eloszlás a sugár mentén, a relatív vastagság a relatív sugár ( $r_{rel}=r/R$ , ahol  $R=D/2=1,04$  m) függvényében lett felrajzolva.



9. ábra A geometriai adatok eloszlása a légsavarsugár mentén

A húr hossz eloszlás:

$$c(r) = \frac{q_0 + q_1 \cdot r + q_2 \cdot r^2}{1000} [m] \quad (28)$$

A beállítási szög eloszlás:

$$\beta(r) = \left( a + b \cdot r + c \cdot r^2 + d \cdot r^3 \right) \frac{\pi}{180} [rad] \quad (29)$$

A relatív vastagság eloszlás:

$$t_{rel}(r_{rel}) = x_0 + x_1 \cdot r_{rel} + x_2 \cdot r_{rel}^2 + x_3 \cdot r_{rel}^3 [-] \quad (30)$$

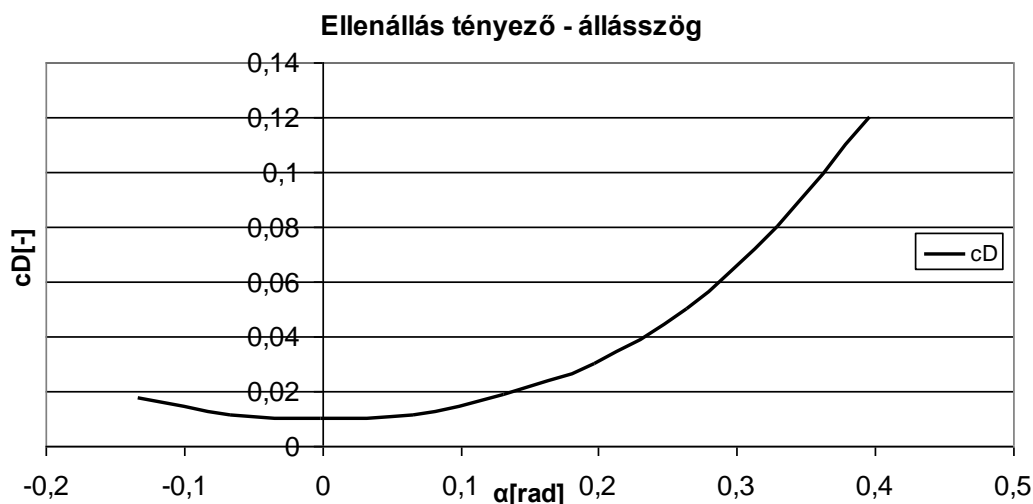
## 4.2 A felhajtóerő és ellenállás tényezők előállítás

A légszavarak, illetve szélkerekek aerodinamikai számításához szükség van az alkalmazni kívánt profilok felhajtóerő tényező, ellenállás tényező és nyomatéki tényező eloszlásaira; az állásszög, a Mach szám és a Reynolds szám függvényében. Ezekhez a szerkezetekhez általában különböző vastagságú profilokat alkalmaznak, rendszerint a lapátvégen vékonyak, illetve a tő felé haladva egyre vastagabbak. A lapáttőnél pedig – szilárdsági és merevségi szempontok alapján – már igen vastag, profilnak nem is igazán nevezhető metszeteket alkalmaznak. A lapáttő éppen ezért alapvetően ellenállást termel, vonóerőt nem, ennek részletes aerodinamikai vizsgálatával nem is foglalkozunk [1].

A változó profilvastagság a legtöbb esetben egy, változó vastagságú profil család alkalmazását jelenti. Ilyen profil család a szakirodalomban kevés található, illetve az elérhető profil családok adatai meglehetősen hiányosak. Konkrét tervezési feladat megoldásához választható egy már kifejlesztett profil család, amelynek az esetleg hiányzó adatai valamilyen numerikus módszerrel (pl. XFLR5 program) határozhatók meg [1].

Ebben a munkában, a felhajtóerő és az ellenállás tényezők változásának bemutatásai az állásszög függvényében, a 824-es NACA [7] riportból származnak. Az itt található adatokat mérések segítségével határozták meg, így az időigényesebb elméleti megközelítésű műveletek (lásd. [1]) helyett ez került alkalmazásra. Azonban azt a pontatlanságot el kell fogadjuk, így nem számolunk a propeller sugara mentén a profilvastagság ( $t_{rel}$ ), a Mach- és Re-szám változásával. Mindazonáltal kimondható, hogy az "aktív" légszavar sugár – relatív sugárral kifejezve, az az intervallum:  $r_{rel}=[0,2; 0,8]$ , mely a vonóerő termelés túlnyomó részét biztosítja – tartományban a tényezők változása közelíthető egyetlen felvett  $c_L-\alpha$  és  $c_D-\alpha$  függvényekkel. Az ellenállás tényező alakulását az állásszög függvényében a 10. ábra szemlélteti. A tényező közelítésére szolgáló polinomot a (31) egyenlet írja le. (Az  $\alpha$  radiánban értelmezendő).

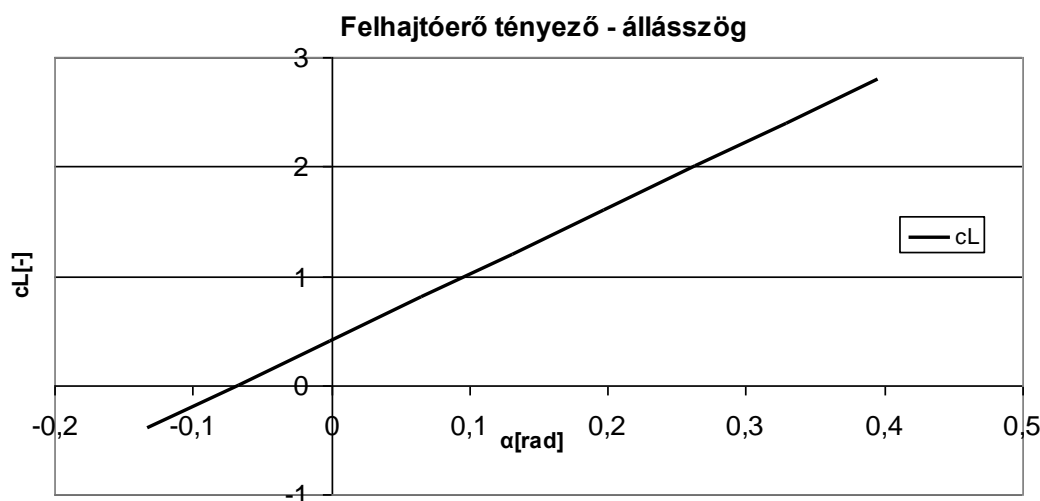
$$c_D = 0,0099931245 - 0,010127944 \cdot \alpha + 0,41481317 \cdot \alpha^2 + 0,78787907 \cdot \alpha^3 \quad (31)$$



10. ábra Az ellenállás tényező – állásszög függvény közelítése (NACA 4412) [7]

A felhajtóerő tényezőt egy egyenessel közelítettük (lásd. 11. ábra). Ennek magyarázata az, hogy azokban a működési tartományokban – utazó repülés – ahol a vizsgálatainkat végezzük, olyan állásszögek fognak realizálódni a légszár sugara mentén, amik a lineáris szakaszára esnek a függvénynek, így eltekintettünk a görbe átesés közelébe eső tartományától. Ebben az esetben a közelítő összefüggést a (32) egyenlet írja le. (Ahogy az korábban is az  $\alpha$  itt is radiánban értelmezendő).

$$c_L = 6,052 \cdot (\alpha + 0,06685) \quad (32)$$



11. ábra A felhajtóerő tényező – állásszög függvény közelítése (NACA 4412) [7]

### 4.3 A lapátvég veszteség figyelembe vétele

A korábbiakban ismertetett okok alapján a légszár metszet működésének vizsgálatában a karcúság nem kap szerepet, a légerő tényezőket profilmérések szolgáltatják. Ugyanakkor a légszár-lapátok véges hosszúságúak, ezért a körülöttük kialakuló áramlás térbeli, vagyis háromdimenziós [1].

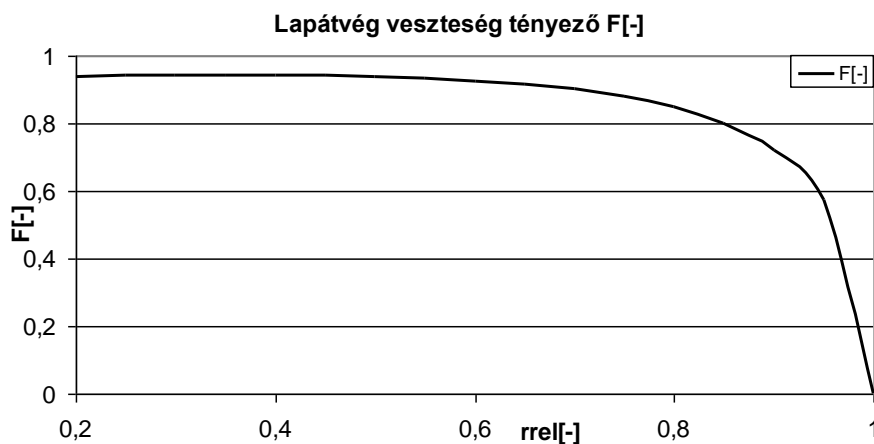


A térbeli áramlás vizsgálatára az örvény-elméletek alkalmasak. Ludwig Prandtl fejlesztett ki egy viszonylag egyszerű összefüggést, amelyet sok munkában mind a mai napig az eredeti formájában alkalmaznak. Ez az összefüggés megadja a kapcsolatot a sík és a térbeli áramlásban értelmezett felhajtóerő-tényező között [1]:

$$c_L = F \cdot c_{L\infty}$$

$$F = \frac{2}{\pi} \arccos \left[ \exp \left( -\frac{B}{2} \frac{R-r}{R} \frac{1}{\sin \varphi} \right) \right] \quad (33)$$

A (33)-ban szereplő „ $F$ ”-et lapátvég veszteségtényezőnek nevezzük. Értéke a lapát mentén közel egy, a lapátvéghez közeledve rohamosan csökken és a lapátvégen pontosan nulla. Ezt a 12. ábra szemlélteti.



12. ábra A lapátvég veszteségtényező alakulása a relatívsugár mentén

A lapátvég veszteségtényező a lapát mentén kifelé haladva a hordozó örvény erősségét csökkenti, úgy, hogy a lapátvégen az pontosan nulla értékű. Az egyesített impulzus-lapelem elméletben a felhajtóerő tényező értékét csökkentjük a fent leírtakkal analóg módon [1].

#### 4.4 A programozott eljárás főbb lépéseinek bemutatása

A Schmitz módszer leírásánál már említettük, hogy a probléma megoldásához szükséges egy numerikus megoldó eljárás készítése. Erre a korábbi fejezetben és a szakirodalmakban Newton-iterációt javasolnak. Ettől azonban eltértünk, de szintén egy numerikus megoldó algoritmus készült. A lényege a következő, a Reziduomot számos állásszög értéken felvéve „feltérképezük”, majd a ponthalmazra függvényt illesztünk, és ennek keressük a gyökeit. A két jellemző között egy könnyen kezelhető parabolikus függvény-kapcsolat áll fenn. A másodfokú polinomnak két gyöke van, matematikailag mindkét eredmény helyes. Azonban a kisebb állásszög érték, ami elfogadható, mivel fizikailag ez realizálódik a tapasztalatok alapján [11].

A numerikus megoldás az alábbi lépéseket valósítja meg:

- állásszög értékeket generál számos pontban (kb. 2500 db);
- $\varphi = \beta - \alpha$ , a sebességi háromszög jellemző szögének képzése;
- a külön eljárásokként megírt légerő tényezők és lapátvesztések kiszámítása;
- a Reziduum  $\Re$  meghatározása;

- függvényillesztés az összetartozó állásszög és Reziduum  $\mathfrak{R}$  értékekből álló pont halmazra;
- a gyökök keresése (MATLAB beépített függvény segítségével: roots (polinom));
- választó logika – a gyökök közül – előállítja a szükséges állásszög értéket.

Természetesen a műveleteink sora folytatódik, mivel számunkra az axiális és tangenciális irányú indukált sebességek meghatározása a cél. A Schmitz – eljárás végeztével azonban felhajtóerő (10) és ellenállás irányú (27) indukált sebességeket kapunk meg. Ezt orvosolandó, egy koordináta transzformációval élve (34), meghatározásra kerültek a szükséges sebesség értékek.

$$\begin{aligned} v_{ax} &= v_L \cdot \cos \varphi - u_D \cdot \sin \varphi \\ u_{tan} &= v_L \cdot \sin \varphi + u_D \cdot \cos \varphi \end{aligned} \quad (34)$$

A számításai műveletünk utolsó lépése a "hangolás" az adott üzemállapotra. Ez azért szükséges, mivel nem bocsájtották rendelkezésre az adott repülési helyzetekhez tartozó konstans beállítási szög értékeket. Azonban, a motor teljesítmény felvételét igen. Ennek tudatában a beállítási szöveget addig változtattuk, míg a teljesítmények megközelítő azonosságát nem biztosítottuk. A teljesítmény meghatározását a [11] szerint, numerikus integrálási módszerrel határoztuk meg, a következő két összefüggés alapján:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta r} = B \cdot c_Q \cdot \frac{\rho}{2} \cdot W^2 \cdot c = B \cdot (c_{L3D} \cdot \sin \varphi + c_D \cdot \cos \varphi) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot W^2 \cdot c \quad (35)$$

$$P = \Omega \cdot \sum_{i=1}^n \left. \frac{\Delta Q}{\Delta r} \right|_i \cdot \Delta r_i \quad (36)$$

A fenti képletek eredményei közelítőek, pontosabb eredményre juthatunk, ha más integrálási módot választunk pl. Simpson-formula vagy trapéz-szabály [11]. A saját alkalmazásunkba ez utóbbi módosítást beépítettük.

#### 4.5 A számítási művelet kezdeti feltételeinek megadása és a kiszámított eredmények összevetése rendelkezésre álló adatokkal (Schmitz-féle eljárás – ESPOSA specifikáció)

A műveleteket ebben a munkában, egyetlen működési állapotra – utazó üzemmódra – végeztük el. A számítások alapjául, a következő adatkészletet bocsájtották – lásd 1. táblázat – részünkre az ESPOSA projekt más részvevői:

Az utazó repülés		
Motorteljesítmény	364	kW
Magasság	3048	m
Hőmérséklet	-4,81	°C
Repülési sebesség	112	m/s
Propeller átmérő	2,08	m
Propeller fordulatszám	1950	1/perc
Levegő sűrűség	0,904	kg/m <sup>3</sup>

1. táblázat Az utazó repülés számításaihoz szükséges kiinduló adatok

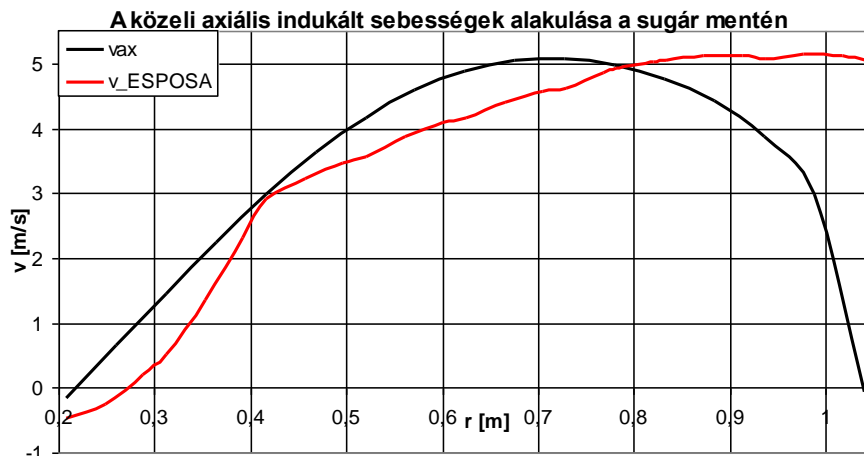
Az 1. táblázat paramétereit alapján, már a korábbi fejezetben leírt eljárás futtatásához, minden

szükséges információ a rendelkezésünk áll.

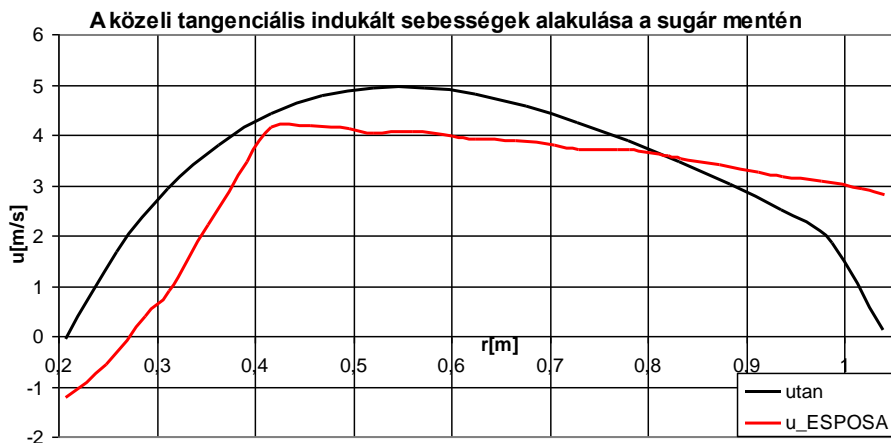
### **Az utazó üzemmód számítási eredményei**

A 13. ábra és 14. ábra szemlélteti a számítási eredményeinket, illetve a rendelkezésünkre bocsátott eloszlásokat. A függvények menetéből jól látszik, hogy ha a lapátvég és környezetétől eltekintünk az adatok közötti maximális eltérés akár  $\sim 2,025$  m/s is lehet. A lapátvégen kialakuló sebességi eloszlást megfigyelve, szembeötlő, hogy míg az ESPOSA specifikációja nem számol a lapátvég veszteséggel, addig a saját modellünkénél a szárnyvég irányában – a Prandtl féle tényező által – az indukált sebességek nagymértékben, szinte nullára lecsökkennek. Megjegyzendő, hogy a saját eljárásunk felépítésének kezdeti szakaszában, a számításainkban, még nem szerepelt a szárnyvégi veszteség-tényező, így a modellünk akkori állapota hasonló jelleggel bírt (a függvény-változás tekintetében), mint az ESPOSA-s eredmény. Így kimondható, hogy az eltérés fő okát, a szárnyvég veszteségi korrekció beépítésében látjuk, illetve megállapíthatjuk, hogy ezzel a számításainkat a valóság pontosabb leírásának irányába mozdítottuk el. További eltérést jelenthet az is, hogy a saját eljárásunk nem veszi figyelembe a légsavár tövében, a bekötési környezetben ébredő veszteségeket.

Ezzel szemben számolnunk kell a saját modellünk felépítési hibáival. Ez alatt értendő pl. a légsavár geometriai adatainak – húr-, beállítási szög -, és relatív vastagság eloszlás – CAD modellből történő kiolvasása. Továbbá, a propeller profil típus pontos ismeretének hiánya miatt eltérőek lehetnek a felhajtóerő- és ellenálláserő tényező függvények. Utolsó sorban, mint ahogy azt már korábban is említettük, a kiinduló adatok közül hiányzott az adott működési állapothoz tartozó konstans beállítási szög értéke. Ezek ismeretében pontosabb modell készíthető.



13. ábra A közeli axiális indukált sebességek alakulása a sugár mentén (a saját (fekete) és az ESPOSA specifikáció (piros))



14. ábra A közeli tangenciális indukált sebességek alakulása a sugár mentén (a saját (fekete) és az ESPOSA specifikáció (piros))

### *A megoldásunk szimulációs programban történő beépítése és korlátai*

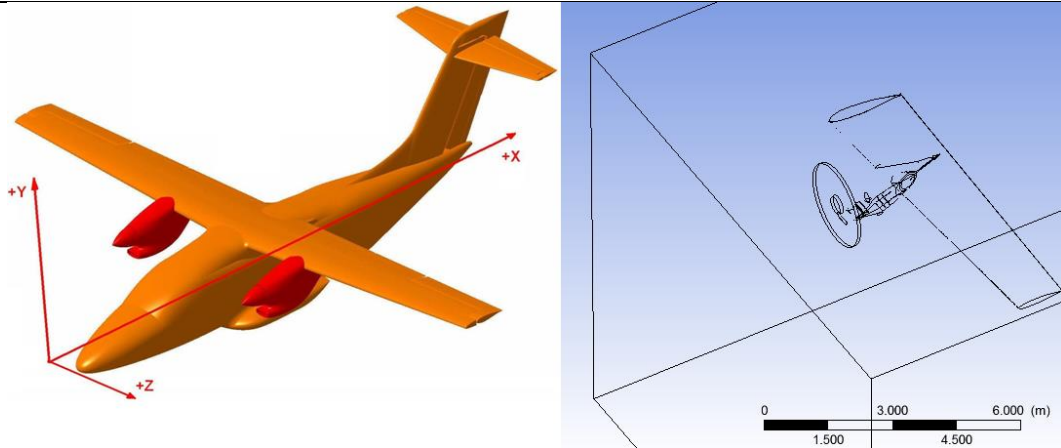
A szimulációs programba való beépítés előtt az eredményeinket alkalmassá kellett tenni az importálásra. Ennek magyarázata érdekében érdemes visszatekinteni az „actuator disc” elméleti bevezetéséhez. A 4. ábra az áramcső mentén mutatja a létrejövő sebesség és statikus nyomás eloszlását. Azonban a felhasznált áramlástan szoftverrel nem tudunk statikus nyomásváltozást és sebesség eloszlást egyszerre definiálni, mivel így egy túlhatározott peremfeltételt kapnánk, ami a számítási műveleteket elvégzését tenné lehetetlenné. Probléma kiküszöbölése/átalakítása érdekében azt tételeztük fel, hogy a légsavartárcsából kilépő axiális sebesség:  $V+v$  helyett, számoljunk az indukált sebesség kétszeresével:  $V+2v$ , azaz a távoli indukált sebességgel (a tangenciális sebességek vonatkozásában is  $2u$ , azaz távoli tangenciális indukált sebességet építettük be).

## 5. AZ „ACTUATOR DISC” MÓDSZER ALKALMAZÁSA A „BE-2 TRACTOR” MODELLJÉN

Az indukált sebességek meghatározását követően összeállítottunk egy CFD modellt. Az elkövetkezőkben bemutatjuk a szimuláció felépítésének főbb lépéseit azaz, a hálózást, az anyagtulajdonságok, perem feltételek és megoldó beállítások definiálását, illetve az eredmények értékelését. Mint hogy azt már korábban jeleztük, a vizsgálatainkat egyetlen üzemállapotra – utazó repülésre – végeztük el.

### 5.1 A modellalkotás

A légsavaros repülőgép 3D-s CAD rajza a 15. ábra baloldalán látható. Ezzel szemben, a szimulációhoz készített áramlási tér modellje – mely a gép adott szegmensének az áramlási tartományból történő kivonásával képeztük – az ábra jobb oldalán látható. A számítógépi kapacitásigény csökkentése érdekében szimmetria-feltétellel éltünk (bár a légsavár hatása miatt ez egy jelentős közelítés jelent), illetve a légsavart egy vékony tárcsa helyettesíti, az „actuator disc” metodikának megfelelően (lásd. 15. ábra).



15. ábra A BE-2 Tractor CAD [8] és CFD modellje [10]

## 5.2 A hálózás

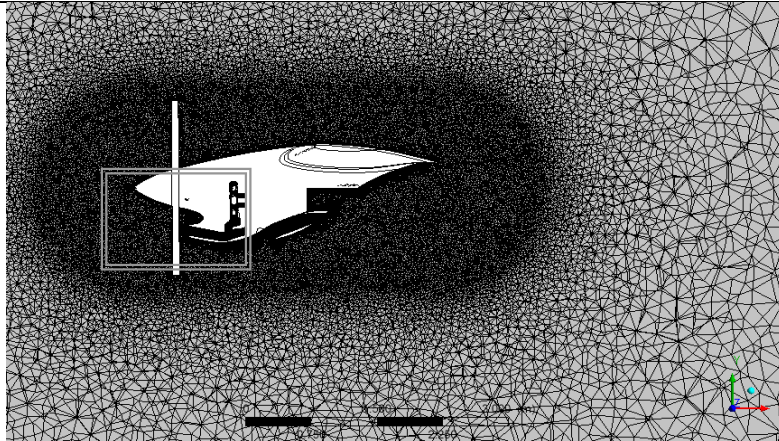
A fent említett áramlási tér a programba történő importálását követően elkészítettük a geometria diszkretizációját, azaz véges számú térfogat-elemre való bontását (lásd 16. ábra). Ha az áramlás álló fal mentén történik, a falon a közeg sebessége (a tapadás törvénye értelmében) zérus, attól távolodva rohamosan növekszik. Ennek érdekében a szerkezet felületeinek irányába besűrítettük a hálót, ami elengedhetetlenül szükséges a megfelelő számítási pontosság elérésének érdekében [3]. A már behálózott áramlási tartomány egy adott metszetének kinagyított képét a 17. ábra mutatja. A határréteg hálózást, pedig az itt téglalappal kijelölt szegmensének nagyított ábrája szemlélteti.

### *A dimenziótlán faltávolság*

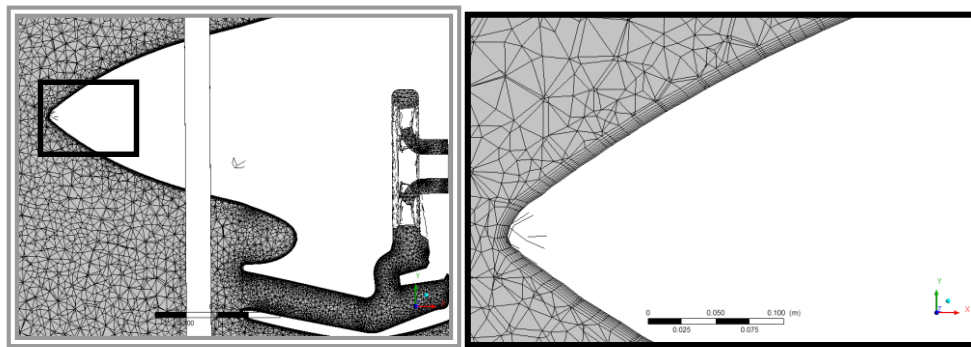
A hálózási művelet, egyik kiemelkedően fontos és vizsgálandó része a dimenziótlán faltávolság ( $y^+$ ). Ennek jelentősége abban rejlik, hogy a határrétegben a logaritmikus faltörvényt milyen érvényességi feltétel mellett használjuk, milyen közelítést alkalmaz a szoftver. A határrétegben lezajló folyamatokat modellezésére kétféle közelítés létezik, a „*Wall Function Approach*” és a „*Near-Wall modell Approach*” (ezen cikk keretein belül a határréteg-modellek pontos ismeretése nem volt célunk). A program automatikusan alkalmazza az elkészült háló és az áramlás tulajdonságai alapján azt, hogy melyik közelítést célszerű figyelembe venni. Az  $y^+$  értékének ellenőrzésére természetesen csak a számítás lefuttatása után kerülhet sor. Az eredményeknek a hálómérettől és a határréteg-felbontástól függetlennek kell lennie, azonban ennek ellenőrzésre időbeli korlátok és terjedelmi okok miatt nem került sor.

Az elkészített háló tulajdonságai a következők. Az alkalmazott csomópontok és elemek száma rendre 2537796 és 10843829.





16. ábra Az áramlási tér egy metszetének behálózott képe



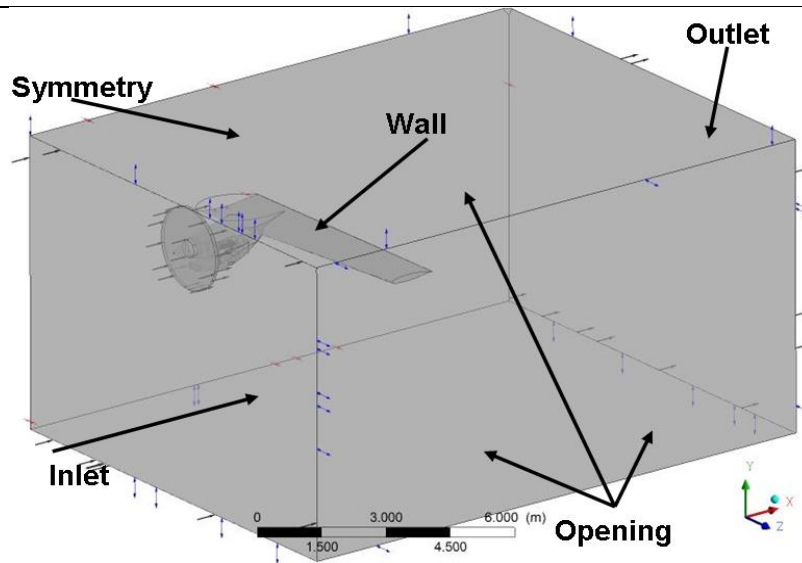
17. ábra A 16. ábra kijelölt része és a keretezett részen a határréteg hálózás

### 5.3 A peremfeltételek definiálása

A modell kialakítása olyan, hogy további szerkezeti elemek – pl. olajhűtő, szívócsatorna, jég-telenítő – vizsgálatát is lehetővé teszi. Azonban e cikk keretein belül csak a légszavas repülőgép körül kialakuló áramlás vizsgálatához szükséges peremfeltételek bemutatására szorítkozunk. Az analízis beállításai során a tér anyagtulajdonságait ideális gázként értelmezett levegőnek állítottuk be. A referencianyomás 94091,5 Pa, az ettől eltérő nyomás peremfeltételeket relatív nyomásként definiáltuk ott, ahol ennek megadása szükséges volt. A hőtranszport beállítási lehetőségei közül a „Total Energy”-t választottuk. A turbulencia modellt Menter SST<sup>7</sup> módszere alapján állítottuk be. Az előírt peremfeltételek tartományait a 18. ábra mutatja be, értékeit a 2. táblázat foglalja össze. A 19. ábra pedig az „actuator disc” felületelemre definiált peremek elhelyezkedéséről szolgáltat információt.

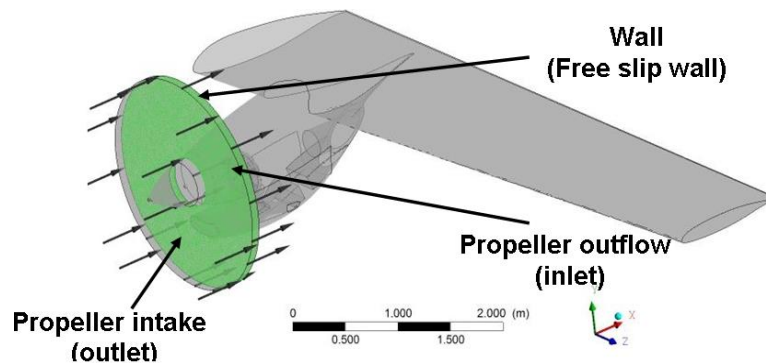
Boundary/Perem	Nyomás [Pa]	Hőmérséklet [K]	Sebesség [m/s]
Inlet - belépés	$p_{\text{stat, ref}}=0$	$T_{\text{stat}}=273,15$	112
Outlet - kilépés	$p_{\text{stat, ref}}=0$	$T_{\text{stat}}=273,15$	-
Symmetry - szimmetria	-	-	-
Opening - nyitott perem	$p_{\text{entrainment}}=0$	$T_{\text{opening}}=273,15$	-
Wall - szilárd fal	No slip wall – fal tapadási feltétellel		

2. táblázat Az áramlási tér felületei mentén definiált peremfeltételek



18. ábra Az áramlási térre előírt peremfeltételek (Inlet: belépés, Outlet: kilépés, Opening: nyitott perem, Symmetry: szimmetria feltétel és Wall: szilárd fal perem)

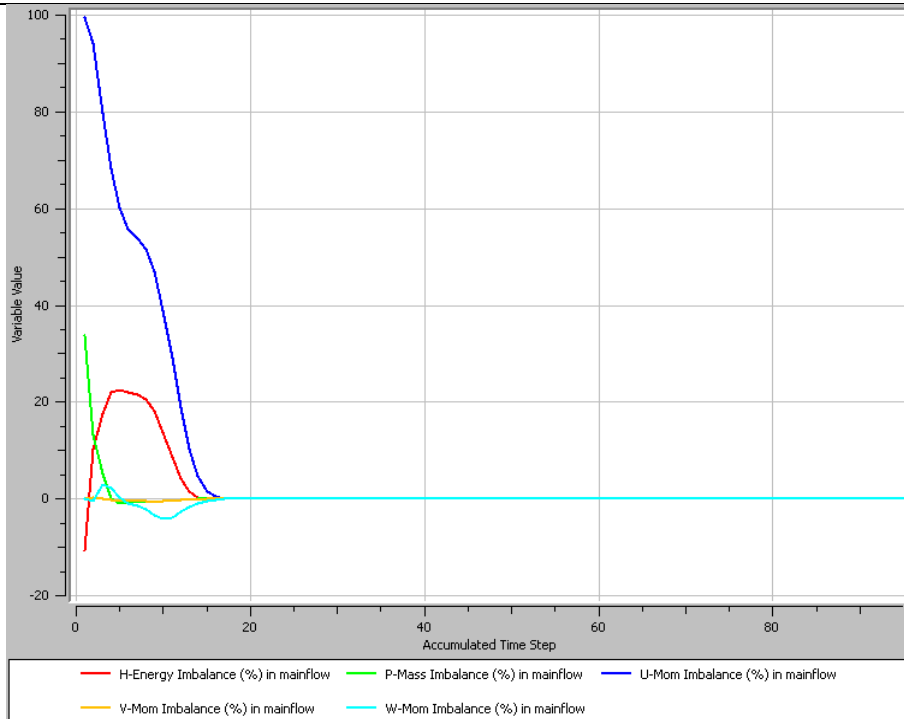
A korábbiakban, a propeller sugár mentén, meghatározott indukált sebességeket a légsavár „tárcsa” felületén, lokális henger koordináta rendszerekben definiáltuk a sugár függvényében (axiális irányban  $(V+2v)(r)$  tangenciális irányban  $2u(r)$ ), ellenkező előjellel a be-, illetve a kiáramlási felületeken axiális irányban.



19. ábra A légsavarra – az „actuator disc”-re – definiált peremfeltételek elhelyezkedése

#### 5.4 A „Solver” futtatása

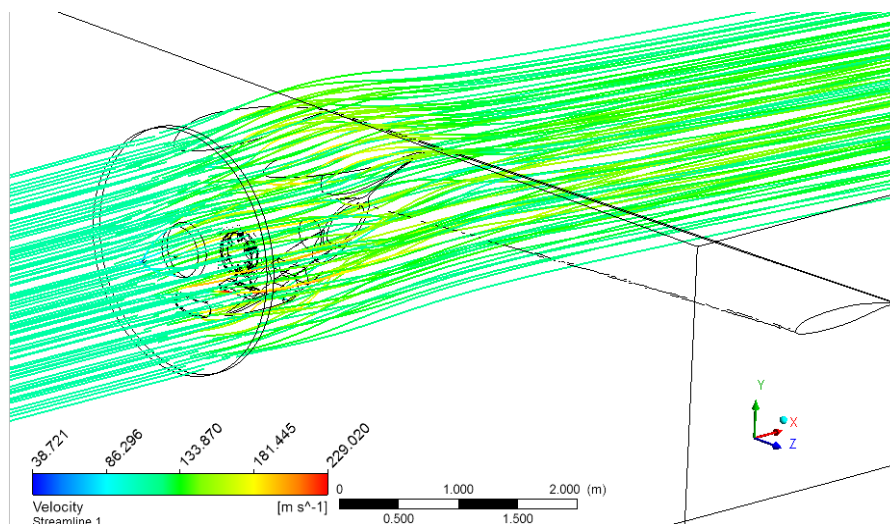
A „Solver”, a megoldó, az egyenleteket iteratívan oldja meg. A szimuláció indítása előtt, megadtuk a maximális iterációk számát, illetve, hogy milyen konvergencia-kritérium esetén álljon le a számítási folyamat. A program sikeresen lefutott, konvergens eredményt kaptunk. Az egyenletek maradék-tagjainak értéke („imbalance”-ok) beálltak közelítőleg zérusra (lásd 20. ábra). Ezt követően, a további futtatások már nem okoznának érdemleges változásokat az eredményekben.



20. ábra A numerikus áramlási számítás konvergencia görbéi

## 5.5 A számítási eredmények bemutatása

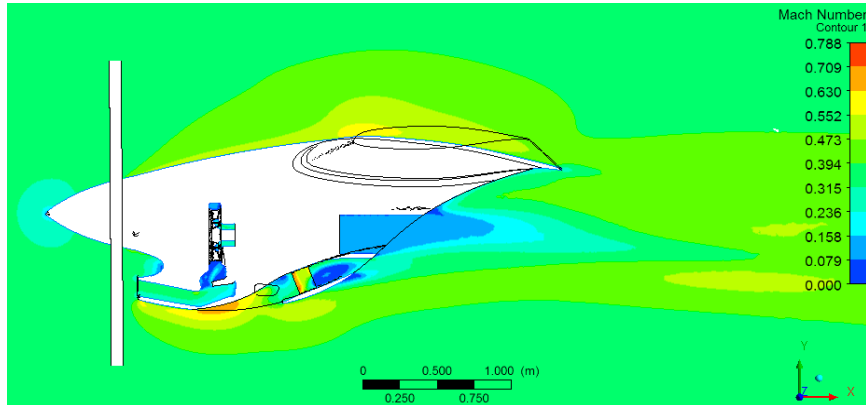
A program futtatását követően vizsgálhatóak az eredmények, azaz következik a CFD-Post (poszt-processzálás). A 21. ábra szemléletesen mutatja a légsavarhoz, azaz az „actuator disc”-hez érkező levegő-áramot, annak mozgásállapotát a kétszeres indukált sebességek hozzáadásával változtatja meg. A közeg a szárny felső részénél a konvex áramlásnak megfelelően felgyorsul, miközben a nyomása lecsökken (a nyomás-eloszlást ld. a 23. ábra).



21. ábra A légsavarhoz érkező és attól távozó közeg áramképe az áramlási térben

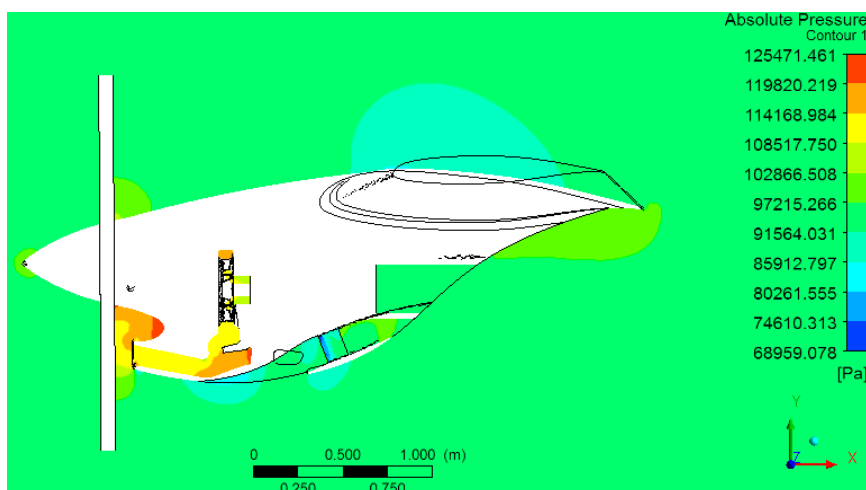
A Mach-számok vizsgálatával folytatva (lásd 22. ábra), a következő ábra szintén szemléletesen mutatja a konvex áramlási képet a szárny felett, továbbá az orrkúpon kialakuló torlópontot. A

hajtóműből kilépő munkaközegről elmondható, hogy alacsony sebességgel hagyja el a fűvőcsövet, ezért az itt definiált peremfeltételek pontos értéke további egyeztetésre szorul az ESPOSA-s partner-intézményekkel. A belső szerkezeti elemek szempontjából fontos, hogy a gondola alján található olajhűtő egy leválási zónában van. Ezért, erre különös figyelmet kell fordítani majd a jelenlegi konfiguráció továbbfejlesztésekor.



22. ábra Az áramlási tér Mach-szám eloszlása a hajtómű keresztmetszetét magába foglaló síkban

A 23. ábrán a statikus nyomáseloszlás látható szintén a hajtómű keresztmetszetét magába foglaló síkban. A nyomásértékek megfelelnek az elvárásainknak, azonban a légcsavarsík és a hajtóműgondola között jelentős statikus nyomásnövekedés figyelhető meg. Ennek oka az, hogy a légcsavarsíkot elhagyó áramlási sebesség nagyságának és irányának biztosítása érdekében nagyobb torlóponti nyomás alakul ki lokálisan a perem ezen részén, ami megemeli a statikus nyomás értékét is. A valóságban azonban nem homogén a légcsavarsíkot elhagyó sebességeloszlás, mert a hajtóműgondola torló hatása eltéríti a légcsavarsíkról lelépő levegőáramot (sebességvektorokat). E tények ismeretében mindenképp szükséges további vizsgálatok (pl. más számítási módszer: forgó áramlástan teres, illetve mérés) elvégzése a szimulációs közelítés pontosságának, hibájának meghatározására.



23. ábra Az áramlási tér statikus nyomás-eloszlása a hajtómű keresztmetszetét magába foglaló síkban

Megjegyzendő, hogy ebben a munkában a hálópáraméter érzékenységi vizsgálat nem történt meg, de a későbbiekben ezt el kell végezni, mivel a pontos szimulációk biztosításához elengedhetetlen.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az ismertett kutatási projekt keretében implementáltunk egy számítási módszert a légsavar hatásának modellezésére MATLAB környezetben abból a célból, hogy annak eredményeit repülőgép körüli áramlások modellezésére alkalmazhassuk „actuator disc” közelítés esetén CFD szimulációkban. A légsavar-számítási eljárás Schmitz módszerén alapul, amelyben felhasználtuk Prandtl lapátvég-veszteség számítására alkalmas összefüggését. Az eredmények jó egyezőséget mutattak az ESPOSA-s társintézmények által rendelkezésünkre bocsájtott indukált sebességeloszlással. A forgó áramlási teres módszerhez képest, - a számítógép kapacitásigény-csökkentésére - az 1D-s (sugár menti) számítás eredményeit egy numerikus áramlástan környezetbe elkészített modellbe implementáltuk „actuator disc”-es közelítés alkalmazása mellett. A konvergens számítás elérését követően megállapítottuk, hogy az eredmények közelítik a valóságos értékeket, azonban az „actuator disc” áramlási térbe belépő peremen megadott sebesség-eloszlás nem veszi figyelembe a hajtóműgondola hatását. Olyan torlóponti nyomás alakul ki a peremen, ami jelentősen megnöveli a lokális statikus nyomást a légsavar kilépő síkja és a hajtóműgondola között. Ennek következtében további vizsgálatok (pl. más számítási módszer: forgó áramlástan teres, illetve mérés) szükségesek a közelítés pontosságának, hibájának meghatározására. További vizsgálatokat igényelnek a CFD szimulációk egyéb beállítási paraméterei és a hálóméreték érzékenysége, amelyekre ez idáig idő-, kapacitás- és terjedelemtorlátok miatt nem került sor. Mindezeket követően, ha már megfelelő, validált numerikus áramlástan eredmény és modell áll rendelkezésünkre, elkezdődhet a szívócsatorna és a hajtóműgondola analízise, majd továbbfejlesztése.

### JELÖLÉSJEGYZÉK

Latin betűk, jelölések:

- $V$ : a légsavarhoz érkező zavartalan levegőáram sebessége [m/s];
- $v$ : a közeli axiális irányú indukált sebesség [m/s];
- $v_3$ : a távoli axiális irányú indukált sebesség [m/s];
- $x$ : az egy dimenziós impulzus elmélet felvett koordinátája [m];
- $p_0$ : a belépő keresztmetszet nyomása [Pa];
- $p_1$ : a légsavartárcsa előtti nyomás [Pa];
- $p_2$ : a légsavartárcsa utáni nyomás [Pa];
- $p_3$ : a kilépő keresztmetszet nyomása [Pa];
- $R$ : a légsavar sugár [m];
- $A_1$ : a légsavartárcsa belépőoldalának keresztmetszete [m<sup>2</sup>];
- $A_2$ : a légsavartárcsa kilépőoldalának keresztmetszete [m<sup>2</sup>];
- $A$ : a légsavartárcsa keresztmetszete [m<sup>2</sup>];
- $\dot{I}_0$ : a belépő keresztmetszet impulzus vektora [ $kg \cdot m / s$ ];
- $\dot{I}_3$ : a kilépő keresztmetszet impulzus vektora [ $kg \cdot m / s$ ];
- $T$ : a közeg idegen testre gyakorolt erőhatása [N];
- $\dot{m}$ : a közeg tömegárama [kg/s];



- $v_L$  : az indukált sebesség felhajtóerő irányú komponense [m/s];
- $u_D$  : az indukált sebesség légellenállás irányú komponense [m/s];
- $W_0$  : a profil alap eredő sebesség [m/s];
- $W$  : a profil eredő sebesség [m/s];
- $U$  : a profil kerületi sebesség [m/s];
- $r$  : az adott lapelem metszékhez tartozó légcsavarsugár értéke [m];
- $B$  : a légcsavar lapátok száma [-];
- $c$  : a profil húrhossza [m];
- $dD$  : a légellenállás [N];
- $dL$  : a felhajtóerő [N];
- $dR$  : az eredő légerő [N];
- $c_D$  : a légellenállás tényező [-];
- $c_L$  : a felhajtóerő tényező [-];
- $\mathfrak{R}$  : a Reziduum [-];
- $t_{rel}$  : a profil relatív vastagsága [-];
- $r_{rel}$  : a relatív légcsavarsugár [-];
- $F$  : a Prandtl-féle lapátvég veszteségtényező [-];
- $v_{ax}$  : a közeli axiális irányú indukált sebesség [m/s];
- $u_{tan}$  : a közeli tangenciális irányú indukált sebesség [m/s];
- $c(r)$  : a húr eloszlás [m];
- $t_{rel}(r_{rel})$  : a relatív vastagság eloszlás [-];
- $P$  : a légcsavar teljesítménye [W];

Görög betűk, jelölések:

- $\rho$  : a közeg sűrűsége [kg/m<sup>3</sup>];
- $\varphi$  : a profil sebességi háromszögének jellemző szöge [rad];
- $\varphi_0$  : a profil sebességi háromszögének jellemző alap szöge [rad];
- $\alpha$  : a profil állásszöge [rad];
- $\beta$  : a profil beállítási szöge [rad];
- $\sigma$  : a befedési tényező [-];
- $\Omega$  : a légcsavar szögsebessége [rad/s];
- $\delta$  : a profil siklőszöge [rad];
- $\beta(r)$  : a beállítási szöge eloszlás [rad];

### Köszönetnyilvánítás

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1--2010-0009 program támogatja.

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] Dr. GAUSZ Tamás: Légcsavarok, egyetemi jegyzet, BME, Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék, 2011, url: [http://rht.bme.hu/letoltesek/Dr.Gausz%20Tamás%20anyagai/Legcsavarok/LEGCSAVAROK\\_konyvecske\\_2013.pdf](http://rht.bme.hu/letoltesek/Dr.Gausz%20Tamás%20anyagai/Legcsavarok/LEGCSAVAROK_konyvecske_2013.pdf) (2013.01.17)
- [2] <http://www.esposa-project.eu/en/efficient-systems-and-propulsion-for-small-aircraft-2.html>
- [3] TOKAI Balázs: Légcsavaros repülőgép numerikus áramlástan szimulációs lehetőségeinek vizsgálata, BSc szakdolgozat, BME, Repülőgépek és Hajók Tanszék, Budapest, 2012
- [4] WAH Keng Tian: Unmanned Air Vehicle (UAV) Ducted Fan Propulsion System Design and Manufacture, BSc thesis, National University of Singapore, Department of Mechanical Engineering, 2010, url: [http://dynamicslab.mpe.nus.edu.sg/dynamics/thesis0910/Unmanned%20air%20vehicle%20\(UAV\)%20ducted%20fan%20propulsion%20system%20design%20and%20manufacture.pdf](http://dynamicslab.mpe.nus.edu.sg/dynamics/thesis0910/Unmanned%20air%20vehicle%20(UAV)%20ducted%20fan%20propulsion%20system%20design%20and%20manufacture.pdf) (2013.03.02.)
- [5] <https://www.tu-braunschweig.de/ism/forschung/ag-ftw/projekte/intprop/index.html>
- [6] [http://www.geocities.jp/torinani/airfoil\\_data/naca4412.gif](http://www.geocities.jp/torinani/airfoil_data/naca4412.gif)
- [7] Ira H. ABBOTT – Albert E. Von DOENHOFF – Louis S. STIVERS, Jr. : NACA Report No. 824 – Summary of airfoil data, 1945. Január, url: <http://hdl.handle.net/2060/19930090976> (2011.01.14)
- [8] A. EVEKTOR: BE2 Tractor Nacelle and Inlet Design Requirements, BE2\_NP\_03D\_PROPELLER\_AV\_844\_1\_e\_c\_f\_r\_p.stp
- [9] A.P. VERWEIJ: An investigation in actuator disc CFD solution applicability for aeroacoustic analysis of propellers and rotors. University of Twente, 2010. Július, Capua, Italy, S0096830, url: <http://essay.utwente.nl/60144/1/Verweij.pdf> (2013.03.02.)
- [10] Prof. ROHÁCS József – Dr. GAUSZ Tamás – Dr. VERESS Árpád – BICSÁK György: ESPOSA - WP624 -- BE2-Tractor – BME CFD Analyses, 2012. November 6-8, Prague
- [11] GAUSZ Zsana – GAUSZ Tamás: Gyakorlati számítási módszerek a forgószárnyak aerodinamikájában, XX. Évfolyam, Repüléstudományi Közlemények 2008. 2. szám, HU ISSN 1789-770X, 2008. április 11, Szolnok.

Dr. Restás Ágoston<sup>1</sup>

## AZ UAV KATONAI ALKALMAZÁSÁNAK TRANSZFERE A POLGÁRI ALKALMAZÁS FELÉ: KATASZTRÓFAVÉDELMI ALKALMAZÁSOK<sup>23</sup>

*A pilóta nélküli repülőgépek (UAV) alkalmazása nem csak a katonai, de a polgári területen is egyre inkább előtérbe kerül. A katonai és civil alkalmazások között megjelennek a katasztrófavédelmi alkalmazások is, amelyek jellegében újabb sajátosságokat hordoznak. Ez részben magán viseli a katonai és civil alkalmazások egyes jegyeit, de tartalmaz kifejezetten katasztrófa-specifikus jegyeket is. A cikk ennek a speciális alkalmazási formának a rövid áttekintését szolgálja, különös tekintettel az időbeli felosztásra; így az UAV alkalmazása történhet a katasztrófák bekövetkezését megelőző, a katasztrófák bekövetkezését követő közvetlen és az elsődleges katasztrófa-elhárítási tevékenységet követő időszakokban.*

### **THE TRANSFER OF MILITARY UAV APPLICATIONS TO CIVIL ONE: APPLICATIONS FOR DISASTER MANAGEMENT**

*Among the participants of air traffic the roll of unmanned aerial vehicles (UAVs) becomes more and more powerful. On half way between military and civil uses of UAVs appears also a new one, which is a special featured UAV application focusing on supporting disaster management. Features of these application looks like partly military, partly civil, however having also own disaster-specific features. This article gives a short overview of these special applications, especially focusing on the separation related to time of disaster onset; UAV application can happen as in pre-disaster period, in the period immediately after the occurrence of a disaster and in the period after the primary disaster elimination activity.*

## BEVEZETÉS

Annak ellenére, hogy pontos kimutatások ezzel kapcsolatban nyilvánvalóan nincsenek, az UAV alkalmazások döntő többségét jelenleg bizonyosan a katonai alkalmazások teszik ki. Ennek egyik oka, hogy az innovatív technológiák döntő részére jellemzően – mint ahogyan az UAV is - azok elsőként a haditechnikában jelennek meg. A másik oka az, hogy - noha ez is kapcsolódik az elsőhöz, - az innovatív technológiák bevezetésének magas kezdeti költségeit csak viszonylag kevés tisztán polgári alkalmazás tudja kigazdálkodni. Ezzel szemben a katonai konfliktusokban szembenálló felek fenyegetettség, vagy akár csupán presztízs okokból is a költségvetésük részeként a magasabb katonai potenciál biztosítása érdekében képesek azokat finanszírozni.

Az UAV polgári alkalmazásának időbeli térnyerése szakértők szerint ma már kétségbevonhatatlan. Erre a személyzettel a fedélzetükön repülő repülőgépek fejlődése is párhuzamos példát mutathat. A repülőgépek katonai alkalmazási lehetőségei azok megjelenésével párhuzamosan

<sup>1</sup> PhD, egyetemi docens, tanszékvezető, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katasztrófavédelmi Intézet, Tűzvédelmi és Mentésirányítási Tanszék

<sup>2</sup> A cikk a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 pályázat „Adatintegráció” alprogram, a „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusai pályázat kutatásainak keretében készült.

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Földi László (PhD) egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, földi.laszlo@uni-nke.hu

gyakorlatilag azonnal megjelentek, a fejlesztések motorját számos esetben bizonyíthatóan a katonai igények kielégítése jelentette. A katonai képességeknek, mint a külső védelmi feladatok alapvető elemének a fenntartása, fejlesztése az állam elsődleges feladatai közé tartozik.

A külső védelmi képességekkel párhuzamba állítható a belső védelmi képességek fenntartása. Ezek egyike a katasztrófavédelmi feladatok ellátása, ami magában foglalja a tűzvédelmi, a polgári védelmi és az iparbiztonsági feladatokat. A katasztrófavédelmi feladatok állami kézben tartása, vagy felügyelete lehetővé teszi, hogy központi akarat esetén az innovációs technológiák ne csak a katonai, de a katasztrófavédelmi feladatok ellátása esetén is tért nyerhessenek. A katasztrófavédelmi feladatok, mint az állam működésének impulzusszerű zavarait megelőzni, vagy bekövetkezése esetén annak hatásait csökkenteni kívánó válaszok a normál gazdasági élet fenntartásának védelmi mechanizmusaként értelmezhetők.

## AZ UAV ALKALMAZÁSOK TRANSZFERÉNEK HAGYOMÁNYOS ÉS KORSZERŰ FELFOGÁSA

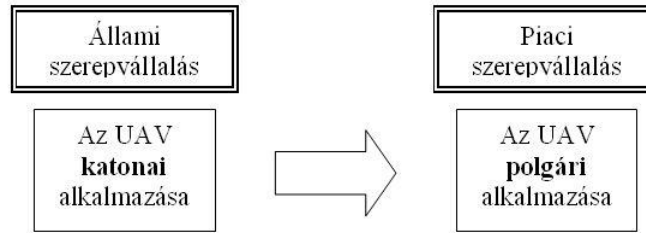
A katasztrófavédelmi beavatkozások a fentiek alapján kettős jellegűek, egyrészt állami feladatként - hasonlóan a katonai védelmi képességekhez - központi finanszírozással történnek, másrészt - a polgári élet zavarainak csökkentését célozva - átmenetet jelenthetnek a katonai és a tisztán polgári alkalmazások között. Az átmenet előnye, hogy az állam – központi akarat esetén - potenciálisan a kezdeti magas költségek mellett is alkalmas az innovatív, magas újdonságtartalmú alkalmazások bevezetésére. Figyelembe véve az UAV alkalmazások magas kezdeti költségeit, valamint annak újszerűségét, ez tipikus példája lehet a katonai technológiák tisztán polgári alkalmazásának transzferére.

Az UAV katasztrófavédelmi alkalmazásának előnyei:

- a magas kezdeti költségeket az állam képes kifizetni;
- az UAV alkalmazása által generált fejlesztések pozitív gazdasági hatásai az állam számára is nyilvánvalóak;
- az állam képes a hosszútávú hatások és befektetések kezelésére.

A fentiek alapján felvázolható az UAV alkalmazásának a katonai területről a polgári alkalmazás irányába történő transzferének a hagyományos, valamint a fokozatos átmenetet feltételező felfogása.

Az UAV alkalmazások egyre szélesedő, további katonai térnyerése a szakértők számára teljesen nyilvánvaló, de ezt a hétköznapi ember is érezheti a médiában való egyre gyakoribb megjelenésük által (Hoffmann, 2005). A katonai alkalmazások civil területre történő robbanásszerűnek jósolt transzfere azonban jól láthatóan késik. Ennek egyik okaként nyilvánvalóan a gazdasági válságot tesszük felelőssé, azonban feltételezve az UAV költséghatékonyabb alkalmazását a költségcsökkentés kényszerét magában hordozó válság már nem lehet alapos indok. Ebből a szempontból a transzfer elmaradása inkább az innovációs költségek kezdeti magas arányában keresendő, amelynek csökkentése a legtöbb piaci szereplőnél válság esetén szinte törvényszerű.



1. ábra Az UAV alkalmazásának transfere hagyományos felfogásban.

Forrás: szerző

Amennyiben az UAV polgári alkalmazásának előnye az állam részére is bizonyított, úgy két markáns megállapítás tehető. Az egyik, hogy a hosszútávú gazdasági előnyök miatt az alkalmazás transzferének elősegítésében az állami szerepvállalás előnyös lehet. A másik, hogy az UAV alkalmazása az állam részéről is hatékonyabb működést eredményezhet, ami magasabb színvonalú szolgáltatásokban, vagy szervezettebb állami feladatellátásban nyilvánulhat meg. A fentiek metszete lehet az olyan alkalmazás, amelyek a gazdasági tevékenységek kereteit biztosítják. A dolgozat elején kifejtett indokok alapján ez utóbbiak közé sorolhatók a katasztrófavédelmi feladatok is.

A katasztrófavédelmi feladatok egy része, de különösen az operatív beavatkozások jellegzetessége, hogy a felszámolást egyenruhás tűzoltók, polgári védelmi szakemberek kezdik meg. A feladatellátás szervezettsége, az uniformitás és a parancsutasításos rendszer nélkülözhetlensége mind azt bizonyítja, hogy a katasztrófavédelmi feladatokat ellátó szervezeteket a téma szempontjából tekinthetjük *félkatonai szervezeteknek* is. Ezért az UAV katonai alkalmazásának polgári transzferéhez a katasztrófavédelmi alkalmazások ideális lehetőséget nyújtanak.



2. ábra. Az UAV-k alkalmazásának transfere korszerű felfogásban. Forrás: szerző

## AZ UAV KATASZTRÓFAVÉDELMI ALKALMAZÁSÁNAK FELOSZTÁSA

### Az UAV fogalma

A téma vizsgálatának kezdetén célszerű az alapvető, ide vonatkozó fogalmakkal is megismerkednünk; elsőként az UAV fogalmát szükséges tisztázni. Mint általában a fogalmak meghatározásánál, szakirodalomtól függően számos meghatározással találkozhatunk. Így, a viszonylag részletesen leírt jellemzőkkel bíró bonyolult szerkezetektől kiindulva, a műszaki összetettség csökkentésével eljuthatunk a kisméretű UAV-k azon egyszerű szűkítéséig, amely szerint, azok olyan modell repülőgépek, amelyek már munkavégzésre is alkalmasak (Restás, 2007). A cikk szempontjából a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 pályázat kiemelt kutatási területeinek



saját eredményekre alapozott fogalmát értelmezem, amely szerint az UAV olyan saját erőforrással ellátott, a fedélzetén pilótát nem szállító repülőeszköz, amely autonóm, vagy távolról irányított módon képes aerodinamikai elvek alapján repülni és fedélzetén hasznosnak nevezett terhet szállítani.

## A katasztrófa fogalma

A katasztrófák fogalmára szakirodalomtól függően szintén többféle meghatározást találunk. Ezek felsorolása nyilván túllépné a cikk kereteit, azonban valamennyi közös vonásaként elfogadható a Magyar Értelmező Kéziszótár meghatározása, amely alapján a katasztrófa „nagyarányú szerencsétlenség, (sors-) csapás”<sup>4</sup>.

A katasztrófa magyar fogalmának jogi meghatározása a 2011. évi CXXVIII. törvény<sup>5</sup> alapján a következő:

*„a veszélyhelyzet kihirdetésére alkalmas, illetve e helyzet kihirdetését el nem érő mértékű olyan állapot vagy helyzet, amely emberek életét, egészségét, anyagi értékeiket, a lakosság alapvető ellátását, a természeti környezetet, a természeti értékeket olyan módon vagy mértékben veszélyezteti, károsítja, hogy a kár megelőzése, elhárítása vagy a következmények felszámolása meghaladja az erre rendelt szervezetek előírt együttműködési rendben történő védekezési lehetőségeit, és különleges intézkedések bevezetését, valamint az önkormányzatok és az állami szervek folyamatos és szigorúan összehangolt együttműködését, illetve nemzetközi segítség igénybevételét igényli.”*

A fenti fogalom meghatározásából egyértelműen kitűnik, hogy a katasztrófák elleni védekezéshez rendelkezésre álló erőforrások általában szűkösek. Logikailag ezért bármely olyan erőforrás, amely képes segítséget nyújtani a beavatkozás során, hatékonyabbá teszi a katasztrófák elleni védekezést. A fentiek alapján az UAV-k alkalmazási lehetőségeinek, mint eddig még nem alkalmazott, de újszerű eszközöknek a körülményekre vonatkozó vizsgálata előnyös és célszerű.

## A katasztrófák felosztása

A katasztrófák felosztására - az alkalmazott szakirodalomtól függően - ismételten számos megoldást találunk. Ezek lehetnek egy, vagy több szempontúak (pl. a kiterjedés nagysága szerint: kicsi vagy nagy), nevesítettek (pl. árvizek, földrengések), de több tényező egyidejű figyelembevételével akár komplexek is (Halász-Pellérdi-Földi, 2009).

A fentiekből látható, hogy megannyi lehetőségünk adódik a katasztrófák felosztására. A témakörnek a különböző felosztások szerinti vizsgálata azonban olyan sokrétű lenne, hogy az bizonyosan nem az eredeti célkitűzést, vagyis az UAV-k katasztrófáknál történő alkalmazásainak sajátosságait kristályosítaná ki, - megítélésem alapján - sokkal inkább egy kusza, átláthatatlan ismeretanyagot adna. A fentiek miatt a kutatás további részében elsőként egy egyszerűbb, de az UAV alkalmazás szempontjából célszerű felosztás alapján végzek vizsgálatokat.

<sup>4</sup> Magyar Értelmező Kéziszótár

<sup>5</sup> 2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról.

## Az UAV alkalmazási lehetőségének felosztása katasztrófavédelmi szempontból

Az UAV katasztrófavédelmi alkalmazásának, sajátosságainak vizsgálatát valamilyen módszer szerint szükséges megvizsgálni. Ezekhez alapvetően a következők vehetők:

- a katasztrófák lefolyásának időrendi strukturálása;
- egyes katasztrófák nevesítése és annak alapján a sajátosságai;
- a beavatkozás és irányítás szintjének strukturálásával;
- más, tipikus UAV alkalmazásokkal történő összehasonlítás;
- az alkalmazásra kerülő UAV jellegzetességeivel.

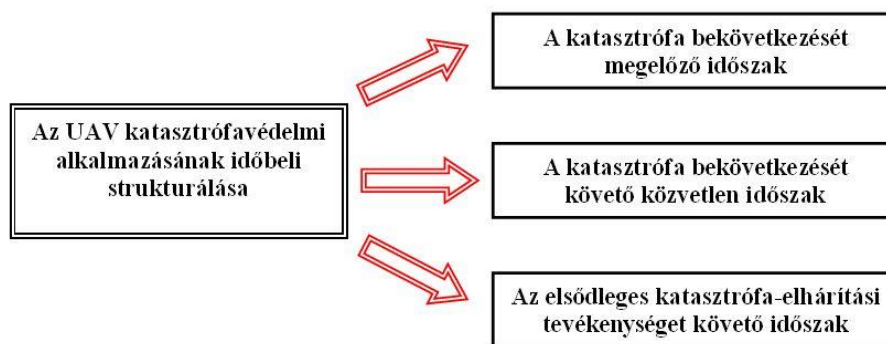
A fentiek egymástól függővé tétele egy több dimenziós vizsgálati teret alkot, amelynek részletes vizsgálata kusza és a projekt keretein túlmutató is lenne. Egyszerűbb mátrixok azonban alkalmazhatók, így pl. a legelemibb időbeli strukturálással a nevesített katasztrófaéknál az UAV alkalmazások történhetnek az esemény bekövetkezése előtt, a bekövetkezést követően azonnal, valamint az esemény után.

## AZ UAV KATASZTRÓFAVÉDELMI ALKALMAZÁSÁNAK IDŐBELI STRUKTURÁLÁSA

### A katasztrófák lefolyásának időbeli strukturálása

A katasztrófavédelmi feladatok időrendi struktúrája a lehető legegyszerűbb időrendi felosztást alkalmazva 3 jól elkülöníthető részre bontható:

- a katasztrófa bekövetkezését megelőző időszak;
- a katasztrófa bekövetkezését követő közvetlen időszak,
- az elsődleges katasztrófa-elhárítási tevékenységet követő időszak.



3. ábra Az UAV-k alkalmazásának időrendi strukturálása. Forrás: szerző

A fentiekkel összhangban, a nevesített katasztrófák egy több dimenziós vizsgálati teret alkotnak, amely mátrix formában is kifejezhető. Ennek alapján az UAV alkalmazások történhetnek az esemény bekövetkezése előtt, a bekövetkezést követően azonnal, valamint az esemény után. Mindezeket túlmenően az alkalmazások fókuszálhatnak az operatív, a taktikai, valamint a stratégiai tevékenységek támogatására is.



## Az UAV alkalmazások mátrix felosztása katasztrófavédelmi szempontból

Mindezeneken túlmenően az alkalmazások fókuszálhatnak az operatív, a taktikai, valamint a stratégiai tevékenységek támogatására is.

A táblázatban szereplő *operatív – taktikai – stratégiai* felosztás az alkalmazás tekintetében egymástól jól elkülöníthetők. A stratégiai alkalmazások a repüléseket igénylő, tervező döntéshozó számára időnyomást még nem (pl. erdőtűz), vagy már nem (pl. nukleáris baleset, árvíz) okoz, azok más döntéstámogató rendszerek eredményei alapján tervezhetők. Ennek ellenére, természetesen jelentős eltérések tapasztalhatók az egyes feladat végrehajtások között. Amíg az erdőtűzek esetében azok gyors észlelése, vagy átvitt értelemben annak *megelőzése* a cél, addig a nukleáris baleset vonatkozásában a már bekövetkezett események hatásának a pontos felderítése, és ezen keresztül annak hatásainak csökkentése, míg árvizek esetén a gátak sérüléseinek és javítási szükségleteinek a felmérése a cél.

A stratégiai feladatok végrehajtását olyan UAV-k végezhetik, amelyek egyes paraméterek tekintetében (pl. repülési idő, hatótávolság, repülési magasság) bizonyosan meghaladják a taktikai, vagy még inkább az operatív feladatra tervezett UAV-k paramétereit, de ezzel párhuzamosan a kiszolgálás követelményei is bizonyosan magasabbak. Ezzel szemben, az operatív feladatra szánt UAV-k a korlátozott képességek ellenére is nagyon hasznosak lehetnek. Ennek lényege a gyors alkalmazásban, bevetetőségben rejlik.

Mivel valamennyi döntéshozó számára a mielőbbi, pontos és objektív információ elérése a cél, az operatív alkalmazásra tervezett UAV-k előnye a minőségileg megváltozó, a jelentősen javuló információ-biztosítás képességében található. egy operatív beavatkozásra tervezett UAV pl. egy erdőtűz esetén a domborzati viszonyoktól függetlenül is gyors és objektív információ szolgáltatására képes. Egyszerűen úgy jellemezhető, hogy a döntéshozó 2 dimenziós látóterét az UAV alkalmazásával az egész működési körzet (oltási terület) vonatkozásában 3 dimenziós térré bővíti. A példaként említett esetben a döntéshozó olyan területekről is objektív információt képes szerezni, amelyről korábban, vagyis az UAV alkalmazása nélkül, csak a szubjektív megítélésen alapuló rádióforgalmazás útján volt információja.

Nukleáris katasztrófa		Előtte	Közben	Utána
	Operatív		x	x
	Taktikai	x	x	
	Stratégiai		x	x
Veszélyes anyag katasztrófa		Előtte	Közben	Utána
	Operatív	x	x	x
	Taktikai		x	
	Stratégiai			
Árvíz		Előtte	Közben	Utána
	Operatív		x	
	Taktikai	x	x	x
	Stratégiai			x
Földrengés		Előtte	Közben	Utána
	Operatív		x	x
	Taktikai		x	x
	Stratégiai			
Erdőtűz		Előtte	Közben	Utána
	Operatív		x	x
	Taktikai	x	x	
	Stratégiai	x		

1. táblázat UAV alkalmazások lehetőségei mátrixban, néhány nevesített katasztrófa esetén. Forrás: szerző

A taktikai UAV besorolását tekintve nem markánsan meghatározott. A paramétereit tekintve az egyik feladatnál stratégiaiként alkalmazott UAV egy másik feladatnál taktikai szintű feladatokat is elláthat. Az operatív – taktikai – stratégiai felosztás lényege nem feltétlenül az UAV paramétereinek összevetésén alapul – bár kétségtelen, hogy azzal szorosan korrelál –, az sokkal inkább az alkalmazás gyorsaságán, annak előre tervezhetőségén nyugszik. A stratégiai rendszerek lényege lehet az adatszolgáltatás magas minősége, míg az operatív feladatok hatékonysága inkább az információ-szolgáltatás gyorsaságán, mint minőségén alapszik.

Az 1. táblázatban szereplő alkalmazási lehetőségek részletes kidolgozása folyamatban van, az egyelőre az erdőtűz vonatkozásában tekinthető teljesnek (Restás, 2012). A táblázatban megadott értékeknek („x” jelölés) a többsége a *szakértői becslés módszerének* az elvén alapszik, azok módosulása a későbbi kutatási eredmények függvényében változhatnak.

## UAV alkalmazások a katasztrófák időbeli lefolyása alapján

### *A katasztrófa bekövetkezését megelőző időszak*

A katasztrófák bekövetkezése előtti tevékenység alapvetően két feladatra korlátozódhat. Az egyikben feltételezhető, hogy a katasztrófa kialakulására befolyással vagyunk, tehát annak elkerülése érdekében az UAV repülésekkel ún. *megelőző* tevékenységet folytatunk. Ilyen tevékenység lehet pl. a megfelelő szabályozók betartásának légi megfigyeléssel történő ellenőrzése.

Tipikusan ilyen feladat a veszélyes anyagokkal kapcsolatos szállítási és ipari (előállítás, raktározás, stb) tevékenységek hatósági ellenőrzésének támogatása a levegőből. A jelenlegi hatósági ellenőrző tevékenység meghatározott időben történő, helyszíni bejárásra alapozott ellenőrzést jelent, ám a levegőből történő ellenőrzések minőségileg javíthatnak az objektív megítélés hatékonyságán. Egyrészt a légi megfigyelés véletlenszerű alkalmazása váratlan lehet, így objektív képet tud adni az ellenőrzésmentes napok valós gyakorlatáról; másrészt ez az ellenőrzési mód nem zavarja a tevékenység folytatását sem. Ilyen ellenőrzés lehet, az ún. SEVESO üzemek levegőből történő időszakonkénti megfigyelése. Ennek lehetősége bizonyosan pozitív hatást lenne képes gyakorolni az esetleges jogellenes ipari tevékenységek csökkentésére, megszüntetésére.

A másik, a katasztrófák bekövetkezése előtti feladat magának a katasztrófa kialakulásának a gyors észlelésében, hatásának és kiterjedésének visszaszorításában nyújt segítséget, illetve foglalhatja azt magában. Ez egy bizonyos esemény kockázatának növekedésével, egy előre meghatározott küszöbérték elérésekor, meghaladásakor kerülhet előtérbe. Ennek során, pl. az UAV légi őrzőjáratásával igyekszünk a korai észlelés által segítséget nyújtani az esemény kiteljesedésének megakadályozásában. Erre tipikus példa lehet a száraz időszakokban az erdőtüzek korai észlelését lehetővé tevő légi őrzőjárat.

Ez utóbbi feladat értékelésénél meg kell jegyezni, hogy a légi őrzőjárat – meggyőződés alapján – már önmagában is visszatartó erőt jelenthet a tilalom alá eső területeken történő illegális tüzgyújtástól, tehát akár valós megelőző tevékenységként is értékelhető, másrészt észre kell venni, hogy a feladat teljesülése, vagyis a katasztrófa korai detektálása már átmenetet is jelent a megelőző tevékenység és az aktív beavatkozási feladat között.

#### ***A katasztrófa bekövetkezését követő közvetlen időszak***

A katasztrófák bekövetkezése utáni UAV repülések a keletkezett helyzet kezelését, elsősorban a menedzsment döntési folyamatainak elősegítését célozhatja. A döntési mechanizmus több irányú lehet, korlátozódhat csak a helyzet gyors értékelésére, de akár az UAV repülések mentésben való alkalmazásának aktív igénybe vételére is (Stuber et al., 2009). A fentiekből következik, hogy az UAV repülések olyan mennyiségű és minőségű információt szolgáltatnak, amelyek egyéb, nem légi úton szerzett információkkal összehasonlítva minőségileg képesek javítani a menedzsment korábbi döntési mechanizmusát. Az UAV repülésekkel biztosított információszolgáltatás célja lehet a hirtelen bekövetkezett katasztrófa hatásának elsődleges, gyors felmérése (Mika, 2009), vagy az aktív mentési, kárenyhítési feladatok valós idejű segítése (Schweier & Marcus, 2006), megfigyelése vagy koordinálása (Ambrosia, 2005), összességében a menedzsment döntési folyamatainak elősegítése és támogatása (Pastor et al., 2008).

#### ***Az elsődleges katasztrófa-elhárítási tevékenységet követő időszak***

A katasztrófák mentési, kárenyhítési feladatainak befejezését követően az UAV repülések a társadalmi tevékenységek minél korábbi normál mederbe terelésének elősegítését és a helyreállítási tevékenységeket segíthetik. Az utóbbi, a keletkezett károk pontos felmérésére, a helyreállítást segítő, tervező munkák segítésére vonatkozik (Rehor, 2007).

A hosszabb távú helyreállítási munkákban való részvétel hatékonyságának megítélése már inkább gazdaságossági alapokon történhet. Ennek az lehet az alapja, hogy az UAV repülések költsége alacsonyabb a személyzettel repülő repülőgépekétől, esetleg rugalmasságban vagy



egyéb módon összehasonlítva előnyösebb, mint más eszközök igénybevétele.

A fentiekre példaként, tipikus alkalmazás lehet a közelmúltban történt vörösiszap katasztrófa (Devecser – Kolontár, 2010. október). Az elsődleges katasztrófa-elhárítási tevékenységet követően a hosszútávú környezeti hatások monitorozása érdekében a megfelelő eszközzel felszerelt UAV költséghatékony megoldás lehet. Könnyen és egyszerűen bevethető, nem igényel különösebb előkészületeket, mégis – a fedélzetre installált eszközöktől függően – a döntéshozó számára magas minőségű információkat, adatokat képes szolgáltatni és gyűjteni. Nagy felbontású képek segítségével meghatározható akár a felszint borító szennyező réteg vastagsága is, amely elősegítheti a mentesítés erőinek és eszközeinek tervezését, a végrehajtás hatékonyságának növelését. A fenti példa természetesen kiterjeszthető számos más katasztrófára is, így pl. tipikus lehet az árvizek utáni felmérés és változáskövetés is.

### *Az időbeli lefolyása alapján történő UAV alkalmazások összegzése*

A nevesített katasztrófák időrendi felosztásának konklúziójaként megállapításra került, hogy az UAV repülések katasztrófa-specifikus jellegzetességei, extrémítása leginkább a katasztrófák kitörését követő időszakban, az elsődleges beavatkozási tevékenységek ideje alatt domborodik ki. A katasztrófák kialakulása előtti és az elsődleges beavatkozások utáni időszakok a váratlan helyzetek hiánya, a feladatok jól strukturáltsága, vagy strukturálhatósága és az előre tervezhetősége miatt nem jelent, nem jelenthet drasztikus különbséget más, egyéb, jól strukturált polgári UAV alkalmazástól. A jellegzetességeket kifejezetten katasztrófa-specifikus jelenségeknél kell mélyebben vizsgálnunk, vagyis az aktív beavatkozást támogató repüléseknél.

## ÖSSZEGZÉS

Az UAV alkalmazásainak számbavétele során nyilvánvaló, hogy jelenleg még a katonai alkalmazások dominálnak. Ezek az alkalmazások várhatóan még évekig elsődleges szerepet fognak kapni, azonban a polgári alkalmazások tényerése szintén dinamikusan növekszik. Mivel katasztrófa esetén a rendelkezésre álló erőforrások mindig szűkösek, ezért az UAV-k képességeinek, mint egy új, eddig még nem alkalmazott eszköznek a lehetőségeit mindenképpen célszerű kihasználni.

A katasztrófavédelmi feladatellátásra jellemző szervezettség, az uniformitás és a parancsutasításos rendszer nélkülözhetetlensége mind azt bizonyítja, hogy a feladatokat ellátó szervezeteket a téma szempontjából tekinthetjük *félkatonai szervezeteknek* is. Ezért az UAV katonai alkalmazásának polgári transzferéhez a katasztrófavédelmi alkalmazások ideális lehetőséget nyújtanak.

A katasztrófavédelmi feladatok időbeli strukturálással a katasztrófa bekövetkezését megelőző, a katasztrófa bekövetkezését követő közvetlen, valamint az elsődleges katasztrófa-elhárítási tevékenységet követő időszakokra bonthatók.

A feladatok áttekintésével megállapítható, hogy a katasztrófavédelmi feladatoknál végrehajtandó feladatok kettős jellegűek. Egyrészt magukban hordozzák a civil alkalmazásokra jellemző jegyeket, másrészt a végrehajtásuk olyan dinamikus környezetben is történhetnek, amelyek közel állnak a katonai alkalmazásokhoz. Emiatt úgy is tekinthetők, hogy az UAV repülések a katasztrófavédelmi alkalmazásoknál bár mind a polgári, mind a katonai alkalmazások jegyeit magán viseli, mégis inkább a kettő között helyezkedik el.

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] Ambrosia, V. [2005] Use of Unmanned Aerial Vehicles for Fire Detection; EARSeL 2005, 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS Applications To Forest Fire Management: Fire Effects Assessment, 16-18 June 2005, Zaragoza, Spain
- [2] Hoffman, J.C. [2005] At the Crossroads, Air & Space Power Journal - Spring 2005, Egyesült Államok
- [3] Mika, P., [2009] Emergency Service Use of UAS West Midlands Fire Service, UAS Yearbook, 2009/2010 [Edit. Blyenburgh,] UAS – The Global Perspective, pp. 137-139.
- [4] Halász L., Pellérdi R., Földi L. [2009] Katasztrófavédelem I., ZMNE, Elektronikus egyetemi jegyzet, URL: <https://olibx.zmne.hu/cgi-olib91/w207.bat?session=373703985&infile=&sobj=3725&cgimime=text/html>
- [5] Pastor E., Royo P., Lopez J., Barrado C., Santamaria E., Prats X. [2008] Project SKY-EYE, Applying UAVs to Forest Fire Fighter, Support and Monitoring; Technical University of Catalonia, Department of Computer Architecture, Barcelona, Spain
- [6] Rehor, M. [2007] Classification of building damage based on laser scanning data; The Photogrammetric Journal of Finland 20 (2).
- [7] Restás, Á. [2007] Brand new tool for forest fire monitoring: small UAV applications as on everyday practice. Experiences of Szendrő Fire Department, Hungary; Wildfire2007 4<sup>th</sup> International Wildland Fire Conference, Sevilla, Spain, 13-18. May 2007.
- [8] Restas, A. [2012] An Approach for Measuring the Economic Efficiency of UAV Applications at Forest Fires Helping Decision Makers; AUVSI Israel 2012, International Conference, 20-22 March 2012, Tel Aviv, Israel
- [9] Schweier, C., Markus, M. [2006] Classification of collapsed buildings for fast damage and loss assessment. Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 4, No. 2, pp. 177-192.
- [10] Stuber, H.C., Restás, Á., Wiggerich, B. [2009] Experiments and Results of Using Small UAS at Wildfires and Upcoming Innovations: Integrated Wildfire Management Supported by SwissCopter Solutions. AIR-TEC 2009, Heliword International Conference, Frankfurt, Germany, 4-5. November 2009.

**Terpo György<sup>1</sup> - Gyöngyösi András<sup>2</sup>**

Mottó:

„Mindent észrevenni, nem mindent szóvá tenni, kicsit segíteni!”  
(II. János Pál pápa intelmei az újságírókhoz)

## **AZ OKTATÁS ÚJ IRÁNYZATAI A VITORLÁZÓ PILÓTAKÉPZÉSBEN<sup>3</sup>**

*A Magyar Vitorlázórepülő Szövetség keretén belül három éve kiemelten foglalkozunk az oktatók továbbképzésével. A biztonságos oktatói munka alapja a folyamatos fejlődés. A cikk ezt a munkát szeretné bemutatni, egyfelől a növendék oldaláról, másrészt a professzionális oktatói oldalról. Az oktatóknak tisztában kell lenniük növendékeik motivációjával, képességeik fejlődésével és az önállósodásukkal. Fontos különbséget tenni módszertani szempontból a növendékképzés és a felnőttoktatás között. A publikáció kiemelt figyelmet fordít az oktatók egységes oktatási és értékelési szempontjaira is.*

### **NEW TENDENCIES OF THE EDUCATION IN GLIDER PILOT TRAINING**

*Inside the Hungarian Gliding Union framework we have been dealing emphasized with tutors of promotional training since three years. The continuous development is the basis of the safe tutorial work. The article would like to present this work on the one hand from the pupil's side and on the other hand from the professional tutorial<sup>4</sup> side. The tutors have to be aware of their pupil's motivations, developments of their capabilities and how to set up for themselves. It is important to make a difference from methodological viewpoint between the pupil training and the adult education. The publication pays emphasized attention to the educational and evaluational viewpoints of tutors.*

## **BEVEZETÉS**

Napjainkban szerte a világon, Németországtól Kanadáig, a kormányok, légitársasági vállalatok, egyre komolyabb erőfeszítéseket tesznek annak érdekében, hogy elősegítsék a vitorlázórepülés fejlődését, mely a repülő szakember (hajózó, műszaki, irányító stb.) képzés alapját jelenti. A korhatárt egyre inkább lejjebb viszik és már 12 éves kortól bevonják a jelölteket a repülésbe (erre a legkiválóbb példa az a litván kezdeményezés, ahol a 12 éves korú gyermekek speciális vitorlázó gépeken teszik meg a repülések végrehajtásának első lépéseit). Ez az életkor ugyanis a manuális képességek, készségek kifejlődésének a legfogékonyabb időszaka. Viszonylag kevés repült idővel, a három dimenziós térbeli orientációra és látásmódra való szoktatás, a gépvezetés készsége és a

---

<sup>1</sup> Magyar Vitorlázórepülő Szövetség, Oktatási és Kiképzési Bizottság vezető. gyorgy.terpo@skf.com

<sup>2</sup> Magyar Vitorlázórepülő Szövetség, elnök. president@soaringhungary.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Prof. Dr. MAkKay Imre ny. okl. mk. ezds, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

koncentráció fejlesztése ekkor még a gyerekeknél egyszerűen megoldható. A kiválasztás és pályára irányítás ezzel a szervezett előképzéssel a legegyszerűbb talán megoldani. Magyarországon – nem kevés társadalmi erőfeszítés árán – ma még rendelkezésre állnak azok az infrastrukturális lehetőségek (repülőgépek, repülőterek, kiegészítő technikai eszközök és nem utolsósorban oktatói és kiszolgáló személyzeti állomány), melyek ehhez a munkához szükségesek. Egységes szervezéssel a repülőterek tulajdonviszonya, az oktatógépek műszaki állapota most még felhozhatók ehhez a munkához szükséges jól használható színvonalra. Az MVSZ égisze alatt az elmúlt három évben tíz alkalommal, több mint száz társadalmi munkában tevékenykedő oktató részvételével, országos továbbképzést tartottunk. Elsősorban a kezdő kiképzés biztonságtechnikai kérdéseit és fejlesztésének irányvonalait tekintettük át. Ma még az oktatói állomány képzettsége és tette készsége biztosítja azt a társadalmi erőt, mely egy ilyen típusú előképzésnek az alapjaihoz kell Kiemelten fontosnak tartjuk, hogy a magyar vitorlázórepülő társadalom igen komoly erőfeszítések árán kivívott nemzetközileg elismert helyzetét ezzel is erősítsük. Jelen írásunkkal szeretnénk egyrészt tisztelni ezelőtt a munka előtt, másrészt be kívánjuk mutatni azokat a tudományos eredményeket a pilótaoktatás fejlesztésében, amelyet jelen körülmények között egy követhető útnak tartunk és az oktató gárdával közösen dolgoztunk ki.

A vitorlázórepülés mind a mai napig egy „csapat sport”, igen kemény közösség formáló iskola, ahol a többi repülési ághoz képest még mindig igen olcsón lehet a fejlesztéseket, módszereket, új lehetőségeket kipróbálni, tesztelni.

Társadalmunk robbanásszerű átalakulása, az információk cunami jellegű áradása, az elektronikai eszközök minden apró létezésbe történő erőszakos betörése, még a sportok területére is, óhatatlanul maga után vonja az eszközkezelés és használat miatt az oktatási rendszerek széles körű korszerűsítésének igényét. A még oly merev és a fokozatos fejlődésre építő tanulási rendszer, mint a pilótaképzés is kiemelten megköveteli napjainkban az oktatás korszerűsítését. Amennyiben változatlanul alapnak tekintjük a vitorlázórepülést a pilótává válás „szárnyaló-rögös” útján, úgy beláthatjuk, hogy az oktatás minőségének javítása egyre inkább kiemelt feladat ezen a területen is. Ez számunkra nem is olyan meglepő, hiszen a mai növendékek legalább ötven évig fognak repülni, tízévente változó repülő technikán, tehát az oktatóknak az a legfontosabb feladata, hogy a biztonságos alapok mellett, a folyamatos fejlődés képességeire is megtanítsuk a növendékeket. A legnagyobb kihívás, hogy az elképesztően gazdag, csillogó információs környezetükben a fiatalokat képesek legyünk megszólítani és bevonni ebbe a gyönyörű, természeti környezet nyújtotta csodálatos sportba. Ehhez a sikert kizárólag az igen kiemelkedő profi szintű oktatói tevékenységgel, repülőtereink mai igényeknek megfelelő kulturált szintre emelésével és kiképzőgépeink korszerűsítésével érhetjük el.

Növendék oldalról a motiváció, a képesség kifejlődésének folyamata és az önállósodás a legizgalmasabb kérdések. Az oktatói oldalról a profizmus lehetősége a társadalmi munkában végzett oktatásnál, a növendékképzés vagy felnőttoktatás módszertani kérdése a legfontosabb és talán az egységes oktatási és értékelési szempont megléte az

oktatók között, mint a biztonságos képzés egyik fontos kulcsa. Cikkünk ezekkel a témakörökkel, mint legfontosabb kérdésekkel foglalkozik.

## AZ OKTATÁS KORSZERŰSÍTÉSE, A NÖVENDÉKEK SZEMSZÖGÉBŐL

### A növendék motivációja

A növendék-oktató viszony kiemelkedő kulcs a képzési folyamatban. Ha ez eredményes, akkor egy életre szóló kapcsolat alakul ki közöttük. Az első és igen fontos lépés, hogy az oktató tisztában legyen növendékének motivációjával. A motiváció változhat a képzés folyamán, erre kiemelten oda kell figyelni. Az oktatónak kötelessége segíteni a vágyak és a reális célok elkülönítésében, megfogalmazásában.

A motivációk sokrétűek „mindenáron repülni, mint a madár”, „a technika üzemeltetése, mint a gép-ember kapcsolat” vagy „környezeti hatások, a társaság kedvéért”. Nem csak az önmegvalósítás, hanem a célokhoz vezető utak is jellemzőek: „olthatatlan vágy a repülésért”, „szakszolgálati engedély a vitrinnek”, „egy élethelyzet megoldása”. Az oktatónak ezeket a növendékeként eltérő motivációs tényezőket más és más módon kell tudnia kezelni. Mára a profi, minőségi oktatásnál ezeket a „cél kategóriákat” nemcsak el kell tudni különíteni, hanem képesnek kell lenni emberi szinten kezelni is.

### A képességfejlesztési modell

A növendék képességének kialakulását többféle tanulási modell írja le. Ezek közül talán az egyik legeredetibb az NLP, melyet a hatékony kommunikáció és nyelvtanulás négylépcsős folyamatoként dolgoztak ki. A Neuro-Lingvisztikus Programozás, mint elnevezés, ezen mozaikszavakkal leírható tudományterületek összevonásaként értelmezhető. A „Neurológia” a tudattal és a gondolkodásmóddal foglalkozik. A „Lingvisztika” a nyelv használatát és a ránk gyakorolt hatását vizsgálja. A „Programozás” a célok elérése érdekében végzett cselekvések szervezése. A tanulási folyamat mintáját ez a modell, mint a képességfejlesztés egyik legjobb leírását, adja meg.

**Első lépcső:** „A tudattalan hozzá nem értés”, nem tudja a feladatot és megcsinálni sem tudja. Ez a megismerési, felkészülési fázis. (A vitorlázórepülés egyik feladatát hozva például, az emelő áramlatok, "termikek" kihasználásának technikáján keresztül ez azt jelenti, hogy a növendék még nem ismeri a termiket és nem is tudja azt kihasználni, nem képes önállóan "termikelni"). Az oktató felszállás előtt szóban ismerteti a legfontosabb tudnivalókat, majd repülés közben bemutatja azokat a növendéknek. Ebben a fázisban, az oktató megteremti, megszervezi az összes feltételt a tudás iránti vágy felébresztéséhez, és a tudás egyes elemeinek átadásához. A földi előkészítés precizitása adja meg a gyakorlati képzés szilárd alapját, a növendéknek legyen elképzelése, hogy mi fog vele történni a levegőben.

**Második lépcső:** „A tudatos hozzá nem értés”, a növendék már ismeri a feladatot, de még nem tudja megcsinálni. Ez a próbálkozási fázis, most alakulnak ki a tudásmagok.



A növendék a saját szavaival el tudja mondani a feladatot, és az oktatóval közösen hajtja azt végre. A megfelelő tanulási tér és idő biztosítása az oktató feladata, aki egy megfelelően szilárd elméleti alapra támaszkodva adja meg a gyakorlati felkészítést, itt mutatva be a szép és tökéletes repülési mozdulatokat. (Előző példánál maradva, a növendék a termikben már minimális segítséggel elvezeti a repülőgépet, de még nem képes figyelni például a környezetére).

**Harmadik lépcső:** „A tudatos hozzáértés”, a növendék a feladatot ismeri és teljes odafigyeléssel képes végrehajtani. A növendék képes szóban összefoglalni és megfelelő szinten végre is tudja hajtani a feladatot. Ez a gyakorlási fázis. Itt kell kialakulnia a szép és precíz kormánymozdulatoknak, a váratlan helyzetek másodperc alatti felismerési képességének, valamint a jó reagálási képességnek. Az oktató biztosítja a tökéletes képesség kifejlődését, a szokások kialakulását és bevésődését, elsősorban szóbeli utasításokkal, időnként közbeavatkozva ("belenyúlva" a gép vezetésébe). A repülést követően az oktatói utasításokat, esetleges repülés közbeni közbeavatkozásokat a növendék és oktatója megbeszéli ("debriefing"). Törekedni kell a hibátlan gépvezetési szokások kialakítására, különböző hibák bemutatására és a helyes javítási módra, vészhelyzetek jó megoldására. Ez talán a leghosszabb fázis, hívhatjuk a stílus kialakulásának is, az elméleti tudás gyakorlati alkalmazásának. (A növendék szépen önállóan termikkel, hibáit javítja, de minden figyelmét leköti a gép és a helyzet kiszolgálása). Új technika (géptípus), új feladatok (például páros vontatás, műszer- vagy műrepülő képzés) esetén, az alapkiképzést követő további tanulási folyamatoknál a pilóta ismét növendék lesz, és visszatér ehhez a fázishoz. Ezért a harmadik lépcső módszereinek tökéletes elsajátítása lesz az alapja a későbbi tanulási képességeknek.

**Negyedik lépcső:** „A tudattalan hozzáértés”, a növendék, valójában már az adott feladat tekintetében kész pilóta, a feladat minden apró részletét ismeri és képes azokat rutinszerűen végrehajtani, képességeit tökéletesen használni. Már nem csak a konkrét feladatra koncentrálnak, hanem létrejön a figyelem megosztás képessége, és a várható következő lépések optimalizálására helyezi a hangsúlyt. (Például már emelkedés, termikelés közben az útvonalon várható következő legjobb emelési hely és az odavezető pálya megválasztására koncentrálnak). Az oktató részéről ez a visszacsatolási folyamat, amikor együttesen a lehető legobjektívebben kiértékelik a feladatot. A „jó” szokások kikristályosítását, és a magabiztosság kiteljesedését már elsősorban a növendék munkája határozza meg. Sok esetben a növendék nem éli meg ezt a negyedik lépcsőt, mert például nem nyitott rá, nincs meg az igazi motiváció, marad egy „jó iparos” szinten.

**Lépcsők felett:** „Együtt a géppel”, ez valójában egy leírhatatlan állapot, ezt meg kell élni. Csíkszentmihályi Mihály „FLOW”-nak hívja, egyfajta optimális élmény, tökéletes állapot. (Amikor a termik „meglátása”, a megfogás és az emelkedés egy önmegvalósítási harmonikus folyamat). Ennek kialakulásában a repüléshez tartozó összes apró lépésnek a szeretete szükséges. A repülési üzem beindításától a meteorológiai információig, minden ezt az egy adott pillanatot szolgálja. Az oktató felelőssége ezt a pozitív folyamatot nap, mint nap elindítani és a fenntartásában mindent elkövetni. Itt kezdődik az „OKTATÓI FLOW”, ami a dolog másik oldala és szintén leírhatatlan élmény, ezt is

meg kell - és oktatóként érdemes is megélni!

A repülés egy különlegesen forszírozott üzem, biztonságtechnikája fölött különösen örködni kell. Két dolog tudása nagyon biztos a világban: sem a biciklizést és sem a repülést nem lehet elfelejteni. De a tudásnak van egy felezési ideje, ez növendékenként más és más időintervallum. Ezért az elmúlt évek egyik legfontosabb tapasztalata, hogy a vitorlázórepülésben is évenként minden növendékkel vissza kell ismételtetni a vészhelyzetek megoldását: változó állásszög, kötélszakadás, csúsztatás, dugóhúzó és a repülőgép vészelhagyása, a növendékkel kiemelt figyelemmel gyakoroltatni kell, külön-külön minden egyes általa repült géptípusra. A vészhelyzeti feladat jó megoldásának két kiemelt kritériuma van: a növendék egy másodpercen belül helyesen ismerje fel a kialakult helyzetet, és a tanult megfelelő eljárással jól oldja meg azt. Addig kell ismétetni a feladatot, míg képes a megfelelő szint elérésére.

### **A növendék önállósodását segítő tulajdonságok**

A növendék önállósodási fejlődése elsősorban belső tulajdonságain, adottságain múlik. Az oktatónak ezen az úton is tudnia kell segíteni. A jó repülési képességek kialakulásához a következő tulajdonságok fejlesztése elengedhetetlen a növendéknél. Célratörőség, azaz elérni a kiválóságot, ehhez legyen elég kreatív a növendék, olyat is vegyen észre, amit az átlag nem. A szolgálat, a segíteni akarás, az adott közösség fejlődését és ezen belül a növendék teljes kibontakozását lendíti előre. Legyen képes a motivációjának megfelelő irányú önmegvalósításra. A fegyelem a legnélkülözhetetlenebb ebben a folyamatban. A repüléshez kapcsolódó minden dolog szeretete az egyik kulcsfontosságú tulajdonság. Az igazság, az igazságosság, talán ez a legnagyobb próbatétel, ami manapság nehezíti a képzési folyamatot és meg kell tanítani a növendéket az elégedettségre, az elért eredmények megbecsülésére. Az oktatónak ismerni kell saját képességeinek a határait, és ezt a határ felismerési tulajdonságot is át kell tudnia adni, hiszen ez lesz a növendék biztonságos repülésének a záloga.

## **AZ OKTATÁS KORSZERŰSÍTÉSE AZ OKTATÓK SZEMSZÖGÉBŐL**

### **Az oktatói profizmus**

Mára az oktatásban nem csak az az elvárás, hogy valaki „jó” pilóta legyen, hanem, hogy az oktatási módszertanban is profi szintű jártasságot érjen el. Lehet-e beszélni a profizmusról a társadalmi vitorlázórepülő-oktatásban? Egyáltalán megfogalmazható-e az oktatási profizmus? „Legyen szigorú és igazságos” hangozhat a sztereotip válasz.

A profi oktatótól elvárható, hogy tegyen meg mindent a növendékéért és a csoportjáért. Ennél pontosabb a cél meghatározása: „A növendékeim legyenek jobbak, mint én!” Legalább ötven évig fognak aktívan repülni, ezalatt legalább háromszor gyökeresen megváltozik alattuk a repülő technika. – Repülni, tanulni, fejlődni, (vidáman) minden körülmény között – ez az a módszer, amit át kell tudnia adni annak, aki profi oktató akar lenni.

Fontos elvárás, hogy a profi oktató „szépen” tudjon repülni, át tudja adni a repülni tudás tökéletességét. Saját maga elé a kiválóság mércéjét kell állítania. Sok jó pilótát ismerünk, de igazán kiválók, akik ezt a mércét megütik, kevesen vannak. Az igazán profi oktató célja a kiválóság.

A profi oktató példát mutat a folyamatos tanuláson keresztül is. Kísérletezés és kreativitás. Kudarok elemzése és a sikerek objektív értékelése. A profi oktatónak képesnek kell lennie az elméleti alapokat magas szinten használni, logikusan végiggondolni a folyamatokat és objektív eredményeket leszűrni, következtetéseket hozni.

A profi oktatónak ismernie kell objektíven a saját határait és azt is, hogy az oktatásban meddig mehet el. Továbbá fontos a józan ítélőképesség és a megoldásokkal közelíteni kell a kiválóság felé. Következetesség saját maga felé, oktatótársai felé, növendékei felé.

Kimondhatjuk egy szóval is, hogy egy-egy oktató profi, de valójában egy igen összetett folyamat az, melynek végeredménye egy ilyen minősítés lehet és a fenti felsorolás csak a legfontosabb tulajdonságok kiragadása. Nagyon fontos a tiszta szakmai nyelv használata, a megelégedettség kimutatási képesség a növendékek felé, egy jókor elhangzó dicséret, „szárnyakat” adhat a növendékeknek. Kell viszont egy igen erős belső tűz is ahhoz, hogy a növendékeiben felébressze a tudásvágyat, a tudás szeretetét.

A tökéletes repülni tudás átadásához:

- az oktató lássa meg a növendékeiben a tökéletességet, képességeket, motivációkat;
- az oktató segítse hozzá a növendékeit, hogy ők maguk is meglássák magukban a tökéletességet, a repülni tudás útját;
- az oktató segítse a növendékeit, hogy megtalálják magukban a saját tanítójukat a fejlődésük motorját;
- az oktató érje el, hogy a növendékek képesek legyenek maguktól a tökéletes repülés végrehajtására.

Ez a biztonságos repülőoktatás alapja, ez a folyamat egy egymásba fonódó gyakorlat sor, ami akkor sikeres, ha ezek a motívumok egymást erősítik.

Nyilvánvaló, hogy ennél jóval összetettebb az oktatási folyamat és az ehhez szükséges oktatói képességek kibontakoztatása is, az oktatónak az önfejlesztésben is példát kell mutatnia növendékei előtt. Megvalósíthatóak ezek az elképzelések társadalmi alapon? A válasz egyértelműen igen. Sok kiváló társadalmi oktató segíti ma is a vitorlázórepülő képzést.

### **Növendékképzés vagy felnőttoktatás**

A vitorlázórepülés oktatásban igen élesen megmutatkozik az a társadalmi jelenség, melyet „növédkképzés vagy felnőttoktatás” címmel lehet a legtömörebben jellemezni.

A generációváltás ideje lecsökkent 5–10 évre, melynek felgyorsulásáért, a technikai környezetünk igen dinamikus fejlődése, az információáramlás robbanása is generáló ok. A vitorlázóképzésre jelentkező fiatalok mára már két, jól elkülöníthető réteget képeznek. A 16 év körüliek, akik családi háttér segítségével kezdik meg a kiképzést és a

felsőfokú tanulmányaikat befejezők, akik keresetükre támaszkodva próbálják megvalósítani „még nem kielégített gyerekkori álmukat”. Ez persze egy igen leegyszerűsített kategória rendszer, de oktatási szempontból két jól elkülöníthető csoportot alkot.

A „diákcsoportok” esetében sokkal meghatározóbb a még viszonylag sok szabadidő és a családi környezet erőforrásaira való támaszkodás. Képességeik sokkal könnyebben alakíthatók, de mélyebb elméleti és alapoktatás szükséges, a példamutatás sokkal könnyebb, az oktatási tér és idő megvalósítása egyszerűbb az oktató részéről.

A „felnőtt csoportnál” sokrétűbb már az életér, a munka, a többféle sport, a bonyolult kapcsolati rendszerek mellett kell biztosítani a repülésre szánt idő- és pénzforrásokat. A felnőtt jelölteknél a képességek már rögzülnek a huszadik év előtt és általában ők a gépkocsivezetéshez hasonlítják a repülőgép vezetést, nem figyelve a magasságra, mint a harmadik dimenzióra. A növendékekben korábban rögzült tanulási szokások megváltoztatása, kinyitása a repülésre, sok energiát emészt fel az oktatótól. Tipikus jelenség, hogy a „felnőtt csoport” esetében egy igen precízen megtanított és begyakorolt „iskolakör” repülési keretből sokkal nehezebben szakítható el például az önálló, termikelési feladatra. Az önértékelés fejlett, csak nem biztos, hogy megfelelő a pilótává váláshoz.

A profi oktatás megvalósításához nyilvánvaló, hogy ezen életkori sajátosságok ismerete is kiemelkedően meghatározó lehet. Persze nem beszélhetünk merev kategóriákról sem, ezért ezekre a peremfeltételekre is érdemes figyelni, „életkori sajátosságokra”, amikor a „csoport lélek” felépítésén fáradozunk.

### **Az egységes oktatási és értékelési szempontok**

A harmadik kulcskérdés az oktatói oldalról az egységes oktatási- és kiértékelési szemlélet kialakítása. Melyek azok az oktatói tulajdonságok, melyek ehhez az egységes szemlélemhez elvezetnek? A jó diákból lesz jó oktató, kitartó és őszinte növendéknek kell lenni az oktatói hivatás előtt. Meg kell tanulni tanítványnak lenni, megélni a tanítványi szempontokat az oktatóképző iskolában. Tudni kell, hogy a „legszubjektívebb tárggyal”, emberekkel kell dolgozni, ehhez mérhetetlen elkötelezettség szükséges. Amit az oktató növendékeinek egyszer elmond, megtanít, megmutat, azt egyszer csak meg fogják csinálni a tanítványok, és az oktató áll vagy bukik, hogy időben és lelkiismeretesen felkészítette-e őket erre. Egy szép napon, az oktató öröme vagy bánatára, növendékei mindent meg fognak csinálni, amit tőle láttak. „Csak az oktató áll, hogy mit okoz neki ennek a látványa”.

Lépésről lépésre meg kell győződni, hogy átment-e a tananyag, nem biztos, hogy a növendékben van a hiba, ha valamit nem ért. Inkább célszerű mindent többször elmondani, mintsem valamit egyszer végzetesen rosszul csinálni.

Nem lehet fáradtan oktatni, az oktató mindig egy követendő minta, aki gyorsabb kell legyen gondolatban és mozdulatban mint a növendéke: ezt csak pihenten lehet elérni.

A csoporthoz tartozó oktatóknak egységes tanítási szinten kell lenniük és az általuk az eddig tárgyalt szabályoknak az egyforma, együttes betartása elengedhetetlen. Az okta-



tóknak egymást erősítve kell fejlődniük, ami már egy magasabb csoport szellem létrejöttét igényli, ha ez nem alakul ki, nem lehet beszélni egységes oktatásról. Minden feladatra nekik is készülniük kell, aznap mi a cél, mit akarnak elérni a csoporttal. A "rep. előtti", "rep. utáni" kiértékelés megszervezése a klubokban, elsősorban a felgyorsult életmódból adódó időhiány miatt egyre nehezebb feladat, pedig ez a minőségi oktatás egyik legfontosabb záloga. A csoport oktatóinak együtt kellene ezt a kiértékelést végrehajtani, azonban mára ez már sajnos szinte teljesen elveszett a társadalmi munkában végzett kiképzésekben. Pedig e nélkül az összhang nélkül nagyon nehéz minőségi oktatást nyújtani. A kiértékelés után, de havonta legalább egyszer, meg kell beszélniük az oktatóknak a csoport haladását és egymást is nyíltan értékelniük kell, a korábban általuk együtt meghatározott oktatói egyéni fejlődési szempontok alapján. A képzéshez tartozó szabályokat egymás között rögzíteni kell, mint például a kiértékelési rendszert, ennek dokumentálását, hibák súlyosságának megítélését, csak tökéletesen végrehajtott feladat után lehet továbbengedni a növendéket, egyik oktat a másik ellenőriz és igyekeznek a napi munkában ezeket betartani.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiekben vázolt rendszer és annak működtetését igénylő folyamat rendkívül időigényes, főleg társadalmi alapon szervezett oktatás esetén szinte elérhetetlen kívánalmak. Mégis érdemes megtalálni a közös kommunikációs felületeket ezeknek az oktatási szabályoknak a betartásához. Nincs egyformán jól működő recept, de ha az ebben a publikációban vázlatosan megjelenített folyamatokon és szabályrendszereken keresztül hajlandók egymást megbecsülve végighaladni az oktatók, akkor a cél, a tökéletes hibamentes oktatás együttesen megvalósítható.

### **Köszönetnyilvánítás**

Ezen írás szerzői ezúton kívánnak köszönetet mondani minden társadalmi munkában tevékenykedő, kiváló vitorlázórepülő oktatóknak azért, hogy a tapasztalataikat átadva lehetővé tették, hogy a mai szinten lehessen továbbadni tudásukat.

### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] CSÍKSZENTMIHÁLYI Mihály: Sport és flow. Vince Kiadó, 2001, ISBN 963 9323 23 3
- [2] Joseph O'CONNOR: NLP kézikönyv. 2002, ISBN 963 9343 62 3
- [3] TÓTH László B737 főpilóta helyettes: Útmutató oktató pilóták részére, Vitorlázórepülő oktatók számára átdolgozta: SZENTGYÖRGYI György
- [4] Richard BACH: Jonathan a sirály. 1994, ISBN 9638290 40 4



Grégory Lucas<sup>1</sup> – Solymosi József<sup>2</sup> – Lénart Csaba<sup>3</sup>

## USING HYPERSPECTRAL IMAGING IN NUCLEAR RADIATION AERIAL RECONNAISSANCE? A PRELIMINARY STUDY<sup>45</sup>

*This article aims at exploring the potential of hyperspectral imaging in order to develop further the Hungarian aerial nuclear reconnaissance system. First a description about the theoretical basis of ionizing radiations is provided. The different types of radiations, their characteristics, penetration range and effect on matter are presented. Then a critical analysis is done on the Hungarian nuclear reconnaissance system based on the detection capacities and operational implementation criteria. The last part explores the potential of hyperspectral imaging technology, its added values and the different possibilities envisaged for its application.*

### **HIPERSPEKTRÁLIS KÉPALKOTÁS ALKALMAZÁSA A NUKLEÁRIS SUGÁRZÁS LÉGI FELDERÍTÉSÉBEN? ELŐZETES TANULMÁNY**

*A cikk célja a hiperspektrális képfelvételzés potenciáljának felmérése a magyar légi nukleáris felderítő rendszer továbbfejlesztése érdekében. Elsőként az ionizáló sugárzás elméleti alapjairól adunk leírást. Bemutatjuk a sugárzás különböző típusait, azok jellemzőit, behatolási tartományait, és az anyagra gyakorolt hatásait. Ezután egy kritikai elemzést végzünk a magyar nukleáris felderítő rendszerről, a felderítési kapacitásokra alapozva. Az utolsó rész a hiperspektrális képalkotási technológia lehetőségeit deríti fel, annak hozzáadott értékeit és megvizsgálandó alkalmazási lehetőségeit.*

## 1. INTRODUCTION

Aerial nuclear reconnaissance is a survey technique used to detect, measure, identify and map radioactivity in the environment. The main field of application is the estimation of the contamination extent after a nuclear catastrophe or nuclear attack. Another possible application is the localization of lost punctual radioactive sources. All the aerial nuclear reconnaissance techniques are based on gamma radiation detection because it is the most penetrating radiation type. In average, in order to detect moderately intense radiations, the reconnaissance is done at an altitude of 200m above the ground. This is because of the quick attenuation of the gamma radiation by the air. In this study we would like to explore the opportunity offered by an optical remote sensing technique called hyperspectral imaging. Our assumption is that with optical remote sensing technique it could be possible to detect a larger range of radiations from a higher flight altitude.

---

<sup>1</sup> National University of Public Service, Doctoral School of Military Engineering, gregory.luc4s@gmail.com

<sup>2</sup> Dr., Karoly Robert College, Institute of Remote Sensing and Rural Development, lenart.dr@gmail.com

<sup>3</sup> Col(Ret.) Prof. Em., National University of Public Service, Institute for Disaster Management, solymosi.jozsef@uni-nke.hu

<sup>4</sup> Publisher's reader: Laszlo Pokoradi (PhD), Professor, University of Debrecen, pokoradi.laszlo@prosysmod.hu

<sup>5</sup> Publisher's reader: Colonel Robert Szabolcsi (PhD), Professor, National University of Public Service Technology Department of Military Aviation, szabolcsi.robert@uni-nke.hu



## 2. CHARACTERIZATION OF IONIZING RADIATIONS

Ionizing radiation is radiation composed of particles that individually carry enough energy to liberate an electron from an atom or molecule. This involves the ejection of an orbital electron, resulting in the creation of an ion pair.



Ionizing radiation includes cosmic rays, alpha, beta and gamma rays, X-rays, and in general any charged particle moving at relativistic speeds. In the present study we consider ionizing radiations generated through nuclear reactions, either artificial or natural. [1]

### 2.1. The different types of ionizing radiations

Radiations can be grouped into directly ionizing radiations and indirectly ionizing radiations (Tab.1). Directly ionizing radiations include all charged particles such as alpha particles, beta particles and heavier ions. All charged particle radiations lose energy interaction with the orbital electrons or nuclei of atoms in the materials they traverse. Indirectly ionizing radiations include some types of electromagnetic radiations and neutrons. These radiations interact with matter by giving rise to secondary radiation which is ionizing. Indirectly ionizing radiations lose energy by collisions with electrons, or atomic nuclei, and the charged particles thus set in motion interact in turn with the orbital electrons or nuclei. [1]

Type of radiation	Ionizing radiation	Elementary charge	Mass (MeV/c <sup>2</sup> )
Electromagnetic radiation	Indirectly ionizing	ultraviolet	0
		X ray	0
		Gamma Ray	0
Particles	Directly ionizing	Neutron	0
		Electron / particle $\beta^-$	940
		Positron / particle $\beta^+$	-1
		Muon	0,511
		Proton	+1
		Ion $4\text{He}$ / particle $\alpha$	-1
		Ion $^{12}\text{C}$	+1
		Other ions	+2
	+6		
	Variable	106	
		938	
		3730	
		11193	
		Variable	

Tab. 1. Main ionizing radiations and their characteristics

### 2.2. Penetration ranges and consequences for airborne detection

The aerial detection of ionizing radiations is governed by two main principles which are the interaction of the ionizing radiations with matter (both with the sensor and the air) and the penetration of the ionizing radiation. [1]

Charged particles such as electrons, positrons, protons, alpha particles and beta particles strongly interact with electrons of an atom or molecule. Consequently they have a very low penetration range in matter. For example Alpha particles are absorbed by about 10-2 m of air and the penetration range of Beta particles is about 8 m in air. [1] Those radiations stopped far before the sensor cannot “activate” crystals or induce ions pair production in the chamber of scintillation or semi-conductor sensor used in classical airborne applications. With the present technology and practices those radiations are lost for the detection process.

Neutral particles like gamma and neutron interact less with matter, are indirectly ionizing and have the higher penetration range. The penetration range of gamma radiation is several hundreds of meters in the air. The penetration of neutron radiation depends on the content of water of the air, as water shields neutron radiation. Neutron radiation can induce gamma radiation after atomic activation. [1]

### 2.3. Effect on matter and detection strategies

Let's first confront the two different detection strategies considered in this study: Airborne Gamma Spectroscopy (AGS) and remote sensing optical methods.

AGS has been recognized as a very powerful tool for the detection of ground contamination and to locate lost radioactive sources. It is presently the method recommended by the IAEA for the detection of ionizing radiations. [2] Optical detection of radioactivity by remote sensing is still under experiment and has not proved yet efficiency in ionization detection. [6][7]

The two methods lay on totally different measurement principles. AGS detection principle is based on the "capture" of energetic photons by the detector, which means all the photons from gamma radiation stopped in the air prior the sensor are lost for the detection process and the low penetration range radiations (alpha and beta) are lost too. Individual radionuclide emits gamma rays of specific energies that are characteristic for an element and isotope. Gamma ray measurements can be conducted in two modes. Total count measurements register gamma rays of all energies. These are used to monitor the gross level of the gamma radiation field and to detect the presence of anomalous sources. Spectrometers, on the other hand, measure both the intensity and energy of radiation (Fig. 1), and this enables the source of the radiation to be diagnosed. Gamma ray spectrometry is thus a powerful tool for monitoring the radiation environment. [2]

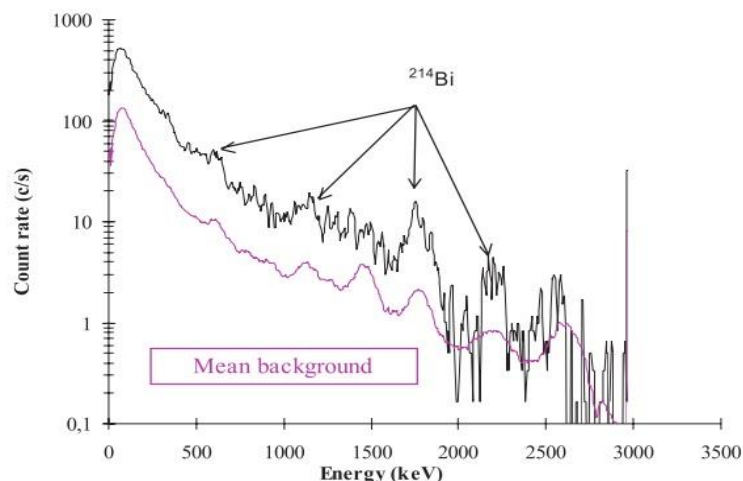


Fig. 1. Example of spectrogram generated by gamma spectrometry

Optical remote sensing methods can in theory detect what happens in the air and in the vicinity of the radioactive source (which encompass the effect of alpha and beta radiations on matter) as the detection medium (the electromagnetic radiations) is traveling almost freely in the air. The detection principles should allow detecting electronic excitation generated by the ionizing radiations (emission) and the molecular species generated by the ionization of the air (through the

radiations absorbed, reflected or transmitted and the associated spectral signature).

In conclusion the two detection methods are complementary and could be used in combination to improve the detection range and the accuracy of the detection.

### 3. CRITICAL DESCRIPTION OF THE HUNGARIAN NUCLEAR RECONNAISSANCE SYSTEM

The gamma spectrometry airborne nuclear reconnaissance system was designed for the primary survey of area contaminated by radiological materials. The system can be used to reach three major goals:

- to measure the extended contamination on a territory and to map it. This is made with total count measure of radiation rate.
- the localization of radioactive point sources.
- the identification of radioactive isotopes. [3][4][5]

#### 3.1. System built up

The container of the system includes two nuclear detectors, a GPS-receiver, a barometric altitude-meter and data logger which can send the recorded data to the on-board notebook or to the PC of the operation center. One of the two detectors is a Geiger Müller tube (BNS-98) dose rate meter while the other one is a specially designed, highly sensitive NDI-65/SK type intelligent scintillation detector, built in a lead collimator which ensures the capability of finding and localizing discrete radiation sources on the ground. The system calculates the radiation level of the contaminated area (referred to 1 m altitude) or the dose rate of a discrete radiation source from the dose rate measured at the flying altitude considering the atmospheric and ground conditions.

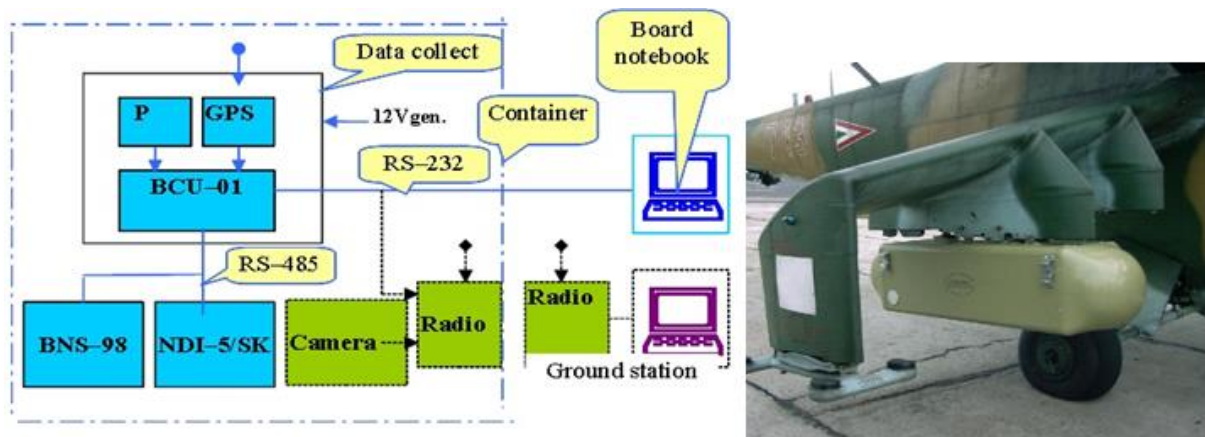


Fig. 2. Details about the composition of the nuclear reconnaissance system

### 3.2. Characteristics of the system

Name	Sensors in the system	Operating mode	Detection capacities
LABV airborne	-BNS-98 (2s) remote dose-rate meter (GM tube); - NaI(Tl) (0,5s) crystal NDI-65/SK intelligent scintillator in plumb collimator	Helicopter (MI-24D) <b>uniform contamination:</b> Speed: 150-180 km/h Altitude: 80-100 m. Coverage: 300 km <sup>2</sup> /h <b>Point source:</b> Speed: 100-120 km/h Altitude: 50-60 m. Coverage: 18-20 km <sup>2</sup> /h	<b>Point sources:</b> 1,5-2 times the natural ground value 2-3 times the natural ground value for radiation level <b>uniform activities:</b> over 2-5 mGy/h of dose rate over 10-20 µGy/h count rate

Tab. 2. Main characteristics of the Hungarian reconnaissance system.

The main limitations identified is the low flying altitude required to measure gamma radiation, from 50m to 200m above ground. Another limitation is the fact that low penetration radiations (which are stopped by the air in the vicinity of the radioactive materials) cannot be detected and are lost for the detection process. It should also be noticed that the reconnaissance system is not performing geo-referenced imaging of the impacted area during the flight, which in case of catastrophe management could be a source of relevant information for evaluating the impacts on environment and population.

## 4. PRESENTATION OF HYPER SPECTRAL IMAGING TECHNOLOGY, WORKING PRINCIPLE AND AVAILABLE SENSOR

Hyper spectral images are produced by instruments called imaging spectrometers. The spectrometers measure the energy received simultaneously in hundreds of narrow (several nm), adjacent spectral bands. These measurements make it possible to derive a continuous spectrum for each image cell. Spectroscopy science analyzes how reflectance varies with wavelength in a spectrum. A spectrum is like a fingerprint where are appearing spectral domains of low and high reflectance as a consequence of the physico-chemical properties of the materials surveyed. By the identification of characteristic absorption or reflection patterns it is possible to determine which materials are imaged. [11]

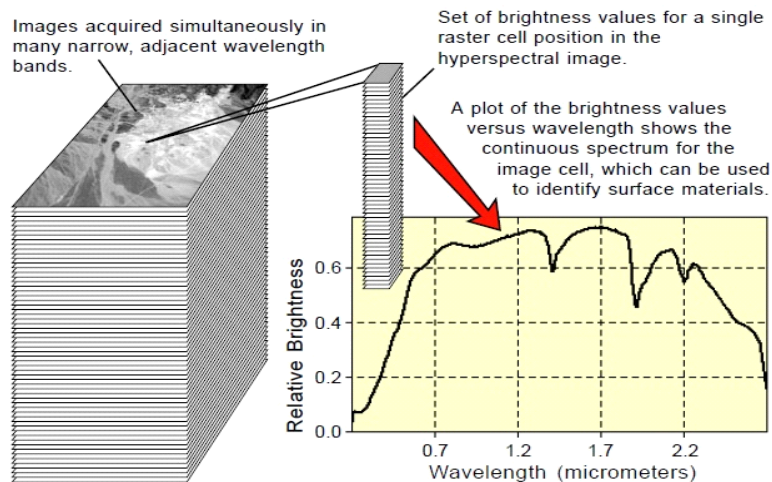


Fig. 3. General principle of hyperspectral imaging - ©MicroImages, Inc., 1999-2012





Image spectra can be compared with field or laboratory reflectance spectra in order to recognize and map surface materials such as particular types of vegetation or diagnostic minerals associated with ore deposits. Wavelength-specific absorption may also be caused by the presence of particular chemical elements or ions or the ionic charge of certain elements. Reflectance varies with wavelength for most materials because energy at certain wavelengths is scattered or absorbed to different degrees. [11]

Once should distinguish the reflected light spectroscopy method where the spectral reflectance (ratio of reflected energy to incident energy as a function of wavelength) is measured and the emission spectroscopy where the electromagnetic emission from elements or chemical species are measured.

The most important characteristics of imaging spectrometers are:

- spectral range
- spectral resolution
- spatial resolution
- signal-to-noise ratio

The Tab. 3. shows a summary of the airborne sensors owned by Karoly Robert College.

Sensor name	Sensor type	Spectral range
AISA Eagle	Hyperspectral sensor (VNIR)	400-970 nm
AISA Hawk	Hyperspectral sensor (SWIR)	970-2450 nm

Tab. 3. Available sensors and their detection ranges

The AISA Eagle and Hawk respectively cover the 400-970 nm and 970-2450 nm spectral range. Their technical characteristics differ regarding the spectral resolution: 2,9 nm for Eagle and 8,5 nm for Hawk. When used at the highest spectral resolution the dual sensor collects 498 bands in the 400-2450 nm region. Spectral binning which consist in regrouping spectral bands is possible with the two sensors and offer a stronger signal if there is a strong response in one part of the spectrum. The detailed specifications are provided in Tab. 4.

SENSOR HEAD		TYPICAL SPECIFICATIONS							
Spectral range	VNIR 400-970 nm				SWIR 970-2450 nm				
	Total 400-2450 nm								
Spectral resolution	VNIR 2.9 nm				SWIR 8.5 nm				
Spectral binning options	VNIR	none	2x	4x	SWIR	none	2x	4x	
# spectral bands		244	122	60		254	127	63	
Spectral sampling/band (nm)		2.3	4.6	9.2		5.8	11.6	23.2	
FORE OPTICS									
Swath acquisition, option 1		See data acquisition option 1 on right							
# spatial pixels	VNIR	320			SWIR	320			
FOV		24 degrees				24 degrees			
I FOV		0.075 degrees				0.075 degrees			
Swath width		0.43 x altitude				0.43 x altitude			
Swath acquisition, option 2		See data acquisition option 2 on right							
# spatial pixels	VNIR	1024			SWIR	320			
FOV		37.7 degrees				35.5 degrees			
I FOV		0.037 degrees				0.111 degrees			
Swath width		0.68 x altitude				0.64 x altitude			

Tab.4. Technical specifications of the AISA dual hyperspectral sensor by SPECIM

Natural color images and RGB-IR images (orthophotos) can be derived from hyper spectral



imaging. This additional source of information is of high relevance for catastrophe management.

Hyperspectral imaging had demonstrated many applications in resource management, agriculture, mineral exploration, monitoring of vegetation and contamination detection. At present no application was attempted for the detection of ionizing radiations but some successful applications at the margin of our topic could be adapted to fit our specific objectives. For example some results were published on successful LWIR identification of hazardous gasses. [16] LWIR hyperspectral imaging is also capable in identifying chemicals used in chemical warfare (Farley et al, 2006). [17] FTIR imaging has been successfully used to identify radioactive materials. [8] Some preliminary works has been done with hyperspectral remote sensing for the identification of uranium mine tailings.

The work recently done for the detection of soil contamination with the red mud catastrophe in Kolontar also shows some interesting potential with the detection of contaminant in low concentration in soil. [13]

Last but not least, hyperspectral technology is evolving very quickly. The sensors developed recently have a made a significant progress with signal-to-noise ratio and spectral resolution. This open new possibilities for the detection of traces of gas and molecules. [9][14]

## 5. STUDY ON THEORETICAL PHYSICAL BASIS

In the previous chapter we have described the general principles regarding hyperspectral technology and have introduced one sensor as an example. In the light of the additional explanations given about the ionizing radiations and their interaction with matter we are trying in this chapter to set some basis for the indirect detection of ionizing radiations with hyperspectral imaging technology.

### 5.1. The strategical basis

As we have seen previously, presently the aerial detection of ionizing radiation is only done with Aerial Gamma Spectrometry (AGS). This method specifically senses the high energy photons generated by the decay of radiological materials (only gamma unscattered radiation). Only photons have a sufficient penetration range to travel in the air and reach an airborne sensor. Alpha and Beta radiations which are respectively stopped by a few cm and 9 cm of air are lost for such detection process. Gamma radiation intensity decreases exponentially with altitude. Because of this reason, the sensor should be flown at an average altitude of 100-200m (with helicopter) for moderately intense radiation sources, which is a main disadvantage: it is costly and lack of flexibility as regards to the new challenges in nuclear reconnaissance.

We would like to develop a new detection method based on a different strategy. Instead of using gamma radiation detection, we would like to use an optical remote sensing approach and to detect the ions and molecules specifically generated in the air by the ionization radiations around radioactive materials. This approach would be done with reflected light spectrometry. This is an indirect measurement method, but it offers two advantages. First the effects of alpha, beta and

scattered gamma radiations on matter would be sensed. The activity of radioactive materials could then be retrieved from appropriate calibration and computation. As a consequence hyperspectral imaging could be used as a complementary method. AGS and hyperspectral imaging would detect (indirectly for the sake of hyperspectral imaging) the full range of radiations in the vicinity of the radiological material and in the air from the radiological source to the sensor. Secondly, as light travel more freely in the air, the flying altitude could be increased. Puckrin have demonstrated that in the case of passive detection with FTIR, radiation can in theory be detected from an altitude of 1000m above the ground if the conditions are optimal. [8] The demonstration was made using MODTRAN4 modeling. [8]

Fig. 4. and Tab. 5. emphasizes on the difference in the application of Airborne Gamma Spectrometry and the application of hyperspectral imaging as regard to the flight altitude, the platform used, the “objects” sensed, the medium used. It should be noticed that all the information related to the implementation of hyperspectral imaging are only hypothetical as this method was not put in practice yet.

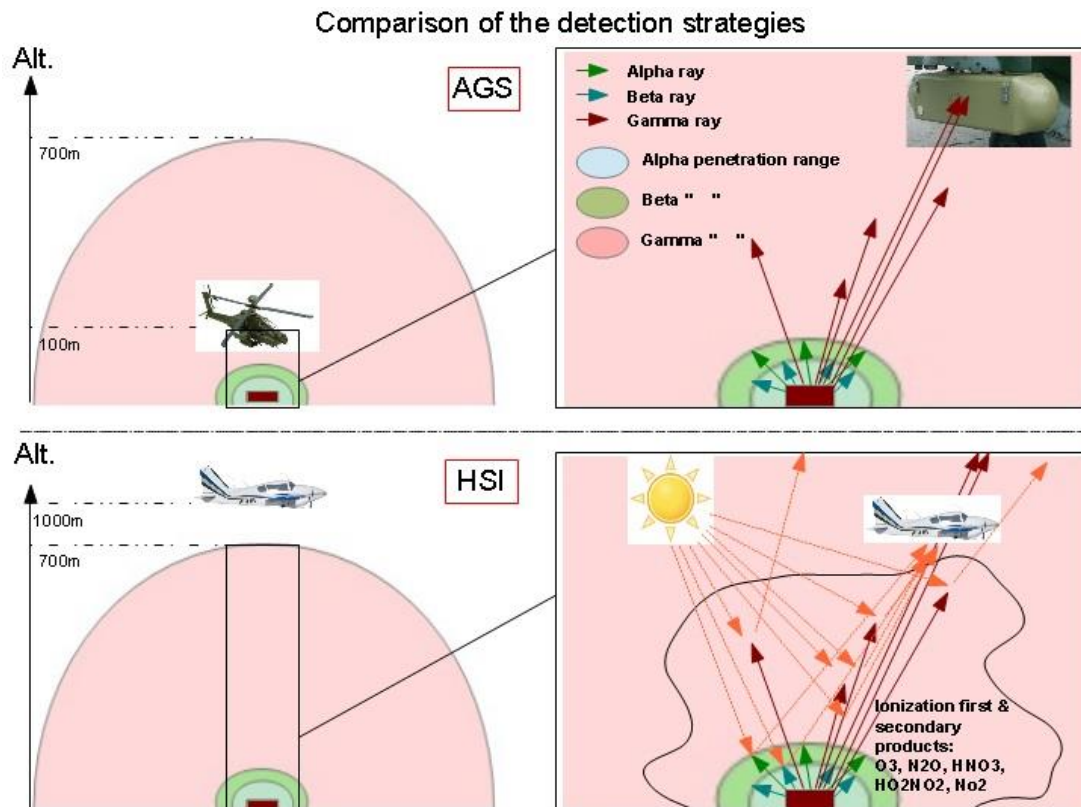


Fig. 4. Comparison of Airborne Gamma Spectrometry and hyperpectral imaging for the detection of ionizing radiations.



	<b>Airborne Gamma Spectrometry</b>		<b>Airborne hyper spectral imaging</b>	
	<i>Detected</i>	<i>Not detected and lost for detection process</i>	<i>Potentially detected</i>	<i>Not detected and lost for detection process</i>
<i>Vector</i>	Photons (gamma)		Molecules and excited atoms	
<i>Radiation</i>	Gamma ray from: - unscattered gamma - neutron activation.	Alpha, beta, scattered gamma, neutron (partly) and charged particles.	Partly: alpha, beta, scattered gamma, neutron, charged particles.	Unscattered Gamma (photons of high energy not stopped by the air).
<i>Effect on matter</i>	X <sup>+</sup> ,e <sup>-</sup> pairs creation on the crystal of the sensor.	X <sup>+</sup> ,e <sup>-</sup> pairs created in the air before the sensor.	Atomic excitation. Specific species created by ionizing radiation (ions, secondary product (O <sub>3</sub> ))	-
<i>Detection range</i>	On the crystals of the sensors. Only the photons intercepted by the sensors are counted.	On the surface of the radioactive material, in the vicinity of RA material, in the air between the ground and the sensor.	In the field of view of the sensor, i.e. in the vicinity of radioactive material in the air or on the ground.	Over the sensors (photons with high energy)
<i>Physical effect used in the detection</i>	Ionization and scintillation created by photons by: - photoelectric effect, - Compton scattering, - pair production.		Electromagnetic radiation emission (after de-excitation of atomic electrons), absorption and reflexion (by the product of ionization reactions).	

Tab. 5. Comparison of Airborne Gamma Spectrometry and hyperpectral imaging for the detection of ionizing radiations.

The strategy with the use of hyperspectral technology can be twofold:

- to detect the presence of products generated by ionization (molecules species) by reflected light spectrometry. The absorption and reflection patterns of the products specific to ionization reactions should then be known and identified.
- to exploit the excitation generated by the ionizing radiations, which means to measure the energy emitted by excited atoms when returning to ground state (O, N, H).

## 5.2. Detection of new molecular species by reflected light spectroscopy

From the bibliographic research we know that Moss already attempted to detected ionizing radiations through the detection of new species generated by radiation with optical remote sensing method. [6] If the strategy is the same as the one we want to develop, the method differs as he used differential absorption LiDAR (DIAL) for the detection. Nevertheless Moss made an interesting exploration regarding the specific species present in the surrounding of radioactive materials. He has calculated the molar fraction as a function of time of the species formed in air by irradiation with a 60 Curie source of <sup>113</sup>Cd. The simulation was done with a gas-phase chemical kinetics code developed at the Los Alamos National Laboratory. The results of the simulation are very interesting. Instead of having ions as a product of the ionization of air (which is expected primarily from ionization), the model shows that rather secondary products are accumulated in the vicinity of the radiological materials. The model generated the following secondary products: O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>NO<sub>2</sub>, and NO<sub>2</sub>. The second important result is the value of the molar fraction calculated by the model. They are very low, from the order of 10<sup>-5</sup> to 10<sup>-7</sup>. The absence of ions is probably explained by their high reactivity and very quick

life time in the air. Once the specific indicator species are theoretically known, we should explore the detection possibilities. In this article we decided to concentrate on O<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>.

The classical absorption bands of ozone are the following:

- the Hartley bands between 200 and 300 nanometers in the ultraviolet, with a very intense maximum absorption at 255 nanometers. It is the strongest absorption band.
- the Huggins bands, weak absorption between 320 and 360 nanometers
- the Chappuis bands, a weak diffuse system between 375 and 650 nanometers in the visible spectrum
- the Wulf bands in the infrared beyond 700 nm, centered at 4,700, 9,600 and 14,100 nanometers, the latter being the most intense.

The figure bellow represents the absorption bands for ozone and the different domain of hyperspectral sensors.

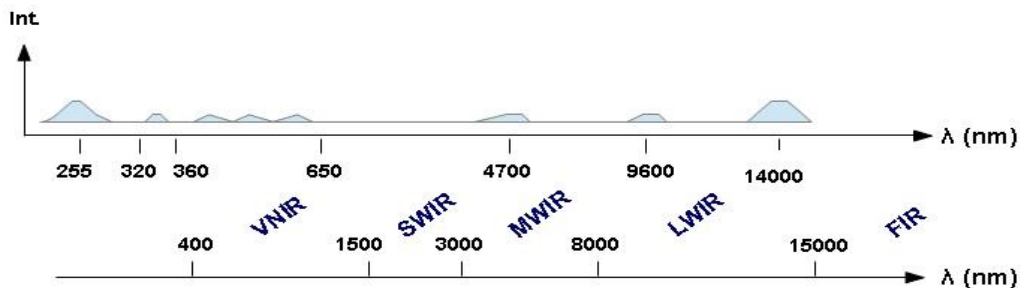


Fig. 5. Match between the absorption of ozone and the light spectrum sub-regions.

Some absorption is located in the VNIR and MWIR regions. The highest potential is in the LWIR region comprising the 14100 nm band (Fig. 5.).

Regarding the other target species, additional research about their spectral signature should be done in order to know if it makes sense to try to detect them.

### 5.3. Electronic excitation

Regarding nitrogen, the following reactions happen:



References are available about the atomic emission line from spectroscopy analysis. Atomic emission spectroscopy is a method of chemical analysis used in laboratory for identifying the elements in a sample. The principle reposes on the emission of photons by excited atoms.

Fig. 8. and 9. represent the atomic emission spectrum of Nitrogen. They were elaborated from the atomic basic spectroscopic data provided by the National Institute of Standards and Technology (NIST). [15] Only the observed strong emission lines are represented on the figure.



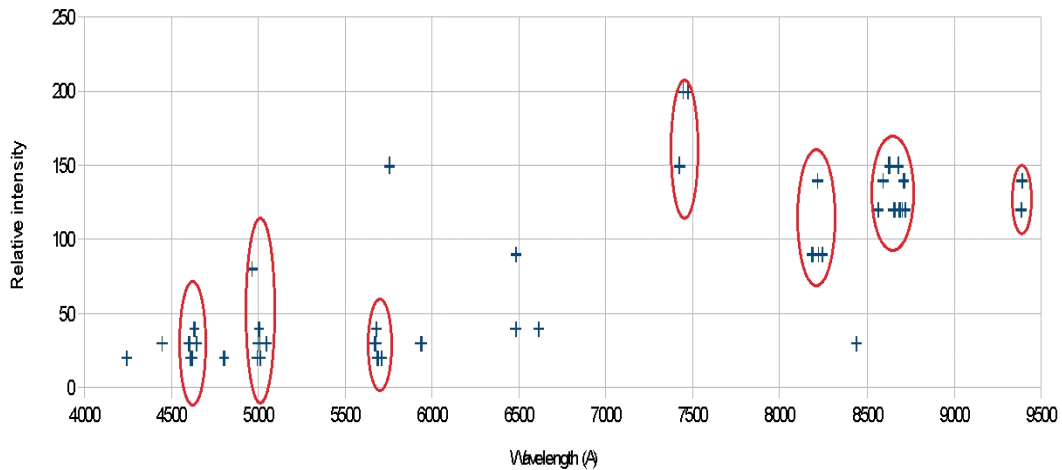


Fig. 6. Atomic emission spectrum for Nitrogen I-II in the spectral range of Eagle (4000-9500 Å).

Several spectral regions show a high density of emission lines. This is of interest for the detection with the hyperspectral sensors. In the spectral range of Eagle the 460, 500, 570, 750, 820, 870 and 940 nm regions seem promising.

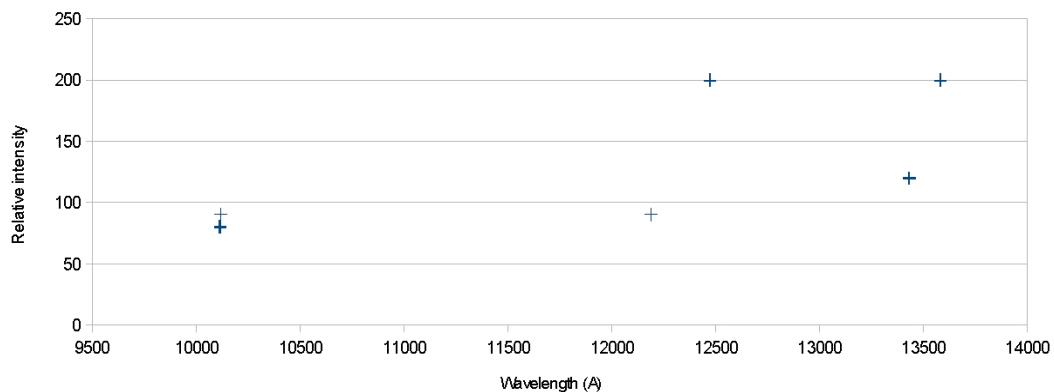


Fig. 7. Atomic emission spectrum for Nitrogen I-II in the 9500-14 000 Å region.

The emission spectrum of nitrogen in the spectral range of Hawk seems quantitatively less important. Emission lines in the 1010 and 1350 nm region could offer some detection possibilities.

The excited state of oxygen is somewhat more stable than nitrogen. While de-excitation can occur by emission of photons, more probable mechanism at atmospheric pressure is a chemical reaction with other oxygen molecules, forming ozone.



The detection possibilities are then the same as the ones already exposed above. The creation of ozone molecule by both excitation and ionization is an interesting fact for the detection capacities as it can strengthen the absorption signal.



---

#### 5.4. Limitations and problem expected with hyperspectral imaging

As mentioned, only traces of molecular species are expected in the air around the radiological materials. We wonder about the intensity of the spectral signature the sensor can detect from the specific species. The question of the relative intensity compared to the other spectral signatures (background) is a key point for the extraction of the spectrum of the specific species. If the reflectance is too weak, the atmosphere could also create too much disturbances and their spectrum could not be extractable. A last question is the spectral accuracy necessary to be sure to see the spectral signature. Is the scale of 3-4 nm sufficient or should the sensor have a sub-nanometer spectral resolution? Laboratory and field test with different sensors will try to answer these questions.

### 6. CONCLUSIONS AND PERSPECTIVES

The theoretical analysis conducted on hyperspectral technology reveals an interesting potential for the detection of alpha, beta and scattered gamma radiations through the detection of specific signal signatures from the generated ions and secondary products of ionization reactions. Consequently hyperspectral imaging potentially constitute a complementary detection method to aerial gamma spectrometry. The integration of the two detection methods on the same platform would allow an integrated approach in the detection of ionizing radiations. Furthermore this optical remote sensing technique can be applied at an altitude much higher than 100m. Nevertheless several difficulties have been identified. It seems the products of ionization are present in the air in infinitesimal quantities. Laboratory and field measurements work should confirm if optical detection is sensitive enough and applicable. The strength of the radiological source and the distance with the source are important parameters to consider in this work. A second question deals with the reflectance and spectral signature of ionized molecules and secondary products, in particular the intensity and profile of the signals. A weak or “flat” signal would offer limited applications as the spectral signature could not be extracted from a mixed spectrum comprising the general environmental effects (atmospheric and background).

The laboratory work in the near future should help to determine which spectral region is the most promising and which indicator species have the best potential for ionizing radiation detection.

Hyper spectral imaging offers two other added values. Orthorectified RGB-IR images can be produced and used for estimating the damage on the environment. The spectral signature of vegetation in the infrared red region can be used as an indicator of stress and help in the identification of radiological contamination.

---

**REFERENCES**

- [1] V. VALKOVIĆ: Chapter 5 - Measurements of Radioactivity. *Radioactivity in the Environment*. Amsterdam, Elsevier Science: 117-258, 2000.
- [2] IAEA: Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data, 2003
- [3] J. SOLYMOŠI, E. BAUMLER, A. SARKADI, Á. GUJGICZER, I. PINTÉR, Á. VINCZE: Wide range universal radiation measuring instrument. *AARMS*, Volume 1(1) (2002) 133–144.
- [4] J. ZELENÁK, J. CSURGAI: Analysis of the applicability of the airborne radiological reconnaissance in case of searching lost or stolen radioactive sources. *Hadmérnök*, (2009) 46-62.
- [5] J. SOLYMOŠI, E. BAUMLER: *Eljárás és berendezés ismeretlen összetételű és/vagy többkomponensű, főként hasadási termékekkel kontaminált terepszakaszok sugárszintjének légi felderítésére*, Hungarian Patent 201161 B, issued 1990-09-28.
- [6] C. E., MOSS, R. M. GOELLER, D. F. MILLIGAN, J. E. VALENCIA, J. ZINN: Remote sensing of radiation. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 422(1-3) (1999) 832 – 836.
- [7] S. IHANTOLA, J. SAND, K. PERAJARVI, J. TOIVONEN, H. TOIVONEN: Fluorescence-Assisted Gamma Spectrometry for Surface Contamination Analysis. *IEEE Transactions on Nuclear Science*,, Vol. 60 , Issue: 1 , Part: 2 (2013).
- [8] E. PUCKRIN, J. THÉRIAULT: Passive standoff detection of radiological products by Fourier-transform infrared radiometry, *Opt. Lett.*, 29 (2004) 1375-1377.
- [9] H. HOLMA, A. J. MATTILA, & T. HYVÄRINEN: New thermal infrared hyperspectral imagers. *NATO Technical report*, RTO-SET-151, 2009.
- [10] J. TUOMINEN, T. LIPPING: Detection of Environmental Change Using Hyperspectral Remote Sensing at Olkiluoto Repository Site, 2011.
- [11] R. B. SMITH: Introduction to hyperspectral imaging, 2012.
- [12] J. LÉVESQUE, R. A. NEVILLE, K. STAENZ, Q.S. TRUONG: Preliminary results on the investigation of hyperspectral remote sensing for the identification of uranium mine tailings. In: *Proceedings of the ISSSR: June 10-15, 2001, Quebec City, Canada*
- [13] Cs. LENART, P. BURAI, A. SMILBEGOVIC, T. BIRO, Zs. KATONA, R. ANDRICEVIC: Multi-sensor integration and mapping strategies for the detection and remediation of the red mud spill in Kolontar, Hungary: Estimating the thickness of the spill layer using hyperspectral imaging and Lidar, Hyperspectral Image and Signal Processing. *Evolution in Remote Sensing (WHISPERS)*. 3rd Workshop, Lisbon, Portugal. (2011).
- [14] R. RICHTER: Hyperspectral Sensors for Military Applications. *Emerging EO Phenomenology*, 2005.
- [15] J. E. SANSONETTIA, W. C. MARTIN: Handbook of Basic Atomic Spectroscopic Data. *J. Phys. Chem*, Ref. Data Vol. 34(No. 4) (2005)1885-1890.
- [16] G.M. GITTINS, W. J. MARINELLI: LWIR multispectral imaging chemical sensor. In *proc. SPIE 3533, Air Monitoring and Detection of Chemical and Biological Agents*, 93, Boston. (1999).
- [17] V. Farley, A. Valleres, M. Chamberland, A. Villemaire: Performance of the FIRST, a longwave infrared hyperspectral imaging sensor. *Proceedings of SPIE optically based biological and chemical detection for defense*, Stockholm, Sweden. (2006).

Baár Tamás<sup>1</sup> – Bauer Péter<sup>2</sup>

## REPÜLŐGÉPEN ALKALMAZHATÓ SZÉLBECSLŐ ALGORITMUS VIZSGÁLATA<sup>3</sup>

*A szerzők a dolgozatban először irodalmi áttekintést nyújtanak egy szélbecslő algoritmusról, majd annak megvalósíthatóságát vizsgálják. Az eljárás a GPS sebesség és a Pitot cső által mért sebesség alapján becsli a szél nagyságát és irányát egy kiterjesztett Kálmán szűrő segítségével. A szélbecslő eljárásból a fejlesztés során többféle változatot készítenek és szimulációs eljárásokkal tesztelik azokat. Az ismertetett teszteseti eredmények alapján kiválasztásra kerül a legmegfelelőbb algoritmus, amit a szerzők átültetnek az MTA SZTAKI-ban rendelkezésre álló távirányítású repülőgép fedélzeti szoftverébe. Az így kapott programot valós repülési adatokon tesztelik. Az eredmények bebizonyították, hogy az algoritmus alkalmas a szél irányának és nagyságának megállapítására és a későbbiekben alkalmazható lesz a repülőgép fedélzetén.*

### **THE ANALYSIS OF A POSSIBLE ONBOARD WIND ESTIMATION ALGORITHM**

*The authors give an overview about a wind estimation algorithm and later analyze its implementation. The solution estimates the wind conditions by data from a GPS receiver, data measured by a Pitot tube and by an Extended Kalman Filter. During the development process the authors made different versions of the algorithm and tested them with simulations. After the comparison of these algorithms, based on the results they choose one to implement onboard a radio controlled airplane, provided by MTA-SZTAKI. As a next step the authors continue with an extended test of the chosen algorithm. They test the algorithm on real flight data. The results showed that the solution is able to estimate wind conditions, and later it can be used onboard the airplane.*

## SZÉLBECSLÉS SZÜKSÉGESSÉGE

Az MTA SZTAKI-ban rendelkezésre álló E-flite Ultrastick 25e típusú távirányítású repülőgép, a végzett átalakítások után képes önálló repülésre. Ez azt jelenti, hogy térképen megadott útvonalpontok alapján végig tud repülni egy útvonalon. Amennyiben ezek a pontok túlságosan közel vannak egymáshoz és a repülőgép fizikai korlátjai miatt nem tudná a megadott sorrendben érinteni őket, a fedélzeti algoritmus egy új útvonalat számít ki, ami lehetővé teszi a repülési feladat végrehajtását, az adott pontok érintésével. A számítógépes szimulációk bebizonyították, hogy az eljárás szélcsendes időjárás során megfelelően működik. A valóságban azonban ilyen szituáció szinte elképzelhetetlen, a szél hatásával minden repülés során számolni kell.

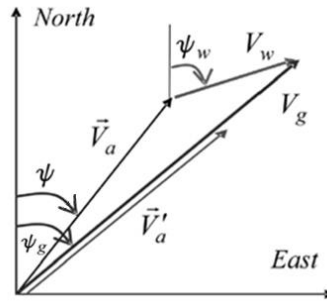
A kérdés az, hogy a fellépő szélzavarás hogyan befolyásolja az említett repülőgép pályáját. A szél a repülőgépet az optimális pályájáról eltéríti, „lefújja”, ezzel pontatlanabbá téve a követési eljárást. A dolgozatban kidolgozott algoritmus a szélnek ezt az eltérítő hatását számítja ki. Fontos megjegyezni, hogy a modell kidolgozása során egyszerűsítésekkel éltünk. A szél hatását csupán 2 dimenzióban, észak-kelet koordináta rendszerben modelleztük, és feltételeztük, hogy a repülés ideje alatt

<sup>1</sup> Közlekedésmérnök hallgató, BME, baartamas@gmail.com

<sup>2</sup> Tudományos segédmunkatárs MTA SZTAKI, bauer.peter@sztaki.mta.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Szabolcsi Róbert okl. mk. ezds; egyetemi tanár, Nemzeti közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, szabolcsi.robort@uni-nke.hu

(10–15 perc) az iránya és nagysága alig változik. A szél hatása a következő ábrán látható.



1. ábra Szél hatása a repülési sebességre (az ábra forrása [5])

Itt  $V_a$  a repülőgép levegőhöz képesti sebességének nagyságát jelzi. Ezt a sebességet közvetlenül mérni nem tudjuk, számítása a Pitot cső segítségével mért  $V_{Pitot}$  sebességből történik [2] alapján.

$$T_{BE} = \begin{bmatrix} c\theta c\psi & s\phi s\theta c\psi - c\phi s\psi & c\phi s\theta c\psi + s\phi s\psi \\ c\theta s\psi & s\phi s\theta s\psi - c\phi c\psi & c\phi s\theta s\psi - s\phi c\psi \\ -s\theta & s\phi c\theta & c\phi c\psi \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T_{BE} * \begin{bmatrix} V_{Pitot} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta c\psi \\ c\theta s\psi \\ -s\theta \end{bmatrix} V_{Pitot} \quad (2)$$

Ha  $\theta$  kicsi,  $-s\theta \approx 0$ .

$$V_a = \sqrt{(c^2\theta c^2\psi + c^2\theta s^2\psi)V_{Pitot}^2} \quad (3)$$

$$V_a = V_{Pitot} * \cos\theta \quad (4)$$

- $c x \cos(x)$ ;
- $s x \sin(x)$ ;
- $T_{BE}$  Test-Föld transzformációs mátrix;
- $\psi$  azimut szög;
- $\theta$  bólintási szög;
- $\phi$  bedöntési szög.

$V_w$  a szél nagyságát,  $\psi_w$  az irányát, míg  $V_g$  a  $V_a$  és  $V_w$  összegét mutatja, azaz a repülőgép tényleges sebesség vektorát a földhöz képest. Ezt a  $V_g$  sebességet tudjuk GPS segítségével érzékelni. Az ábrából kitűnik, hogy erős szél, azaz nagy  $V_w$  esetén  $V_a$  és  $V_g$  jelentősen eltérhet egymástól.

## KOORDINÁTA RENDSZEREK ÉS TRANSZFORMÁCIÓK

### A számítások során alkalmazott koordinátarendszerek

Repülés közben többféle erő és nyomaték hat a repülőgépre, amiknek a hatására létrejön az elmozdulás. Ezeket az erőket három különböző koordinátarendszerben szokták definiálni.

#### Föld koordinátarendszer ( $E$ )

A Föld koordinátarendszer  $Z_E$  tengelye merőleges a Föld adott pontbeli érintősíkjára,  $X_E$  északra





mutat  $Y_E$  pedig ezekkel jobbsodrású rendszert alkot. Ebben a koordináta rendszerben a repülés során egyetlen erőt értelmezzünk, a nehézségi erőt. A számítások során a nehézségi erő nagyságát és irányát állandónak vesszük, és iránya párhuzamos a koordinátarendszer  $Z_E$  tengelyével. [8]

### *Szél koordinátarendszer ( $W$ )*

Ennek a koordinátarendszernek az  $X_W$  tengelye párhuzamos a repülőgép sebesség vektorával. Ez a koordinátarendszer azért fontos, mert a repülőgépre ható összes aerodinamikai erőt ebben a koordinátarendszerben értelmezzük. Ez azért lehetséges, mert az aerodinamikai együtthatókat két csoportba sorolhatjuk. A szél irányával párhuzamosba, és a szél irányára merőlegesbe. Így létezhetnek a szél irányára merőleges erők, például a felhajtóerő (lift) és létezhetnek a szél irányával párhuzamos erők, például az ellenállás erő (drag), ami a repülőgép maximális sebességét csökkenteni igyekszik. Ezekon kívül a koordinátarendszerben értelmezhetünk még nyomatékot, amiket az előbb említett erők generálnak. Ezek a nyomatékok is hasonlóképpen csoportosíthatóak. Az itt említett aerodinamikai erők és nyomatékok arányosak a dinamikai nyomással és a felület nagyságával ami mentén hatnak. [8]

### *Test koordinátarendszer ( $B$ )*

Ez a koordinátarendszer a repülőgép testéhez van kapcsolva és ezáltal azzal együtt forog. A koordinátarendszer középpontja a repülőgép tömegközéppontjában van,  $X_B$  tengelye párhuzamos a repülőgép hossz tengelyével.  $Y_B$  tengelye a repülőgép jobb félszárnyának irányába,  $Z_B$  tengelye az előző két tengelyre merőlegesen a repülőgép alsó része felé mutat. Ebben a koordinátarendszerben értelmezzük a tolóerőt. Az  $X_B$  tengely és az  $X_W$  tengely  $X_B Z_B$  síkra vett vetülete által bezárt szög az  $\alpha$  állásszög. [8]

## **Euler szögek**

A repülőgép irányítása során a repülőgép orientációját Euler szögek segítségével írjuk le. Ehhez két koordináta rendszert alkalmazunk. A már említett Test és Föld koordinátarendszereket. A két koordinátarendszer átjárható, meghatározott sorrendű forgatásokkal az egyik rendszerben megadott vektor átszámítható a másik rendszerbe [2]. Ezt a meghatározott sorrendű forgatást nevezi a nemzetközi szakirodalom 3-2-1 forgatási sorrendnek, ahol a tengelyek körüli forgatásokat úgynevezett Euler-szögekkel jellemzik. A három Euler-szög a következő:  $\psi$  azimut szög ( $Z(3)$  tengely körüli forgatás),  $\theta$  bólintási szög ( $Y(2)$  tengely körüli forgatás),  $\phi$  bedöntési szög ( $X(1)$  tengely körüli forgatás).

A pályakövető eljárás a repülés során ismert helyzet és orientáció adatokat követel meg a repülőgépre vonatkozóan. Ezért fontos többek között az Euler szögek ismerete. A szükséges adatokat nem tudjuk közvetlenül mérni, csak mért adatokból becsülni. Ehhez kifejlesztésre került egy orientáció (attitude) becslő algoritmus [1]. A becslő gyorsulást, szögsebességet, mágneses térerősséget (mindhárom Test koordinátarendszerben), barometrikus és Pitot cső nyomást, illetve GPS adatokat használ fel.

Az Euler szögek becslése pusztán a mágneses térerősség, vagy pusztán a GPS-ből származó adatok alapján nem lehetséges, becsléséhez két egymástól független vektornak a mérése szükséges. A két vektor a Föld mágneses terét leíró vektor, illetve a GPS által mért sebesség vektor

az [1]-ben publikált módszer szerint. Repülés közben a becselőben alkalmazott kiterjesztett Kálmán szűrő ezeknek az adatoknak a segítségével, és egy szögsebesség szenzor által mért szögsebességeket felhasználva becsli a szükséges Euler szögeket. A GPS-ből származó adatokat a szél a korábban bemutatott módon befolyásolja. Így a belőlük származtatott Euler szögek és az azokból számított további adatok is hibával terhelték. Az útvonalkövetésben való alkalmazáson túl ezért is volt szükség egy eljárás kidolgozására, aminek segítségével a szél erőssége becsülhető és a pontatlanság csökkenthető.

## SZÉLBECSLŐ ALGORITMUS

Az eljárás az [5]-ben ismertetett módszeren alapul. Ez az elgondolás egy GPS vevőt és egy Pitot csövet használ és az 1. ábrán bemutatott szélháromszög segítségével határozza meg a szélirányt és erősséget. A számítások során egy kiterjesztett Kálmán szűrőt alkalmaz. Test rendszerben  $V_a^B \approx \begin{bmatrix} V_{Pitot} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$  a repülőgép levegőhöz képesti sebessége.  $V_a^B$ -ben az  $\alpha$  állásszög hatását

elhanyagoljuk.  $V_w$  a szélesebesség,  $V_g$  a GPS által mért sebesség. A csúszásmentes repülést szabályozóval közelítőleg garantáljuk ezért a  $\beta$  csúszási szöget elhanyagoljuk. Az 1. ábrából látható, hogy amennyiben a  $V_g$ , illetve  $V_a$  sebességek ismertek  $V_w$  meghatározható az 5. egyenlet segítségével.

$$V_w = V_g - V_a \approx V_g - T_{BE} * \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} * V_{pitot} \quad (5)$$

Amennyiben a repülőgép irányt vált, fordul, a földi sebessége és sokszor a levegőben mért sebessége is változik az időben. Ezeknek a változóknak a segítségével becsülhető a szélirány és szél nagyság. Ahhoz hogy a becselő megbízható adatokat szolgáltatson, szüksége van a repülőgép orientációjának folyamatos változására. Ez a módszer állandó szélirányt és nagyságot feltételez.

A levegőhöz képesti sebességet ( $V_a$  x irányú komponensét) egy nyomásmérő segítségével számolhatjuk ki, amit a Pitot csőhöz csatlakoztatunk. A nyomásmérő berendezést kalibrálni kell. Ez az eszköz beépítésekor tehető meg, szélcsatornás mérések segítségével. A kalibráció az alkalmazott repülőgépen is megtörtént. A sebesség négyzete innen Bernoulli egyenletét felhasználva

$$V_{pitot}^2 = K * \frac{2\Delta P}{\rho} \quad (6)$$

- $\Delta P$  a dinamikus nyomás,
- $\rho$  a levegő sűrűsége,
- $K$  egy korrekciós tényező.

A Pitot cső ideális, egyenletesen áramló gázt feltételez, a valóságban azonban ez nem így van. A Pitot cső felhelyezésénél is adódhatnak hibák. A korrekciós tényező ezeket a hibákat korigálja.

A  $V_a$  repülési sebesség, és  $V_{Pitot}$  Pitot cső által mért sebesség,  $\alpha$  az állásszög és  $\beta$  az oldal irányú csúszás közötti közelítő összefüggés:

$$V_{pitot}^2 \approx |V_a|^2 \quad (7)$$

Ami az előző egyenletet felhasználva írható úgy, hogy

$$V_a^2 = V_{pitot}^2 = \frac{\Delta P}{2K} = \frac{\Delta P}{s_f} \quad (8)$$

- $s_f$  egy korrekciós tényező a dinamikus nyomás és a  $V_{pitot}^2$  között.

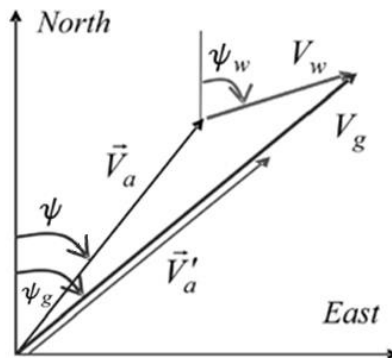
A rendszer dinamika az  $x = [V_w \ \psi_w \ s_f]^T$  állapot vektorral és  $w_k$  zajjal a következő

$$x_{(k+1)} = Fx_{(k)} + w_k \quad (9)$$

- $F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
- $w_k \sim N(0, Q_k)$

Így az állapotokat random walk eljárásként modelleztük. A random walk egy matematikai leíró formula, amivel a valamilyen szinten véletlen által vezérelt folyamatokat szokták leírni. Le lehet írni például így egy gázmolekula útját, ahogy egy áramlásban halad, vagy például egy folyamatosan változó részvény értékét is.

A számításhoz szükséges sebességeket és szögeket a 2. ábra mutatja be. Itt  $\psi_g$  a repülőgép földhöz viszonyított haladási irányát adja meg a Föld koordináta rendszer északi tengelyéhez viszonyítva.  $\psi_w$  a szél irányát adja meg, szintén a Föld koordináta rendszer északi tengelyéhez viszonyítva.



2. ábra Szélháromszög (az ábra forrása [5])

Ha a szélháromszögre alkalmazzuk a koszinusztételt az alábbi összefüggést kapjuk

$$V_g^2 + V_w^2 - 2V_g V_w \cos(\psi_w - \psi_g) = V_a^2 = \frac{\Delta P}{s_f} \quad (10)$$

- $V_g$  a GPS egységből kapott adat;
- $\psi_g$  a GPS egységből kapott adat;
- $V_a^2$  a Pitot cső segítségével számítható.

A 10. egyenletet átrendezve kapjuk a nemlineáris megfigyelési rendszert, ahol  $z_k = V_a^2$

$$z_k = h(x_k) + v_k = sf_k * [V_{gk}^2 + V_{wk}^2 - 2V_{gk}V_{wk} \cos(\psi_{wk} - \psi_{gk})] + v_k \quad (11)$$

- $v_k \sim N(0, R_k)$  a mérési zaj

Ebből a lineáris megfigyelhetőségi mátrix a következőképpen adódik

$$H = \left[ \frac{\partial h}{\partial V_w}, \frac{\partial h}{\partial \psi_w}, \frac{\partial h}{\partial sf} \right] \quad (12)$$

Az így nyert adatok segítségével felépíthető a Kálmán szűrő. A kezdő értékeket a szerzők [5]-ben a következőképpen határozták meg. Először képezték egy

$$V'_a = V_a * \frac{V_g}{V_g} \quad (13)$$

vektort, ami  $V_a$  nagyságú, de  $V_g$  irányába esik. Majd képezték  $V_g$  és  $V'_a$  különbségét.

$$(V_w)_{init} \approx V_g - V'_a \quad (14)$$

Kezdeti szögnek pedig a GPS sebességvektor irányát vették.

### Az elkészített Kalman szűrők

A korábban bemutatott eljárás segítségével három különböző Kálmán szűrőt készítettünk. Ezek különböző szél paramétereket becsülnek, és a becsült értékek segítségével korrekciókat végeznek.

#### Kalman szűrő $V_w$ , illetve $\psi_w$ tényezők becslésére

Az állapotvektor:  $x = [V_w, \psi_w]$

A mérési egyenlet:

$$h(x) = V_g^2 + V_w^2 - 2V_gV_w \cos(\psi_w - \psi_g) \quad (15)$$

A linearizált mérési egyenlet mátrixa:

$$H = \begin{bmatrix} 2(V_w - V_g \cos(\psi_w - \psi_g)) \\ 2V_wV_g \sin(\psi_w - \psi_g) \end{bmatrix}^T \quad (16)$$

#### Kalman szűrő $V_w$ , $\psi_w$ , illetve $\theta_e$ tényezők becslésére

A korábbi eljáráson változtatva, a szűrő az orientációbecslő által számított  $\theta$  bólintási szög hibáját is számítja az sf korrekciós tényezőn keresztül. A repülőgép Pitot sebességének vízszintes komponense

$$V_a * \cos(\theta + \theta_e) \quad (17)$$

Ennek négyzetét a (7.) egyenletbe helyettesítve adódik

$$V_a^2 \cos^2(\theta + \theta_e) = \frac{\Delta P}{sf} \quad (18)$$

Ennek segítségével és  $\cos^2(\theta + \theta_e) = \frac{1}{sf}$  feltevéssel sf-ből  $\theta_e$  számítható, ha  $\theta$ -t a becslő algoritmus szolgáltatja. Ez az eljárás csak abban az esetben működik, amikor sf értéke egynél kisebb. Ebben az esetben is nehéz az adódó  $\pm \theta_e$  értékek között dönteni.

Az állapotvektor:  $x = [V_w, \psi_w, \Theta_e]$

A mérési egyenlet:

$$h(x) = [V_g^2 + V_w^2 - 2V_g V_w \cos(\psi_w - \psi_g)] \cos(\Theta + \Theta_e)^{-2} \quad (19)$$

A linearizált mérési egyenlet mátrixa:

$$H = \begin{bmatrix} 2(V_w - V_g \cos(\psi_w - \psi_g)) \cos(\Theta + \Theta_e)^{-2} \\ 2V_w V_g \sin(\psi_w - \psi_g) \cos(\Theta + \Theta_e)^{-2} \\ 2[V_g^2 + V_w^2 - 2V_g V_w \cos(\psi_w - \psi_g)] \cos(\Theta + \Theta_e)^{-3} \sin(\Theta + \Theta_e) \end{bmatrix}^T \quad (20)$$

*Kalman szűrő  $V_w$ ,  $\psi_w$ , illetve  $sf$  tényezők becslésére*

Az algoritmus harmadik változata az  $sf$  korrekciós tényező értékét becsli, a  $\Theta$  szög hibájával nem számol.

Az állapotvektor:  $x = [V_w, \psi_w, sf]$

A mérési egyenlet:

$$h(x) = sf * [V_g^2 + V_w^2 - 2V_g V_w \cos(\psi_w - \psi_g)] \quad (21)$$

A linearizált mérési egyenlet mátrixa:

$$H = \begin{bmatrix} 2 sf (V_w - V_g \cos(\psi_w - \psi_g)) \\ 2 sf V_w V_g \sin(\psi_w - \psi_g) \\ [V_g^2 + V_w^2 - 2V_g V_w \cos(\psi_w - \psi_g)] \end{bmatrix}^T \quad (22)$$

Az algoritmusok segítségével elvégeztük az eredetileg a GPS sebességből becsült  $\psi$  azimuth szög korrekcióját is.

$$\psi_a = \text{atan} \left[ \frac{v_E - \sin \psi_w * V_w}{v_N - \cos \psi_w * V_w} \right] \quad (23)$$

- $\psi_a$  a repülőgép levegőhöz képesti sebességének iránya( ha  $\beta=0$ );
- $v_N$  a GPS egység által mért sebesség északi irányú komponense;
- $v_E$  a GPS egység által mért sebesség keleti irányú komponense;
- $V_w$  a szélesebesség;
- $\psi_w$  a szélirány.

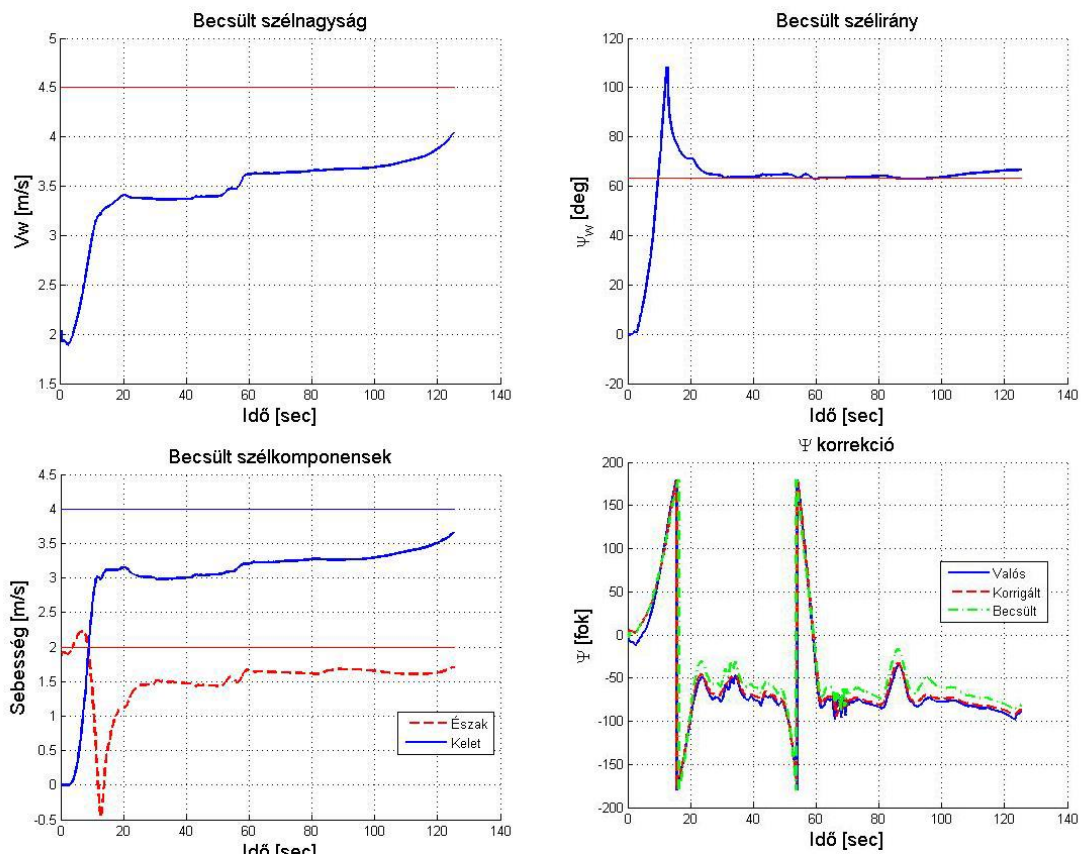
## Tesztelés

A fent bemutatott algoritmusokat szimulációk segítségével, Matlab környezetben teszteltük. A tesztelés során rendelkezésünkre állt az alkalmazott repülőgépnek (E-flite Ultrastick 25e ) egy Matlab környezetben felépített modellje, továbbá szimulált repüléseknek az adatai. Voltak fájlok amik szeles időjárást szimuláltak, előre megadott, állandó szél nagysággal és széliránnyal. Voltak amik szélszél szimuláltak, illetve voltak olyanok amiknél különböző mérési hibákat is számításba vettünk. Az eljárás lényege az volt, hogy a szél értékeket mi állítottuk be előre, így azok ismertek voltak. A lefutott Matlab algoritmus eredményeit összehasonlítottuk a szí-



mulációkban eltartolt adatokkal. A repülőgépen a GPS adatok frissítése közelítőleg 4Hz-en történik (az egyéb adatoké 50 Hz-en), így a szimulációban szereplő adatok közül csak minden 12. adatot kell számításba venni. Ezért a kód a köztes időben az előző értéket tartja. Ennek hatására a grafikonok lépcsőzetesen változnak, de a becslés megfelelő.

A kibővített Kálmán szűrő zajkovariancia mátrixainak beállítása után, a három algoritmus esetében a szimulációban megadott szélvektor  $V_w = \begin{bmatrix} 2 \\ 4 \\ 1 \end{bmatrix}$  volt, aminek csak a vízszintes  $\begin{bmatrix} 2 \\ 4 \end{bmatrix}$  komponensét becsültük. A szimulációra a következő eredményt kaptuk.

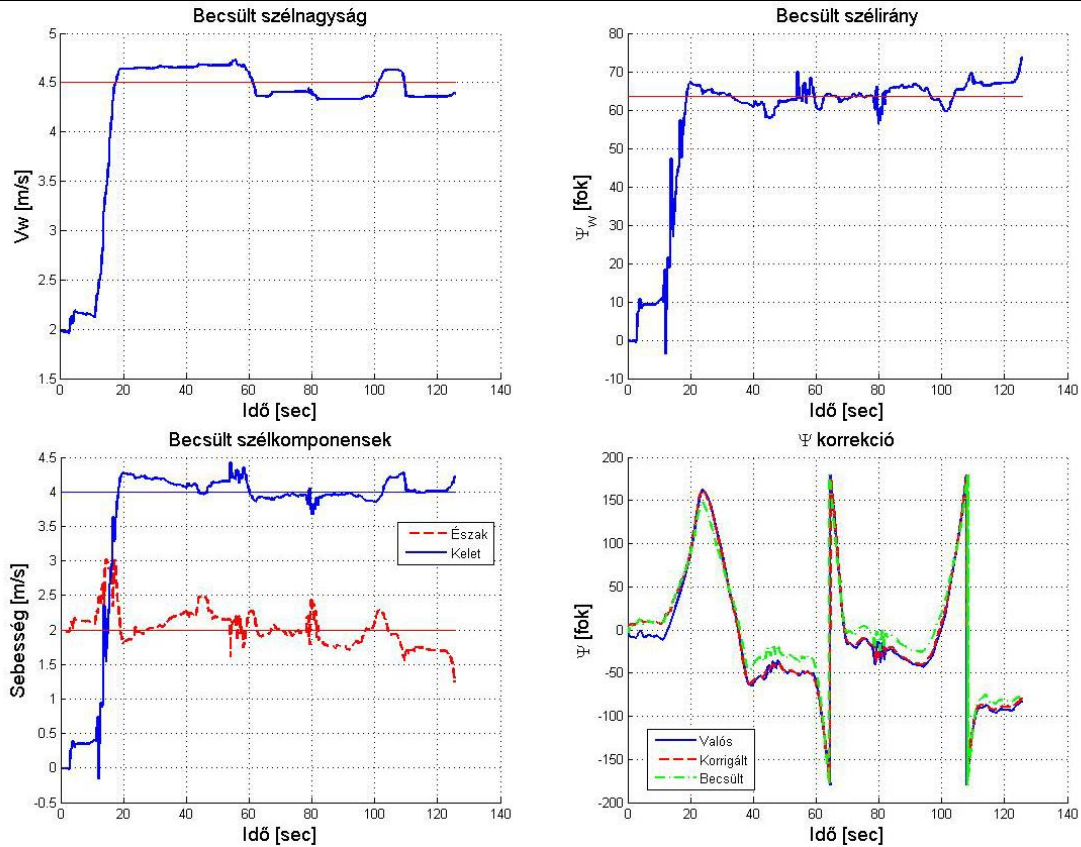


3. ábra Kalman szűrő  $V_w$ , illetve  $\psi_w$  tényezők becslésére (saját forrás)

A 3. ábrán láthatóak a  $V_w$ -t és  $\psi_w$ -t becselő algoritmus tesztelésének az eredményei. Az ábrán vízszintes vonal jelzi a beállított értékeket (szél nagyság esetében  $V_w$  vízszintes síkban vett abszolútértékét). A szél nagyság becslése során az algoritmus 1 m/s-os eltéréson belül közelíti a kívánt értéket. Az idő előrehaladtával a becslés pontossága javul.

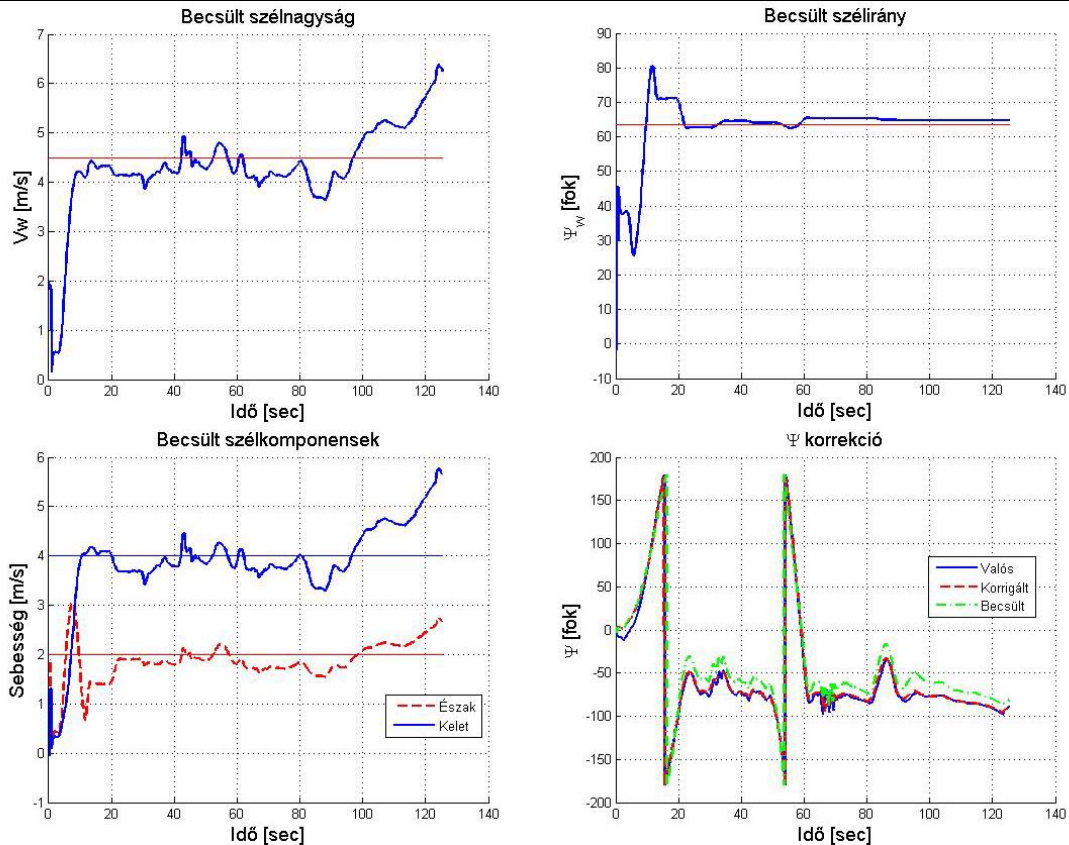
A szélirány becslésére is jó eredményt kaptunk. Az algoritmusnak ahhoz, hogy megfelelő értékeket szolgáltatson 20 másodperc körüli időre volt szüksége. A beállítás után a megadott szélirányt kis ingadozásokkal követi.

A  $\psi$  azimuth szög korrekciója során kézzel jelöltük a valós értéket. Zölddel van jelölve a szél hatását figyelmen kívül hagyó algoritmus által számított érték. Piros szín jelöli a szélbecslő algoritmus által pontosított  $\psi$  értéket. Látható hogy a korábbi állapotokhoz képest jelentős javulást tudunk elérni annak ellenére, hogy a szélkomponensek becslése nem a legpontosabb.



4. ábra Kalman szűrő  $V_w$ ,  $\psi_w$ , illetve  $\theta_e$  tényezők becslésére (saját forrás)

A 4. ábrán láthatók a  $V_w$ -t,  $\psi_w$ -t és  $\theta_e$ -t becselő algoritmus tesztelésének az eredményei. Az algoritmus a szélmagyság 4,5 m/s-os értékét jól megtalálta, és viszonylag stabilan követi is. Az északi és keleti szélkomponens értékek is beálltak viszonylag kis ingadozásokkal a megadott értékek köré. A szélirány becslése az előző esetben jobb volt, akkor egy sokkal egyenletesebb görbe adódott. A kapott értékeket felhasználva a korrekció most is sokat javított a  $\psi$  szög becslésén.  $\theta_e$ -t a számítások során felhasználtuk, de önmagában nem hordoz többlet információt, ezért külön ábrán nem jelenítettük meg.



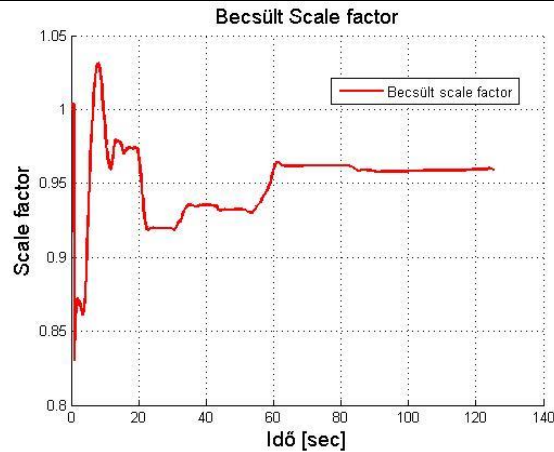
5. ábra Kalman szűrő  $V_w$ ,  $\psi_w$ , illetve  $\Psi$  tényezők becslésére (saját forrás)

Az 5. ábra szemlélteti annak az algoritmusnak a teszteredményeit, ami a  $V_w$ ,  $\psi_w$  és  $\Psi$  korrekciós tényező értékével számol. Szélmagyság becslése esetén az eljárás 8 másodperc alatt 0,5 m/s-os távolságon belül kerül a beállított értékhez képest, majd e körül az érték körül ingadozik. Az északi és keleti összetevőket is viszonylag pontosan és gyorsan megtalálja.

A mérés századik másodpercétől látható egy jelentős eltérés. Ennek oka, hogy a repülésnek ebben a szakaszában egyenes repülést szimuláltuk, a becslőnek pedig szüksége van a repülőgép orientációjának folyamatos változására.

A szélirány becslése ennél a módszernél a legpontosabb. A szűrő viszonylag hamar mintegy 22 másodperc alatt beáll a kívánt érték köré. Körülbelül 60 másodperctől pedig már ingadozás nélkül 1 fokos eltéréssel becsli a szél irányát.

A szög korrekciója itt bizonyult a legjobbnak. A korrigált értékek a valós értékeket nagyon pontosan követik. A szűrő segítségével jelentős javulást tudtunk elérni.



6. ábra sf korrekciós tényező becslése (saját forrás)

A 20. ábrán az sf korrekciós tényező becslét láthatjuk. Egy perc eltelte után stabilan beáll 0,96-os értékre.

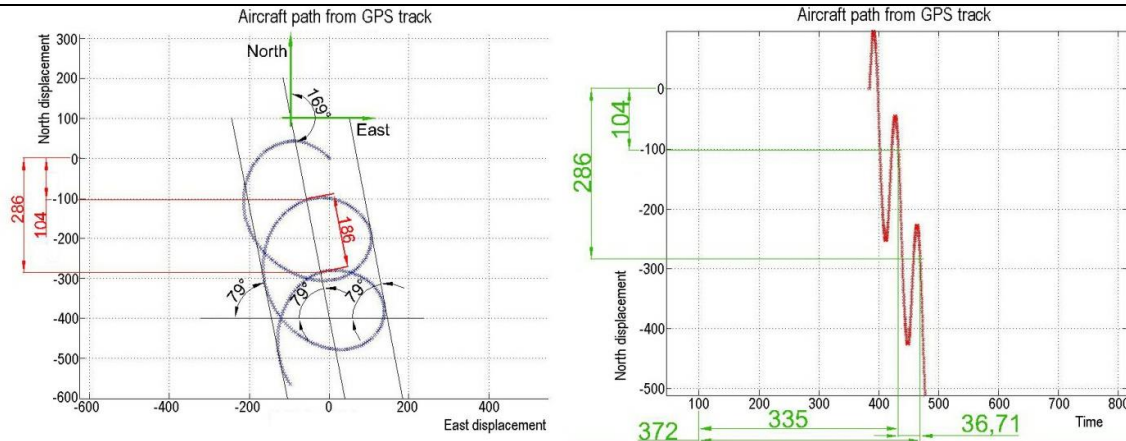
A bemutatott algoritmusok közül a  $\psi$  korrekció eredményessége és a szélirány becslés pontossága miatt, úgy döntöttünk, hogy ezt, a legutóbb bemutatott verziót fogjuk alkalmazni a repülőgépen. Az algoritmról elmondható, hogy a kívánt feltételeket elég jól teljesíti. A megadott értékeket jól közelíti. Körülbelül egy perces beállási idő után megbízható adatokat szolgáltat.

### A kiválasztott algoritmus tesztelése C környezetben, valós adatokon

A repülőgép fedélzeti számítógépén egy C program fut. Az előzőekben kiválasztott algoritmust ebbe a C programba építettük bele. Az így kapott kóddal valós adatokon alapuló szimulációt végeztünk. A szimulációhoz szükséges adatokat korábbi valós repülések, elmentett adataiból nyertük. Olyan fájlokat választottunk, amikben az adatokból meg tudtuk határozni a szélirányt és szélnagyságot. A repülőgépen a GPS egység nem mindig működött megfelelően, ezért a saját repüléseinkből nem tudtunk elegendő adatot szerezni. A minnesotai egyetem (University of Minnesota) rendelkezik egy a miénkkel szinte teljes egészében megegyező repülőgéppel, ezért felhasználtuk az ő repülési adataikat is.

#### *Szélirány, szélnagyság megállapítása*

A repülési adatokból Matlab fájlokat generáltunk. A fájlok nem tartalmaztak a szélirányra és szélnagyságra vonatkozó adatokat, ezért ezeket nekünk kellett utólag meghatározni. A repülőgép repülése során GPS vevő segítségével rögzíti az útvonalát. Így ezt az útvonalat meg tudtuk jeleníteni Észak-Kelet koordináta rendszerben. Olyan pálya darabokat kerestünk, ahol a repülőgép konstans bedöntéssel, állandó sebességgel köröket repült. Az így repült körök középpontjainak eltolódásából tudtuk becsülni a szél irányát és nagyságát. Ezt mutatja be a következő ábra.



7. ábra Repülési útvonal alapján a szélirány számítása (saját forrás)

Kék szín jelzi az egyes időpillanatokhoz tartozó koordinátákat. A repülőgép északról déli irányba repült. Ebben az esetben az ábrán látható második és harmadik körrel számoltunk. A körök legnyugatabbra és legkeletebbre lévő pontjaihoz érintőket illesztettünk és meghatároztuk a meredekségüket. A meredekségek átlagával felvettünk egy egyenest a két érintő között, mind a kettőtől egyenlő távolságban. A meredekség rögtön megadja a szél irányát. A körök középpontja ezen egyenes mentén tolódik el. Megkerestük azt a pontot mind a két körön ahol az előbb említett egyenes metszi a körvonal északi részét. Ez a két pont a körnek ugyan azon pontja, csak eltolva, így távolságuk megadja az eltolás nagyságát. Így tudhatjuk, hogy a szél hatása miatt egy kör megtétele alatt mennyit tolódott el a kör középpontja.

Következő lépésben meghatároztuk az ehhez az eltolódáshoz tartozó időt. A repülőgép északi pozícióját ábráztuk az idő függvényében. Az északi pozíciók alapján az Észak-Kelet koordinátarendszerben kijelölt pontokat könnyen megtalálhatjuk a jobb oldali koordinátarendszerben, a nulla ponttól vett távolságuk alapján. Ezek után az idő tengelyen lemérhetjük a pontokhoz tartozó időket, és számíthatjuk ezek különbségét.

Így ismerjük a középpont elmozdulását és az ehhez tartozó időt. A kettőből számítható az elmozdulás sebessége. A repülőgép végig konstans bedöntéssel repült, így az eltolódás csak a szél hatásának következménye. Ekkor az elmozdulás sebessége egyenlő a szél sebességével. Meghatároztuk a szükséges paramétereket, amivel az algoritmus működésének helyességét vizsgálhatjuk.

### **Teszt eredmények**

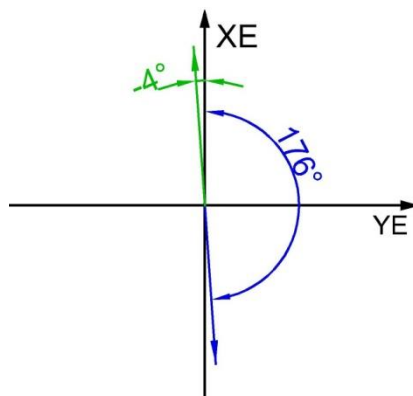
Az algoritmus tesztelését hat repülés adatain végeztük el. A Minnesotából kapott fájlok viszonylag hosszú 500–800 másodperces repüléseket jelentenek. Közülük mindegyikben találhatunk több olyan repülési szakaszt is, ahol a repülőgép konstans bedöntéssel repült. Ezekre külön a már említett számítási módszer segítségével meghatároztuk a szélirányt és szél nagyságát. Az eredményeket a következő táblázat szemlélteti. A táblázat első négy sorában a minnesotai repülések, az utolsó két sorában pedig itthoni repülések szerepelnek. A becslőt az első négy sor adatainak segítségével hangoltuk be.



Szél adatok							
Repülés		Irány [°]	Nagyság [m/s]	Repülés		Irány [°]	Nagyság [m/s]
faser05_1	Számított	176	5,6	faser05_2	Számított	162	5,5
	Becsült	-4	-4,5		Becsült	-14	-4,5
	Eltérés	0	1,1		Eltérés	2	1
faser08_1	Számított	159	7,7	faser08_2	Számított	161	6
	Becsült	-31	-6,1		Becsült	-28	-5,4
	Eltérés	10	1,6		Eltérés	9	0,6
thor59_1	Számított	185	2,4	thor59_2	Számított	210	2
	Becsült	4	-3,1		Becsült	11	-3,1
	Eltérés	1	0,7		Eltérés	19	1,1
thor60_1	Számított	202	1,46	thor60_2	Számított	183	2,5
	Becsült	4	[-6,7 ; -4,5]		Becsült	6	[-6,7 ; -4,5]
	Eltérés	18	[5,24 ; 3]		Eltérés	3	[4,2 ; 2]
convdata2	Számított	169	5,2				
	Becsült	[155 ; 164]	[3,5 ; 4,5]				
	Eltérés	[14 ; 5]	[1,7 ; 0,7]				
convdata WPN1	Számított	~118	-	convdata WPN1	Számított	~115	-
	Becsült	[159 ; 155]	[4,3 ; 3,9]		Becsült	[150 ; 142]	[4,3 ; 3,9]
	Eltérés	[41 ; 37]	-		Eltérés	[35 ; 27]	-

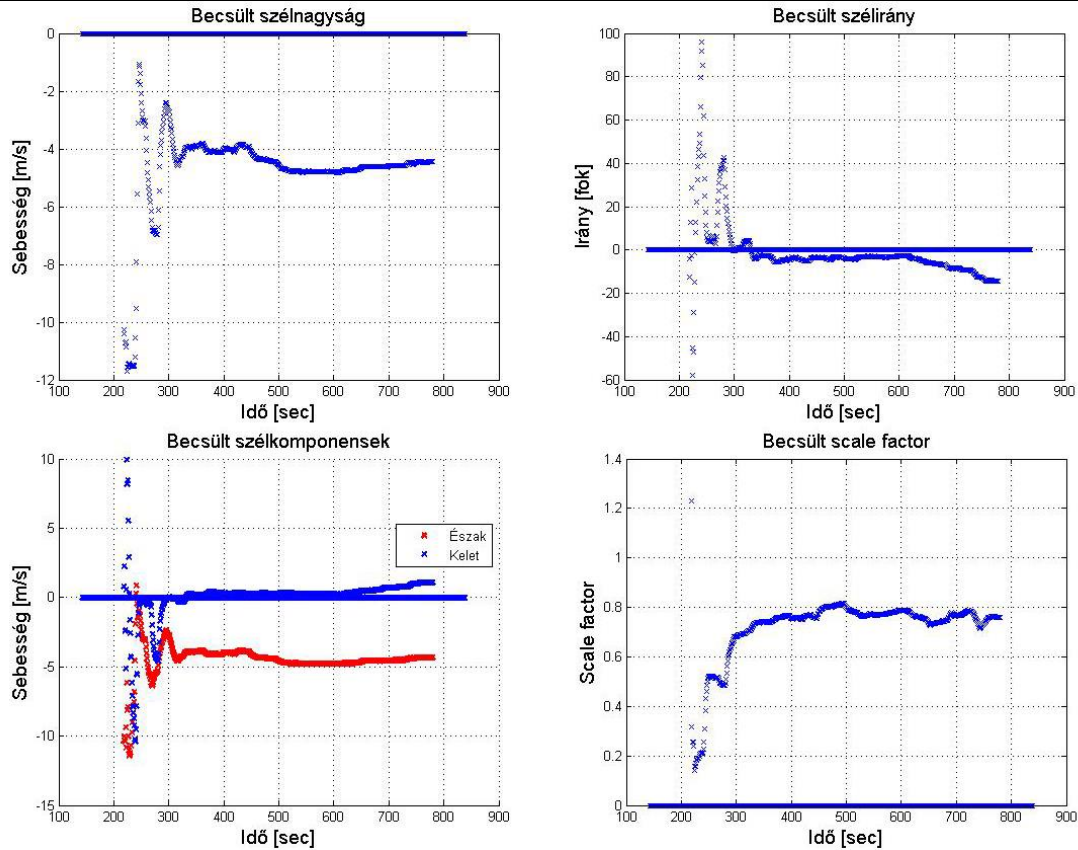
1. táblázat A számított és becsült szélirány és szélnagyság összehasonlítása (saját forrás)

Az adatokból láthatjuk, hogy a becsülő a helyes szélirányt és szélnagyságot adja meg, de esetenként ellentétes irányból közelíti azt. Hogy ezt könnyebben megérthessük vizsgáljuk meg a faser05\_1-es mérés adatait. Itt 176 fokot kaptunk a számításból a szélirányra, a becsülő -4 fok körüli értékeket ad.



8. ábra Számított és becsült szélirány összehasonlítása (saját forrás)

Az ábrából láthatjuk, hogy ugyan arról az egyenesről van szó, csak ellentétes irányból mérjük a szöget. Ha megnézzük a számított és a becsült sebességet láthatjuk, hogy a becsülő ott is negatív értéket ad meg. Ez azt jelenti, hogy a fent zöld színnel ábrázolt vektor pont ellentétes irányba mutat, 180 fokkal el van forgatva. Ez esetben pont egy irányba mutat a kék vektorral, amit a mérési adatokból számítottunk. A becslés és a számítás megegyezik. Emiatt a táblázatban a sebesség eltérését mindenhol pozitív előjellel adtuk meg.



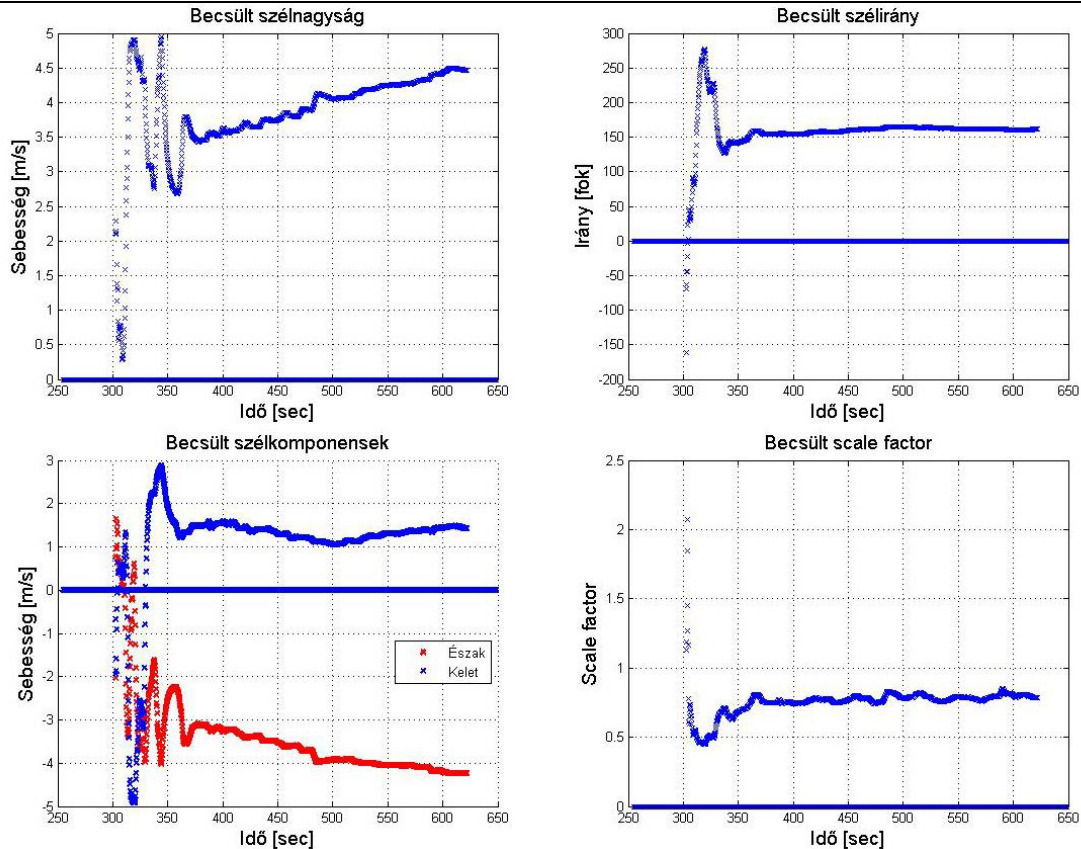
9. ábra A faser 05-ös repülés teszteredményei (saját forrás)

A 9. ábra mutatja, hogy algoritmus által becsült szélkomponensek megfelelnek az előbbi állításnak. Látható, hogy a keleti irányú komponens nagyon kicsi, 0-hoz közeli érték. Ezzel szemben az északi összetevő jelentős.

Az abszolút szélnagyság számításánál a szűrő kezdeti ingadozások után  $-4$  és  $-4,6$  közötti értékekre áll be. Ez a számított értéktől  $1-1,5$  m/s-os eltérés. A táblázat többi adatával összehasonlítva látható hogy a számított és a becsült értékek között általában ez az  $1-1,5$  m/s-os eltérés található meg.

A repülés során a szélirány körülbelül  $14$  fokot változott. A repülés első szakaszában a már ismertett  $176$  fokot mértük, amire  $-4$  fokot számított az algoritmus. A repülés második szakaszában a számított szélirány  $162$  fok volt. Az ábrából látható, hogy a becsülő elkezdte ezt az értéket követni. A repülés végére  $-14$  fokot számít, ami  $166$  foknak felel meg. Tehát az algoritmus nem csak konstans szélirányt tud becsülni, hanem esetenként képes követni a szél irányának lassú változását is.

A korrekciós tényező (Scale factor) becsülésére  $0,72-0,8$  körüli értékeket kaptunk.

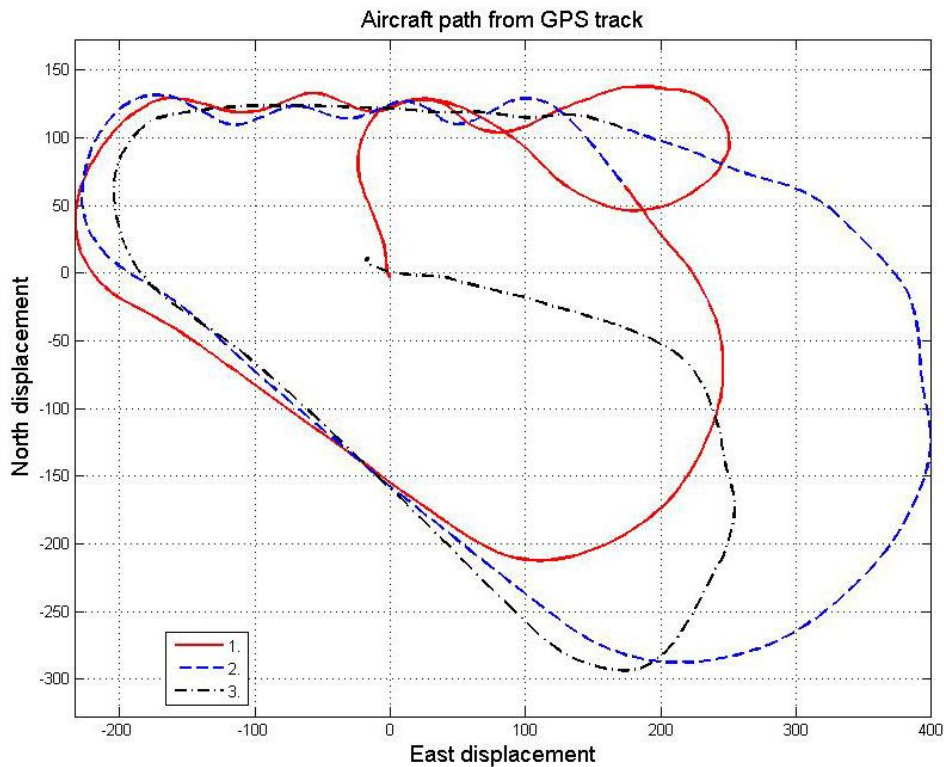


10. ábra A convdata2-es repülés teszteredményei (saját forrás)

Az előzőekben bemutatott mérések során a szűrő hangolását a minnesotai repülőgép műszereire állítottuk be. A szűrő ugyanezekkel a beállításokkal jól működik a mi repülőgépünkön is. A két repülőgép nagyon hasonló, de a műszereik mérési hibái eltérőek lehetnek. A convdata2 repülést saját repülővel végeztük.

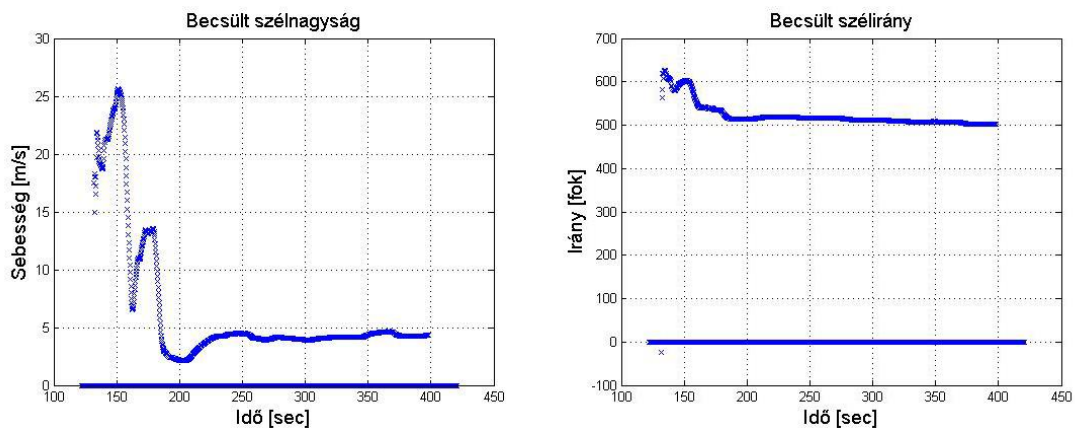
A becsült szélmagyság kezdeti ingadozások után, 3,5 m/s-os értékről folyamatosan növekszik 4,5 m/s-ig. Tehát itt is körülbelül 1–1,5 m/s-ot téved a becsülő. A szélirány a kezdeti ingadozások után nagyon szépen beáll 155 és 161 fok közé. A számított érték 169 fok. Az eltérés itt is 10 fokon belül van. A Scale factor az ábrán látható módon, viszonylag stabilan beáll 0,76 körüli értékre. Az ingadozásának mértéke  $\pm 0,02$  egység.

Miután a fent említett tesztelésekre megfelelő eredményeket kaptunk, az algoritmust kipróbáltuk egy útvonalkövető repülés adatain is. Az útvonalkövető repülés azt jelenti, hogy a repülőgépnek önállóan kell megadott pontokat érintve végigrepülnie a kijelölt útvonalon. Ennek vizsgálata azért fontos, mert a későbbiekben a szélbecslő algoritmus segítségével a repülőgép pályakövetését szeretnénk pontosítani. A táblázatban ennek a repülésnek az adatait a convdataWPN1 név jelöli.



11. ábra A WPN1 nevű pályakövető repülés útvonala (saját forrás)

A 11. ábra mutatja az útvonalat. A könnyebb áttekinthetőség érdekében az útvonal három színnel van ábrázolva. A repülőgép először a piros (folytonos) görbén repül végig, majd egy újabb kört tesz a kéken (szaggatott), és végül a fekete görbén (pontvonal) leszáll. A pályán látszik, hogy nem tartalmaz konstans bedöntéssel repült szakaszokat, mint ez előzőek, ezért itt más eljárással kellett meghatározni a szélirányt és szélnagyságot az ellenőrzéshez. Ha megnézzük az útvonalat láthatjuk, hogy a Nyugaton végzett fordulók sokkal kisebb ívűek, a keleten végzett fordulók sokkal nagyobb ívűek. Ebből arra következtettünk, hogy nyugati irányból fúj a szél. Ekkor a nyugaton végzett fordulóknál segíti a repülőgépet, kisebb lesz a fordulási sugár, a keleten végzett fordulóknál akadályozza, a pályájáról lesodorni igyekszik. Ezért itt nagyobb lesz a fordulási sugár. Az ábra alapján becsléseket végeztünk szélirányra vonatkozóan. 115–119 fok körüli értéket kaptunk. A becslő 155–159 fokot számít. Ezt szemlélteti a 12. ábra.



2. ábra A convdataWPN1 repülés tesztadatai (saját forrás)

A Szélnagyság kezdeti nagy ingadozások után beáll 4,3 és 3,9 m/s közé és ezt stabilan tartja. Erre a becslőnek körülbelül 60 másodpercre van szüksége. A valós szélirányról és szélnagyságról nincs pontos értékünk, ezek csak a repülési útvonal alapján becsülhetőek a már említett módon. A becslő mindkét esetben konvergál, és ez az érték közel esik a repülési útvonal alapján számított értékhez. Ezért kijelenthetjük, hogy valószínűleg megbízható adatokat szolgáltat.

Az 1. táblázat fennmaradó repülései során a becslő a szélirányt 20 fokos, a szél nagyságot 2,2 m/s-os eltérésen belül szolgáltatta.

A 2. táblázat tartalmazza az egyes repülések esetében szélirányokhoz és szélnagyságokhoz tartozó beállási időket. Beállási időnek nevezzük azt az időt, ami a felszállástól eltelik addig az időpontig amíg a becslő által számított értékek már egy elfogadható határon belül ingadoznak. Ezen idők mellett feltüntettük, hogy az adott beállási idő hány százaléka a teljes repülési időnek.

Repülés	Szükséges idő a beálláshoz				Teljes repülés ideje
	Irány [s]	Irány [%]	Nagyság [s]	Nagyság [%]	
faser05	121	22,04	98	17,85	549
faser08	59	16,81	62	17,66	351
thor59	69	12,87	73	13,62	536
thor60	18	3,27	18	3,27	550
convdata2	53	17,1	58	18,71	310
convdataWPN1	29	11,65	63	25,3	249
Átlag	58,2	14	62	16,1	-

2. táblázat A becslő beállási ideje (saját forrás)

A táblázatból látható, hogy ahhoz hogy a becslő megbízható adatokat szolgáltatson mind szélirány, mind szélnagyság becslés esetén átlagosan körülbelül 1 perces beállási időre van szüksége. A faser05-ös repülés során a beállítás tovább tartott, viszont a később szolgáltatott adatok sokkal pontosabbak voltak.

A beállítások a repülési idő első 20%-ában történtek, ezek után a becslő a repülés fennmaradó 80%-ában használható korrekcióra.

## EREDMÉNYEK, TOVÁBBLÉPÉSI LEHETŐSÉGEK

A dolgozat elején ismertettük a szél hatását egy repülőgép pályájára. Megindokoltuk a kidolgozott szélbecslő eljárás szükségességét.

A megvizsgált eljárás a GPS egységből származó helyzet és sebesség adatokat, valamint a repülőgép Pitot csöve által mért levegőhöz képesti sebesség adatot használja fel. Az algoritmus a 2. ábrán bemutatott szélháromszöget alkalmazza. Egy kibővített Kálmán szűrő segítségével becsli a szél irányát és nagyságát. Az algoritmust először Matlabban leprogramoztuk és többféle változatát elkészítve, szimulált adatokon teszteltük. Az eredmények kielégítőek voltak. A legmegbízhatóbban működő szűrőt kiválasztottuk és C nyelven leprogramozva beépítettük a repülőgépen futó programba. Az így elkészített programon Matlab segítségével valós adatokon történő szimulációt végeztünk. A teszt eredményeket összehasonlítottuk a valós adatokból számított értékekkel. Az eredmények





elemzése bebizonyította, hogy a szűrő kellő megbízhatósággal működik és alkalmas a szélirány és szélnagyság becslésére, illetve a repülőgép pályakövetésének pontosítására.

A későbbiekben a bemutatott eljárást szeretnénk a repülőgép fedélzeti számítógépén futtatni és HIL (Hardware In the Loop) szimulációt, valamint valós repülési tesztek végzésére.

Célunk továbbá a szélbecsléssel korrigált orientáció becselő algoritmus alkalmazása és tesztelése a repülőgépen, valamint a becsült széladatok figyelembe vétele az útvonal tervezésben és/vagy követésben.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BAUER Péter és BOKOR József, „Development and Hardware-in-the-Loop Testing of an Extended Kalman Filter for Attitude Estimation” *11<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics*, 57-62. old., november 18-20., Budapest, 2010
- [2] BAUER Péter, „Koordináta transzformációk Euler szögek alkalmazásával”, 2009.február.17. e-dok. url: [http://www.kka.bme.hu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=161&Itemid=167&lang=hu](http://www.kka.bme.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=161&Itemid=167&lang=hu) (2012.03.23)
- [3] William PREMIERLANI, „IMU Wind Estimation (Theory)” 2009.december.12. e-dok. url: <http://www.pdfport.com/view/616410-imu-wind-estimation-theory.html> (2012.06.23)
- [4] BAUER Péter, „A possible wind estimation and Euler angle correction method”, MTA SZTAKI, 2012 Június
- [5] AM CHO, JIHOON KIM, SANGHYO LEE and CHANGDON KEE, „Wind Estimation and Airspeed Calibration using a UAV with a Single-Antenna GPS Receiver and Pitot Tube” IEEE Seoul National University August 6, 2009
- [6] BENKŐ Tiborné, TÓTH Bertalan: Programozzuk C nyelven, ComputerBooks, 2010.
- [7] Beard, R. W. & McLain, T. W., *Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice* Princeton University Press, 2012
- [8] Angel Cristian ABUSLEME HOFFMAN, *Control Difuso de Vehículo Volador No Tripulado*, Santiago de Chile, 2000
- [9] BAUER Péter: Három üzemmódú kibővített Kalman szűrők repülőgép orientációjának becslésére, *Repüléstudományi Közlemények elektronikus különszám, 60 éves a szolnoki repülőtisztképzés*, Szolnok, 2010. április 16.
- [10] Peter BAUER, Paw Yew CHAI, Luigi IANNELLI, Rohit PANDITA, Gergely REGULA, Bálint VANEK, Gary J. BALAS, Luigi GLIELMO and József BOKOR: UAV Lab, Open Research Platform for Unmanned Aerial Vehicles. *Proceedings of the First CEAS Specialists Conference on Guidance Navigation and Control (Euro GNC 2011)*, paper EuroGNC2011\_181188\_paper, April 13-15, München, Germany, 2011.
- [11] Peter BAUER, Paw Yew CHAI, Luigi IANNELLI, Rohit PANDITA, Gergely REGULA, Bálint VANEK, Gary J. BALAS, Luigi GLIELMO and József BOKOR: UAV Lab, Open Research Platform for Unmanned Aerial Vehicles. Book chapter in *Advances in Aerospace Guidance, Navigation and Control (Selected Papers of the First CEAS Specialist Conference on Guidance, Navigation and Control)*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-642-19816-8, DOI 10.1007/978-3-642-19817-5, 2011.
- [12] Peter BAUER and József BOKOR: Multi-Mode Extended Kalman Filter for Aircraft Attitude Estimation, *Proceedings of the 18th IFAC World Congress*, pp. 7244-7249, August 28 – September 2, Milano, Italy, 2011.
- [13] Y. C. Paw. *Synthesis and Validation of Flight Control for UAV*. PhD thesis, University of Minnesota, 2009.

Rátonyi Krisztián Ferenc<sup>1</sup>

## PILÓTANÉLKÜLI FELDERÍTŐ REPÜLŐK A MAGYAR HONVÉDSÉGBEN<sup>2</sup>

*A Magyar Honvédség már évek óta rendelkezik UAV eszközökkel és emellett más szervezeteik is felállítják saját „kis-repülő” rendszereiket. A pilótanélküli rendszerek mindennapos használata már a jelen kérdései közé tartoznak. Számos nemzetközi és nemzeti légitársasági szervezet, és hatóság dolgozik azon, hogy miként is lehetne ezek repüléseit még biztonságosabbá tenni, integrálni a már meglévő szabályozók közé. A szerző a cikkben bemutatja és ismerteti a Magyar Honvédség pilóta nélküli felderítő képességét, röviden kitérve arra az útra, mely a drónok rendszerbeállításához vezetett. Napjaink lehetőségeire, feladataira, melyek az eszköz itthoni és missziós alkalmazását szükségessé teszik, ismerteti az Új Széchenyi Terv „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” kutatási projecthez tartozó, „A pilóta nélküli légitársaságok alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusai” nevű kiemelt kutatási területet. Természetesen mindezt katonai perspektívából megközelítve. Részletezi a projekt céljait, valamint a várható eredményeket. Végül javaslatot tesz a biztonságosabb alkalmazás elősegítésére.*

### UNMANNED ARIAL VEHICLES IN THE HUNGARIAN DEFENSE FORCES

*The Hungarian Defence Forces have been provided UAV assets. Nowadays, many organizations can obtain their own "small aircraft" systems. The use of unmanned systems has been issues of the present. The author of the article describes and explains the Hungarian Defence Forces unmanned reconnaissance capability. Shows to „New Plan Szechenyi „TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011 - Critical infrastructure defending” research projects included in the UAV application of the regulatory environment related to the research area. Detailing its objectives and expected results, in order to promote the domestic use.*

### Előzmények

Egyetlen, a kor elvárásainak megfelelni kívánó hadsereg nem engedheti meg magának a pilóta nélküli repülőket, un. UAV-k nélkülözését. Ennek több oka is van. Legszenvedelmesebben gazdasági indokok dominálnak: az eszközök megvásárlása, üzemeltetése, karbantartása, valamint a kiképzés töredékét emészt fel a pilóta vezette eszközök kiadásainak. Nem meglepő, hogy más hadseregekhez hasonlóan a Magyar Honvédségben is jó ideje jelentkezett igény pilótanélküli felderítő repülőgépek beszerzésére vagy fejlesztésére. Természetesen egy kész és működőképes eszköz rendszerbeállítása lett volna a végső cél. Mindezt megnehezítette, hogy az elvárások az évek során azért természetesen változtak. Viszont az első UAV hadrendbeállításáig hosszú, és nem éppen zökkenőmentes éveknek kellett eltelnie.

A Magyar pilóta nélküli felderítő eszközök történetét, a kezdeteket, nem lehet elválasztani a Magyar Honvédségtől. Mint említettem, ez volt az a hely, ahol a kezdeti igények megszülettek. Valamint az elgondolás mellett rendelkezhetett a finanszírozáshoz elegendő összeggel, és nem utolsósorban a szakemberek is rendelkezésre álltak egy ilyen technika kifejlesztéséhez. Vagyis,

<sup>1</sup> MH. 5 BI. LDD. 24. BGFZ. törzsőrmester, SKYLARK I-LE Instruktör; ratonyi.krisztian@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Palik Máttyás alez; egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

legalább is elméletben minden adott volt a magyar pilóta nélküli képesség megteremtéséhez. Elméletben, mert az anyagi lehetőségek szükségessége volt az, ami miatt ezek a próbálkozások nem vezettek eredményre.



1. ábra SZOJKA-III kilövőálláson

Az első pilótanélküli repülő, a csehszlovák-magyar együttműködésben készülő SZOJKA volt. A feladatok jellegének megfelelően az alapváltozat szektoros, vagy körkörös TV-kamerával felszerelt vizuális felderítő repülő mellett különféle modifikációk is megjelentek. Már ezek a korai verziók is rendelkeztek sugárfelderítésre, rádió-elektronikai felderítésre és zavarásra alkalmas hasznos terhekkkel.

A program nehézségeit mindvégig a repülőgép nehéz vezethetőségi tulajdonságai, a gyakorlott pilóták számára is mindig kritikus leszállási manőver okozta, amely gyakran végződött géptöréssel. Ezen kívül a repülő a modern pilóta nélküli repülőkhöz képest magas üzemeltetési költséggel rendelkezett. A projektet közös megegyezéssel megszüntették. A cseh hadsereg azonban továbbfejlesztette és rendszerbe is állította a komplexumot. Nemrégiben viszont elavultsága miatt ők is kivonták az eszközt.

A pilóta nélküli repülők fejlesztésének másik magyarországi irányvonalát a H-AEROBOT konzorcium és a körülötte kialakult más, nem központi fejlesztési projektek képviselik. Az elmúlt években az elsősorban civil kutató és fejlesztő szakemberek, illetve vállalkozások, igen intenzív kutatásokat folytattak a pilótanélküli rendszereket érintő elméleti és gyakorlati kérdésekben. A lelkes, elhivatott, szakterületükön „profi” személyekből álló kutatócsoport a mai napig kb. 15 különböző típusú légi hordozót fejlesztett ki. Problémaként itt is az anyagi eszközök hiánya jelentkezik.



2. ábra A DENEVÉR

Mindenképpen említenem kell a teljesen hazai fejlesztésű és építésű DENEVÉRT, amely szintén katonai felkérésre készült a kilencvenes években. Noha a teszteken sikeresen teljesített, anyagi fedezet hiányában nem hozhatta el a várt áttörést. Jelenleg egyetlen megépült példánya a Szolnoki Repülőmúzeumban található.

### **A KÖZELMÚLT FEJLESZTÉSEI: WB ELEKTRONICS, SOFAR-250**

A Magyar Honvédség jelenleg az Elbit Systems által gyártott SKYLARK I-LE típusú pilótánélküli felderítőrendszert alkalmazza. Ez az eszköz megfelelt azoknak a követelményeknek, amit a közbeszerzési pályázaton a leendő technikára kiírtak. Egy stabil és jól működő rendszerről van szó, mely már több fejlett ország haderejében megtalálható. Továbbá az sem elhanyagolható tény, hogy a világ számos hadszínterén megfordult már. A fejlesztése jelenleg is folyamatos. A tapasztalatokat beépítik az újabb modellekbe.

Előzményként fontos momentum, hogy a pilótánélküli képesség iránti igény az afganisztáni szerepvállalással új lendületet kapott. A gépeket ugyanis elsősorban a közép-ázsiai országban tevékenykedő tartományi újjáépítési csoport (PRT) számára szerezték be. Az UAV-ok előnye, hogy egyszerűen, harctéri körülmények közt is biztonságosan használhatók. Kis méretük és alacsony zajszintjük miatt is észrevétlenül figyelhetik a kívánt terepet, lehetőséget biztosítva az útszéli bombákat telepítő, vagy rajtaütésre készülő ellenség felderítésére.

Az már kevésbé ismert tény, hogy a 2006 decemberében kiírt pályázaton nem az Elbit, és nem a SKYLARK nyert. Két izraeli és egy lengyel pályázó közül a HM az utóbbit részesítette előnybe a pilóta nélküli felderítő repülőgépek beszerzésére kiírt tenderben. A győztes WB Electronics cég drágább ajánlatot nyújtott be, mint riválisai, de a gyártó fejlettebb, jobb technikai jellemzőkkel rendelkező eszközt ígért.





3. ábra SOFAR-250 mini-UAV. Jól láthatóak a lenyitott fékszárnyak

A sikeres pályázat után, a tervek szerint a SOFAR-t az „Afganisztáni Tartományi Újjáépítő Csoport” kapta volna meg, várhatóan 2007 első félévében. Ez az időpont az eszközök Magyarországra érkezése miatt tolódott. Végül, 2007 júliusában érkeztek meg a 24.-ik Bormissza Felderítő Zászlóaljhoz. Augusztusban megkezdődött a személyi állomány kiképzése, valamint a technikai eszközök tesztelése. A SOFAR-okat korábban többször nyilvánosan is bemutatták, például a 2007-ben a kecskeméti repülőnapon, a tisztavatáson, vagy a C+D haditechnikai szakkiallításon.



4. ábra Mercedes Benz G-270



5. ábra A SOFAR-250 kezelői konzolja

A felderítőeszközök tesztelése során nem részletezett súlyos problémák merültek fel, amelyek miatt vissza kellett küldeni azokat a lengyel szállítónak. Ezzel a SOFAR hazai pályafutása véget ért. A SOFAR tesztelése során az irányítóállomás (Ground Control Station - GCS) Mercedes terepjárókban lett elhelyezve. Noha a beszerzés nem sikerült, mindez azóta sem változott. A SOFAR-t felváltó SKYLARK „megörökölte” ezeket a járműveket.



## A JELENLEGI RENDSZEREK: ELBIT SYSTEM, SKYLARK I-LE

A Magyar honvédségben rendszeresített, és alkalmazott pilóta nélküli felderítő eszköz a Skylark I-LE. A WB ELEKTRONICS sikertelen UAV projectje után, az izraeli Elbit Systems Ltd által fejlesztett SKYLARK (magyarul pacsirta) került előtérbe. A beszerzés, kiképzés, tesztelés egymással párhuzamosan, az előző tapasztalatok alapján gördülékenyen zajlott. Az eszköz szintén a 24. Bornemissza Gergely Felderítő Zászlóalj katonái kapták meg. Szóval a kezelőszemélyzet már készen állt. Az irányító állomásként funkcionáló Mercedesek csak minimális átalakítást igényeltek. 2009 tavaszán elkezdődött a kiképzés, mely során a kezelőállomány felkészítését Izraelből érkezett szakemberek végezték. Nyolc magyar katona részt vett a közelkeleti államban egy kéthetes felkészítésen, amelynek során megkapták az elméleti alapokat. A tanfolyam gyakorlati részét szintén izraeli oktatók felügyelete mellett már Magyarországon, a hajdúhadházi kiképző bázison végezték. A kiképzést, valamint a rendszerbeállítást követően, a pilótanélküli felderítő-képesség megjelent a Magyar Honvédség palettáján. Mindez 2010 elejére tekinthető befejezettnek, amikor egy állomás a hozzá tartozó három repülővel kiutazott Afganisztánba a HUN PRT nyolcadik váltásával.



6. ábra A SKYLARK indítása hadműveleti területen

A misszióban töltött idő alatt az eszköz fokozatosan beilleszkedett a PRT rendszerébe. A kezelői állomány ez idő alatt nem csak a kinti terep és időjárás sajátosságait tapasztalta meg, hanem az eszközének képességeit és korlátait is. Mindez elősegítette a rendszer lehető legjobb kihasználtságát. A valós idejű légi felderítési igény váltásonkénti folyamatos növekedése egyenesen arányos volt a repülések, a repülési idő növekedésével. Időközben megoldottá vált, hogy az Skylark által készített videó felvétel azonnal megjelenik az OPS-on, elérhetővé téve az információt a hadműveleti részleg részére, továbbá lehetőséget biztosítva a döntéshozónak, aki egy jobb áttekintést kínáló nézőpontból is láthatja a műveleti helyszínt, a saját és szövetséges erők mozgását. A sikeres integrációhoz elengedhetetlen volt a lehetőségek és korlátok felismerése. A PRT vezetése,

valamint a részlegek egyre inkább megszokták és igényelték a felderítő eszköz támogatását.

A kezdeti általános felderítő igények kiszolgálása, valamint az útvonal felderítés a későbbiekre számos egyéb feladattal egészült ki. Egyre gyakrabban került alkalmazásra a részleg a FOB (Forward Operation Base – Előretolt Műveleti Bázis) feladatokban, CIMIC projektek biztosításában, ellenséges tevékenység felderítésében – kiemelten a lesállítás és a valószínűsíthető IED támadás felkutatása céljából. Mindezek mellett alapfeladatnak mondható a saját erő előtti útvonal felderítés, valamint – a hatótávolságon belüli – konvoj kísérés.

Nem utolsó sorban, a speciális, pilótanélküli felderítőgéppel nehéz, vagy csak részben végrehajtható feladatokat is meg kell említeni. Ilyen esetekben a beérkező információ csak késve, de a legjobb esetben sem valósidejében állna a döntéshozó rendelkezésére. Jó példa volt erre a 2011. szeptemberi tüntetés, Pol-e Khumri városában. Talajszinten a tüntetés gócpontja megközelíthetetlen volt, mivel kilométerekre lezárták az emberek az oda vezető utakat, pusztán tömegükkel és az úttesten meggyújtott máglyákkal képezve az akadályt. Mindezek ellenére az UAV segítségével az események, a tömeg mérete, és reakciói élőben követhetőek voltak az OPS-on.



7. ábra A Skylark I-LE pilótanélküli felderítő repülőgéppel készített felvételek a szeptemberi tüntetésről (Afganisztán, Pol-e Khumri). A felvételen jól megfigyelhetők a tömeg reakciói, mozgása, mérete, a tömeg által gyújtott tüzek

A missziós feladatok mellett az eszköz honi körülmények között is alkalmazásra kerül, bár jelenleg csak korlátozott feladatkörrel. Az afganisztáni részvétel mellett párhuzamosan zajlik az új kezelői állomány felkészítése, és a szinten tartó kiképzések.

### A magyar-út: BORA és az IKRAN

A HM Elektronikai, Logisztikai és Vagyonkezelő (HM EI Zrt.) a gödöllői HM Currus Zrt.-vel együttműködésben még 2007-ben megkezdte saját légijármű családjuk fejlesztését. A rendszer alapjául a szintén hazai építésű sugárhajtóműves Meteor 3MA elnevezésű célrepülőgéppel szolgált.

Mindkét kisrepülő képes önállóan előre programozott felderítő repülés végrehajtására, de a gépeket távirányítással is vezethetik. Az irányítás egy speciális, úgynevezett „Mozgó vezetési pont (MRVP)”-ból történik. Egy állomáshoz alapesetben két-két eszköz tartozik. A BORA kisebb felépítményű, gumikötél segítségével indítható. Leszállása hasra történik. „Nagytestvére” az

IKRAN már futóművel rendelkező, kifutót igénylő pilóta nélküli repülő, amely többéves fejlesztői munka eredménye. Mindkét pilóta nélküli repülő tavaly mutatkozott be a nagyközönség előtt.

Megemlítendő, hogy hazai fejlesztésű repülőkről van szó: kizárólag magyar szakemberek munkájával, magyar alapanyagok és szoftverek felhasználásával készítették. A hazai gyártás költségeit mérlegelve a saját fejlesztés majdnem fele akkora kiadást jelent, mintha külföldről szereznék be. A folyamatos fejlesztés lehetőséget teremt a hazai igények, tapasztalatok megfelelő módosítására.



8. ábra A BORA fantázia nevű Mini-UAV

A repülőkhöz tartozó mozgó vezetési pont (MRVP) szintén magyar fejlesztés, és mindkét gépfajta irányítására alkalmas.



9. ábra Mozgó vezetési pont (MRVP)

Az eszköz kutatás-fejlesztési munkálatait a HM EI Zrt.-vel szoros együttműködésben a HM Currus Zrt. végezte. A vezetési ponton két számítógépes operátori munkahely van: a vezérlő



pilótáié, illetve a monitoros felderítőé. Amíg a pilóta a repülő irányításáért felel, az utóbbi feladata a beérkező felvételek elemzése.



10. ábra Az IKRAN



A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg”.

**„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”**

A kutatás a projekt „Adatintegráció” alprogramán belül „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának légiközlekedés-biztonsági aspektusai” kiemelt kutatási területén valósul meg.



## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] FURJÁN ATTILA: Szojka III/TV A több célú, kisméretű pilóta nélküli repülőgépkomplexum. In: Új Honvédségi Szemle 1998/1., p. 131-138.
- [2] DR. KOVÁCS LÁSZLÓ - DR. VÁNYA LÁSZLÓ: Pilóta nélküli repülőgépek a terrorizmus elleni harcban
- [3] DR. KAZI KÁROLY: Magyar fejlesztésű, teljesen automatizált UAV rendszer. In: Repüléstudományi Közlemények XXIV. évfolyam, 2. szám, p. 999-1000.
- [4] WÁGNER PÉTER: Köszönjük a lengyeleknek - Magyar mini UAV-k, e-dok. url: <http://wagnerpeter.blogspot.hu/2008/08/ksznjk-lengyeleknek-magyar-mini-uav-k.html> (2008. 08. 01)
- [5] ZORD GÁBOR LÁSZLÓ: Hol vannak a robotrepülőék?, e-dok. url: [http://mno.hu/migr\\_1834/hol-vannak-a-robotrepulok-401138](http://mno.hu/migr_1834/hol-vannak-a-robotrepulok-401138). (2008. 07 24.)
- [6] ZORD GÁBOR LÁSZLÓ: Már késve szól a pacstírtászó, e-dok. url: [http://legiero.blog.hu/2008/12/05/mar\\_kesve\\_szol\\_a\\_pacsirtaszoz#c4171070](http://legiero.blog.hu/2008/12/05/mar_kesve_szol_a_pacsirtaszoz#c4171070). (2008.12.05)
- [7] SZÜCS LÁSZLÓ: Felderítés a levegőből, e-dok. url: <http://www.honvedelem.hu/cikk/15820>. (2009. 07 07-22.)
- [8] RÁTONYI KRISZTIÁN FERENC: Századszor az afganisztáni légtérben, e-dok. url: <http://www.kormany.hu/hu/honvedelmi-miniszterium/vedelempolitikaert-es-tervezesert-felelos-helyettes-allamtitkarsag/hirek/szazadszor-az-afganisztani-legterben> (2011. november 17.)
- [9] Lázin Miklós András: Olcsóbb a külföldinél a magyar drón. Mennyibe fáj egy égi szem? In: Magyar Hírlap, 2012. 11. hó, 20. nap, p. 4.
- [10] Deák Gábor József: Megnyugtató, hogy "hazai" lett az UAV, e-dok. url: [http://www.magyarhirlap.hu/tudomany/megnyugtato\\_hogy\\_hazai lett\\_az\\_uav.html](http://www.magyarhirlap.hu/tudomany/megnyugtato_hogy_hazai lett_az_uav.html) (2011. április 5)

## FOTÓK

- [1] SZOJKA III: <http://www.repulomuzeum.hu/Sztori/Denever/Denever.htm>
- [2] DENEVÉR: <http://www.repulomuzeum.hu/Sztori/Denever/Denever.htm>
- [3] SOFAR-250: [http://legiero.blog.hu/2008/12/05/mar\\_kesve\\_szol\\_a\\_pacsirtaszoz](http://legiero.blog.hu/2008/12/05/mar_kesve_szol_a_pacsirtaszoz)
- [4] Mercedes felszerelve a SOFAR-250-hez: <http://wagnerpeter.blogspot.hu/2008/08/ksznjk-lengyeleknek-magyar-mini-uav-k.html>
- [5] Kezelői konzol a SOFAR-250-hez: <http://wagnerpeter.blogspot.hu/2008/08/ksznjk-lengyeleknek-magyar-mini-uav-k.html>
- [6] A SKYLARK indítása hadműveleti területen: dr. Toperczer István orvos alezredes
- [7] A Skylark I-LE pilótánélküli felderítő repülőgép által készített felvételek: Tartományi Újjáépítő Csoport
- [8] A BORA fantázia nevű Mini-UAV: <http://repulnijo.hu/wp-content/uploads/2012/11/bora.jpg>
- [9] Mozgó vezetési pont (MRVP): [http://m.cdn.blog.hu/le/legiero/image/Magyar\\_legiero/UAV/121105\\_Ujdorogd\\_UAV/121105\\_Ujmajor\\_MRVP\\_2.jpg](http://m.cdn.blog.hu/le/legiero/image/Magyar_legiero/UAV/121105_Ujdorogd_UAV/121105_Ujmajor_MRVP_2.jpg)
- [10] Az IKRAN: <http://repulnijo.hu/wp-content/uploads/2012/11/bora.jpg>



Varga Béla<sup>1</sup>

## SPECIFIC NET WORK OR THERMAL CYCLE EFFICIENCY, ONE OF THE QUESTIONS, ENGINEERS MUST FACE DESIGNING HELICOPTER TURBOSHAFT ENGINES <sup>23</sup>

*The real gas turbine engine cycles, between given temperature limits and component efficiencies, have optimums of specific net work and thermal cycle efficiency, which are function of compressor pressure ratio. These two optimums are significantly different from each other. In accordance with it, it is impossible to produce the maximum specific net output work and the maximum thermal efficiency in the same time. Using this programme, described in this paper, the user can determine the optimum pressure ratios for the maximum specific net work, the maximum thermal efficiency and as a compromise seeking, for the maximum of their multiplied value, meanwhile gets the actual specific net work and thermal efficiency. Furthermore this programme provides the possibility to analyze how the above mentioned question at the today existing turboshaft engines was answered by engine specialists.*

### **FAJLAGOS HASZNOS-MUNKA VAGY TERMIKUS HATÁSFOK, EGYIKE A MÉRNÖKÖK ÁLTAL MEGVÁLASZOLANDÓ KÉRDÉSEKNEK HELIKOPTER HAJTÓMŰTERVEZÉS ESETÉN**

*A valós gázturbinás körfolyamatok, adott hőmérséklet határok között és gépegység veszteségek mellett, mind fajlagos hasznos-munka, mind pedig termikus hatásfok szempontjából rendelkeznek optimumokkal, amelyeket a kompresszor nyomásviszonyával lehet jellemezni. A fajlagos hasznos-munka és a termikus hatásfok maximumaihoz tartozó nyomásviszony értékek jelentősen eltérnek egymástól. Ennek megfelelően egy adott hajtóművel egy időben nem produkálható mindkét optimum. Ebben a cikkben leírt program lehetővé teszi a maximális fajlagos hasznos-munkához, a maximális termikus hatásfokhoz és a kompromisszumos optimumkeresés jegyében a szor-zatuk maximumához tartozó nyomásviszonyok, illetve a hozzájuk tartozó fajlagos hasznos-munka és termikus hatásfok értékek meghatározását. Továbbá a program lehetővé teszi, hogy megválasszuk, hogy a fenti kérdést a ma létező helikopter gázturbinák esetében hogyan választották meg a hajtómű specialisták.*

### **Nomenclature**

$\oint du$  : change of internal energy around the cycle loop;

$\oint dw$  : work transfer around the cycle loop;

$\oint dq$  : heat transfer around the cycle loop;

$w_{net}$  : specific net work (the useful mechanical work per unit of mass);

$w_e$  : specific expansion work (the total work per unit of mass, done by the system);

$w_c$  : specific compression work (the work per unit of mass, transferred to compress the incoming air);

$q_{in}$  : input specific heat (the whole amount of specific heat transferred into the cycle);

<sup>1</sup> Béla Varga, Associate Professor, National University of Public Service, Faculty of Military Science and Officers' Training, Department of Military Aviation, varga.bela@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Publisher's reader: Laszlo Pokoradi (PhD), Professor, University of Debrecen, pokoradi.laszlo@prosysmod.hu

<sup>3</sup> Publisher's reader: Colonel Robert Szabolcsi (PhD), Professor, National University of Public Service Technology Department of Military Aviation, szabolcsi.robert@uni-nke.hu



- $q_{out}$ : output specific heat (rejected or waste specific heat in the thermodynamic cycle);  
 $\eta_t$ : thermal cycle efficiency of real cycle;  
 $\pi$ : compressor pressure ratio;  
 $T_1$ : intake inlet temperature;  
 $T_3$ : turbine inlet temperature;  
 $\eta_{ti}$ : thermal cycle efficiency of ideal cycle.  
 $w_{net}(\pi)$ : specific net work as a function of pressure ratio;  
 $w_{net}'(\pi)$ : first derivative of specific net work as a function of pressure ratio;  
 $q_{in}(\pi)$ : input heat as a function of pressure ratio;  
 $q_{in}'(\pi)$ : first derivative of input heat as a function of pressure ratio;  
 $\eta_t(\pi)$ : thermal efficiency of real cycle as a function of pressure ratio;  
 $\eta_t'(\pi)$ : first derivative of thermal efficiency as a function of pressure ratio;  
 $\kappa_a, \kappa_g$ : adiabatic exponent for compression and expansion process;  
 $c_{pa}, c_{pg}, c_{pb}$ : isobaric specific heat for compression and expansion and combustion process;  
 $\sigma$ : pressure loss for the whole engine (air intake, combustor, exhaust pipe, others);  
 $\eta_{polc}, \eta_{pole}$ : polytropic efficiency of compression and expansion process;  
 $\eta_m$ : mechanical efficiency and the power needed to drive auxiliary units;  
 $\eta_b$ : combustion efficiency.

## INTRODUCTION

### Definition of specific net work and thermal cycle efficiency

Examining the thermal cycles we can conclude that the internal energy changes during the course of the cyclic process, but when the cyclic process finishes, the system's energy is the same as the energy it had when the process began. If the cyclic process moves clockwise around the loop, then it represents a heat engine, and we get net output work. If it moves counter clockwise then it represents a heat pump. The gas turbine engine cycle, which is based on the Brayton (or with other name Joule) cycle, is represent one of the heat engine cycles. Here I deal with two favourable features which are really important while designing a gas turbine engine cycle. They are the specific net output work and thermal cycle efficiency, which significantly define the worthiness of a gas turbine engine.

**Mechanical (specific net) work** ( $w_{net}$ ) is the desired output of the thermodynamic cycle. In accordance with the second law of thermodynamics the mechanical work is always less than the input heat. The remaining heat dissipated as wasted heat into the environment. The cyclic integral (1) is zero because the internal energy ( $u$ ) is a function of state, and any cycle returns the system to its starting state. In this case all energies (work and heat) are written in terms of a unit of mass (J/kg). The advantage of this method that the mechanical work (specific net work) as a desired output, does not depend on the size of the heat engine (gas turbine), given, with the thermal cycle efficiency, a suitable performance indicator for the evaluation of any kind of engine. [1]

$$\oint du = \oint dw + \oint dq = 0 \rightarrow \oint dw = -\oint dq \rightarrow w_{net} = w_e - w_c = q_{in} - q_{out} \quad (1)$$

**Thermal cycle efficiency** ( $\eta_t$ ), in general, energy conversion efficiency is the ratio between the useful output of a device and the input, in energy terms (2). For thermal efficiency, the input ( $q_{in}$ ) to the device is heat, or the heat-content of a fuel that is consumed. [1]

$$\eta_t = \frac{w_{net}}{q_{in}} = \frac{q_{in} - q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} \quad (2)$$

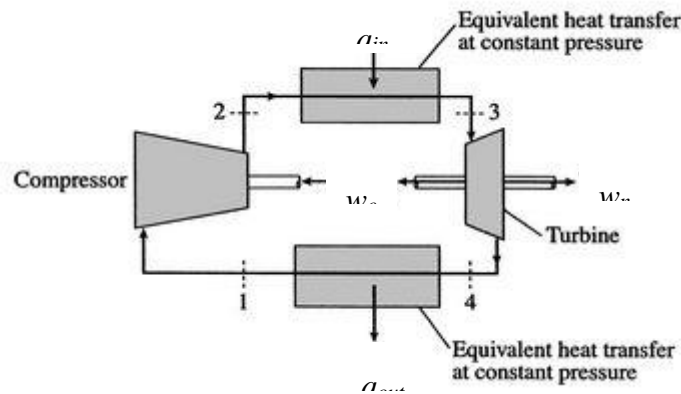


Figure 1. Thermodynamic model of gas turbine engine cycle for power generation [9]

Producing a gas turbine engine both two features are very important design criteria. Higher specific net work for a given shaft power (or thrust) means less mass flow rate decreasing the engine dimensions and weight, while thermal cycle efficiency defines the specific fuel consumption of the engine and through it a significant item of life cost.

To examine the specific net work at first enough to trace the ideal Brayton cycle. As Figure 2 proves us, between the lower and upper limit of temperatures ( $T_1$ – $T_3$ ) infinite number of cycle can be created.

The upper limit of temperature ( $T_3$ ), the turbine entry temperature, is fixed by materials technology and cost. (If the temperature is too high, the blades fail). The lower limit of temperature ( $T_1$ ), the air intake inlet temperature, is determined by the weather conditions and flying altitude, but practically it is always fixed to the temperature of International Standard Atmosphere (ISA) at 0 m altitude, which is 288 K.

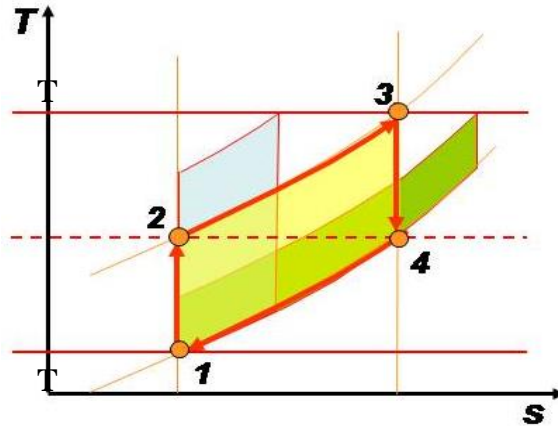


Figure 2. Brayton cycles in T-s diagram representing different specific net output work

It can be seen that for every  $T_3/T_1$  ratio there are two pressure ratios, when the specific net work is zero and there is a pressure ratio when the value of specific net work is maximum. How we can get this pressure ratio? We have to create the  $w_{net}(\pi)$  function, where the specific net work ( $w_{net}$ ) is function of compressor pressure ratio ( $\pi$ ). As a next step we have to find the extreme (maximum) of the specific net output work as a function of compressor pressure ratio. Local extreme (maximum) can be found by using the first derivative test of function. Specific net output work is maximum, where the first derivative of specific net work is zero ( $w_{net}'(\pi) = 0$ ).

The thermal efficiency is different, because the examination of ideal cycle does not give us any information about the local maximum of thermal efficiency as a function of compressor pressure ratio. Increasing the compressor pressure ratio, the ideal thermal efficiency continuously increases with the rising pressure ratio ( $\pi$ ), as it is shown in Figure 3 and Equation 3.

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} \quad (3)$$

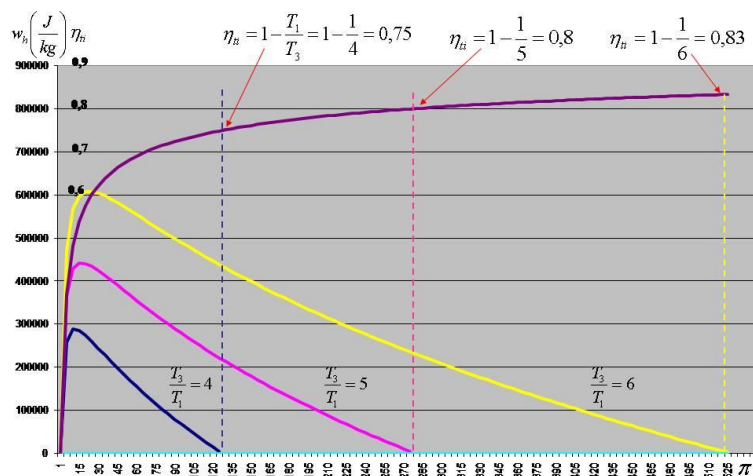


Figure 3. Specific work and thermal cycle efficiency of ideal cycles between different temperature limits

## OPTIMUM WORKING POINTS FOR REAL GAS TURBINE CYCLES

As I mentioned earlier, at ideal Brayton cycle, when the pressure ratio ( $\pi$ ) goes to infinity, the ideal thermal efficiency ( $\eta_{ii}$ ) goes to one. Despite the ideal, the real Brayton cycle's thermal efficiency is zero when the specific net work is zero in accordance with the Equation 2, quasi it has a pressure ratio at which the thermal cycle efficiency is maximum. Accordingly the real gas turbine engine cycle have optimums of both specific net work and thermal cycle efficiency, which are functions of compressor pressure ratio. These two optimums are significantly different from each other so it is impossible to produce the maximum specific net output work and the maximum thermal efficiency in the same time.

### Maximum specific net output work as a function of compressor pressure ratio

For the first step we should define the specific net work as the difference of expansion and compression work (4) taking into consideration the temperature dependence of gas properties and the engine element efficiencies and losses.

$$w_{net}(\pi) = c_{pg} T_3 \left( 1 - \frac{1}{(\sigma\pi)^{\frac{\kappa_g - 1}{\kappa_g} \cdot \eta_{pole}}} \right) - \frac{c_{pa} T_1}{\eta_m} \left( \pi^{\frac{\kappa_a - 1}{\kappa_a} \cdot \frac{1}{\eta_{polc}}} - 1 \right) \quad (4)$$

Local extreme (maximum) can be found by using the first derivative test of Function 4. Specific net output work is maximum, where the first derivative of net work is zero, see Function 5.

$$w_{net}(\pi) \text{ is maximum, where: } w_{net}'(\pi) = 0 \quad (5)$$

### Maximum thermal cycle efficiency as a function of compressor pressure ratio

Thermal efficiency as a function of pressure ratio is expressed in accordance with Equation 2 and it is detailed in Function 6.

$$\eta_t(\pi) = \frac{w_{net}(\pi)}{q_{in}(\pi)} = \frac{c_{pg} T_3 \left( 1 - \frac{1}{(\sigma\pi)^{\frac{\kappa_g - 1}{\kappa_g} \cdot \eta_{pole}}} \right) - \frac{c_{pa} T_1}{\eta_m} \left( \pi^{\frac{\kappa_a - 1}{\kappa_a} \cdot \frac{1}{\eta_{polc}}} - 1 \right)}{\frac{c_{pb}}{\eta_b} \left( T_3 - T_1 \cdot \pi^{\frac{\kappa_a - 1}{\kappa_a} \cdot \frac{1}{\eta_{polc}}} \right)} \quad (6)$$

Following the previous method we examine the first derivative of function.

$$\eta_t(\pi) \text{ is maximum, where: } \eta_t'(\pi) = 0 \quad (7)$$

In accordance with the general rules of derivation we get the Function 8. and Equation 9.

$$\eta_t'(\pi) = \frac{w_{net}'(\pi) \cdot q_{in}(\pi) - w_{net}(\pi) \cdot q_{in}'(\pi)}{[q_{in}(\pi)]^2} \quad (8)$$

$$0 = w_{net}'(\pi) \cdot q_{in}(\pi) - w_{net}(\pi) \cdot q_{in}'(\pi) \quad (9)$$



## SPECIFIC NET OUTPUT WORK AND THERMAL CYCLE EFFICIENCY CHARACTERISTIC LINES

To process the above mentioned theories Microsoft Excel was used with Visual Basic programming. Microsoft Excel Worksheet provides the communication platform (input and output data) of the created Visual Basic programme. The model produces:

- The above mentioned characteristic curves in turbine entry temperature versus compressor pressure ratio diagram for any kind of combination of engine component efficiencies;
- Calculates the distinguished compressor pressure ratio values;
- Creates specific net work, thermal cycle efficiency web in compressor polytropic efficiency versus pressure ratio diagram;
- It takes into consideration the change of compressor polytropic efficiency as a function of blade length giving possibility to evaluate its effect on the distinguished pressure ratios, thermal cycle efficiency and specific net work;
- It provides the analyses and evaluation of existed turboshaft engines.

In the next part of paper I present an example of these engine characteristics and pick a bunch of currently used turboshafts to evaluate their performance data.

### Thermal efficiency characteristics

In Figure 5 thermal cycle efficiency can be shown from 20 to 36%, considering the component efficiencies shown in the bottom left corner. Three curves from left to right represent the compressor pressure ratios of best specific work (green), best thermal efficiency (red) and as a compromise between them a maximum value of their multiplication (blue).

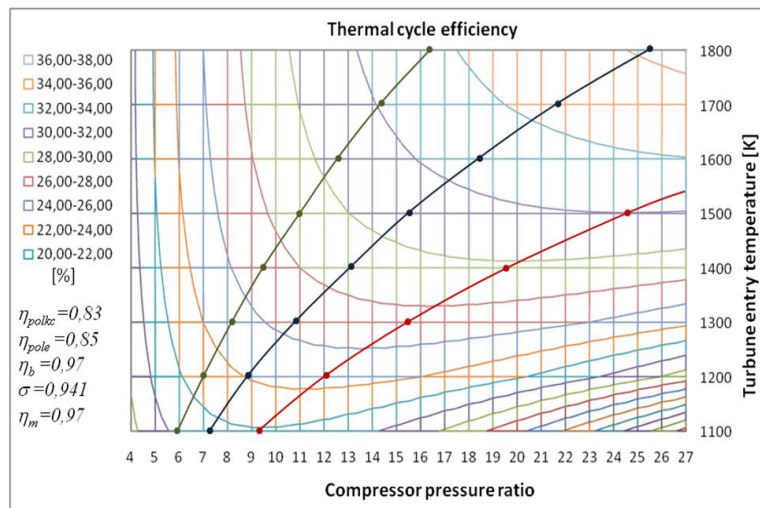


Figure 5. Thermal efficiency curves in turbine entry temperature versus pressure ratio diagram

### Thermal efficiency characteristics

In Figure 6 specific net work can be shown from 150 to 450 kJ/kg. Engine component efficiencies and distinguished pressure ratio curves are unchanged. What is clearly visible that at a given turbine entry temperature and at low compressor pressure ratios both examined excellence indicators

worsen heavily. The reason can be proven by simple mathematical deduction. Neglecting the deduction we have to recognise that both functions are rational functions with vertical asymptotes, where at decreasing pressure ratio, the value of turbine entry temperature goes to infinity.

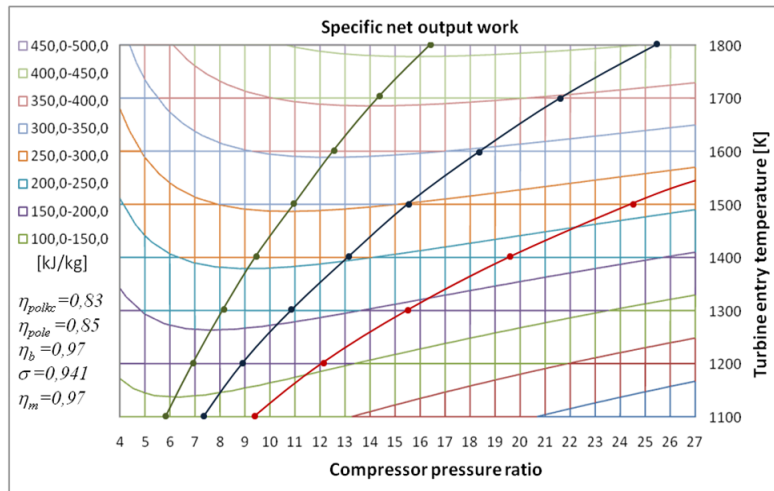


Figure 6. Specific net work curves in turbine entry temperature versus pressure ratio diagram

### Ideas about the position of take off working point

Presuming, the designers in most cases can work with given engine components, which mostly determine the component efficiencies and turbine entry temperature. In this case the only thing they can vary, is the compressor pressure ratio. Of course, the compressor pressure ratio must not be out of the above mentioned thresholds, namely the pressure ratio of maximum specific net work and thermal cycle efficiency. At a low turbine entry temperature and consequently low specific net work it is reasonable to position the take off working point close to the lower eligible pressure ratio. It is even more justified if the raise of pressure ratio causes significant deterioration of compressor polytropic efficiency, because in this case the lower compressor polytropic efficiency can consume the hoped advantage of higher thermal cycle efficiency. At higher turbine entry temperature, consequently higher specific net work there is larger space for the designers to play with the compressor pressure ratio. One reason that the a small drop of the specific net work, from a relatively high value, is not so painful like at originally low specific net output work. In addition at this range the deterioration of specific net work at increasing pressure ratio is not so significant like at lower turbine entry temperature.

Consequently, I presume, that at older turboshaft engines with lower turbine entry temperature the take off working point is positioned in the first part of possible pressure ratio range, between the green and blue line, by Figure 5 and 6. At newer engines with higher turbine entry temperature it is more likely to tend to the upper limit of pressure ratio even accepting the deterioration of compressor polytropic efficiency, however it decreases this upper limit of pressure ratio. In the next chapter I would like to prove these ideas analysing some existing turboshaft engines.

## ANALYSES OF EXISTING TURBOSHAFT ENGINES

First step for the above mentioned analyses is to collect all possible available performance data of some existing turboshaft engines. Of course, there are numerous turboshaft engines, but the companies are not eager to share too much performance data. Choosing the turboshaft engine I preferred the middle category by their shaft power. There is only one exception. This one is the LM 2500 turboshaft which is used rather as an industrial and marine gas turbine with much larger size and shaft power comparing to the chosen helicopter engines. During the evaluation I concentrated for five important data:

- Shaft power of take off RPM ( $P_{\text{shaft}}$ );
- Turbine entry temperature ( $T_3$ ) (or any other temperature in hot section);
- Compressor pressure ratio ( $\pi$ );
- Engine mass flow rate ( $\dot{m}$ );
- Specific fuel consumption (SFC) or thermal efficiency ( $\eta_t$ ).

Shaft power, specific fuel consumption and pressure ratio was almost always available. The turbine entry temperature caused the strongest uncertainty as either missing or clearly deformed data. It did not thwart the examination but weaken the verification of results. During the evaluation process the shaft power and the compressor pressure ratio were the two fixed data in the process. The mass flow rate and specific fuel consumption were the two data I used to smooth the model using turbine entry temperature and component efficiencies as variables. I continued changing the variables until both above mentioned data ( $\dot{m}$ ;  $SFC$ ) of the model and the existing engine became equal, which was the requirement to accept the final results of model. As I mentioned earlier, the turbine entry temperature in some cases were confusing. Finding exact data was easier in case of two Russian (ex-Soviet) helicopter engines, TV2-117A and TV3-117, because of their available maintenance manuals. Their turbine inlet temperature only slightly differed from the result of the model. From this conformity I concluded that in case of missing turbine entry temperature or when it is clearly out of reasonable range I accept the result of thermal model. To be honest I did not try to achieve totally precise results analysing the existing turboshafts. The reason was the relatively large number of analysed engines. To collect all engine data would have been time consuming and sometimes futile. The second reason was that my main object was rather to present how this thermal model works practically. Simplifications I used during the analyses process:

- I fixed the combustion efficiency (0,97), pressure losses and (0,941) mechanical efficiency (0,97) for all engines (I do not presume significant variance from a good average, in addition their influence is much less than the influence of compressor and turbine polytropic efficiency) ;
- I did not take into consideration pressure ratio dependence of expansion polytropic efficiency (it much less depends on the pressure ratio then the compression polytropic efficiency);
- I tied the compressor **inlet section** polytropic efficiency to expansion polytropic efficiency (it does not mean that the two component efficiency is equal, because at rising compressor pressure ratio with the increasing number of stages and shorter compressor

blades decreases the compression polytropic efficiency);

- I estimated the compressor inlet section medium diameter because of the lack of data and as its consequence I had to fix the estimated axial velocity of the compressor.

Of course, the model would be able to handle the above listed features in case of proper available data, providing more exact results about the examined turboshaft engines. Despite the simplifications I believe the results of next bunch of turboshaft engine analyses bellow are close to their real performance parameters.

### TV2-117A turboshaft engine

The TV2-117 turboshaft engine along with the VR-8 main gearbox was developed in 1964 as a power plant for the Mi-8 medium-load helicopter designed by the Mil Design Bureau. It became one of the most popular helicopters in the world. The engine was mass-produced until 1997. About 23,000 TV2-117A engines were produced; their total time in operation exceeds 100 million hours. [3] It has excellent airworthiness and the engine with this helicopter is a real work-horse, but despite its positive features it embodies the technological level of early sixties, as it is proven by its performance data. The shaft power is  $1103^{+15}$  kW, which is not few, although the example of Mi-17 helicopter proves that some extra power would provide better handling. The specific net work (160–164 kJ/kg) and the thermal cycle efficiency (~22.5%) is especially thin today. With its 334 kg mass it is too heavy comparing to the present day engines.

Type: TV2-117A $P_{\text{shaft}} = 1103$ kW	maximum net work	optimum	maximum therm. eff.	TV2-117A	available data
comp. pressure ratio [-]	6,24	7,74	9,97	6,60	6,6
turb. entry temp. [K]	1168	1168	1168	1168	1148?
$\eta_{\text{polc}(0)}$ [-]	0,848	0,848	0,848	0,848	
$\eta_{\text{pole}}$ [-]	0,848	0,848	0,848	0,848	
compressor exit temp. [K]	539,67	580,67	631,98	550,01	
exhaust pipe exit temp. [K]	808,16	771,13	729,34	798,46	
specific net work [kJ/kg]	162,532	159,794	150,016	162,331	
therm. cycle efficiency [%]	22,26	23,35	23,94	22,58	
$\eta_{\text{polc}}$ [-]	0,8244	0,8226	0,8213	0,8239	
mass flow rate [kg/s]	6,786	6,903	7,353	6,795	6,8
medium diameter [m]	0,2269	0,2269	0,2269	0,2269	
first blade length [m]	0,0661	0,0673	0,0716	0,0662	
last blade length [m]	0,0198	0,0174	0,0157	0,0190	
cooling air [%]	1,20	1,20	1,20	1,20	
spec. fuel cons. [kg/kW*h]	0,374	0,357	0,348	0,369	0,369

Table 1. Placement of TV2-117A engine in the available range of compressor pressure ratio

Using my model, the available compressor pressure ratio ranges from 6,24, to 9,97. The actual take off pressure ratio of this engine is 6,6 which value is close to the lowest compressor pressure ratio (where the specific net work is the highest). It is not surprising, because the medium load helicopter claimed high power meanwhile the specific work was relatively small. So it was reasonable to earn as much specific net work as possible from the engine even at an expense of thermal efficiency (or specific fuel consumption). Surprisingly the compression and expansion polytropic efficiency is quite reasonable suggesting that higher turbine entry tem-



perature would result much better engine performance data. Presumably, the then Soviet industry technologically was not mature enough to produce suitable cooled and heat resistant turbine blades.

### TV3-117VM turboshaft engine

The TV3-117 turboshaft engine was developed in 1974 as a component of power plants for Mi-24 and Mi-14 helicopters. Later it was installed on 95% of all helicopters designed by Mil and Kamov Engineering Centre. The power plants of these helicopters (except Mi-28) incorporate main gearboxes that were also developed by the Klimov Company (VR-14, VR-24, VR-252 and VR-80). Over 25,000 TV3-117 engines have been manufactured since the start of production. Their total time in operation exceeds 16 million hours. [3]

Type: TV3-117VM P <sub>shaft</sub> = 1699 kW	maximum net work	optimum	maximum therm. eff.	TV3-117VM	available data
comp. pressure ratio [-]	7,18	9,12	12,20	9,45	9,45
turb. entry temp. [K]	1250	1250	1250	1250	1243
$\eta_{polc(0)}$ [-]	0,846	0,846	0,846	0,846	
$\eta_{pole}$ [-]	0,846	0,846	0,846	0,846	
compressor exit temp. [K]	564,66	612,15	673,97	619,43	
exhaust pipe exit temp. [K]	845,37	802,86	753,63	796,76	
specific net work[kJ/kg]	195,464	191,957	178,719	190,852	
therm. cycle efficiency [%]	24,26	25,53	26,23	25,66	
$\eta_{polc}$ [-]	0,8260	0,8242	0,8226	0,8240	
mass flow rate [kg/s]	8,539	8,695	9,339	8,745	8,75
medium diameter [m]	0,2231	0,2231	0,2231	0,2231	
first blade length [m]	0,0846	0,0862	0,0925	0,0867	
last blade length [m]	0,0230	0,0199	0,0176	0,0197	
cooling air [%]	1,45	1,45	1,45	1,45	
spec. fuel cons. [kg/kW*h]	0,343	0,326	0,318	0,325	0,325

Table 2. Placement of TV3-117VM engine in the available range of compressor pressure ratio

This engine has similar element efficiencies and losses like its older brother and as I mentioned earlier these efficiency values are quite reasonable in the turboshaft engine category. Not surprisingly, the higher turbine inlet temperature immediately increased and opened the possible compressor pressure ratio range increasing the thermal cycle efficiency with 3% and the specific net work with about 30 kJ/kg. The engine take off pressure ratio is much closer to the upper limit providing relatively higher thermal efficiency reducing the specific net output work.

### T58-GE-100 turboshaft engine

The T58 turboshaft engine was born in 1953 with the award of a \$3 million contract from the U.S. Navy. Under the terms of the contract, GE was to develop the XT-58 "baby gas turbine" that the company had proposed as a powerplant for helicopters. The engine was to weigh 400 pounds and was to produce 800 shaft horsepower (596 kW). The T58 was developed for helicopter use and was the first turbine engine to gain FAA certification for civil helicopter use (CT58 is the civilian version). This is the engine that would power the Sikorsky Sea King helicopter that recovered the Apollo astronauts and still powers Marine One - the helicopter of





the U.S. president since the Kennedy administration. Considering the history of the T58 turboshaft engine family, it is one of the most reliable helicopter engines in the world. [5] The curiosity of the current version I examined, that the shaft power and the specific fuel consumption practically the same, like its contemporary TV2-117A engine's data.

Type: T58-GE-100 $P_{\text{shaft}} = 1118 \text{ kW}$	maximum net work	optimum	maximum therm. eff.	T58-GE-100	available data
comp. pressure ratio [-]	6,52	8,03	10,22	8,40	8,4
turb. entry temp. [K]	1269	1269	1269	1269	1018???
$\eta_{\text{polc}(0)}$ [-]	0,824	0,824	0,824	0,824	
$\eta_{\text{pole}}$ [-]	0,824	0,824	0,824	0,824	
compressor exit temp. [K]	558,04	600,00	651,98	609,47	
exhaust pipe exit temp. [K]	885,65	848,27	806,31	840,30	
specific net work [kJ/kg]	179,977	177,262	167,667	175,996	
therm. cycle efficiency [%]	21,49	22,44	22,95	22,59	
$\eta_{\text{polc}}$ [-]	0,8004	0,7986	0,7972	0,7983	
mass flow rate [kg/s]	6,212	6,307	6,668	6,352	6,35
medium diameter [m]	0,2126	0,2126	0,2126	0,2126	
first blade length [m]	0,0646	0,0656	0,0693	0,0661	
last blade length [m]	0,0191	0,0169	0,0153	0,0166	
cooling air [%]	1,51	1,51	1,51	1,51	
spec. fuel cons. [kg/kW*h]	0,388	0,371	0,363	0,369	0,369

Table 3. Placement of T58-GE-100 engine in the available range of compressor pressure ratio

It is obvious, that the worse compressor and turbine polytropic efficiency of this engine was compensated by higher turbine entry temperature. The available turbine entry temperature (1018 K), by the reference [6], is surely out of the acceptable range.

### MTR390-E turboshaft engine

This engine family was developed in cooperation of Turbomeca, Rolls-Royce and MTU and used on the French-German escort and anti-tank Tiger helicopter. Production engines of the MTR390-2C basic version were delivered from 2002 to mid-2010 (of which 242 for the Franco-German tiger program and 51 for the Australian Armed Reconnaissance Helicopter program).

Type: MTR390-E $P_{\text{shaft}} = 1094 \text{ kW}$	maximum net work	optimum	maximum therm. eff.	MTR390-E	available data
comp. pressure ratio [-]	9,45	12,24	16,73	14,00	14
turb. entry temp. [K]	1627	1627	1627	1627	
$\eta_{\text{polc}(0)}$ [-]	0,815	0,815	0,815	0,815	
$\eta_{\text{pole}}$ [-]	0,815	0,815	0,815	0,815	
compressor exit temp. [K]	645,95	708,40	789,99	742,70	
exhaust pipe exit temp. [K]	1 083,57	1029,77	967,49	1002,69	
specific net work [kJ/kg]	315,233	310,116	290,783	303,466	
therm. cycle efficiency [%]	26,13	27,40	28,15	27,83	
$\eta_{\text{polc}}$ [-]	0,7795	0,7759	0,7721	0,7740	
mass flow rate [kg/s]	3,470	3,528	3,762	3,605	3,6
medium diameter [m]	0,1610	0,1610	0,1610	0,1610	
first blade length [m]	0,0476	0,0484	0,0517	0,0495	
last blade length [m]	0,0113	0,0097	0,0084	0,0091	



cooling air [%]	2,58	2,58	2,58	2,58	
spec. fuel cons. [kg/kW*h]	0,319	0,304	0,296	0,299	0,299

Table 4. Placement of MTR390-E engine in the available range of compressor pressure ratio

In total, the order book stands at 445 engines, including exports. In cooperation with Spain's ITP, MTU developed an enhanced engine version (MTR390-E), which delivers 14 percent more power. [7] I chose to analyse this last version of MTR390. This engine is much newer than the above examined turboshaft engines. The designers follow totally different way to achieve good performance indicators. What is strange firstly, the poor compression and turbine polytrophic efficiency. Unfortunately I could not find any information about the turbine entry temperature. Of course, this fact can cause some uncertainties during the analyses, but considering the very low mass flow rate, this very high specific net work is achievable by extreme high (in turboshaft category) turbine entry temperature. The low mass flow rate resulted small weight and size, but the small size had negative effect on polytrophic efficiencies.

### T800-LHT-801 turboshaft engine

The next-generation T800 turboshaft/turboprop family has been developed by the Light Helicopter Turbine Engine Company (LHTEC), a 50:50 partnership between Rolls-Royce and Honeywell. Setting a new benchmark in engine performance and reliability, the T800 was originally developed to power the US Army's Boeing Sikorsky RAH-66 Comanche stealth helicopter. Military qualification and civil certification of the baseline T800-LHT-800 was completed in 1993. A 17 percent growth version, designated T800-LHT-801, has since been developed, first flown in the Comanche in June 2001. A further 7 percent 'throttle push' upgrade has resulted in the T800-LHT-802 engine, delivering 1199 kW. [8]

Type: T800-LHT-801 P <sub>shaft</sub> = 1116 kW	maximum net work	optimum	maximum therm. eff.	T800-LHT-801	available data
comp. pressure ratio [-]	8,92	11,67	16,41	15,00	15
turb. entry temp. [K]	1444	1444	1444	1444	
$\eta_{polc(0)}$ [-]	0,849	0,849	0,849	0,849	
$\eta_{pole}$ [-]	0,849	0,849	0,849	0,849	
compressor exit temp. [K]	613,13	672,39	754,00	731,90	
exhaust pipe exit temp. [K]	944,82	892,84	830,02	846,23	
specific net work[kJ/kg]	275,781	270,760	250,649	257,353	
therm. cycle efficiency [%]	27,54	29,05	29,99	29,85	
$\eta_{polc}$ [-]	0,8141	0,8105	0,8068	0,8076	
mass flow rate [kg/s]	4,228	4,306	4,652	4,531	4,53
medium diameter [m]	0,1862	0,1862	0,1862	0,1862	
first blade length [m]	0,0502	0,0511	0,0552	0,0538	
last blade length [m]	0,0120	0,0102	0,0088	0,0091	
cooling air [%]	2,03	2,03	2,03	2,03	
spec. fuel cons. [kg/kW*h]	0,302	0,287	0,278	0,279	0,279

Table 5. Placement of T800-LHT-801 engine in the available range of compressor pressure ratio

I chose from this turboshaft/turboprop family the T800-LHT-801engine. Analysing this engine I get one of the most well balanced performance indicators. Specific net output work and thermal cycle efficiency is reasonable while it is achieved by relatively low turbine inlet tem-



perature. It is the result of good polytropic compression and expansion efficiency. Although in this case I also did not have a reference turbine inlet temperature to compare it with the calculated value, but the available data allowed good approximation with an acceptable turbine entry temperature.

### RTM322-09/1 turboshaft engine

The RTM322 is a collaborative turboshaft engine between Rolls-Royce and Turbomeca. The initial production order for the RTM322 to power the Royal Navy Merlin HM Mk1 helicopters was received in 1992, and the type entered service in 1998. The RTM322 also powers the EH101 HC Mk3 utility helicopters operated by the Royal Air Force, and the AgustaWestland WAH-64 Apache attack helicopters now in service with the UK Army. Denmark, Portugal and the Japan Maritime Self Defense Force have also selected the RTM322 to power their EH101's. The RTM322 also powers the European NATO Helicopter Industries twin-engined NH90 maritime and tactical transport helicopter. Over 1,500 RTM322s have been ordered or are on option. [10]

Type: RTM322-09/1 P <sub>shaft</sub> = 1799 kW	maximum net work	optimum	maximum therm. eff.	RTM322-09/1	available data
comp. pressure ratio [-]	10,36	14,01	20,81	14,70	14,7
turb. entry temp. [K]	1507	1507	1507	1507	
$\eta_{polc(0)}$ [-]	0,857	0,857	0,857	0,857	
$\eta_{pole}$ [-]	0,857	0,857	0,857	0,857	
compressor exit temp. [K]	636,58	704,54	801,98	715,79	
exhaust pipe exit temp. [K]	956,25	896,85	823,48	887,74	888
specific net work[kJ/kg]	319,362	312,923	285,706	310,768	
therm. cycle efficiency [%]	30,21	32,04	33,20	32,26	
$\eta_{polc}$ [-]	0,8268	0,8230	0,8187	0,8224	
mass flow rate [kg/s]	5,633	5,749	6,297	5,789	
medium diameter [m]	0,1929	0,1929	0,1929	0,1929	
first blade length [m]	0,0646	0,0659	0,0722	0,0663	
last blade length [m]	0,0137	0,0115	0,0096	0,0112	
cooling air [%]	2,22	2,22	2,22	2,22	
spec. fuel cons. [kg/kW*h]	0,276	0,260	0,251	0,258	0,258

Table 6. Placement of RTM 322-09/1 engine in the available range of compressor pressure ratio

From this engine family I have chosen the RTM322-09/1 version to analyse its performance data. Its shaft power is 1799 kW, which represent the upper middle category of helicopter turboshafts. Its compression and expansion polytropic efficiency is the best I have found. Unfortunately, I did not have information about the mass flow rate and turbine entry temperature but I had the temperature of exhaust gas. Using the three available parameters I got reasonable results. Taking into consideration of all performance indicators this engine shows the best values of all examined turboshafts.

### LM 2500 turboshaft engine

The LM2500 marine gas turbine is GE's most widely applied gas turbine. It powers more than 400 ships in 30 world navies, fast ferries, coast guard cutters, supply ships and cruise ships. [4]



The LM2500 marine gas turbine is a simple-cycle, high-performance engine. The LM2500 gas generator consists of a 16-stage, 18:1 pressure ratio compressor with seven stages of variable stators and inlet guide vanes; a fully annular combustor with externally mounted fuel nozzles, and a two-stage, air-cooled high- pressure turbine which drives the compressor and the accessory gearbox. A six-stage, aerodynamically coupled low-pressure power turbine which is driven by the gas generator's high-energy exhaust gas flow drives the output shaft of the marine gas turbine. [11]

Type: LM2500 P <sub>shaft</sub> = 24000 kW	maximum net work	optimum	maximum therm. eff.	LM2500	available data
comp. pressure ratio [-]	12,38	17,98	29,64	18,00	18
turb. entry temp. [K]	1504	1504	1504	1504	
$\eta_{polc(0)}$ [-]	0,872	0,872	0,872	0,872	
$\eta_{pole}$ [-]	0,872	0,872	0,872	0,872	
compressor exit temp. [K]	652,98	734,27	855,91	734,51	
exhaust pipe exit temp. [K]	911,22	840,06	751,60	839,87	839
specific net work[kJ/kg]	350,686	341,511	300,536	341,451	
therm. cycle efficiency [%]	33,92	36,43	37,96	36,43	36
$\eta_{polc}$ [-]	0,8610	0,8585	0,8547	0,8585	
mass flow rate [kg/s]	68,437	70,276	79,857	70,288	70,3
medium diameter [m]	0,6434	0,6434	0,6434	0,6434	
first blade length [m]	0,2351	0,2414	0,2744	0,2415	
last blade length [m]	0,0429	0,0340	0,0274	0,0341	
cooling air [%]	2,21	2,21	2,21	2,21	
spec. fuel cons. [kg/kW*h]	0,246	0,229	0,219	0,229	

Table 7. Placement of LM2500 engine in the available range of compressor pressure ratio

The last turboshaft engine is totally different in its size from any other earlier mentioned engine, although its structural arrangement is similar. The output shaft power is more than ten times higher than an average helicopter turboshaft engine. From the comparison clearly visible that the larger size is advantage and provides much higher compression and expansion polytropic efficiency. In accordingly it shows the best performance indicators. The main reason is that the designers have to make much less compromise designing a large gas turbine engine than a small one.

## Conclusion

In table 8 I collected the most important data of analysed turboshaft engines, which provides their easier comparison.

Having gone through the analysis process it is well demonstrated that the helicopter engines, like the other fields of aviation have gone through huge evolution. The increased compressor overall pressure ratio, turbine entry temperature, and the FADEC system (used by all new engines) improved their performance, although much less than we experience in other gas turbine engine categories. The main reason is that the average turboshafts provide about 250–2500 kW shaft power with 2–12 kg/s air mass flow rate. Accordingly their compressors are relatively small, which causes short rotor blade length, especially in rear stages (or last centrifugal stage). This effect has been heightened by the development trend to increase the

specific net work decreasing the engine dimensions and weight. It is the reason that in some cases compressor and turbine polytrophic efficiency not significantly higher, what is more sometimes lower, although the engine is much younger. This fact considerably penalizes mainly the compressor polytrophic efficiency. [2] This fact means the compressor pressure ratio is usually not higher than  $\sim 15$ , and the resulted maximum thermal efficiency is less than 35%, while at bigger (new) gas turbine engines (where air mass flow is over 30 kg/s) the thermal efficiency is usually over 40%. Good example is the LM 2500, which does not achieve 40% thermal efficiency, but its thermal efficiency is considerably higher than the efficiency of much smaller turboshafts.

	TV2-117A	TV3-117VM	T58-GE-100	MTR 390E	T800-LHT-801	RTM 322-01/9	LM 2500
$P_{sh} [kW]$	1103	1699	1118	1043	1166	1799	24000
$T_3 [K]$	1168	1250	1269	1627	1444	1507	1504
$\dot{m} [kg/s]$	6,8	8,75	6,35	3,6	4,53	5,79	70,3
$\pi_{wh}-\pi_{\eta}$ $\pi [-]$	6,24-9,97 6,6	7,18- 12,2 9,45	6,52-10,22 8,4	9,45-16,73 14	8,92-16,41 15	10,36- 20,81 14,7	12,38- 29,64 18
$Poz. [%]$	9,58	45,28	50,73	62,48	81,19	41,56	32,58
$\eta_{pole} [-]$	0,848	0,846	0,824	0,815	0,849	0,857	0,872
$\eta_{polc} [-]$	0,824	0,824	0,798	0,774	0,808	0,822	0,858
$\eta_t [%]$	22,58	25,66	22,59	27,83	29,85	32,26	36
$SFC$ $[kg/kWh]$	0,369	0,325	0,369	0,299	0,279	0,258	0,229
$w_{net} [kJ/kg]$	162,3	190,8	176	303,47	257,3	310,8	341,451

Table 8. Most important data of examined turboshaft engines

The better component efficiencies and the high pressure ratio and combustor exit temperature of the new generation RTM-322-01/9 presents the best overall features. This clearly shows us that good performance indicators cannot be achieved only by increasing the compressor pressure ratio and turbine entry temperature. To keep the component efficiencies, especially compressor polytrophic efficiency as high as possible, has a same importance.

## SUMMARY

In this paper I presented the theoretical background how the compressor pressure ratios of maximum specific net output work and thermal cycle efficiency can be determined. I demonstrated a thermal mathematical model, which is able to:

- define the above mentioned pressure ratios of gas turbine engines at any kind of *turbine inlet temperature and engine component efficiencies*;
- calculate the most important engine parameters of these pressure ratios and plus any other optional pressure ratio;
- draw specific net work and thermal cycle efficiency characteristic curves in temperature versus pressure ratio diagram;
- analyse primarily any kind of turboshaft engine, secondarily any kind of other gas turbine engine.



## REFERENCES

- [1] DR. PÁSZTOR Endre: Gázturbinás repülőgép hajtóművek, 1983, Előadás vázlat, Budapesti Műszaki Egyetem
- [2] DR. PÁSZTOR Endre: Szállító repülőgépek gázturbinás hajtóművei nyomásviszonya növelésének termikus problémái, 2007, Repüléstudományi Közlemények, p. 36-45.
- [3] Klimov, url: <http://en.klimov.ru/production/helicopter/TV2-117/> , (15.03.2013)
- [4] GE Delivers LM2500 Gas Turbines to Austal USA, e-doc, url: <http://www.marinelink.com/news/delivers-turbines-austal348871.aspx>, (15.03.2013)
- [5] GE Aviation, url: <http://www.geaviation.com/engines/military/t58/>, (15.03.2013)
- [6] Data for some military gas turbine engine, e-doc, url: <http://www.aircraftenginedesign.com/TableB1.html>, (15.03.2013)
- [7] MTU Aero Engines, url: [http://www.mtu.de/en/products\\_services/military\\_business/programs/mtr390/index.html](http://www.mtu.de/en/products_services/military_business/programs/mtr390/index.html), (15.03.2013)
- [8] Rolls-Royce, url: [http://www.rolls-royce.com/defence/products/tactical\\_aircraft/t800.jsp](http://www.rolls-royce.com/defence/products/tactical_aircraft/t800.jsp), (15.03.2013)
- [9] Brayton cycle, e-doc, url: <http://web.mit.edu/16.unified/www/SPRING/propulsion/notes/node27.html>, (15.03.2013)
- [10] Rolls-Royce, url: [http://www.rolls-royce.com/Images/RTM322\\_tcm92-6703.pdf](http://www.rolls-royce.com/Images/RTM322_tcm92-6703.pdf)[http://www.rolls-royce.com/Images/RTM322\\_tcm92-6703.pdf](http://www.rolls-royce.com/Images/RTM322_tcm92-6703.pdf), (15.03.2013)
- [11] GE Aviation, url: <http://www.geaviation.com/engines/marine/lm2500.html>, (15.03.2013)

Szüllő Ádám<sup>1</sup>

## MULTILATERÁCIÓ A GYAKORLATBAN – WAMLAT PILOTRENDSZER<sup>2</sup>

*A cikkben bemutatott passzív radarrendszer a multilaterációs technika segítségével képes minden olyan légi jármű detekciójára és nyomon követésére, amely rendelkezik fedélzeti transzponderrel. A radarrendszer a szekunder radarok által használt jelekből állapítja meg a repülőgép pozícióját anélkül, hogy megzavarná annak rendeltetészerű működését. A kialakított multilaterációs radarrendszer nagy területek lefedését célozza meg (WAMLAT – Wide Area Multilateration), ez, tekintve, hogy a multilaterációs mérési elv időmérésen alapul, kihívásokat állít a szinkronizáció biztosítása elé. Jelen rendszerben a szinkronizmust a GPS műholdak jeleinek vételével sikerül biztosítani. A WAMLAT pilotrendszer a rádiójelek vételével állapítja meg az egyes légi járművek pozícióját, a rendszer teljesen passzív módon működik, nem bocsájt ki rádiójeleket, nem zavar más rendszereket. A repülőgépek pozícióinak meghatározásához több, nagy területen elhelyezett vevőállomásra van szükség, melyekkel interneten keresztül tartja a kapcsolatot egy központi feldolgozó; ez állítja elő a mérési eredményt.*

### MULTILATERATION IN PRACTICE – WAMLAT DEMO

*The presented passive radar system is capable of detecting and tracking every aircraft, which has on-board transponder, using multilateration technique. The radar system use the signaling of the secondary surveillance radar to determines the position of the aircraft, without disturbing its normal operation. The radar system is designed to cover large areas (WAMLAT – Wide Area Multilateration). This, considering that the multilateration principle is based on accurate time measurement, set the challenge of the synchronization. In this system, the synchronization is provided by a subsystem based on GPS receiving, with success. The WAMLAT demo system is fully passive by design, does not emit radio signals, therefore it is operating without interfere with other system. The developed radar system uses multiple receiver stations, spreaded in a wide area, the measurement results are generated by a central processing station, which maintains connection with the receiver stations over internet.*

### MULTILATERÁCIÓ<sup>[4]</sup>

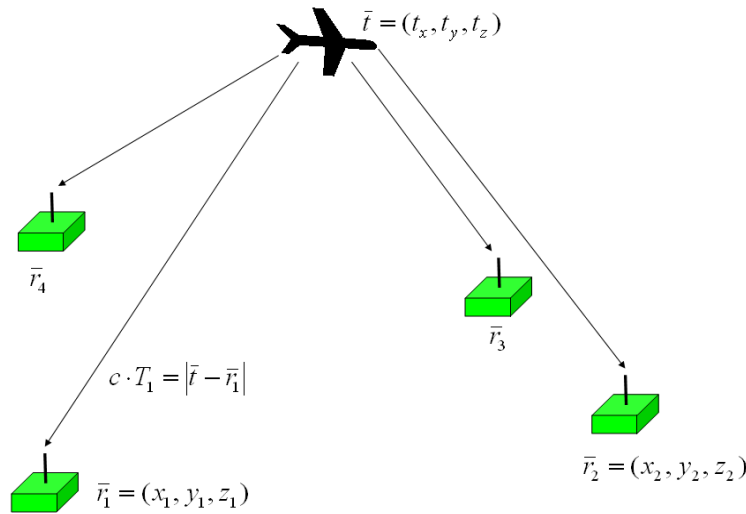
A multilaterációs technika használata feltételezi a több vevőállomás általi vételt, azaz a jelforrást egyszerre legalább (egy későbbiekben meghatározott) minimális számú vevő érzékeli (multisztatikus vétel – 1. ábra), valamint ezen jelforrás és a mérőrendszer közötti függetlenséget. Ez utóbbi feltétel annak a következménye, hogy a multilateráción alapuló pozíció mérési eljárás esetén nem ismert a mérendő jelforrás jelindítási ideje. Ezen ismeretlen paraméter következtében nem használható a hagyományos radarrendszerek estén mért TOA<sup>3</sup> érték(ek). Az egyes állomások által vett jelek beérkezési idejének (a rendszer egészére vonatkoztatott abszolút idő

<sup>1</sup> BME, Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék Mikrohullámú Távérzékelés Laboratóriuma; szullo@mht.bme.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Ludányi Lajos ny. okl. mk. alez; főiskolai tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, ludanyi.lajos@uni-nke.hu

<sup>3</sup> TOA - Time of Arrival - A jel indítása és vétele között eltelt idő

alapján) precíz mérése lehetővé teszi az egyes állomások közötti TDOA<sup>4</sup> értékek meghatározását, amely adathalmaz a megfelelő algoritmus segítségével átalakítható a jelforrás tényleges pozícióját jól közelítő eredménnyé.



1. ábra Multisztatikus vétel

A vett jelek beérkezési ideje a rendszer abszolút idejéhez viszonyítottan kerül meghatározásra, az egyes időkülönbségek számítása az egyik tetszőlegesen kiválasztott állomáshoz viszonyítottan történik.

$$c \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ T_{diff,1} \\ T_{diff,2} \\ \dots \\ T_{diff,N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |\vec{t} - \vec{r}_0| - |\vec{t} - \vec{r}_0| \\ |\vec{t} - \vec{r}_1| - |\vec{t} - \vec{r}_0| \\ |\vec{t} - \vec{r}_2| - |\vec{t} - \vec{r}_0| \\ \dots \\ |\vec{t} - \vec{r}_N| - |\vec{t} - \vec{r}_0| \end{bmatrix} \quad (1)$$

A TDOA értékek és a keresett pozíció közti kapcsolatot egy nemlineáris egyenletrendszer (1) adja meg, ahol az  $\mathbf{r}_n$  helyvektorok az egyes vételi állomások térbeli pozícióját, míg  $\mathbf{t}$  helyvektor a jelforrás pozícióját adják meg. Geometriailag az egyenletrendszer az egyes időkülönbségek és hozzá tartozó helyvektor párok által meghatározott forgás-hiperbolooidok metszéspontjára vezet.

### Lineáris egyenletrendszerre vezető megoldás [1][2]

A multilaterációs elvből származó nemlineáris összefüggések ellenére, megadható egy lineáris egyenletrendszer alapú leírás (2), mely a hagyományos matematikai eszköztár segítségével megoldható. A nemlineáris összefüggések ebben az esetben az egyenletrendszer egyes paramétereiben jelennek meg.

$$0 = xA_n + yB_n + zC_n + D_n \quad (2)$$

Az (2) egyenlet N darab vevőt feltételezve N-2 fokú egyenletrendszert ad meg (3).

<sup>4</sup> TDOA - Time Difference of Arrival - Az egyes vételi helyeken mért a jelekhez hozzárendelt abszolút idők különbsége

$$\begin{bmatrix} -D_2 \\ -D_3 \\ -D_4 \\ \dots \\ -D_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_2 & B_2 & C_2 \\ A_3 & B_3 & C_3 \\ A_4 & B_4 & C_4 \\ \dots & \dots & \dots \\ A_{N-1} & B_{N-1} & C_{N-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (3)$$

A (tetszőlegesen megválasztott)  $n=0$  és  $n=1$  indexű vevő referenciaként szolgál az (3) egyenletrendszer paramétereinek (4), (5), (6),(7), valamint ezen paraméterek segédparamétereinek (8),(9) megadásában.

$$A_n = \frac{2x_n}{c \cdot T_{diff,n}} - \frac{2x_1}{c \cdot T_{diff,1}} \quad (4)$$

$$B_n = \frac{2y_n}{c \cdot T_{diff,n}} - \frac{2y_1}{c \cdot T_{diff,1}} \quad (5)$$

$$C_n = \frac{2z_n}{c \cdot T_{diff,n}} - \frac{2z_1}{c \cdot T_{diff,1}} \quad (6)$$

$$D_n = c \cdot T_{diff,n} - c \cdot T_{diff,1} - \frac{x_n^2 + y_n^2 + z_n^2}{c \cdot T_{diff,n}} + \frac{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}{c \cdot T_{diff,1}} \quad (7)$$

$$c \cdot T_{diff,n} = R_n - R_0 \quad (8)$$

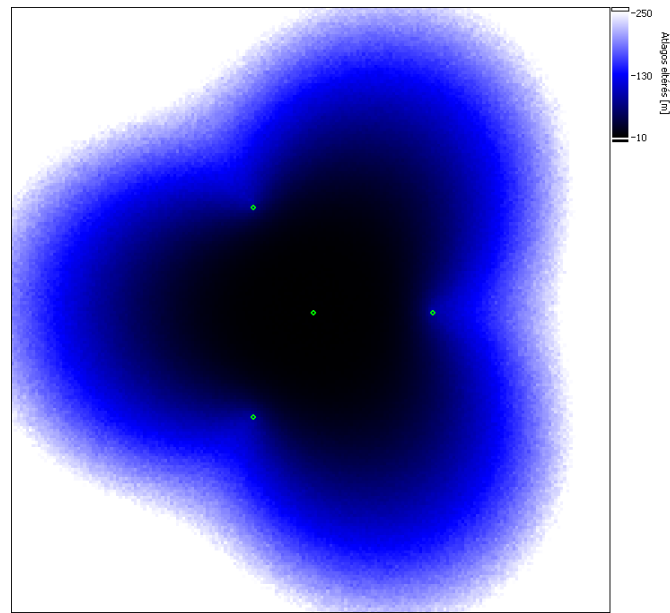
$$R_n = |\bar{t} - \bar{r}_n| \quad (9)$$

A multilateráción alapuló pozíció meghatározás a közel síkbeli vevő elrendezés következtében nem alkalmas magassági érték meghatározására. Ennek következtében a továbbiakban csak a kétdimenziós, síkbeli pozíció meghatározására korlátozódik a vizsgálódás. Kétdimenziós pozíció meghatározás esetén az egyenletrendszer (3) alapján belátható, hogy legalább 4 vevő szükséges a pozíció meghatározásához. További megfigyelési pontokat felhasználva javul a multilateráció pontossága.

### Radarrendszer geometriai elrendezésének hatása<sup>[4]</sup>

A multilateráció vizsgálata Monte Carlo szimulációs módszerrel lett elvégezve. A szimulációra jellemző a 100 x 100 km-es vizsgálati terület, a vevők e területen belül kerültek elhelyezésre. A céltárgy magassága minden esetben a vevők síkja felett 10 km-rel volt. A 2. ábra esetén látható a négyvevős optimális elrendezés pozíciómérési hibatérképe. Az ábrán látható zöld pontok a vevők helyzetét jelölik. A szimuláció során az egyes vevők időmérését 30 ns szórású, egymással független fehérzaj terheli. A sötétebb színek kisebb pozíciómérési hibát, míg a világosabb színekkel jelölt területeken a pozíciómérés pontossága jelentősen rosszabb a geometriai elrendezés következtében. A hiba jellemzése a tényleges pozíciótól mért abszolút eltérés, mint valószínűségi változóra számolt szórás alapján történik. A 2. ábra alapján megállapítható, hogy gyakorlatilag a vevők által meghatározott területen belül elhelyezkedő céltárgyak pozíciójának

mérése lehetséges kielégítő pontossággal.



2. ábra Minimális számú vevő optimális elrendezése esetére szimulált pozíciómérési hiba

## WAMLAT RENDSZER

A kiépítésre került WAMLAT rendszer multilaterációs technika segítségével polgári légi eszközök pozícióinak meghatározását tűzte ki célul. Az egyes járművek fedélzetén megtalálható SSR<sup>5</sup> transzponderek által sugárzott jelcsomagok vétele által lehetséges az egyes járművek térbeli és időbeli szeparációja. A transzponder a hagyományos, ún. Mode-A és Mode-C válaszokat alkalmazza az SSR rendszerben identifikáció és magassági adatok megadására. Külső szemlélő számára ezen két válasz megkülönböztetése nem lehetséges, csak az SSR radar kérdező jele ismeretében lehetséges elkülönítésük. A multilaterációs rendszer szempontjából ez nem okoz hátrányt, hiszen csupán az egyes vételi állomásokon szükséges az egyes válaszjelek kvázi szimultán vétele és egymástól történő elhatárolhatósága, valamint egyértelmű detekciója. Az SSR rendszer továbbfejlesztéseként jelent meg a transzponderek Mode-S üzemmódja, mely egy jóval fejlettebb struktúrájú, egyedi azonosítást lehetővé tevő adatcsomagokat használ fel a repülőgép felderítésére. A Mode-S üzemmód legnagyobb előnye multilaterációs szempontból az ún. Acquisition Squitter, mely a transzponder nagyjából másodpercenkénti automatikus jelzését jelent. A viszonylagosan magas ismétlési gyakoriság hasznos a multilaterációs radarrendszerben történő alkalmazása során. [3]

A pilot rendszer egyes vételi állomásai az SSR válaszjelek frekvenciájára hangolt antennákkal és detektorokkal érzékelik a beérkező jeleket. Digitalizálás után a lokális feldolgozó egység szeparálja és azonosítja az egyes válaszokat, ezekhez egyedi azonosítót, valamint a helyi GPSDO segítségével időbélyeget rendel. Az ily módon jelentősen redukált adatmennyiséget egy Ethernet csatló segítségével az Interneten keresztül (titkosított módon) juttatja el a központi feldolgozó egységhez. Ezen központi egység végzi el a beérkező adatok összevetése alapján a multilaterációs

<sup>5</sup> SSR – Secondary Surveillance Radar – szekunder radar





## SSR feldolgozó és Ethernet illesztő

Az SSR vevő által szolgáltatott komparált értékeket a vevőben elhelyezett digitális rendszer dolgozza fel. A vevő komparált kimenetének nagysebességű mintavételezése által előáll egy folytonos, 1 bites soros adatfolyam. A mintavételezés 100 MHz feletti sebességgel történik (a mintavételező órajel szinkronban van a GPSDO által biztosított órajellel), ez biztosítja a 10 ns alatti időmérési felbontást. Az egyes SSR üzenettípusok a megfelelő szűrők segítségével kerülnek detektálásra az adatfolyamból. Egy-egy szűrő végzi a Mode-A és Mode-C valamint a Mode-S üzenetek detektálását.

A vett üzenetek azonosítója és a vétel ideje egy bufferbe kerülnek, innen az Ethernet illesztő segítségével jutnak el a központi feldolgozóba.

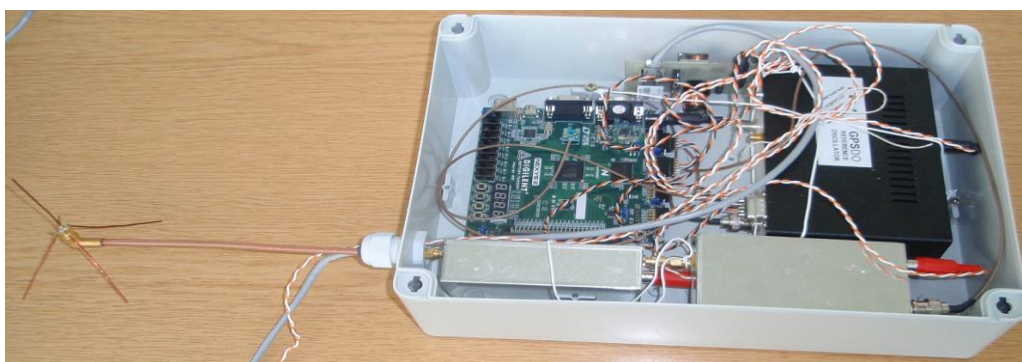
Az egyes vett üzeneteken kívül a GPS vevő által mért koordináták is elküldésre kerülnek, így a multilaterációs technikához előáll az összes szükséges adat, úgy, mint a vevőállomások pozíciója, valamint az egyes vételek időpontja is.

## Központi feldolgozó

Az egyes vevőállomások által szolgáltatott adatok egy központi feldolgozóba futnak be. Ez a mérési eredményekből az ismert algoritmus alapján becsli a transzponder pozícióját.

A pontosság növelése érdekében a számításokban felhasznált állomás koordináták egy hosszú ablakozású átlagolással kerülnek meghatározásra. Ezzel nagymértékben csökkenthető a GPS vevők által mért állomáspozíciók szórása.

A multilaterációs algoritmus Descartes koordináta rendszerben megadott pozíciók esetén működik, ezért a vevők pozíciójának szélességi-hosszúsági koordinátás leírása földközpontú Descartes koordináta rendszerbe kerül átírásra. A számítással kapott eredmény az inverz transzformáció segítségével szélességi-hosszúsági leírással kapható meg. Az így kapott mérési koordináták grafikusán megjeleníthetőek.



4. ábra Vevőállomás

## MÉRÉSI EREDMÉNYEK

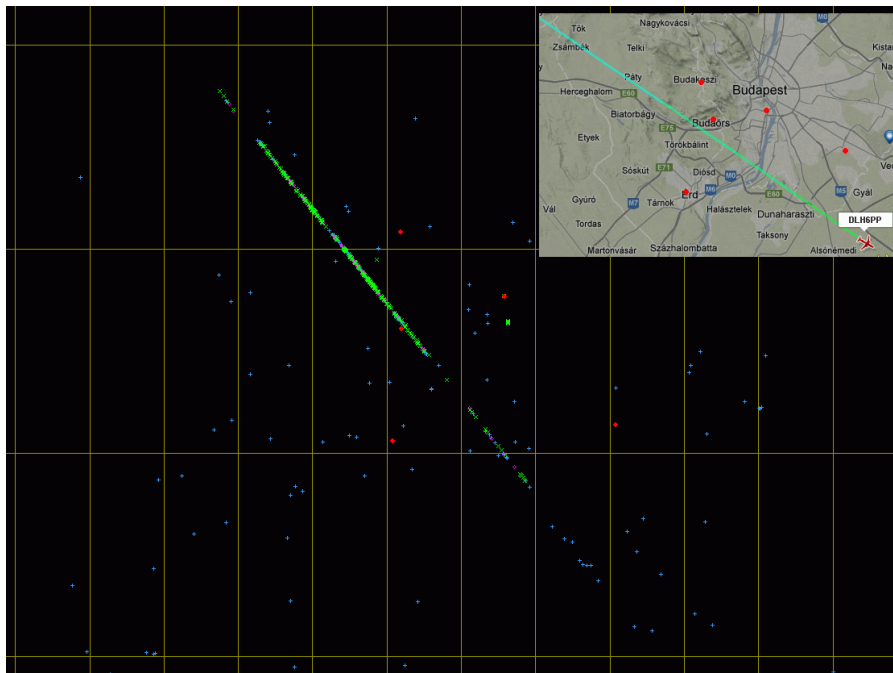
A próbamérések elvégzéséhez 5 vevőállomás került telepítésre. A helyszínek kiválasztása erősen korlátozott volt, ismerősi, munkatársi kapcsolatok alapján végül is Budapest körzetében sikerült elhelyeznünk a vevőket. Az öt állomás Érd, Budaörs, Budakeszi, Budapest 18. kerület, és a BME V2 épületénél kerültek elhelyezésre. Az így kialakult elrendezés geometriailag közel sem az ideális, de lehetővé tette a próbamérések elvégzését.

A mérések során a méréssel párhuzamosan a <http://www.flihtadar24.com/>-on is követve voltak a repülőgépek. Ezzel bizonyítható a WAMLAT pilottrendszer működése.

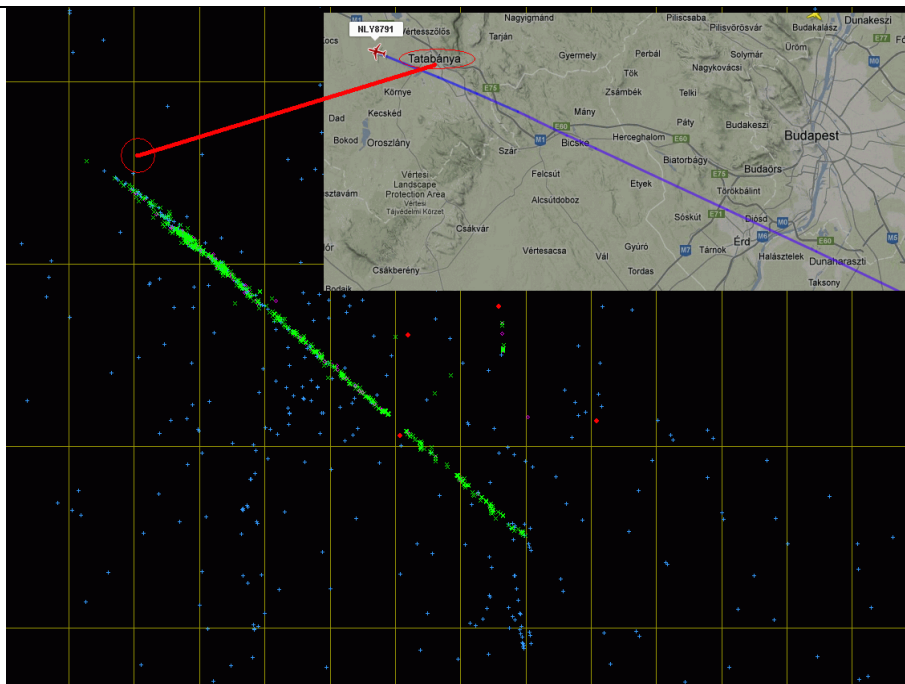
A mérési eredmények néhány ábrán kerülnek bemutatásra, a kombinált, két térképet tartalmazó képeken, a színes térkép a flihtadar24.com által párhuzamosan mutatott eredmény. A WAMLAT rendszer által mért koordináták a fekete háttérű térképen kerültek megjelenítésre. A piros pöttyök a vevőállomások tényleges pozíciói (a színes térképen csak közelítőleg). A kék színű jelölések a Mode-A és Mode-C jelek vételéből kerültek meghatározásra. Ezen üzenetek rövid volta miatt, elég sok fals beütés keletkezett egy-egy mérés során. A későbbiekben egy temporális szűrő segítségével kívánunk javítani e problémán. A lila és zöld jelölések a Mode-S jelek vételéből kerültek meghatározásra. Ezek közül a lila jelölésűek az ADS-B squitter típusúak, a zöld jelölésűek az összes többi Mode-S válasz.

A mérési eredmények bemutatásához kiválasztott módszer az átvonulás vagy átvonulások pályáját mutatja be oly módon, hogy néhány perc pozíciómérési eredményeit egy képen jeleníti meg.

A mérési eredményekből levonható, hogy a Mode-S vételből származó pozícióbecslés ad jó megoldást. A Mode-A és Mode-C vétel jelenleg a nagy fals beütésszám miatt nem alkalmazható.



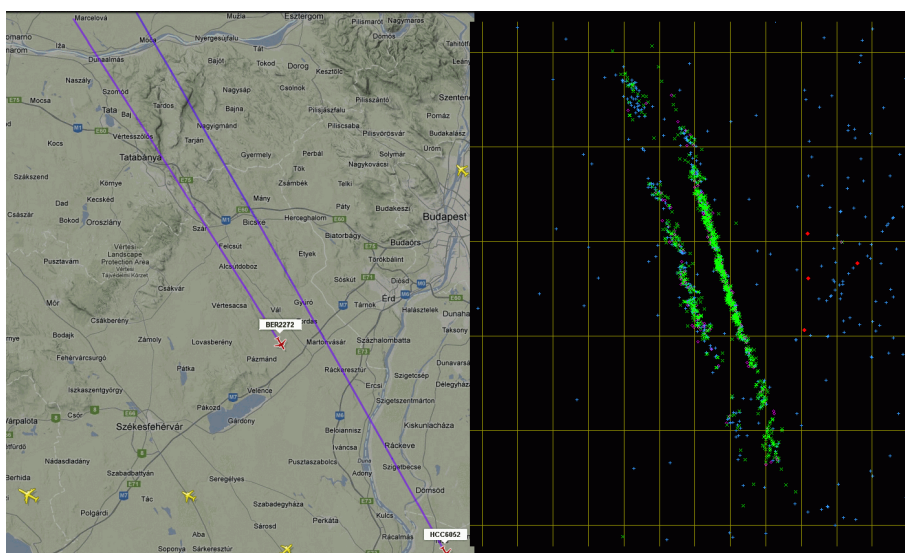
5. ábra Egy átvonulás mérési eredménye. A piros pöttyök a térképen a vevőállomások nem pontos (!) helyei



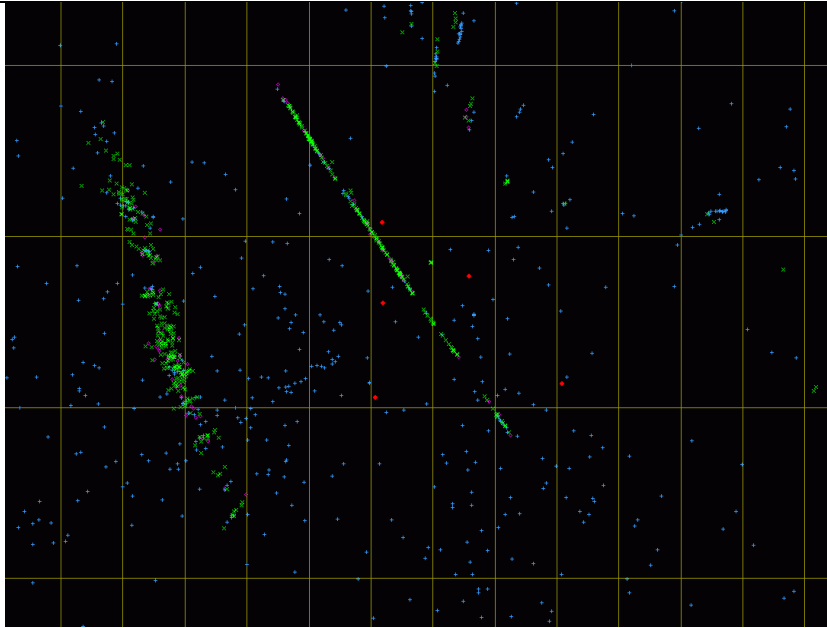
6. ábra Tatabányáig követve

Az egyes állomások közötti távolság az SSR vevők hatótávolságánál (>100 km) jóval kisebb. Ez csökkenti az elméletileg elérhető detektálási zóna méretét. Habár ezen kívül is lehetséges a pozíciómérés, az csak redukált pontossággal végezhető el.

A próbamérések során alkalmazott telepítés az egyes állomások környezeti viszonyai miatt (lakótelepi erkély, családi ház padlás) csupán bizonyos területek lefedését tette lehetővé. Ez Budapesttől déli és keleti irányokba eső területekre korlátozta a megfigyelést. A 6. ábrán láthatóan sikerült egy átrepülő gépet Tatabányáig követni.

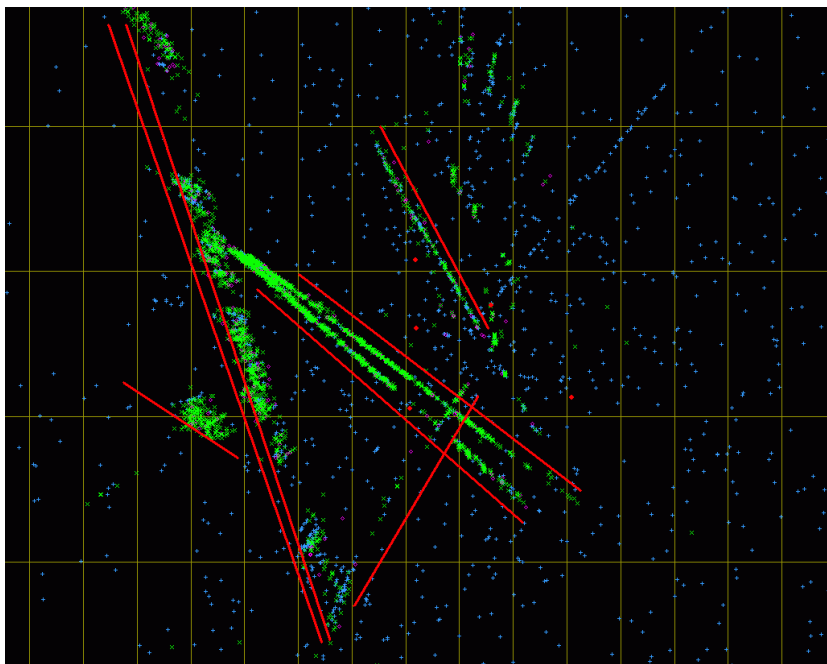


7. ábra Párhuzamos pályák



8. ábra Geometria függő mérési szórás

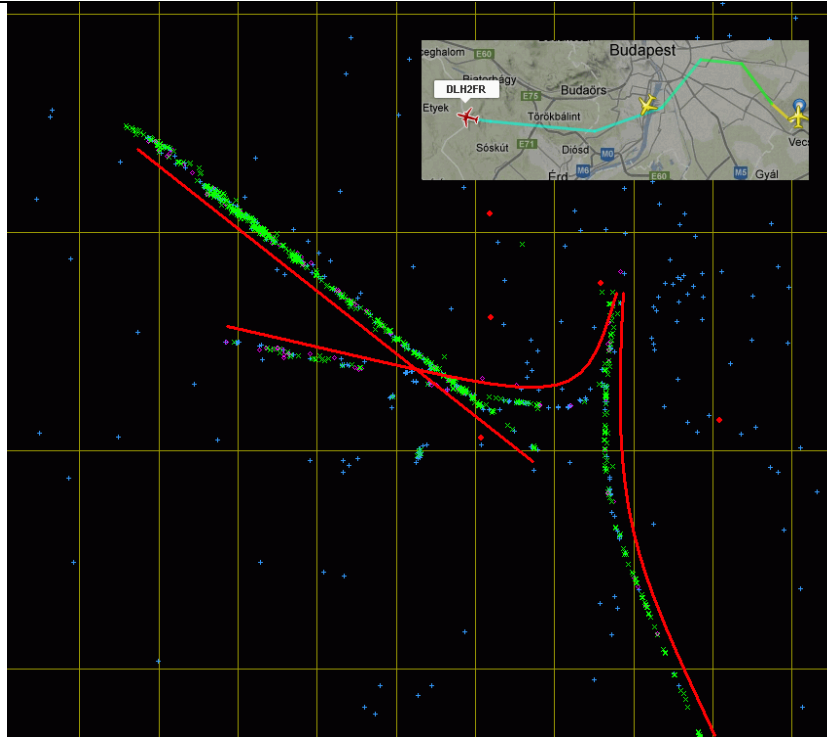
A 8. ábrán látható két közel párhuzamos átvonulás (nem egy időben, hanem egymás után történt). Az ábra közepén látható pálya a vevők által meghatározott zónán belül halad át, a másik attól jóval távolabb. Megfigyelhető, hogy az utóbbi esetén jelentősen megnőtt a pozíciómérés szórása. Ez a szimulációkban kapott eredménnyel összhangban van.



9. ábra Forgalmas negyedóra

A 9. ábrán látható átvonulások egy forgalmas negyedórában kerültek rögzítésre. Az egyes pályák elkülönítését az ismertett weboldal alapján az utólag berajzolt piros vonalak segítik elő. (A piros vonalak kézzel lettek berajzolva, csupán szemléltetési cézzal.)





10. ábra Felszálló és áthaladó gépek pályája

A 10. ábrán látható egy korábbi átrepülés, valamint két, a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtérrel felszálló, a belváros felett áthaladó gépek pályája.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A mérési eredmények alapján belátható, hogy a korlátozott telepítési lehetőségek ellenére a WAMLAT pilotrendszer az elvárásoknak megfelelően képes a Mode-S üzemre képes transzponderrel ellátott légi járművek detekciójára, és pozíciójának valós idejű meghatározására. A közeljövőben további képességbővítés várható a Mode-A és Mode-C típusú üzenetek szűrésével, mely várhatóan jelentősen csökkenti a fals beütések számát, így akár ezek is felhasználhatóak lesznek a pozíciók meghatározására.

Már elkészült egy megnövelt pontosságú GPSDO prototípusa, mellyel a WAMLAT rendszer pontossága növelhető.

Igény esetén, alacsony költségvetéssel az ország területét redundánsan lefedő radarrendszer kiépítésére van lehetőség, mellyel növelhető a légi közlekedés biztonsága.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BUCHER, Ralph – MISRA, D.: A synthesizable low power VHDL model of the exact solution of three dimensional hyperbolic positioning system, VLSI Design 15(2), 507–520, 2002.
- [2] FANG, B.T.: Simple solutions for hyperbolic and related position fixes, IEEE Trans. Aerosp. Elect. Systems 26(5), 748–753, 1990
- [3] POTIER, Eric – TSG: Manual on Multilateration Surveillance, ICAO, Montreal, 2007.
- [4] SZÜLLŐ Ádám: Passzív radarrendszer a légi felderítésben – WAMLAT. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2012/2, 706-717. o.

Farkas Márton<sup>1</sup> – Vanek Bálint<sup>2</sup>

## NYERS GPS ADATOK FELDOLGOZÁSI MÓDSZEREINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA<sup>3</sup>

*Jelen cikk a műholdas pozíció-, sebesség- és időmeghatározás témakörével foglalkozik. Egy szimulációs program segítségével egy adott útvonalhoz, adott időtartományban lehetséges GPS adatok képzése. Ezekhez az adatokhoz kapcsolódnak képzett tényleges adatok is, melyeket felhasználva lehetőség nyílik a különböző feldolgozási módszerek közötti pontosság vizsgálatára. Két féle kalkulációs módszerrel, a legkisebb négyzetek módszerével és Kálmán-szűrővel történik az adatok elemzése MATLAB környezetben. A GPS rendszer minél pontosabb felhasználásához és minél több területen történő alkalmazásához elengedhetetlen a pozicionálás alapjainak megismerése, mely később lehetővé teszi az adatfeldolgozás módszereinek fejlesztését, vagy az elkészült algoritmusok valós idejű mikroszámítógépes alkalmazását.*

### COMPARISON OF VARIOUS METHODS OF PROCESSING RAW GPS DATA

*The article is about position, speed and time determination by satellites. The use of a simulation program made possible to constitute GPS data for a given trajectory and a given timeframe. This data relates to generated real data. The use of this data allowed the comparison of accuracy of various processing methods. The analysis of the data is made in MATLAB environment by two calculation methods. The first one is the method of Least Squares and the second one is a method based on Kalman filter estimation. In order to use the GPS system most accurately and in as many fields as possible, it is necessary to know the basics of positioning. This enables the further development of data processing methods, or the real-time micro-computer application of the algorithms.*

## GPS RENDSZER ALKALMAZÁSA NAGY PONTOSSÁGÚ RENDSZEREKNÉL

A polgári elérhetőségű GPS rendszer pontossága növelhető kiegészítő rendszerek alkalmazásával. A projekt célja ezen módszerek megismerése és megértése, így lehetővé téve a rendszer későbbi alkalmazását pilóta nélküli robotrepülőgépen. A következőekben két olyan rendszert ismertettünk, ahol lehetséges a GPS műholdak jeleit más rendszerek segítségével pontosítani.

### Valós idejű kinematikus (RTK - Real Time Kinematic) helyzetmeghatározás

A polgári használatban leginkább elterjedt GPS rendszerek pontossága általában 10 méter. Ennél sokkal nagyobb pontosságot igénylő felhasználási esetekben szükség van a centiméteres vagy annál kisebb eltérésű pozíció ismeretre.

Az RTK rendszer ezt a pontosságot egy vagy több bázis állomás telepítésével éri el, melyek szintén veszik a GPS műholdak jeleit. Mivel a bázis egy helyben áll sokkal pontosabb adatokat kap,

<sup>1</sup> okleveles közlekedésmérnök, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, martonfarkas8@gmail.com

<sup>2</sup> tudományos főmunkatárs, MTA SZTAKI, vanek@sztaki.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Ludányi Lajos ny. okl. mk. alez; főiskolai tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, ludanyi.lajos@uni-nke.hu



mint egy mozgó vevő. A jelek feldolgozása után az adatokból meghatározhatóak a hiba értékek, és ezek segítségével a szükséges korrekciós értékek is. Az így kapott értékeket rádiós kommunikáció segítségével másodpercenként akár húszszor is elküldhetik a járműveken lévő mozgó egységeknek, melyek felhasználják azokat a saját vevőjükből származó pozíciójuk pontosítására.

Ez a rendszer csak úgy érheti el a kellő pontosságot, ha a műholdakból érkező vivőjel fázisát méri, nem pedig a jel által sugárzott információkat használja fel. Így már egy frekvencián mérve is elérhető az egy méteres hibahatár.

### **Inerciális navigációs rendszer és GPS rendszer integrálása (INS/GPS)**

Az inerciális navigációs rendszer a mozgó test gyorsulásait figyelve kalkulálja ki az aktuális helyzetet. Ez lehetővé teszi, hogy külső kapcsolat nélkül képes legyen meghatározni a sebességet valamint a pozíciót. Bármennyire is pontos eszközöket használunk, mindig elő fog fordulni valamekkora hiba a mérések során, amik a nagy mérési időtartamok alatt összeadódnak. A sok kis eltérés összességében akkora hibát eredményezhet, hogy a valós és a számított pozíció között egy óra alatt akár több száz méteres eltérés is kialakulhat. Emiatt szükséges más navigációs rendszerek kiegészítő alkalmazására. Az egyik ilyen lehetséges rendszer a műholdas helymeghatározás.

A két rendszer integrálása a következőképpen történik. Az inerciális rendszer eltéréseiből származó pontatlanságot a GPS minden frissítési időpillanatban korrigálja. A GPS frissítési időközében az INS folyamatosan kalkulálja a pozíciót. Ha a GPS vevő elveszíti a jelet, akkor abban az időtartományban az INS segítségével számítható marad a pozíció.

Ezt az integrált rendszert alkalmazzák repülőgépeken, rakétákon és kísérletek vannak földi eszközöknél is. Az INS/GPS rendszerek integrálása az irányítás automatizálásában hatalmas szerepet játszik, hiszen a pozíció, a sebesség és a gyorsulás pontos ismerete határozza meg a biztonságos helyzetváltoztatást.

## **A GPS RENDSZER ÁLTALÁNOS BEMUTATÁSA**

Az űrkorszak a Sputnik 1 fellövésével kezdődött, ami a hidegháborúnak is egy új frontot nyitott. Az USA és a Szovjetunió is a rákövetkező 10 évet az űrbéli versengésre fordította. A viaskodás egyik fontos eredménye az lett, hogy az űrbéli kommunikációs- és navigációs-rendszerek lehetőségét hamar felismerték és megkezdték a fejlesztését. [1]

A jelenlegi szabatos műholdas helymeghatározó rendszerek közvetlen előzménye az USA haditengerészete számára 1961-ben kifejlesztett TRANSIT műholdas navigációs rendszer. Ennek polgári felhasználása 1967-ben kezdődött s 1994-ig, a rendszer megszűnéséig tartott.

A rendszer alapvető feladata tengerészeti navigáció volt, de hasznosították geodéziai célokra is, elsősorban olyan globális feladatok megoldására, mint a NAD83 nevű észak amerikai, vagy a WGS84 nevű globális dátum létrehozása. A TRANSIT rendszer geodéziai hasznosítását hosszú észlelési idő, utófeldolgozás és viszonylag alacsony, 1 m körüli pontosságok jellemezték. A TRANSIT rendszerben a mérés alapelve az volt, hogy a vevő a földi pont és a műhold távolságának megváltozását határozta meg egy megadott időintervallumra Doppler csúszások segítségével. Ezért ezekre a műholdakra a geodéták rendszerint „doppleres” jelzővel hivatkoztak.



A TRANSIT-tal egyidejűleg a Szovjetunióban is kifejlesztettek egy műholdas navigációs rendszert (GLONASS). [4]

A TRANSIT sikerének köszönhetően több űrbázisú navigációs-rendszer fejlesztési program kezdődött. A haditengerészet és a légierő két fejlesztése lett kombinálva a GPS rendszerbe. A koncepció felépítésénél a konstruktőröknek az alábbi jellemzők mellett kellett dönteni:

- **Aktív vagy passzív rendszer:**  
A passzív rendszerrel a jel sugárzásával, azt „hallgatva” a felhasználó meghatározhatja a pozíciót. Az aktív ezzel szemben interaktív, de csak egy adott számú felhasználót tud kezelni, ellentétben a passzívval, amelynél ez a szám korlátlan. Másik fontos tényező, hogy a hadsereg passzív rendszer esetén nem adja ki a pozícióját rádiójelekben.
- **Pozícionálási módszer: Doppler, hiperbolikus, vagy háromszögelés**  
A Doppler alapú pozícionálás, a Doppler-hatás alapján működik, azaz a hullámforrás és a megfigyelő közötti sebesség különbségen alapul.  
A hiperbolikus pozícionálás alapja, hogy két rádióforrás azonos fázisú jelet sugároz és a vevő a jel vételkor az átvitel idejét számítva, meghatározza a pozícióját. Az egyenlő fázis különbségek hiperbolikus felületeket határoznak meg.  
Az 1970-es években az óra-technológia odáig fejlődött, hogy időszinkronizált jelet lehetett küldeni a műholdakról. Tehát az ésszerű módszer a háromszögelés, mely szerint legalább három ismert helyzetű jelforrástól mért távolság meghatározza a vevő helyzetét.
- **Pulzus- vagy folytonos hullámjelek:**  
A pulzus jelek lehetnek idővel összehangoltak, tehát minden egyes műholdnak lehet egy elkülönített kibocsátási ideje. Szórt spektrumú a jelközlés, habár lehetővé teszi szimultán jelek közlését egy rádiófrekvencián. A GPS volt az első felhasználása ennek a jelto-vábbítási koncepciónak (CDMA).
- **Vivőfrekvencia:**  
Az L-sáv egy kompromisszum volt. A GPS-hez 20 MHz-es spektrumra volt szükség, és az L-sáv viszonylag zavartalan volt a '70-es évek elején. Magasabb frekvenciákon hiba jelentkezik, mert az ionoszférán való tükröződéskor a jel nem jut le a felszínre.
- **A műholdak helyzete és pályája:**  
A pontos pozícionáláshoz egyszerre négy vagy több műholdat szükséges látni bármely helyen és időpillanatban. Ezt a lefedettséget gazdaságosan kellett elérni:
  - alacsony földkörű pályára (LEO): 2000 km keringési magasság alatt, 10-20 percig látható, magas Doppler értékkel. Az atmoszféra ellenállása is jelentős. Körülbelül 100-200 műholdra lenne hozzá szükség. De olcsóbb a pályára juttatás, és kevesebb energiával lehetne működtetni.
  - közepes földkörű pályára (MEO): 5000-20000 km keringési magasságon. Egy nap alatt 2-4 alkalommal járja be a pályáját a műhold és pár óráig látható egy térség felett. Nagyobb költsége van a pályára juttatásnak, viszont 24-36 műhold elegendő a lefedettséghez.
  - geostacionárius pályára: 36000 km-es keringési magasságon túl az egyenlítő körül keringve elegendő lenne pár darab műhold, de nagy a költsége a pályára juttatásnak és nagyobb magasságokon rosszabb a lefedettség.

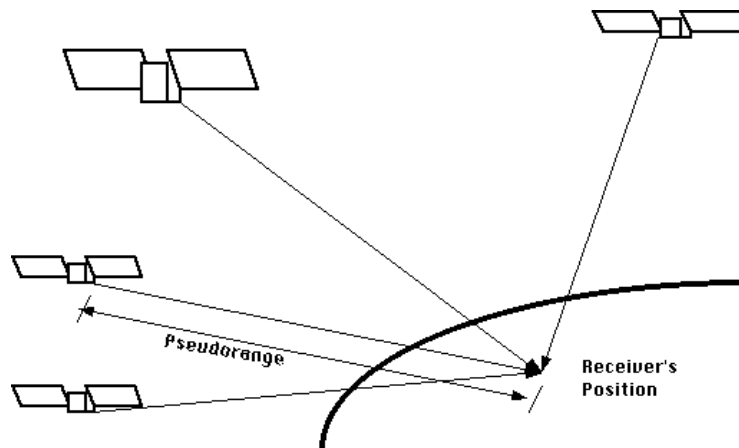
Ezek alapján a választás egy MEO összeállítású 24 műholdból álló rendszerre esett. A fejlesztés körülbelül 10 milliárd dollár volt, évi 500 millió dollár működtetési és karbantartási költségek mellett.

A fejlesztés során négy fontos technológia szempontot kellett teljesíteni:

- stabil űrplatformok irányítható pályákon;
- nagyon pontos órák;
- szórt spektrumú jeladás;
- integrált áramkörök.

A pozíció meghatározásához három távolság mérésére van szükség, három különböző objektumról. A GPS-nél az objektumok az ismert helyzetű műholdak, amik a világűrben 4 km/s-os sebességgel keringenek. A műholdak pozíciói mindig pillanatnyi időben értelmezettek, de ezeket akár 24-48 órával is előre lehet becsülni pár méteres pontossággal. A távolság a mérőeszköz és a műhold között abból az időtartamból számítható, ami alatt a jel a műholdtól a vevőig leér. Ezt a precíziós mérést az teszi lehetővé, hogy a jeleket pontos időzítéssel indítják, és az órák a műholdakon szinte tökéletesen szinkronizáltak. Ezeket felhasználva elérhető a jelek szélessávú (szórt) sugárzása. A mikroelektronikai fejlesztéseknek köszönhetően idővel a vevők egyre könnyebbek, kompaktabbak lettek.

Hogy mérni lehessen a tranzit időt a műholdtól a vevőig, szükséges a műhold és a vevő óráinak szinkronizálása. Ezt az olcsó quartz oszcillációs technológia vevőkbe történő beépítése tette lehetővé. Az eltérés a vevő órájában kihat a pillanatnyi mérésakor mindegyik műholdhoz tartozó tranzit időre. A mért távolságok így vagy rövidebbek, vagy hosszabbak lesznek. Ezeket a távolságokat nevezzük pszeidotávolságoknak (1. ábra). A vevő óra eltérése így válik a negyedik ismeretlenné, amelyet becsülni kell a három pozíció mellett. Emiatt szükséges legalább négy műhold jelének egyidejű vétele és így jön létre a négydimenziós pozíció a három térbeli pozícióból és az időből. [1]



1. ábra Pszeidotávolság

## GPS-hez kapcsolódó koordináta-rendszerek

### Az ECI inercia-rendszer

A Földközéppontú inercia-rendszer (Earth Centered Inertia) a bolygóközi mozgások tervezésekor fontos. Egy megválasztott fix időpontban tekintjük a Nap körül keringő és a tengelye körül forgó





## A GPS RENDSZERREL TÖRTÉNŐ POZÍCIÓ-, SEBESSÉG- ÉS IDŐ- BECSLÉS (POSITION-VELOCITY-TIME PVT ESTIMATION)

A vevő pozíciójának és sebességének meghatározásához tartozó matematikai lépések kiindulópontja a pszeudotávolság mérése, amelyet a vevő minden mérési időpillanatban minden látható műholdhoz rögzít. Ezeknek az adatoknak a rögzítésében zavaró tényezők is közrejátszanak, amelyekkel kalkulálni kell az adott feltételeknél a lehető legpontosabb pozícionálás érdekében.

### Vevőkészülék pozíciójának és az óra eltérésnek a becslése

A kiindulási egyenlet [2] alapján:

$$\rho^k(t) = r^k(t, t - \tau) + c[\delta t_u(t) - \delta t^k(t - \tau)] + I^k(t) + T^k(t) + \epsilon^k(t) \quad (1)$$

- $k$ : a műhold egyedi azonosítója
- $\rho^k(t)$ : a  $k$ -adik műhold pszeudotávolsága [m]
- $t$ : a jelfogadás ideje [s]
- $r^k(t, t - \tau)$ : valós vagy geometriai távolság a vevőkészülék  $t$  időpontban (a jel fogadási ideje) és a jelet sugárzó  $k$ -adik műhold ( $t - \tau$ ) időpontban (az átjátszás ideje) között [m]
- $\tau$ : a jel átviteléhez szükséges idő (néha késésnek hívják) a műhold és a vevőkészülék között [s]
- $c$ : fénysebesség vákuumban [m/s]
- $\delta t_u(t)$ : a vevőkészülék órájának eltérése a GPS időhöz viszonyítva a fogadás idejében [m]
- $\delta t^k(t - \tau)$ : a  $k$ -adik műhold órájának eltérése a GPS időhöz viszonyítva a jelkibocsátás idejében [s]
- $I^k(t)$ : a  $k$ -adik műholdhoz tartozó a Föld ionoszférája által okozott késleltetés [m]
- $T^k(t)$ : a  $k$ -adik műholdhoz tartozó a Föld troposzférája által okozott késleltetés [m]
- $\epsilon^k(t)$ : a  $k$ -adik műholdhoz tartozó véletlen, modellbe nem beépíthető távolsági hiba. Tartalmazza például a műhold pozíciójának bizonytalanságát, az óra eltérést, a vevőkészülék zaját és többutas terjedését (a vevő környezetében levő tárgyakról való jelvisszaverődés).

Az 1. egyenlet jobb oldalán lévő összes kifejezés a  $\delta t_u$ -t kivéve tartalmazza a  $k$  kitevőt. Ez azt jelenti, hogy bármely adott időben ezek a kifejezések különbözőek az egyes műholdakra. Azonban a  $\delta t_u$  kifejezés azonos az összes műhold mérésére – ez egy általános modellezési hiba minden mérésnél.

Ezt a tényt felhasználva az 1. egyenlet egyszerűsíthető az időre vonatkozó tagok elhagyásával és a hibák összevonásával, melyet  $\tilde{\epsilon}_T^k$ -val fejezünk ki (T a teljes pszeudotávolság-hiba). Tehát az egyes műholdaktól kapott, javított pszeudotávolság-mérések ezután egyszerűsíthetőek a 2. egyenletre:

$$\rho_c^k = r^k + c\delta t_u + \tilde{\epsilon}_T^k \quad (2)$$

- $\delta t_u$ : a vevőkészülék órájának eltérése [s]
- $r^k$ : vevőkészülék valós távolsága [m]

Az  $\tilde{\epsilon}_T^k$  nagysága és statisztikai természete befolyásolja a pozíció-sebesség-idő megoldás pontosságát. Minél kisebb és minél kevésbé korrelált, annál jobb a megoldás pontossága. Így először a GPS pszeudotávolság-mérések történnek meg, azért hogy csökkentsük az  $\tilde{\epsilon}_T^k$  nagyságát

és a lehető legkevésbé korrelálttá tegyük. A műholdak egy olyan üzenetet közvetítenek, mely segítségével megbecsülhető a  $\delta t^k$ ,  $I^k$  és a  $T^k$ , és ezután ezek eltávolíthatóak az  $\tilde{\epsilon}_T^k$  értékből. Tehát feltéve, hogy a műhold órája, az ionoszféra és a troposzféra okozta változások korrekciói meghatározottak, az  $\tilde{\epsilon}_T^k$  ezen korrekciók maradványértékeiből és nem modellezett hibákból fog állni. Ezen korrekciók kapcsolatát jelzi a c alsó index a távolságmérésekben.

Az ECEF koordináta-rendszerben a vevőkészülék helyzetét vizsgálva a jelfogadás időpontjában  $x_u=[x, y, z]$ , a műhold pozícióját vizsgálva a jelátvitel pillanatában  $x^k=[x^k, y^k, z^k]$  adódik. Belőlük a valós (vagy geometriai) távolság kifejezhető:

$$r^k = \sqrt{(x^k - x)^2 + (y^k - y)^2 + (z^k - z)^2} = \|x^k - x_u\| \quad (3)$$

A számítás elvégzéséhez szükség van arra, hogy a vevőkészülék és a műhold helyzete egyazon koordináta-rendszerben legyen kifejezve. A legáltalánosabban elterjedt ilyen referenciarendszer a GPS alkalmazásokra a WGS84 (World Geodetic Survey 1984), Föld-középpontú, Földet rögzítettnek tekintő koordináta-rendszer. Megjegyzésként említve, hogy WGS84 standard a felszint geoidnak definiálja, amely helyi földfelszíni referenciaként általánosan használt. A paramétereket, melyek a GPS-műholdak pontos pályáját írják le, egy navigációs adatüzenetben közvetítik, mely a WGS84 standardot használ. Ezt az információt a vevőkészülék használja arra, hogy kiszámolja a műhold pozícióvektorait ( $x^k$ ), a jelátvitel időpontjában. Ha ezt behelyettesítjük a 2. egyenletbe és egyszerűsítjük a vevőkészülék órájának teljes hibáját a  $b=c\delta t_u$  kifejezéssel, akkor a következő egyenlethez jutunk:

$$\rho_c^k = \|x^k - x_u\| + b + \tilde{\epsilon}_T^k \quad (4)$$

- $b$ : vevőkészülék óraeltérése
- $\tilde{\epsilon}_T^k$ : teljes pszeudotávolság-hiba

A 4. egyenlet megadja a  $k$ -edik műhold korrigált pszeudotávolság-méréseit figyelembe véve a vevőkészülék pozícióvektorának  $x_u=[x, y, z]$  WGS84 pozíciókoordinátáit. A hibátényező valamilyen szinten minimalizálható különböző technikákat használva, de teljesen sosem eliminálható. Az egyenlet ismeretlenjei a készülék pozíciójának három koordinátája és az óra mérési hibája, az óraeltérés. Tehát, ha adott legalább 4 pszeudotávolság-mérés, akkor ezt a 4 ismeretlent megbecsülhetjük

A vevőkészülék pozíciójának és az óra elmozdulásának becslésére a standard eljárás, hogy először linearizáljuk a pszeudotávolság-méréseket (4. egyenlet) egy a vevőkészülék pozíciójára és az óra eltérésére adott hozzávetőleges nyers becslés körül és aztán iteráljuk, amíg a különbség a becslés és a mérések között 0 lesz. Ebből az következik, hogy némi információra szükség van az vevőkészülék eredeti pozíciójáról, mert ezt a megoldást nem befolyásolja az eredeti (vagy hozzávetőleges) becslés. Ha az eredeti durva becslés a vevőkészülék pozíciójára és az óra eltérésre vonatkozóan  $x_0 = [x_0, y_0, z_0]$  és  $b_0$ , akkor a megfelelő becsült pszeudotávolság a  $k$ -edik műholdra nézve:

$$\rho_0^k = \|x^k - x_0\| + b_0 \quad (5)$$

Ezt követően az eredeti becslésen alapuló becsült pszeudotávolságok  $\rho_0^k$  és a mért, de korrigált pszeudotávolságok  $\rho_c^k$  a 4. egyenletből lineáris egyenletekkel összevonhatóak. Ez történhet a

valós vevőkészülék-pozíciót ( $x_u=[x, y, z]=x_0 + \delta x$ ) és a vevőkészülék óraeltérését ( $b = b_0 + \delta b$ ) kifejezve. Azaz azt feltételezzük, hogy a valós vevőkészülék-pozíció és az óra eltérése egyenlő a hozzávetőleges becslés értékével, melyre egy lineáris korrekciót alkalmaztunk (egy korrekciót, mely alapvetően elég nagy lehet). Ezeket a kapcsolatokat felhasználva, kifejezhetőek (a pszeudotávolság korrekciójának kifejezésével) a 4. és 5. egyenletekben található becslt és korrigált pszeudotávolság-kifejezések és megadhatóak a keresett négy ismeretlenhez. A becslt és mért pszeudotávolságok közti eltérés adja a kiindulópontot:

$$\delta \rho^k = \rho_c^k - \rho_0^k \quad (6)$$

$$\delta \rho^k = \|x^k - x_u\| + b + \tilde{\epsilon}_T^k - [\|x^k - x_0\| + b_0] \quad (7)$$

$$\delta \rho^k = \|x^k - x_0 - \delta x\| + b_0 + \delta b + \tilde{\epsilon}_T^k - \|x^k - x_0\| - b_0 \quad (8)$$

A 8. egyenlet Taylor-sorozat kifejtését alkalmazva kapjuk, hogy

$$\delta \rho^k = -\frac{(x^k - x_0)}{\|x^k - x_0\|} * \delta x + \delta b + \tilde{\epsilon}_T^k = -L_{unit}^k * \delta x + \delta b + \tilde{\epsilon}_T^k \quad (9)$$

ahol

$$L_{unit}^k = \frac{(x^k - x_0)}{\|x^k - x_0\|} \quad (10)$$

- $L_{unit}^k$ : a láthatósági egységvektor, a vevőkészülék becslt helye és a  $k$ -edik műhold közötti irány

Ha egynél több műhold mérési adatai elérhetőek, akkor a fenti egyenlet az alábbi formában összevonva is leírható:

$$\delta \rho = \begin{bmatrix} \delta \rho^1 \\ \delta \rho^2 \\ \dots \\ \delta \rho^K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(L_{unit}^1)^T & 1 \\ -(L_{unit}^2)^T & 1 \\ \dots & 1 \\ -(L_{unit}^K)^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta b \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{\epsilon}_T^1 \\ \tilde{\epsilon}_T^2 \\ \dots \\ \tilde{\epsilon}_T^K \end{bmatrix} \quad (11)$$

- $K$ : a vevőkészülék által generált műholdmérések összes száma,  $K \geq 4$

$K$  értékének azért kell nagyobb vagy egyenlőnek lennie 4-gyel, hogy mind a négy ismeretlenre megoldható legyen. A felső  $T$  index mutatja a mátrixtranszponálást. A 11. egyenlet leírható a  $G$  mátrix segítségével, melyet geometriai mátrixnak hívunk:

$$\delta \rho = G \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta b \end{bmatrix} + \tilde{\epsilon}_T \quad (12)$$

ahol

$$G = \begin{bmatrix} -(L_{unit}^1)^T & 1 \\ -(L_{unit}^2)^T & 1 \\ \dots & 1 \\ -(L_{unit}^K)^T & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

A geometriai mátrixban található láthatósági vektorok közösen meghatározzák a pozícióbecslés geometriájának minőségét.  $G$  mátrixot a DOP-értékek (pontosságígulás) kiszámítására használjuk, melyek jó indikátorai a becslt helyzet pontosságának, erről később esik szó.

Mielőtt ezeket az egyenleteket megoldanánk a becsült korrekciós értékekre,  $\delta x$  és  $\delta b$ , fontos, hogy tisztázzunk néhány problémát a 11. egyenlettel kapcsolatban. Az első, hogy az iterációs megoldás elvégzési sorrendje függeni fog a vevőkészülék-műhold rendszer geometriájától, amely hatással van a  $G$  mátrix rangjára. Problémák akkor léphetnek fel, ha a  $G$  nem minden oszlopa lineárisan független (vagy közel lineárisan független egymástól). Ez akkor történhet meg, ha minden műhold egy három dimenziós tér ugyanabban a síkjában vagy ahhoz nagyon közel található. Például, képzeljük el, hogy egy vevőkészülék észak felé tart magas városi épületek között. Az épületek az út-irány keleti és nyugati oldalán helyezkednek el. Ilyen magas épületek közt navigálva egy síkban (észak és dél) jó rálátás van az égre (a vevő szempontjából), viszont rossz a merőleges irányban (kelet és nyugat), ahol az épületek műholdak jelentős mennyiségét blokkolják, melyek rendes esetben méréseket biztosítanak. Ilyen feltételek mellett elképzelhető, hogy a használt műholdak egy síkhoz közel kerülnek, tehát olyan helyzetet teremtenek, ahol a  $G$  oszlopai nem lineárisan függetlenek egymástól (vagy ehhez közel vannak). Ez komolyan ronthatja a pozícióbecslést.

A második probléma azokkal a hibákkal kapcsolatos, amelyek akkor keletkeznek, amikor a jelátviteli késés ( $\tau$ ), nincs forgás szerint korrigálva. Ez az a kis szögelmorzulás (kb. 72  $\mu\text{rad}/\text{sec}$ ), amely az alatt történik, amíg a jel eljut a műholdból a vevőkészülékig. Ennek a mozgásnak a kompenzálása megtörténhet a műholdpozíció-vektor ( $\tilde{x}^k$ ) eredeti becslésének egy kis összeggel való visszafelé forgatásával, hogy meghatározzuk az  $x^k$  helyes értékét. A műhold pozícióját a következő egyenlet adja meg:

$$x^k = \begin{bmatrix} \cos(\omega_E \tau) & \sin(\omega_E \tau) & 0 \\ -\sin(\omega_E \tau) & \cos(\omega_E \tau) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \tilde{x}^k \quad (14)$$

- $\tau$ : hozzávetőleges jelátviteli késés
- $\omega_E$ : Föld forgási sebessége

Optimális esetben ezt a korrekciót iterálni kellene, ahogy az változik a műhold helyzetének korrigálásával. Azonban a gyakorlatban egy korrekció is majdnem mindig elegendő, hogy a hibát elfogadható mértékűre csökkentsük.

Ha az  $\tilde{\epsilon}_T$  vektorban lévő hibák átlaga 0 és korrelálatlanok, akkor a  $\delta x$  és  $\delta b$  optimális becslése (11.) (a legkisebb négyzetek elve alapján) a következő egyenlet alapján kapható meg:

$$\begin{bmatrix} \delta x \\ \delta b \end{bmatrix} = (G^T G)^{-1} G^T \delta \rho \quad (15)$$

Jegyezzük meg, hogy ez az egyenlet csak akkor oldható meg a legkisebb négyzetek elve segítségével, ha a megoldás jól meghatározható (pl.  $k > 4$ ). Ha a mérések száma a minimálisan szükséges négy, akkor az eredmény lineáris egyenletek megoldásával kapható meg. Ettől függetlenül ennek az egyenletnek a megoldása a mi eredeti becslésünkhöz ad korrekciókat ( $\delta x$  és  $\delta b$ ), melyek most már újra alkalmazhatók az eredeti kiindulóponton. Az új kezdőpont a következő iterációhoz:

$$x_{0|new} = x_{0|old} + \delta x \quad (16)$$

$$b_{0|new} = \delta b \quad (17)$$

A fenti lépések (5-től kezdve) ezután ismétlődnek, amíg a korrekcióvektorok 0-hoz nem konvergálnak.



Ezen a ponton két fontos dolgot kell megemlíteni. Először is, amikor az 5. egyenletet kiszámoljuk a  $b_0$  értéke általában 0. Ez abból a tényből ered, hogy az óra mérési hibáját minden egyes iterációs lépésben a becsült pozíció alapján számoljuk. Ezért, ha a pozíció becslése elérte az óra mérési hibájának értékét, ebben az iterációs lépésben a  $\delta b$  lesz a legjobb becslés. Másodszor, amikor a 15. egyenletben a  $\delta x$  és  $\delta b$  becsléseit a legkisebb négyzetek módszerével generáljuk, akkor azt feltételezzük, hogy minden pszeudotávolság-mérés ugyanolyan minőségű. Ez szinte sosem igaz. Gyakran az alacsonyabban lévő (vagy emelkedő vagy süllyedő) műholdak nagyobb atmoszféra okozta hibákat tartalmaznak és ezek a pozícióbecslést pontatlanabbá teszik. [2]

### A vevőkészülék sebességének és az óracsúszásának a becslése

A sebességbecslés a 2. egyenlet deriváltjának a legkisebb négyzetek elvével való megoldásával generálható. Azaz,

$$\dot{\rho}_c^k = \dot{r}^k + \dot{b} + \dot{\epsilon}_T^k \quad (18)$$

Ez a kiindulópont a sebességegyenlet meghatározásához. Ha hasonló logikát követünk, mint a helymeghatározás esetében, akkor ez az egyenlet átírható a műhold és vevőkészülék közti relatív sebességekre és láthatósági egységvektorokra. Az egyenlet ekkor így fejezhető ki:

$$\dot{\rho}^k = [v^k - v_u] * L_{unit}^k + \dot{b} + \dot{\epsilon}_T^k \quad (19)$$

- $\dot{\rho}^k$ : a  $k$ -adik műhold pszeudotávolság-aránya [m/s]. Azért tűnt el a  $c$  alsó index, mert a pszeudotávolság-arány mérések nem korrigálhatók a felhasználás előtt
- $v^k$ : a  $k$  műhold sebességvektora (általában navigációs adatokból számolva, [m/s])
- $v_u$ : vevőkészülék sebességvektora (ismeretlen, [m/s])
- $L_{unit}^k$ : a műhold és a vevőkészülék közti láthatósági egységvektor a 10. egyenletből
- $\dot{b}$ : a vevőkészülék óracsúszása (ismeretlen, [m/s])
- $\dot{\epsilon}_T^k$ : az ismeretlen pszeudotávolság-arány hibák összege [m/s]

Ezt az egyenletet megváltoztathatjuk az alábbi lépésekkel annak érdekében, hogy iteráció nélkül kapjunk egy egyenletet a vevőkészülék sebességére és az óracsúszására vonatkozóan. Először csoportosítsunk minden ismert vagy mért értéket egy oldalra

$$\dot{\rho}^k - (v^k * L_{unit}^k) = -(v_u * L_{unit}^k) + \dot{b} + \dot{\epsilon}_T^k \quad (20)$$

Ezt a geometriai mátrix segítségével átírva

$$\dot{\rho}^k + G_k \begin{bmatrix} v^k \\ 0 \end{bmatrix} = G_k \begin{bmatrix} v_u \\ \dot{b} \end{bmatrix} + \dot{\epsilon}_T^k \quad (21)$$

- $G_k$ : a  $G$  mátrix  $k$ -adik sora

Feltéve, hogy elegendő mérés áll rendelkezésre, egyenletrendszer alakíthatunk és oldhatunk meg a legkisebb négyzetek elvét alkalmazva a  $v_u$  és  $b_k$  változókra:

$$\begin{bmatrix} v_u \\ \dot{b} \end{bmatrix} = (G^T G)^{-1} G^T * T \quad (22)$$

ahol



$$T = \dot{\rho}^k + G_k \begin{bmatrix} v^k \\ 0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

A 22. egyenletet használva és megoldva, a vevőkészülék sebességét és óracúszását közvetlenül meghatározhatjuk, ahogyan az később az adatok elemzésénél is látható lesz.

A folyamat lépései összefoglalva. Először számoljuk ki a  $G$  mátrixot pontosan úgy, ahogyan a helyzet-meghatározásnál. Építsük fel a műhold sebességmátrixát ( $V_S$ ), melyhez a műhold navigációs adatai (ephemeris információ) által meghatározott műhold sebességvektorokat használunk.

Konvertáljuk át a vevőkészülék Doppler frekvenciaméréseit pszeudotávolság-arányokká. Ez csak akkor szükséges, ha Doppler frekvenciamérést használunk. Lehetséges egy pszeudotávolság-arány mérés közvetlen eredményének használata is, ha ez rendelkezésre áll. A Doppler frekvenciamérés pszeudotávolság-aránnyá való konvertálása egyenesen következik ebből és a következő összefüggéssel történik:

$$\dot{\rho}_c^k = \frac{cD}{f} \quad (24)$$

- $D$ : a mért Doppler frekvencia
- $f$ : a nominális jel átviteli frekvencia
- $c$ : a fénysebesség

Alternatív módon a pszeudotávolság-arány kiszámítható a vivőfázis-mérések egy rövid időintervallumon belüli differenciálásával is.

Számoljuk ki a  $T$  vektort az egyedi műhold pszeudotávolság értékekből, sebességekből és geometriából. Ezután becsljük meg a vevőkészülék sebességét és az óracúsaszt közvetlenül a mátrixok 20. egyenletbe való behelyettesítésével.[2]

### Idő becslése

A számítás, ami ahhoz szükséges, hogy megbecsüljük azt az időt, amikor a vevőkészülék mérései megtörténtek, már részben kész van. Azaz a vevőkészülék órájának eltérését ( $b$ ) már kiszámoltuk a helymeghatározás során. Amire szükség van még, az annak meghatározása, hogy mi az az abszolút idő, amihez ezt az eltérést viszonyítanunk kell. Ezt a műhold navigációs adat-üzenetében lévő adat segítségével elvégezhetjük. A navigációs adatáramlásban belül van egy GPS időbélyegző minden egyes közvetített jelben. Ezt az információt alapvetően a vevőkészülék a pszeudotávolság-mérések végzésére használja, de arra is használható, hogy beállítsuk a vevőkészülék óráját. Így a pontos GPS idő, amikor a vevőkészülék rögzítette a pszeudotávolság- és Doppler-méréseket, a következő módon fejezhető ki

$$t = t_{ref} + b \quad (25)$$

- $t$ : a jel fogadási ideje
- $t_{ref}$ : az eredeti GPS referencia idő, melyet a műhold navigációs üzenetéből kapunk meg
- $b$ : a vevőkészülék órájának eltérése. A referencia idő GPS hetekben és a hét adott másodpercében van megadva, mely könnyen átváltható akár UTC-re vagy akár helyi időre. [2]



## Ionoszféra-hibák hatása a becslésre

Az ionoszféra-hibák jelentősek lehetnek, főként erős naptevékenység idején. Sok esetben ez a hiba elég nagy lehet ahhoz, hogy nagymértékben behatárolja a pozicionálás hatékonyságát bizonyos alkalmazásokban. Hogy jobban megértsük a tipikus ionoszféra-hibák nagyságát (ahol az 5 m-nél nagyobb pszeudotávolság-hiba nem ritka) vegyünk alapul a jól ismert Klobuchar-modellt [3]. A modell alapján a különböző frekvencián készített mérések kombinálásával az ionoszféra okozta ( $I^k$ ) pszeudotávolság-hibák minden egyes frekvencián becsülhetők. A közeljövőben több frekvencián lesznek elérhetőek a műhold jelek a civil felhasználóknak (pl. GPS L2 és L5). Tehát, az ionoszféra-hiba becsült értékeit ( $I^k$ ) elhagyhatjuk az 1-es egyenletből.

Vegyünk a  $k$  műhold által készített két következő mérést:  $\rho_{f_1}^k$  és  $\rho_{f_2}^k$ , ahol az  $f_1$  és  $f_2$  a két pszeudotávolság mérésének frekvenciája. Ezek bármely, ugyanazon műhold által közvetített frekvenciák kombinációi lehetnek, melyek hamarosan elérhetőek lesznek. Ez a két pszeudotávolság-mérés használható arra, hogy közvetlenül megfigyeljük vagy megbecsüljük az ionoszféra által okozott távolsághibát, és így javítsuk a pszeudotávolság-mérést. Az ionoszféra által okozott késés egy bizonyos frekvencián, legyen  $f_1$ , a következő egyenlettel becsülhető:

$$I_{f_1}^k = \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} (\rho_{f_2}^k - \rho_{f_1}^k) \quad (26)$$

Ebben az esetben  $f_1=L1=1575.42$  MHz és  $f_2=L2=1227.60$  MHz:

$$I_{f_1}^k = 1.546 \times (\rho_{f_2}^k - \rho_{f_1}^k) \quad (27)$$

Ahogy az 1. egyenletnél tárgyaltuk, ezek a mérések nem küszöbölnek ki más rendszerhibákat (úgy mint a troposzféra által okozottakat). Továbbá, két zajt tartalmazó pszeudotávolság-mérés kombinálása a mérési zaj növekedését idézheti elő. Azonban ha elimináljuk az ionoszféra-hibák gyakran nagy értékét, akkor ennek a technikának a használata majdnem mindig pozitív a helymeghatározás pontosságát figyelembe véve. [2]

## A műhold-vevőkészülék geometriájának hatása a becslésre (DOP)

A műhold-vevőkészülék geometriájának nagy hatása lehet a műholdakból kinyert pozíciósebesség-idő becslések pontosságára. Azaz az egyes műhold-vevőkészülék geometriák nagyobb pontosságú eredményt adnak, mint mások. Ezért szükséges egy műhold-vevőkészülék geometriák összehasonlítására alkalmas módszer. Az általánosan használt eljárás ennek a hatásnak a mérésére a pontosságígulás (Dilution of Precision - DOP), amely megmutatja annak az értékét, hogy melyik műhold-vevőkészülék geometria mennyire rontja a becslések pontosságát. Ahogy az korábban említésre került, a DOP-ról lévő információink a geometriai mátrixban ( $G$ ) találhatóak. A DOP-mátrixot ( $H$ ) a  $G$  mátrixból a következőképp számítjuk:

$$H = (G^T G)^{-1} = \begin{bmatrix} H_{11} & - & - & - \\ - & H_{22} & - & - \\ - & - & H_{33} & - \\ - & - & - & H_{44} \end{bmatrix} \quad (28)$$

Ha a műhold és a vevőkészülék koordinátái kelet-észak-fel (East-North-Up ENU) koordinátákban vannak kifejezve, akkor a  $H$  mátrix diagonálisában lévő értékek gyökét a következőképp

hívjuk: kelet DOP  $EDOP = \sqrt{H_{11}}$ , észak DOP  $NDOP = \sqrt{H_{22}}$ , függőleges DOP  $VDOP = \sqrt{H_{33}}$ , idő DOP  $TDOP = \sqrt{H_{44}}$ . Ezeket a DOP értékeket néha kombináljuk, hogy új DOP-okat kapjunk, mint például a teljes geometriai DOP  $GDOP = \sqrt{H_{11} + H_{22} + H_{33} + H_{44}}$ , a háromdimenziós pozíció DOP  $PDOP = \sqrt{H_{11} + H_{22} + H_{33}}$  és a kétdimenziós vízszintes helymeghatározó DOP vagy  $HDOP = \sqrt{H_{11} + H_{22}}$ . Megjegyzendő, hogy sok szárazföldi alkalmazásban, amikor feltételezhető, hogy a vevőkészülék a földön van és a magassága korlátozott, a HDOP javulni fog.

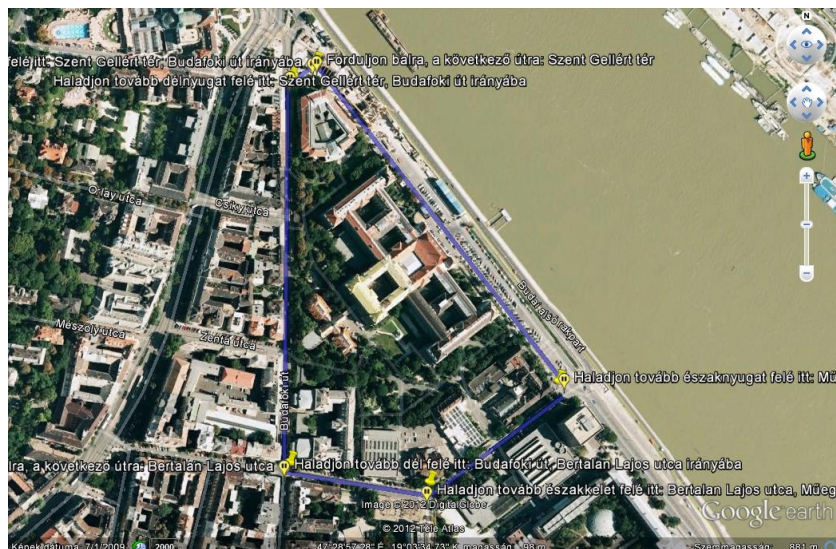
A DOP értékeket tekinthetjük úgy, mint a kapcsolat a pszeudotávolság-hibák és a pozíció-sebesség-idő becslési hibák között. Mivel a DOP-ok változnak, ahogy a műhold-vevőkészülék geometria is változik az idő előrehaladtával, ez azt okozza, hogy a pszeudotávolság-mérés hibájának adott szintje különböző szintű becslési-hibákban fog megjelenni. Tehát a DOP-érték egy általános jelzőszám arra, hogy a vevő eredménye milyen minőségű. [2]

## Szimulációs adatok elkészítése és az adatfeldolgozási módszerek összehasonlítása MATLAB környezetben

### Szimulációs program alkalmazása

A tetszőleges útvonalhoz tartozó szimulációs adatok létrehozásához a [2] mellékletében található egy GNSS Simulator nevű program, melyet felhasználva adott útvonalhoz a program szimulált műhold láthatóságokat és az azokhoz tartozó adatokat generálja.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem körül egy szimulált utat tettünk. Megadva az érinteni kívánt pontokat, a program szimulál ehhez az útvonalhoz GPS adatokat. Ezek a nyers adatok, amelyeket a mobil eszközök, a számítógépek tovább analizálnak, megkapva a pozíciót és a sebességet.



3. ábra A szimuláció útvonala

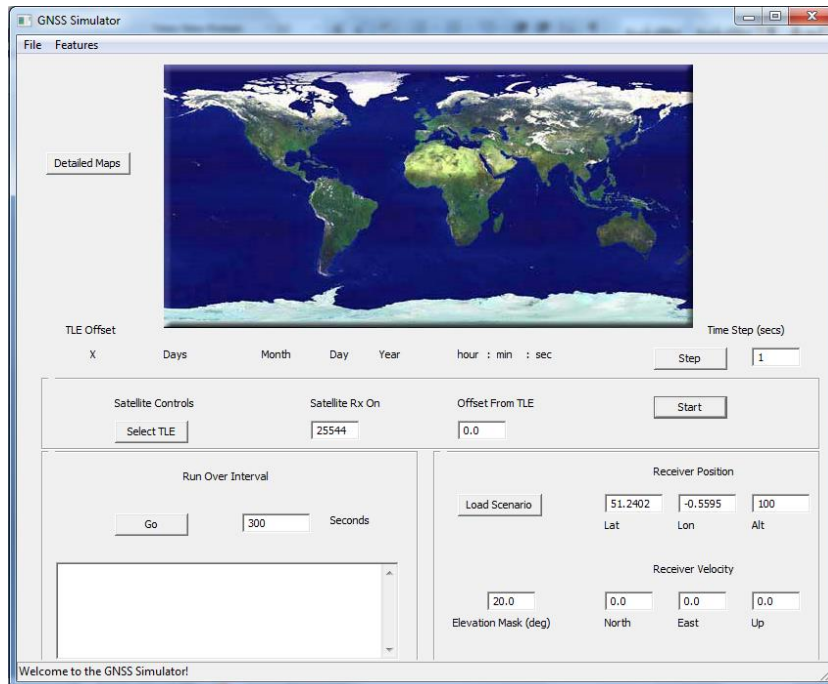
A 3. ábrán a tervezett séta útvonala látható.

A programnak szüksége van az útvonalhoz tartozó adatokra: az aktuális mozgást hat ponttal



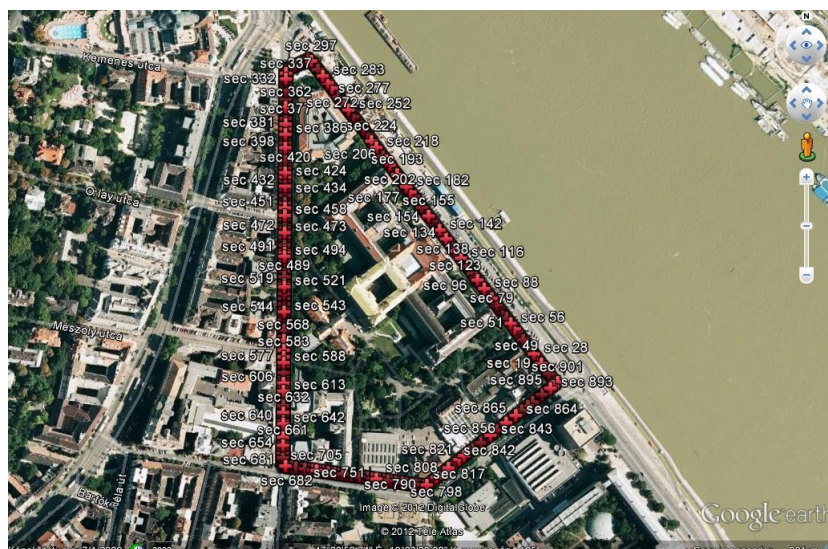
lehetett leírni, a kiindulási ponttal, négy irányváltási ponttal és egy érkezési ponttal, ami megegyezett a kiindulási ponttal.

Az adatoknál meg kellett adni az időintervallumot, amely között az adott mozgás történik, a szélességi és hosszúsági fokokat, a magasságot, a sebességet, ami 1 m/s volt, a magasság változást, ami a domborzati viszonyok miatt 0 m volt, valamint a bejelentkezési időt, azaz, hogy milyen időközönként kerüljenek az adatok rögzítésre. Ez az érték 1 másodperc volt.



4. ábra Szimulációs program felülete

A programba betöltve (4. ábra) az elkészített útvonalat elkészül két .dat fájl, amik tartalmazzák a szimulált értékeket és kapunk egy .kml fájl is, amit Google Earth-ben megnyitva megjelennek a konkrét pontok, amelyek a rögzítés időpillanatához tartozó pozíciók (5. ábra).



5. ábra A szimulált pontok térképen megjelenítve





## **GPS szimulációs adatok feldolgozása MATLAB környezetben legkisebb négyzetek módszerével és Kálmán-szűrővel**

### *Adatstruktúra*

A [2] harmadik fejezete foglalkozik részletesen az adatok feldolgozásával, a hibák kalkulációjával.

Ehhez készült egy MATLAB környezetű program [2], amiben a felhasználó választhat földi, egy- és kétfrekvenciás mérések, illetve űrbeli vevő esetek elemzései közül.

Az alkalmazás betölti a szimulációs fájlt.

Az alábbi adatok találhatóak meg a szimulációs fájlban:

- a valós pozíció ECEF koordináta-rendszerben;
- a valós pozíció LLH koordináta-rendszerben;
- a szimulált pozíció ECEF koordináta-rendszerben;
- a szimulált pozíció LLH koordináta-rendszerben;
- a szimulált pozíció ENU koordináta-rendszerben;
- látható műholdak száma;
- a szimulált VDOP értéke;
- a szimulált GDOP értéke;
- a szimulált valós sebesség;
- a szimulált becsült sebesség;
- az aktív műholdak azonosítója.

Külön rögzítésre kerülnek az első pont ECEF koordinátái, melyeket később még referencia-pontként felhasználunk.

Ezek után belépünk az első iterációs hurokba, ami annyiszor fut le, ahány időponthoz tartozó adatsor szerepel a fájlban. Majd a második iterációba belépve az egy időponthoz tartozó adatok számítására kerül sor. Ez annyiszor fut le ahány aktív, látható műhold szerepel az adott időpillanathoz tartozó sorban.

Egyenként beolvasásra kerül a pszeudotávolság, a műhold X, Y, Z pozíció-, és sebesség-koordinátái, a Doppler értéke.

### *Adatfeldolgozás a legkisebb négyzetek módszerével*

#### **Pozíció megoldás**

Először meghatározunk maximális iterációs számot, amely nem feltétlenül fut végig, ezt a későbbiekben még részletesen tárgyaljuk. Ezután ismét egy aktív műhold számú iteráció kezdődik, amelyben beolvasásra kerül az adott műholdhoz tartozó pszeudotávolság. A műhold rögzített pozíciójának értékét a Föld forgásából származó eltérés miatt pontosítani kell. Az idő alatt, amíg a jel leérkezik a vevőhöz a bolygó forgási szögsebességéből származik egy eltérés. Meghatározzuk a műhold eredeti pozíciójának és a vevő pozíciójának a különbségeként előálló mátrix normáját. Ez a feltételezett pszeudotávolság, amit elosztva a fénysebességgel megkapjuk azt az időt, ami a jelátvitelhez szükséges a műholdról a vevőre. Ezt megszorozva a Föld forgási sebességével megkapható az a szögeltérés, ami a jelközlés ideje alatt történt. Ebből képezhető



egy rotációs mátrix, amit megszorozva a műhold rögzített pozíciójával rendelkezésünkre áll a műhold helyzete a jelkibocsátás időpontjában.

A pontosított műhold pozíció és a vevő pozíciójának különbségeként előálló mátrix normája megadja a feltételezett pszeudotávolságot. A műhold és a vevő pozíciójának különbségének és feltételezett pszeudotávolság (vevő pozíció és a Föld forgásával pontosított műhold pozíció különbségéből képzett mátrix normálja) hányadosából megkapható a láthatóság egységvektora.

Ennek felhasználásával elkészíthető a geometria mátrix, majd a korrekció is számolható. A korrekciós mátrix első három értéke a vevő pozícióhoz hozzáadva megadja a becsült pozíciót. A negyedik elem a mátrixból a vevő órahibája.

Itt kerül figyelembe vételre a fentebb meghatározott maximális 10 iteráció. Ha a pozíciókorrekciók normája kisebb, mint 0,001 méter akkor az iteráció megszakad. Ekkor meghatározható a GDOP (Geometric Dilution of Precision, Geometriai Pontosság Hígulás) értéke.

Meghatározás szerint a GDOP fordítva arányos a meghatározandó pontról a műholdakra menő irányok egységvektorai által határolt gúla köbtartalmával.

Ha tehát a gúla köbtartalma kicsi, következésképpen a GDOP nagy, a helymeghatározás pontossága pedig alacsony. A fordított esetben, amikor a gúla köbtartalma nagy, a GDOP pedig kicsi, a pontmeghatározás pontossága megnő. Számíthatóak különböző DOP értékek, például EDOP (kelet), NDOP (észak), VDOP (vertikális), TDOP (idő).

A DOP értékek fejezik ki a pszeudotávolságok és a pozíció-, sebesség-, időbecslés hiba közötti kapcsolatot.

A végleges pozíciókat mentve, illetve átalakítva más koordináta rendszerekbe is (LLH, ENU) a pozíció megoldás lezárul. A pozíció hiba a kiszámított pozíció és a valós pozíció különbségének normájával kapható.

### Sebesség megoldás

A számításához szükségesek a műholdak sebessége és az egyes műholdakhoz tartozó Doppler értékek. Ezek beolvasásra kerülnek az algoritmus elején. Kiszámítjuk a pszeudotávolság arányt a Doppler értékének és a hullámfrekvenciának a hányadosaként, megszorozva a fénysebességgel. Szükség van egy segédvektorra ( $T$ ), amelyet már a matematikai lépéseknél is ismertettünk, 23. egyenlet.

Ennek felhasználásával számítható a sebességmegoldás egyenlete, 22. egyenlet.

A kapott mátrix első három eleme a sebességkorrekció ( $v_u$ ), a negyedik pedig az óracúszás értékét ( $\dot{b}$ ) adja meg, ami abból adódik, hogy a vevő órája nem fut olyan pontossággal, mint a műhold atomórája.

A kapott sebességkorrekciókat (ECEF-koordináták) a vevő koordinátához adva kapjuk a sebességvektorokat ECEF rendszerben. Ebből átszámítható helyi koordináta-rendszerbe (ENU) a sebesség és megkapható a felszíni sebesség, azaz a vevő tényleges haladási sebessége.

### *Adatfeldolgozás kiterjesztett Kálmán-szűrő (Extended Kalman Filter-EKF) használatával*

A Kálmán-szűrési technika a Gauss-féle legkisebb négyzetek módszerén alapul. A módszer alap gondolata szerint:

- ha valamely mennyiségek meghatározására méréseket végzünk, és a mérések száma nagyobb, mint amennyi a megoldáshoz feltétlenül szükséges, akkor az elkerülhetetlen mérési hibák miatt a mérések ellentmondanak egymásnak
- az ellentmondásokat úgynevezett kiegyenlítéssel szüntetjük meg úgy, hogy minden méréshez egy-egy javítást rendelünk
- a végtelen sok javítási rendszer közül azt választjuk, amelyben a javítások a legkisebbek

A Kálmán szűrési módszer dinamikus rendszerek állapotának becslésére alkalmas. A rendszert leíró paraméterek becsült értéke egyrészt az adott időpontban végzett mérés, másrészt a korábbi mérések alapján végzett előrejelzés együttes figyelembe vételével határozható meg. [5]

A pozíció-sebesség-idő becslés kiterjesztett Kálmán-szűrő használatával is lehetséges. Alapjában véve az EKF-alapú megoldás nem sokban különbözik a korábban tárgyalt legkisebb négyzetek módszerével történő megoldástól. Ez azért van, mert ahogy fentebb is olvasható az EKF nagy vonalakban nem több mint egy súlyozott, rekurzív legkisebb négyzetek elvét használó becselő módszer. Egy jelentős különbség a fent tárgyalt legkisebb négyzetek módszerével történő megoldás és az EKF-fel történő megoldás között az, hogy az EKF használatához valamennyi ismeret szükséges a vevőkészülék dinamikájáról, ennek ismeretében kell a szűrőt inicializálni. Ha ezek a kezdeti értékek nem helyesek, akkor problémák merülhetnek fel a használatban. Azonban, ha ezek az inicializált értékek egy EKF-számítás megalapozott eredményei, akkor gyakran jobbak lesznek, mint a legkisebb négyzetek módszerének eredményei. [2]

A Kálmán-szűrő használata változtat a legkisebb négyzetek módszerénél alkalmazott algoritmuson. A beolvasott fájlban szereplő adatok megegyeznek a fejezet elején felsoroltakkal. A szűréshez szükségesek kiindulási értékek a vevő valós pozíciója és sebessége, valamint definiálunk egy állapotvektort, amelyben szerepel a pozíció  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  értéke, az óraeltérés, a sebesség  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  értéke és az óracúsúsás. Ezek a kiindulási állapotban az első koordináták, amelyeket az előbb határoztunk meg.

Ezt követően belépünk egy ciklusba, amely annyiszor fut le, ahány időpontot vizsgálunk. Ebben az állapotvektort frissítjük minden időpillanatban, amelyhez szükséges az időváltozás meghatározása. Ezt megszorozva egy nyolcad rendű egységmátrixszal ( $\Phi$ ) és az előző időpontbeli állapotvektorral meghatározható az adott pillanatbeli állapotvektor ( $x$ ), valamint meghatározásra kerül a kovariancia mátrix ( $P$ ). Beolvasásra kerülnek a pszeudotávolságok a műhold pozíció és sebesség értékek, valamint a Doppler értéke, egy belső iterációs ciklusban, amely annyiszor ismétlődik, ahány műhold látható abban az időpillanatban.

A műhold pozíciója ismét pontosításra kerül a Föld forgása miatt. A feltételezett pszeudotávolság előáll a vevő pozíció és a pontosított műhold helyzet különbségének a normálásával, amihez még hozzáadódik az óraeltérés. A megfigyelt és feltételezett távolság különbsége így számítható, aminek felhasználásával a láthatósági egységvektor is kalkulálható. A feltételezett Doppler arány számítható a vevő által rögzített óracúsúsásból, a műhold sebességéből és a láthatósági egységvektorból. A mért Doppler arány pedig ismét a fénysebesség és a mért Doppler érték szorzata elosztva a jel frekvenciájával. Képezzük a mért és a feltételezett Doppler különbségét.

A láthatósági egységvektorból ismét előáll a geometriai mátrix, és ezzel a műholdszámokon alapuló ciklus lezárul.

Az állapotmátrix és a kovariancia mátrix frissítésének érdekében először képezzünk egy mátrixot, amelynek a főátlójában kétszer szerepel a geometriai mátrix.

$$H = \begin{bmatrix} G & 0 \\ 0 & G \end{bmatrix} \quad (29)$$

Majd a pszeudotávolság különbséget ( $\delta\rho^k$ ) és a Doppler különbséget ( $\delta d^k$ ) egy vektorba rendezzük.

$$z = \begin{bmatrix} \delta\rho^k \\ \delta d^k \end{bmatrix} \quad (30)$$

Ezután készítsünk egy egységmátrixot ( $R$ ), amelynek rendje a műholdszám kétszerese.

$$R = E\{k, k^T\} \quad (31)$$

A következő lépésben meghatározzuk a Kálmán-erősítésmátrixot ( $K$ ).

$$K = P * H^{-1} * (H * P * H^{-1} + R)^{-1} \quad (32)$$

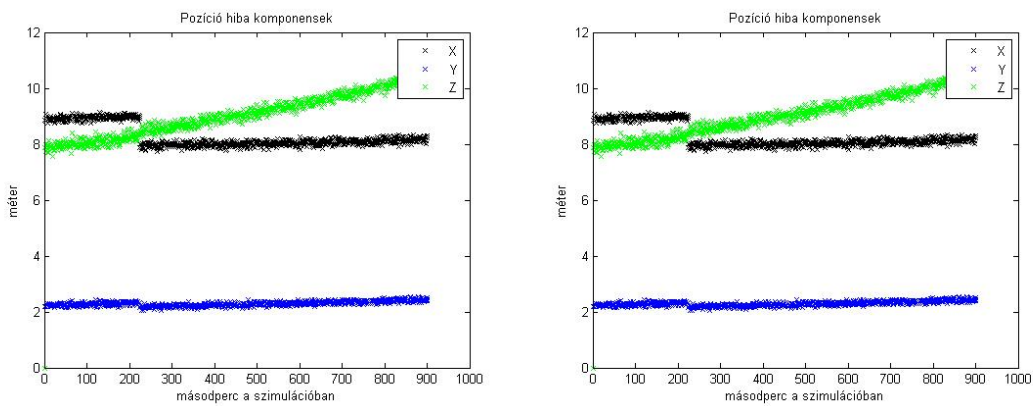
Végül frissíthető az adott időpillanatbeli állapotmátrix ( $x_t$ ) és kovariancia mátrix ( $P_t$ ). [2]

$$x_t = x_{t-1} + K * z \quad (33)$$

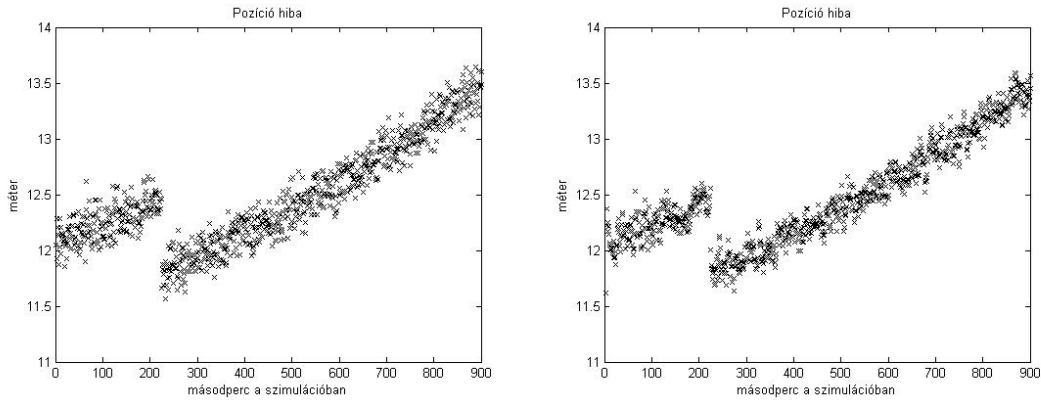
$$P_t = (E\{8,8\} - K * H) * P_{t-1} \quad (34)$$

### A két feldolgozási mód közötti különbségek egy szimulációs fájl elemzésének segítségével

Egy konkrét esetre lefuttatva az algoritmusokat megvizsgálható a felszíni helyzetváltoztatás, idő függvényében a magasságváltozás, az óraeltérés, a látható műholdak száma, GDOP értéke, a sebesség értékek, az óra csúszás. Ezek közül most azokra térünk ki, melyek a két feldolgozási elv során eltéréseket mutatnak.

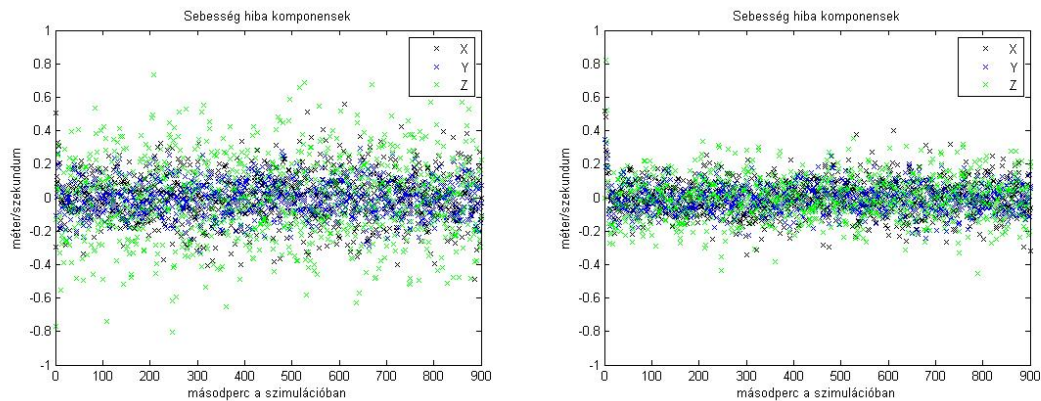


6. ábra Pozíció hiba X, Y, Z irányú komponensekre lebontva legkisebb négyzetek módszerével (balra) és Kálmán-szűrő felhasználásával (jobbra)

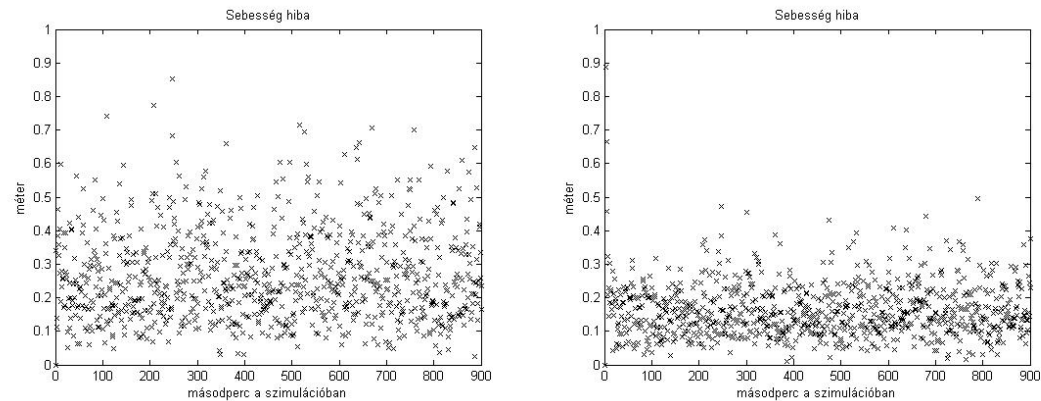


7. ábra Pozíció hiba legkisebb négyzetek módszerével (balra) és Kálmán-szűrő felhasználásával (jobbra)

A pozícionálási pontosság a két módszerrel közel azonos a Kálmán-szűrővel valamelyest kisebb hiba jelentkezik. Az átlagos hiba a szimuláció időtartamára 12,4578 méter, míg a legkisebb négyzetek módszerével ez az érték 12,4709 méter. Azért lehetséges az értékekben egy ugrás, mert abban az időpillanatban egy műhold kilépett a megfigyelésből. Ez azért eredményezhet pontosság javulást, mert a megfigyelési horizont szélén levő műholdak már inkább rontják pozícionálás minőségét, és amikor ez a műhold kilépett, akkor a többi látható műhold kisebb hibájú helyzetmeghatározásra volt képes.



8. ábra Sebesség hiba X, Y, Z irányú komponensekre lebontva legkisebb négyzetek módszerével (balra) és Kálmán-szűrő felhasználásával (jobbra)



9. ábra Pozíció hiba X, Y, Z irányú komponensekre lebontva legkisebb négyzetek módszerével (balra) és Kálmán-szűrő felhasználásával (jobbra)





A sebesség értékeken már jobban látható a különbség. A 8. ábrán a három komponens szórása sokkal kisebb. Az értékek leginkább -0,2 és 0,2 m/s között jelentkeznek Kálmán-szűrős feldolgozással, míg a legkisebb négyzetek módszerével ezek a számok -0,3 és 0,3 m/s. Ezt igazolja a 9. ábra is, ahol az időpillanatra vett teljes sebesség hiba látható. Az átlagos hiba a legkisebb négyzetek módszerével 0,2659 m/s, Kálmán-szűrővel pedig 0,1659 m/s.

Tehát az általunk alkalmazott Kálmán-szűrővel történt adatfeldolgozásról elmondható, hogy pontosabb becsléseket kaphattunk ugyanazon rögzített adatokból. Az is fontos információ, hogy a Kálmán-szűrős algoritmus több mint kétszer gyorsabban fut le a legkisebb négyzetek módszeréhez képest. A mikroszámítógépek használatával történő valós idejű feldolgozás a korlátozott számítási kapacitás miatt célszerű a minél gyorsabban lefuttatható, kis számításigényű algoritmusok használata.

## ÖSSZEGZÉS

A GPS rendszer felhasználása széles körben vált elterjedtté. A haditechnikában és a polgári területeken is újabb GPS technológiát alkalmazó fejlesztések kerülnek napvilágra. A minél pontosabb használhatóság érdekében az általunk ismertetett adatfeldolgozási lépéseket és módszereket folyamatosan fejlesztik. Nagy szerepet játszanak a fejlődésben a különböző kiegészítő rendszerek alkalmazásai, melyekkel kombinálható a GPS-es műholdas helyzetmeghatározás. Így elérhető a pozícionálás hibáinak csökkentése. A célunk egy ilyen pontosabb helyzetmeghatározó rendszer pilóta nélküli robotrepülőgépen való alkalmazása.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] PRATAP MISRA, PER ENGE: Global Positioning System: Signals, Measurements And Performance. Lincoln (MA), Ganga-Jamuna Press, 2001. ISBN: 0970954409
- [2] SCOTT GLEASON, DEMOZ GEBRE-EGZIABHER: GNSS Applications And Methods. Norwood (MA), Artech House Publishers, 2009. ISBN: 1596933291
- [3] JOHN A. KLOBUCHAR: Ionospheric Time-Delay Algorithm for Single-Frequency GPS Users. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems (3), (1987), pp. 325-331.
- [4] DR. SÁRKÖZY FERENC: Műholdas helymeghatározás I., e-dok. url: [http://www.agt.bme.hu/tutor\\_h/terinfor/t35a.htm](http://www.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/t35a.htm) (2013.03.09.)
- [5] TAKÁCS BENEC: Mobil térképező rendszerek áttekintése, e-dok. url: [http://www.agt.bme.hu/public\\_h/mobil/mobil2.htm](http://www.agt.bme.hu/public_h/mobil/mobil2.htm) (2013.03.09.)
- [6] [http://www.agt.bme.hu/public\\_h/mobil/mobil2.htm](http://www.agt.bme.hu/public_h/mobil/mobil2.htm) (2013.03.09.)
- [7] The Digital Imaging and Remote Sensing Image Generation, Coordinate Systems, e-dok. url: [http://www.dirsig.org/docs/new/coordinates.html#\\_the\\_scene\\_east\\_north\\_up\\_scene\\_enu\\_coordinate\\_system](http://www.dirsig.org/docs/new/coordinates.html#_the_scene_east_north_up_scene_enu_coordinate_system) (2013.03.09.)

Bera József<sup>1</sup> – Pokorádi László<sup>2</sup>

## REPÜLÉSI ZAJ KEZELÉSÉNEK BIZONYTALANSÁGA<sup>3</sup>

*Napjainkban a helikopteres repülés terjedésével a leszállóhelyek jelenős környezetvédelmi problémát jelenthetnek. A környezeti kockázatok vizsgálata és a környezethasználatok értékelése mindinkább túlmutat a határértékek előírásán alapuló minősítésen. Ezért vizsgálataink középpontjába került azon módszerek keresése, ami az időben változó környezeti állapot és a kialakuló hatások kockázatait veszi figyelembe, az elért eredményeket a műszaki környezetvédelemben szeretnénk felhasználni. Tanulmányunkban egy Monte-Carlo szimulációs elemzési módszert mutatunk be heliport zajkibocsátásának előrejelzésére, illetve bizonytalanságának elemzésére.*

### UNCERTAINTY OF AVIATION NOISE MANAGEMENT

*Nowadays, by spread of the helicopter flight heliports have become major environmental problem. The examination of environmental risks and the evaluation of environmental usages are increasingly have some significance beyond the assessment based on the prescription of limiting value. Therefore, searching for methods that take into consideration the environmental condition changing in time and risks of developing influences have become the centre of our researches. This paper shows a Monte-Carlo simulation analysis method that can be used to prognosticate the noise emission of heliports and to analyze its uncertainty.*

## 1. BEVEZETÉS

A repülőtér és a működéséhez kapcsolt légi forgalom egy olyan rendszert alkot, amit mindaddig, amíg a repülési tevékenységet vizsgáljuk, viszonylagos pontossággal tudunk meghatározni. A repülési tevékenységekkel összefüggő környezethasználatok esetében a hatáselemzésben fennálló bizonytalanság miatt azonban a környezetvédelmi rendszer meghatározása és értelmezése, majd további elemzése célszerűbb, hogy a beavatkozások helye, módja és időpontja, valamint a környezetterhelés közötti összefüggés is kezelhető legyen [1]. Amikor a környezetvédelmi rendszerünket felépítjük, látni kell, hogy a probléma és a bizonytalanság akkor kezdődik, amikor a környezeti hatások miatti rendszerhatárok változnak, vagyis a környezetből érkező, értékükben és időben is változó jelek hatására elveszik az egyértelmű rendszerhatár. Hogyan lehet kezelni a rendszerhatárból eredő bizonytalanságot?

Mindig törekedni kell arra, hogy a megfelelő és a kellő pontosságú adatot használjuk fel a rendszerhatárok meghatározásához, mivel ezek hiánya modell bizonytalanságokat, torz következtetéseket eredményez, vagy eredményezhet [6]. Rögzíteni kell ugyanakkor, hogy milyen szempontból határozzuk meg a környezetvédelmi követelményeket, valamint az értékelési szintek mekkora szerepet kapnak az értékelésben, mit tekintünk védendőnek a környezeti hatással szemben. Nem lehetséges a rendszerhatár kijelölése annak megismerése nélkül, hogy az előírt

<sup>1</sup> környezetvédelmi szakértő, berajo@kabelnet.hu

<sup>2</sup> egyetemi tanár, Debreceni Egyetem, pokoradi.laszlo@prosysmod.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Szabolcsi Róbert okl. mk. ezds; egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, szabolcsi.robort@uni-nke.hu

határértékeknek hol, milyen területen és milyen időpontban kell teljesülni, de figyelni kell arra is, hogy lokális vagy összefüggéseiben nagyobb kiterjedésű hatásról beszélünk-e, illetve mekkora és milyen jellegű a környezet állapotában bekövetkező változás mértéke.

Ezek a szempontok meghatározóak a repülési zaj kezelésében egy repülőtér, vagy egy kisebb leszállóhely esetében is, ami további kérdéseket vet fel, ha eleve a repülési tevékenység, például a ki- vagy berepülési útvonal változtatásáról beszélünk, ami egy-egy terület érintettségét változtatja meg hosszabb-rövidebb időszakokban. A repülési zaj kezelése a bizonytalanságból eredően így nehezen kezelhető, és állandó vitás helyzetet eredményez a környezethasználó és a védelmet igénylő – ami magába foglalja a lakosságot, a természeti érték védelmét – között. Ennek feloldására keressük a választ, amikor a tanulmányunkban a repülési zaj kezelése és a bizonytalanság kapta a központi szerepet.

## 2. KÖRNYEZETVÉDELMI RENDSZER ÉS KÖRNYEZET BIZONYTALANSÁGA

A környezet védelme túlmutat az ember védelmén, a fogalomkör értelmezését szélesebb vertikumban kell megtennünk [2]. A természeti értékek megóvásáról is gondoskodni kell, a humán környezet számára is fontos a természetes környezet kedvező állapotának fenntartása. Ennek eléréséhez nem elégségesek azok az intézkedések, melyek pusztán szabályozást vagy korlátozást jelentenek, egy modern társadalom a gazdasági érdekeket tekintve nehezen tesz eleget az ilyen jellegű elvárásoknak. Ez okozza, hogy a műszaki környezetvédelem eszközei kerülnek előtérbe, ami ugyanakkor feltételezi egy adott környezetvédelmi probléma pontos leírását mérési és tervezési adatokkal. Mindez elképzelhetetlen a környezetvédelmi rendszer megismerése és a rendszerbizonytalanság helyes kezelése nélkül.

A repülési tevékenység, így a repterek üzemeltetése és a légi közlekedés minden esetben összetett rendszert alkot, több irányú és egymástól független, ugyanakkor egymással mégis összefüggésben lévő hatással. A környezetben generált válaszok és reakciók emiatt változó jellegűek mutatnak. Mindkét eset fő jellemzője az időben eltérő hatásmechanizmus, ami a rendszer és környezete kapcsolódási pontjait, illetve a rendszerhatárokat is módosítja. Ennek kezelésére a vizsgálataink során az adott problémát, mint környezetvédelmi rendszert vizsgáljuk, melynek elemeit a különböző környezeti hatások alkotják. Ezek az elemek külön-külön is szerepet kapnak a környezetvédelmi rendszer megítélésében és a rendszerhatárok kialakulásban, későbbi változásaiban. Azonban a rendszer elemei közötti összefüggések is jelentőséggel bírnak, amit a repülésben szeretnénk nagyobb hangsúllyal kezelni [4].

A repülési zaj kezelésével kapcsolatos kérdésekre azon a módon szeretnénk megfelelő választ kapni, hogy a környezeti hatás bizonytalanságát elemezzük a továbbiakban, ezen belül természetesen a kibocsátások és a környezeti jellemzők közötti kapcsolatot is figyelembe vesszük. Vizsgálatunk során ugyanakkor nem térünk ki a hatásterület kérdésére, mert egy-egy érintett terület lehatárolásával még nem kapunk megfelelő információt a kialakuló hatás minősítéséhez és a következtetésként szükséges, a valós környezetvédelmet adó műszaki beavatkozáshoz.

A vizsgálat középpontjába az eddig elmondottak alapján a repülést, mint egy lehatárolt környezetvédelmi rendszert helyeztük, ezzel együtt kijelölve azokat a sarokpontokat, melyek segítséget adnak a rendszerbizonytalanság áttekintéséhez, valamint a rendszerbizonytalanság és a rendszerelemek közötti változások összefüggéseinek megismeréséhez.

### 3. HELIKOPTER LESZÁLLÓHELYEK ZAJKIBOCSÁTÁSÁNAK KÖRNYEZETVÉDELMI KÉRDÉSEI

A helikopter leszállóhelyek működtetésével szemben megfogalmazott igények miatt a lakóterületek mellett természetvédelmi területek közelében is egyre gyakrabban kerül sor olyan repülési műveletekre, melyek időszakosan jelentős zajterhelést okoznak. Emiatt épített környezetben a helikopter leszállóhely létesítés és működtetéssel, természetes környezetben az átrepülések végrehajtásával összefüggésben minden napos feladattá vált a repülési zaj kezelése. Leszállóhelyek működtetésében azonban korlátozás, hogy ezek a létesítmények a legtöbbször olyan környezetben találhatóak, vagy a repült légtér olyan területet is érint, ahol a repülési zaj elleni védelmet csak nehezen, a repülés tiltásával lehet biztosítani. Elsődleges környezetvédelmi kérdés tehát a rendszerhatár kijelölése, valamint a rendszerkörnyezet válaszreakcióinak megismerése, hiszen egy-egy repülési feladat több, egymástól jelentősen eltérő tulajdonságokkal bíró környezetet is érinthet. Ezek az eltérések a repüléssel szemben meghatározott követelményrendszert is befolyásolják, ami a rendszer egészét és a repülés miatt fellépő zajterhelést tekintve bizonytalanságot okoz.

Ezt a bizonytalansági tényezőt egyszerűbb esetben – és a napjainkban alkalmazott módszereket tekintve – úgy kezeljük, hogy zajvédelmi szempontból a repülési műveleteket, vagy a műveletszámot korlátozzuk, de hasonló okokból kerülhet sor a leszállási és kirepülési útvonalak pontos kijelölésére is azzal, hogy az útvonaltól való eltérés nincs megengedve. Tapasztalatunk szerint – eddigi vizsgálati eredményeink erre mutatnak rá – az ilyen zajvédelmi követelmény-rendszer teljesítése nagyfokú fegyelmezettséget feltételez a repülés résztvevőtől. Ez a feltétel ugyanakkor a repülés egyéb meghatározó szempontjai – biztonság, üzemeltetési előírások és műszaki feltételek, repüléstechnikai feltételek – elé helyezi a zajvédelmet. Mielőtt kísérletet tennénk a repülés és a környezeti zajvédelem közötti ellentét feloldására, vizsgáljuk meg az eddigiekben tárgyalt problémakört és elemezzük a repülési zaj kezelésében rejlő bizonytalanságot. Ennek első lépése a repüléstől származó zajterhelés meghatározása, de az egyszerűnek tűnő feladatban tapasztalatunk szerint nem csak a zajterhelés adat és az eredmény értékelése generál vitát, hanem a zajterhelés-változás mértéke is. Ez véleményünk szerint a repülési eljárásokkal és módzatokkal, valamint legfőképp az abban lévő bizonytalansággal van összefüggésben.

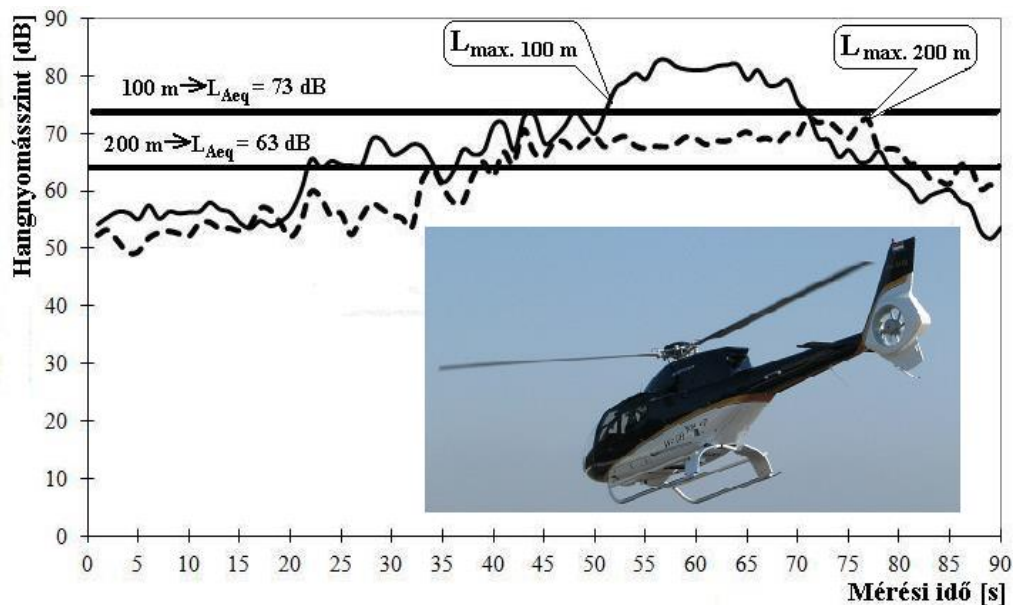
Helikopter leszállóhely környezeti hatását a zajterheléssel azonosítjuk. Egyéb hatással, jelentős levegőterheléssel, talaj- és vízszennyezéssel, vagy hulladékok keletkezésével a legtöbb esetben nem számolunk szokásos üzemeltetés idején. Ennek oka, hogy ezek a hatások sok esetben inkább pozitív eredményt adnak, vagy a hatás mértékét nem minősítjük jelentősnek [3]. Marad a zaj, ami ugyanakkor állandósult problémát jelent, mikor a repülésről beszélünk. Nem csoda, hogy a kezelésére elterjedt megoldással kapcsolatban is több kérdés fogalmazódik meg. Első és meghatározó kérdés a zajterhelés értékeléséhez alkalmazott vizsgálati eljárással függ össze. A

repülési zajterhelést az alábbi egyenlettel határozzuk meg a jelenleg alkalmazott előírásokat követve, [5] alapján:

$$L_{AM, re} = 10 \cdot \lg \frac{\tau_{ref}}{T_M} \cdot M \cdot 10^{0,1 L'_{AX}} [\text{dB}] \quad (1)$$

ahol:

- $L_{AM, re}$  – repülésből származó mértékadó A-hangnyomásszint [dB];
- $\tau_{ref}$  – 1 s;
- $T_M$  – megítélési idő [s];
- $M$  – mértékadó repülési műveletek száma;
- $L'_{AX}$  – átlagos repülési zajesemény szint [dB].



1. ábra Helikopter átrepülés hangnyomásszint-idő függvény (a Szerzők saját mérése és fotója)

Az (1) egyenlet alkalmazása jelenleg Magyarországon, az Európai Unió és a világ számos országában is elterjedt. A módszer lényege, hogy a helikoptertől származó tényleges  $L_{AX}$  zajszint mellett figyelembe veszi a repülési műveletek számát, valamint hosszabb, 8 óra vagy 16 óra megítélési időre vonatkozik a végeredmény. A számítás eredménye ugyanakkor egy átlagos érték, ami olyan zajterhelést ad, ami a legtöbb esetben jelentősen eltér az repülésekkel összefüggő, rövidebb idő alatt fellépő egyedi zajesemény szint értékektől. A két érték közötti különbséget szemléltetjük az 1. ábrán. A bemutatott vizsgálati eredmény egy fix terhelési pont felett 100 m-en, majd 200 m-en történt átrepülés zajszint-idő függvénye.

Az 1. ábra alapján látható, hogy rövid átlagolási idő esetén is megmutatkozik az egyenértékű zajszintek és a legnagyobb zajszintek közötti különbség. Esetünkben ez egy rövidebb időszakban látható, mert a távolodó helikopter miatt növekszik az észlelési távolság. Mi a probléma?

Amíg a leszállóhely zajvédelmi értékelése (1) összefüggés alkalmazásával csak az egyenértékű zajszint érték alapján történik, az esetleges beavatkozás, így a repülési magasság, a repülési módozat megváltozása, vagy a repülési események számának növekedése és csökkenése nehezen értékelhető a várható hatás szempontjából. Az előírt határértékhez – például nappal 65 dB

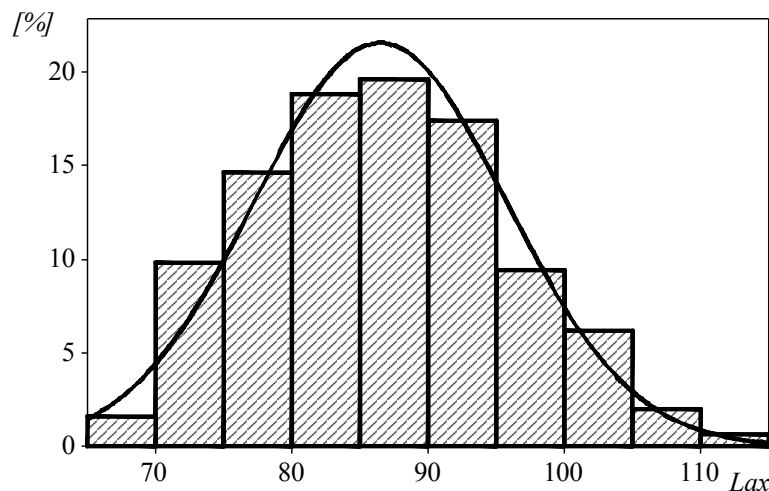


– viszont egy olyan átlagos zajterhelés értéket hasonlítunk, amit a zajeseményszint érték mellett a műveletszám is jelentősen befolyásol. Kérdés: a műveletszám eseti növelése milyen mértéket érhet el egy korábbi értékhez képest, és az esetleges határérték túllépést ebben az esetben hogyan ítéljük meg?

A kérdés jelentőségét támasztja alá, hogy a fel- és leszállásokra nem folyamatosan, hanem szakaszosan, esetenként nagyobb forgalmi szünetekkel kerül sor egy leszállóhelyen. Tehát lehetséges olyan időszak egy repülési nap, amikor a kisszámú repülések miatt a más napokon kialakuló határérték túllépés mértéke és időtartama nem okoz problémát az észlelés szempontjából, mivel többször is van repülés nélküli időszak, amikor nincs fel- és leszállás és ebből eredő zajterhelés. Tehát a továbbiakban célszerűen vizsgáljuk azt a lehetőséget, hogy a műveletszám megváltozásával egy-egy érintett terület felett, illetve egy átrepülési útvonalon milyen zajszint növekedés következik be, és ebben az esetben mekkora a határérték túllépés valószínűsége? A kérdésre keressük a választ a továbbiakban.

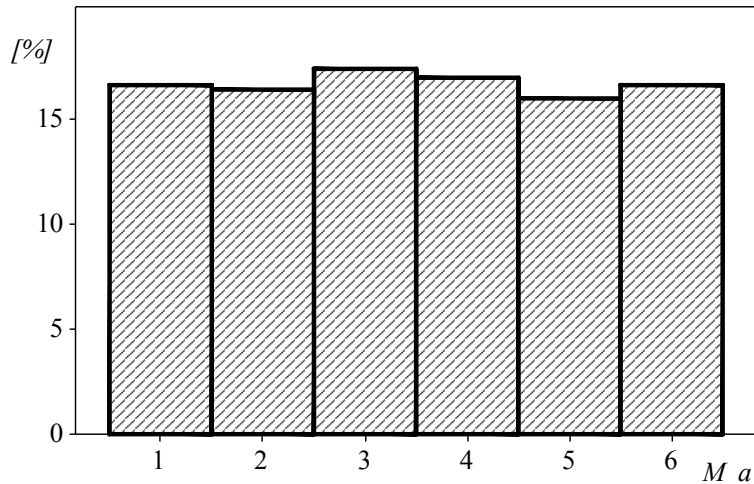
#### 4. HELIKOPTER LESZÁLLÓHELY ZAJKIBOCSÁTÁSÁNAK MONTE-CARLO SZIMULÁCIÓJA

Az (1) egyenletünk lesz a Monte-Carlo szimuláció – mely módszer részletesen a [7] irodalomból ismerhető meg – során alkalmazott determinisztikus modell, amit a meghatározott kritériumok alapján meghatározott, véletlenszerűen kiválasztott  $M$  művelet szám, és  $L'_{AX}$  átlagos repülési zajeseményszint értékekkel gerjesztünk. A várható eltérések becslése érdekében a szimulációt elvégeztünk az átlagos napi „*alap*”, majd a tervezett rendezvény során várható „*esemény*” repülési műveletszámra.

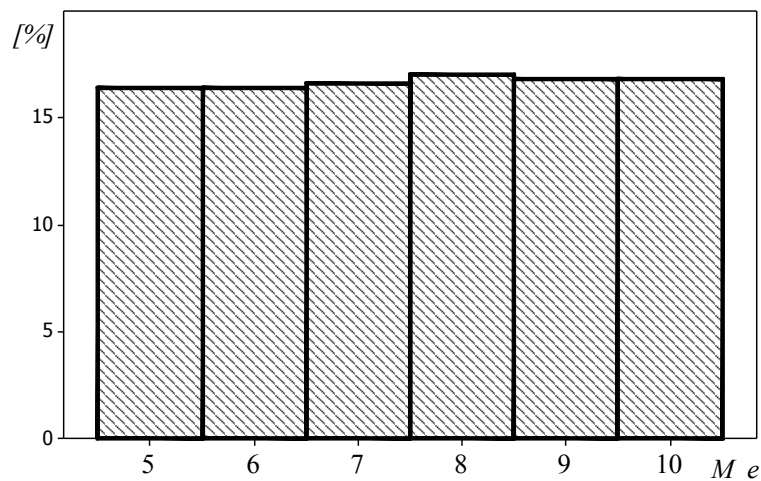


2. ábra Az átlagos repülési zajeseményszint ( $L'_{AX-gerj}$ ) hisztogram

Mindkét esetre ugyanazon átlagos repülési zajeseményszint gerjesztési értékeket alkalmaztunk, mivel a helikopterek típusai, terhelései várhatólag jelentős mértékben nem fognak eltérni a normál napi „*alap*” esetektől. A szimulációk során alkalmazott gerjesztési hisztogramjaikat a 2–4. ábrák szemléltetik.



3. ábra „Alap” repülési műveletszám hisztogram



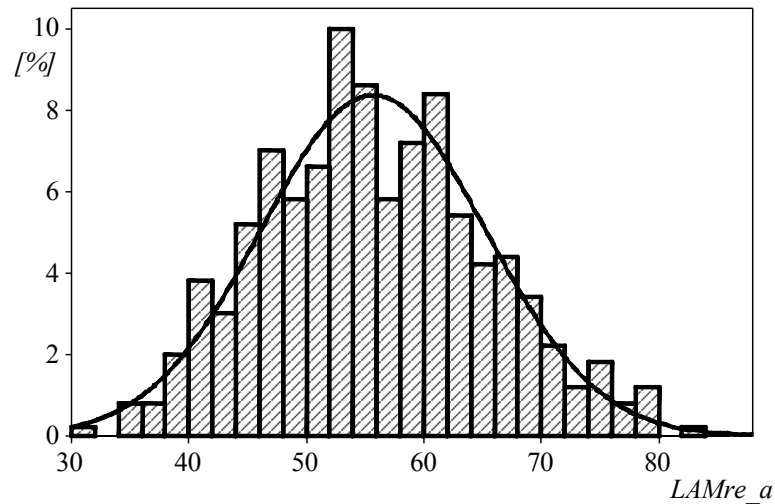
4. ábra „Esemény” repülési műveletszám hisztogram

	Minimum	Átlag	Maximum	Szórás
$M_{alap}$	1	3,492	6	1,7017
$L_{AM, re - alap}$ [dB]	44,900	55,690	83,700	9,533
$M_{esemény}$	5	7,518	10	1,7063
$L_{AM, re - esemény}$ [dB]	39,900	59,570	86,200	9,267

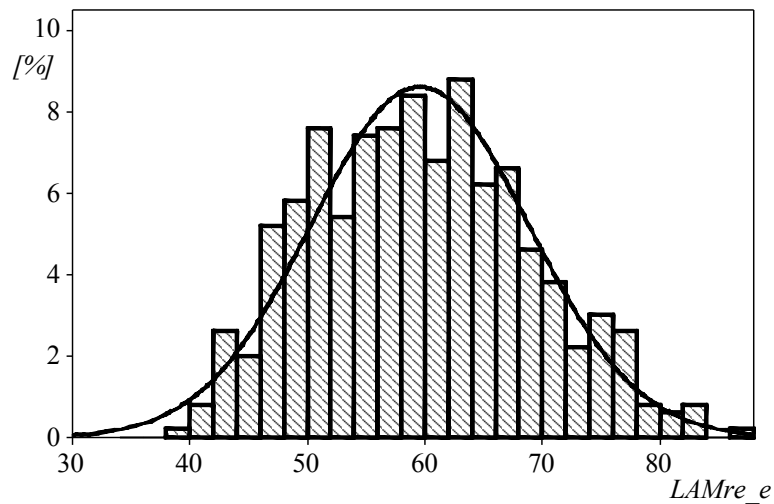
1. Táblázat A szimuláció adatainak statisztikai elemzése

A két szimuláció eredményeinek hisztogramjait az 5. illetve a 6. ábrák szemléltetik, főbb statisztikai adataik az 1. táblázatban találhatóak meg.

A grafikonokat szemlélve megállapítható, hogy bár az átlagos műveleti szám az „alap”-hoz képest jelentősen növekedett, az átlagos megítélési zajterhelés csak kis mértékben emelkedett. Ez megfelel az akusztikában alkalmazott logaritmusos számítási eljárás logikájának, a „tíz meg tíz az tizenhárom” szabálynak. A részletesebb szakmai következtetések túlmutatnak jelen tanulmányunkon. Viszont általánosságban kijelenthető, hogy egy nagymértékű forgalomváltozás esetén kialakulhat olyan kisebb zajszint változás, mely nem ad megfelelő szám adatot a hatás megítéléséhez, vagy a tervezéshez.



5. ábra „Alap” repülési zajterhelés hisztogram



6. ábra „Esemény” repülési zajterhelés hisztogram

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK, AJÁNLÁSOK

A várható hatások körében a kockázatkezelésnek és a bizonytalanságnak növekvő szerepet tulajdonítunk, mivel jelentőségét igazoltnak látjuk egy-egy beavatkozás esetében a várható hatások elemzése mellett az extrém helyzetek kezelésében is. Az extrém helyzetek kezelése nem lehetséges a valós helyzet, valamint az ebből eredő, időben jelentkező, különböző jellegű és mértékű környezeti hatások teljes megismerése nélkül. Ezek az extrém helyzetek lehetnek a szokásostól eltérő üzemi állapotok, előfordulhat tartós vagy állandósult környezetszennyezés, környezetkárosítással járó üzemi állapot vagy baleset is.

A repülőtér működtetése és a légi közlekedés környezetvédelmi jellegű kockázati tényezői szoros összefüggésben vannak a rendszer és rendszer-környezet kapcsolattal, ami kockázat és egyben bizonytalanság, emiatt ezek a folyamatok a kockázatbecslés eszközeivel szabályozhatók. Kutatási tapasztalataink szerint a Monte Carlo szimuláció felhasználható egy determinisztikus

modell parametrikus bizonytalansági elemzéséhez, mert egy adott pont körüli lehetséges értékek valószínűségi eloszlását adja meg, ami alkalmas adott helyzetben a vizsgált légi forgalomtól származó zajterhelés bizonytalanságának elemzésére. A kutatási eredmény rámutat arra, hogy az egyszámos terhelési adatok kiegészítése a bizonytalanság kezelésével összefüggő adatokkal segítséget nyújt ahhoz, hogy a tevékenységben szükséges vagy egyéb szempontból bekövetkező beavatkozások a várható környezeti hatás oldaláról is kezelhetőek legyenek.

A repülés számára is fontos szempont, hogy azok a feltételek, melyek a környezetvédelmi rendszerhatár, illetve a környezet válaszreakciója miatt előírásra kerültek, a későbbiekben ne változzanak meg a rendszeroldalon bekövetkező változások miatt, ezzel okozva a repülés korlátozását vagy ellehetetlenülését. Egy ilyen problémára való felkészülést segíti, ha már előre meghatározzuk a lehetséges zajterhelés értékek valószínűségi eloszlását, vizsgáljuk a szélső értéket. Ezzel a leszállóhelyek és a repülési útvonalak környezetében található épületek tervezéséhez is több adat áll rendelkezésre, javul a környezethasználó és a védelmet igénylő közötti összhang, együttműködés. További célkitűzés lehet, hogy a zajesemény-szint gerjesztési értékek és a várható hatások közötti összefüggés követhető legyen, azaz a rendszeroldalon bekövetkező változásokkal, például az átrepülések száma vagy a repülési módozat változásaival a rendszer környezetben várható reakciókat is vizsgáljuk és megismerjük.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Bera József – Pokorádi László: Helikopterzaj elmélete és gyakorlata, Campus Kiadó, Debrecen, 2010. 192 o.
- [2] Bera József – Pokorádi László: Légi forgalom és repülőtér fejlesztés környezetvédelmi kockázatkezelése, Közlekedéstudományi Konferencia 2012 Győr (ISBN: 978-963-9819-84-9) p. 137-148.
- [3] Bera József – Pokorádi László: Environmental Risk Management of Air-Transport, Acta Technica Jaurinensis, Győr, 2012., 245-252. oldal.
- [4] Bera József – Pokorádi László: Műszaki környezetvédelem és a kockázatkezelés összefüggései, Műszaki Tudományos Füzetek, Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XVIII., Erdélyi Múzeum-Egyesület kiadványa, Kolozsvár, 2013. március 21-22. (megjelenés alatt).
- [5] Pokorádi László – Bera József: Helikopter leszállóhely zajkibocsátásának Monte-Carlo szimulációja, Műszaki Tudományos Füzetek, Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XVIII., Erdélyi Múzeum-Egyesület kiadványa, Kolozsvár, 2013. március 21-22. (megjelenés alatt).
- [6] Pokorádi László.: Rendszerek és folyamatok modellezése, Campus Kiadó, Debrecen, 2008, 242 oldal.
- [7] Pokorádi László – Molnár Boglárka: Monte-Carlo szimulációs valószínűségi bizonytalanságelemzés szemléltetése, Repüléstudományi Közlemények 2010. április 16. pp.12, [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2010\\_cikkek/Pokoradi\\_L-Molnar\\_B.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2010_cikkek/Pokoradi_L-Molnar_B.pdf) (2013. 03 10.).

Bali Tamás<sup>1</sup>

## A SZIMULÁTOROK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI AZ UAV SZEMÉLYZET GYAKORLATI KÉPZÉSÉBEN<sup>2</sup>

*Nem túlzás azt állítani, hogy a szimulátorok korszakát éljük. A számítógépek és informatikai rendszerek rohamos elterjedésével a szimulátorok beköltöztek mindennapjaink munkájába, életébe. Nincs ez másképp a repülés világával sem. Jelenkori hadviselésünk egyik leginkább fejlődő ága az, amely olyan eszközök alkalmazására irányul, melyek a személyi veszteségek minimalizálása mellett képesek a harcászati igények kielégítésére, a célfelderítésre, az ellenséges erők pusztítására, a saját erők harcának támogatására illetve bevetés utáni értékelésre. Ezen igényeket a kezelő nélküli fegyverrendszerek (ezen belül a pilóta nélküli légi járművek) biztosítják. A sikeres harcbevetés feltétele azonban a jól képzett kezelői állomány. Természetesen a repülő-szimulátorok a kezelők képzésének is meghatározó eszközei. Ezen cikk megírásának célja az, hogy bemutassam a repülő szimulátorokat, azok alkalmazásának lehetőségeit és előnyeit a pilóta nélküli légi jármű kezelők kiképzésének vonatkozásában.*

### TRAINING PRINCIPLES OF UAV OPERATORS

*It is not unreasonable to say that we are living in the age of the simulator. As a result of the rapid spread of computers and IT systems, simulators have become part of everyday work and life. The world of aviation is no exception. The most developing scope of the modern warfare is relating to the design and deployment of those systems, which - with a minimized casualty number – is capable of fulfilling tactical requirements, reconnaissance tasks, destruction of enemy forces, combat support of own forces and after action evaluations. These requirements are fully covered by the remotely operated vehicles (particularly by the unmanned aerial vehicles). The criterion for the successful deployment is a well-trained system operator. Obviously flight simulators are the essential tools in the operator's training. The objective of writing this article is to introduce flight simulators and outline the perspectives and advantages of their application in the context of UAV<sup>3</sup> operator training.*

## BEVEZETÉS

Az utóbbi évtized robbanásszerű fejlődést hozott a pilótánélküli rendszerek (UAS<sup>4</sup>) illetve a pilótánélküli légi járművek (UAV) világában. A fejlődés leginkább annak köszönhető, hogy ezen eszközök aszimmetrikus hadviselés<sup>5</sup> viszonyai között sokoldalú alkalmazhatósági lehetőségeit felismerte a katonai vezetés. Ahogyan az új képességek biztosítását szolgáló haditechnikai eszközök hadrendbe állnak, a megfelelően felkészített kezelők kiképzését támogató eszközökre is fokozatosan megnő az igény. A mai kor képzési elvárásait kielégíteni képes eszközök kapcsán, elsősorban a szimulátorokról kell beszélni. Figyelembe véve az UAS-k relatívan rövid

<sup>1</sup> alezredes, MH 86. Szolnok Helikopter Bázis, Repülő Felkészítési Főnök, balitomi@yahoo.com,

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Palik Mátyás alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszerológiai Egyetem Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

<sup>3</sup> UAV = Unmanned Aerial Vehicle.

<sup>4</sup> UAS = Unmanned Aerial System.

<sup>5</sup> Az aszimmetrikus hadviselésre jellemző, hogy a részt vevő felek fegyveres harcának filozófiája, az alkalmazott hadikultúrák jellemzően jelentős mértékben eltérnek egymástól.





hadrendbeni alkalmazási múltját, érthető, hogy miért kell az alkalmazásukra történő képzést támogató szimulátorok piacára úgy tekinteni, mint egy most fejlődő területre.

Az UAS-ek közelmúltbeli alkalmazása rávilágított arra, hogy az általuk nyújtott harci-, illetve harctámogató képességek elengedhetetlenül fontosak jelenkorunk harctevékenységének sikeres teljesítésében, de műveleti hatékonyságuk nagymértékben a kapcsolódó humánerőforrás (kezelők) felkészültségén múlik.

Napjainkban a rohamosan fejlődő technológia korszakát éljük, mely gyakorlatilag hatással van életünk minden aspektusára. A fejlődő technológia hatásai nyomon követhetők úgy a mindennapokban, mint a legösszetettebb tevékenységek megoldásában. A modern technológia vívmányai megtalálhatóak az élet legfőbb tényezőiben úgymint földön, vízen és levegőben. A világ országainak meghatározó részében nagy figyelem összpontosul a légtérünket használó légi járművekre (azon belül természetesen az UAV-ra is), azok fejlesztésére és gazdaságos, biztonságos és hatékony alkalmazására. Az UAV-al kapcsolatos tevékenységek – alapvetően – két fő csoportra sorolhatók. Az első csoportba a pilótánélküli légi járművek tervezésével, fejlesztésével; a másodikba pedig az elkészült UAV-k alkalmazásával kapcsolatos feladatok tartoznak. Az UAV-k alkalmazásának, illetve az arra történő felkészülésnek egyik legfontosabb eszköze a szimulátor [1].

Az UAV szimulátor tulajdonképpen nem más, mint egy olyan kiképzés-technikai eszköz, mely egyrészt képes modellezni a gyakorlati repülés elemeit bármely repülési környezetben, másrészt pedig a felderítő szenzorok, esetleg fegyverrendszerek alkalmazását. A gyakorlati repülés elemein a légi jármű hajtóművének indításától a leállításáig felölelő összes tevékenységet kell érteni, a légi jármű működését biztosító rendszerek üzemeltetésétől, a repülési elemek végrehajtásáig. A szenzorok alkalmazására történő felkészülésnél a szimulációs térnek képesnek kell lennie modellezni az ellenséges erőket és azok manővereit, a különböző földi telepítésű eszközök (pl.: lokátorok, légvédelmi rakéta egységek stb.) elhelyezkedését eltérő napszakok és fedettségi viszonyok mellett.

## GONDOLATOK AZ UAV KEZELŐK KÉPZÉSÉVEL KAPCSOLATBAN

Kijelenthető az, hogy az UAV-k kezelőinek egy nagyon komplex követelményrendszernek kell megfelelniük. Képesnek kell lenniük a légi jármű kormányzására/vezetésére, a légtérgazdálkodásban résztvevő irányító egységekkel illetve a légiforgalomban résztvevő egyéb légi járművekkel történő együttműködésre, a légifelderítéshez szükséges UAV fedélzeti szenzorok hatékony alkalmazására, a harcászati helyzet felismerésére és gyors elemzésére, a függesztett fegyverrendszer alkalmazására. Ha ezen „képességcsomagot” tekintjük, akkor képet formálhatunk a kezelők képzését támogató szimulátorok képességeiről.

Azonban amikor az UAV kezelők gyakorlati képzését támogató szimulátorokat, illetve az azoktól elvárt képességeket vizsgáljuk, akkor érdemes ezen eszközök alkalmazási céljából fakadó kategória különbségekről szót ejteni. Az UAV-vel szemben támasztott szerteágazó feladatrendszer szerteágazó alkalmazási kört illetve körülményeket von maga után. Harcászati célokat alapvetően kis létszámú harcoló alegységek (például szakasz szintű lövész alegységek)-, hadműveleti célokat minimum század, de leginkább zászlóalj-, hadászati célokat pedig minimum

zászlóalj<sup>6</sup> szintű (de inkább ezredszintű) egységek valósítanak meg.

Általánosságban kijelenthető, hogy az UAV eszközök különböző kategóriáinak alkalmazását alapvetően a műveleti célok megvalósítása determinálja.

Megállapítható, hogy nem ugyanolyan kategóriájú eszközt kell bevetni egy harcászati célokat megvalósító lövész alegység műveletének támogatását szolgáló felderítői információ begyűjtéséhez, mint például a stratégiai célként megfogalmazódó ellenséges légvédelmi eszközök pusztítására.

A különböző szintű követelményeknek való megfelelés érdekében, mára az UAV-k több kategóriája került kialakításra (1. táblázat) [2].

Megnevezés	Hatótáv (km)	Repülési magasság (m)	Repülési időtartam (óra)	Felszálló tömeg (kg)
Nano	≤1	100	≤1	≤0,025
Micro	10	250	1	≤5
Mini	10	150-300	≤2	≤30
Close range (kis hatótávú)	10-30	3000	2-4	150
Short range (rövid hatótávú)	30-70	3000	2-4	150
Medium range (közepes hatótávú)	70-200	5000	6-10	1250
Medium range endurance (közepes hatótávú, megnövelt repülési időtartammal)	≥500	8000	10-18	1250

1. táblázat Az UAV-k kategóriái.

Elemelve a táblázatban leírt UAV kategóriákat, illetve tervezésükből adódó üzemeltetési korlátokat, kijelenthető, hogy például egy nano-, micro vagy mini kategóriájú UAV-t kezelő kiképzésébe – aki az eszközt a látóhatárán belül rádióhullámok segítségével vezérli – nem szükséges beilleszteni egy olyan kategóriájú eszközre történő kiképzést, mely interkontinentális hatótávolsága/alkalmazása miatt műholdakon keresztül történő irányítást igényel.

## AZ UAV-K ALKALMAZÁSÁRA TÖRTÉNŐ KÉPZÉST TÁMOGATÓ SZIMULÁTOR BERENDEZÉSEK

### A nano-, micro- és mini kategóriájú UAV-kre történő képzést támogató szimulátor berendezések

Ezen kategóriájú eszközökre vonatkozó képzést támogató szimulátorok bemutatása/vizsgálata előtt, érdemes áttekinteni magukat az UAV-kat (1. ábra)

<sup>6</sup> Ez alól kivételt képeznek a különleges műveleti alegységek, melyek már csoportszinten is stratégiai célok elérése érdekében kerülnek bevetésre.



1. ábra A nano-, a micro- és a mini UAV-k

A Nano-, Micro- és Mini kategóriájú UAV-k hatótávolsága rövidnek tekinthető, repülési magasságuk általában földközeli. Bevetésük általában látótávolságon belül valósul meg, mivel irányításukhoz rádióhullámokat használnak. Az általuk nyújtott képességek alapvetően (kizárólag) a felderítési információk gyűjtésére korlátozódnak. Alkalmazás szempontjából az üzemeltetése 2 főt igényel. Az egyik személy felelős az eszköz irányításáért, a másik pedig a szenzorok jeleinek feldolgozásáért. A kettőjük közötti kommunikáció létfontosságú, hiszen a szenzorok által online továbbított képi adatok alapján mérhető fel az adott helyzet, melynek függvényében szükségszerűen megvalósul az eszköz repülési útvonalának-, repülés magasságának változtatása.

Ezek után kijelenthető az, hogy alkalmazásukhoz két alapvető ismeretanyagra/kialakított készségre van szükség. Az egyik az eszköz irányításához szükséges repülés-technikai-, a másik pedig a szenzorok által sugárzott felderítési információk gyors feldolgozására vonatkozó készség.

A repüléstechnikai készségek kialakítását biztosító szimulátorok két fő egységből épülnek fel. Az egyik az a számítógép (hardver eszköz), amely a rátelepített szoftverének segítségével a szimulációs térben képes megjeleníteni az adott UAV-t, a másik pedig a számítógéphez kapcsolt UAV irányítószerve. Az irányítószerv általában nem nagy különbséget mutat azon eszközöktől, melyeket a polgári életben is alkalmaznak a modellek irányításánál. A szenzorkezelő képzését támogató szimulátor hozzá van kapcsolva az előzőekben leírt szimulátor modulhoz, hiszen önmagában a szenzorok működtetésének lehetősége nem értelmezhető (2. ábra)



2. ábra: Nano-, micro és mini UAV-k alkalmazására történő képzést támogató szimulátor

A szenzor működtetése nyilvánvalóan csupán repülés közben valósulhat meg, legyen az valós-, vagy szimulátoros repülés. Ennek értelmében látható, hogy egy ilyen kategóriájú UAV hatékony alkalmazására történő képzés két lépcsőben valósul meg. Először az irányítónak kell készség szinten elsajátítani az eszköz irányítását, és csak ezt követően következhet a szenzorkezelő kiképzése.

Fontos a sorrendiség megtartása, hiszen az alkalmazónak csak akkor lesz lehetősége a felderítő információk legnagyobb spektrumát megszerezni, ha az irányító a szenzorkezelő jelzésére gyakorlatilag azonnal képes reagálni. Képes az eszközt gyorsan az információgyűjtéshez leginkább megfelelő pozícióba vezetni.[3]

### **A kis-, rövid-, közepes és a megnövelt repülési időtartamú közepes kategóriájú UAV-kre történő képzést támogató szimulátor berendezések**

Mint ahogy azt az előzőekben is tettem, először bemutatom ezen kategóriájú eszközöket. (3. ábra)



3. ábra a kis-, a rövid-, a közepes és a megnövelt hatótávolságú közepes kategóriájú UAV-k

Látható, hogy e kategóriákhoz tartozó UAV-k már az irányító látótávolságán kívül hajtják végre repüléseiket, vezérlésük műholdakon (mint egyfajta átjátszó berendezéseken) keresztül hajtható végre. A repülések végrehajtása a műhold-navigáció elvén valósul meg. A repülési útvonal a feladatra történő felkészülés időszakában előzetesen megtervezésre, majd az eszköz fedélzeti számítógépébe beprogramozásra kerül. A repülés végrehajtása az előre programozott útvonal mentén valósul meg úgy, hogy az irányító a monitorán megjelenő tervezett útvonalon tartja az eszközt. Döntően a közepes és annál nagyobb kategóriájú UAV-k fedélzeti navigációs rendszere lehetővé teszi azt, hogy az indulási repülőterekről való távozási illetve az oda történő érkezési eljárásokat az eszköz autonóm módon teljesítse. Ez azért fontos, hogy csökkenteni lehessen a nagy időtartamú repülések miatti terhelést, csökkenteni lehessen a repülésbiztonsági kockázatot.

A szenzorkezelők feladatai az ilyen kategóriájú eszközöknél lényegesen nem tér el az alacsonyabb kategóriánál leírtaktól. A minimális különbség abból adódik, hogy a vett képi információ



nem közvetlenül kerül a rádió-hullámok útján sugárzásra a szenzorkezelő vevő egységére, hanem a műholdakon keresztül átjatszva. A vett információ itt is és ott is a szenzorkezelő monitorján realizálódik.

Fontos eltérés tapasztalható az előzőekben leírt alacsonyabb kategóriájú UAV-tól abban, hogy ezen eszközök (kiváltképp a közepes kategóriájú eszközök) már fedélzeti pusztító eszközöket is hordoznak. Képesek mind földi, mind pedig légi célok pusztítására. Emiatt, a magasabb kategóriájú UAV-k személyzete kiegészül a fegyverzetkezelővel. A hatékony alkalmazás komplex együttműködést követel meg a „gépszemélyzet tagjaitól” a feladat-végrehajtás folyamán.

Ezek után kijelenthető az, hogy e kategóriákhoz tartozó eszközök alkalmazásához három alapvető ismeretanyagra/kialakított készségre van szükség.

Az egyik az eszköz irányításához szükséges repülés-technikai és navigációs-, a másik a szenzorok alkalmazására és az általuk sugárzott felderítői információk gyors feldolgozására-, a harmadik pedig a földi és légi célok pusztítására szolgáló fegyverzeti berendezések alkalmazására vonatkozó készség.

A fentiek alapján a képzést támogató szimulátor berendezés minimum 2 fő kezelő (irányító és szenzorkezelő) egyidejű képzését biztosítja. (4. ábra)



4. ábra Közepes kategóriájú UAV alkalmazására történő képzést támogató szimulátor

A szimulátor berendezés munkahelyeinek kialakítása teljes egészében megegyezik az eredeti eszköz kabinkialakításával. Az azonosság fellelhető az irányító szervekben, a navigációs műszerek visszajelzőiben, a szenzorok vezérlő szerveiben illetve az általuk vett és feldolgozott jelekben, a fegyverkezelő vezérlő pultjában.[4]

Ami ennél a szimulátoroknál a leglényegesebb, az a fedélzeti kommunikáció és az együttműködés. Csak ezek megléte mellett lehet hatékonyan alkalmazni az eszközt. Az irányító kirepüli ugyan a légi járművet a feladat-végrehajtás körzetébe, de azt elérve a szenzorkezelő veszi át a bevetés irányítását. Ő határozza meg a repülési útvonalat, ő deríti fel az ellenséges erőket/eszközöket és majd ő végzi a célmegjelölést a fegyverkezelő számára. A célmegjelölést követően a fegyverkezelő veszi át a bevetés irányítását. Ő adja meg azt a pozíciót az irányítónak, amelyből a





fegyverek alkalmazása a leghatásosabban biztosított, majd ő hajtja végre a tűzkiváltást. A tűzkiváltás után a szenzorkezelőre hárul a következő meghatározó feladat. A pusztítás fokának/hatékonyságának elemzéséhez információkat kell gyűjtenie. A bevetés utáni értékelés határozza azt meg hogy szükséges-e a további csapásmérés az adott célpontra.

A fentiek alapján látható, hogy egy ilyen kategóriájú UAV alkalmazása a „fedélzeti” kommunikáción áll vagy bukik, ezért, úgy ahogyan az „élő” berendezés kabinjában-, úgy a szimulátor kabinjában is a munkahelyek egy légtérben helyezkednek el. Az egy légtérben történő munkavégzés a hatékony kommunikáció biztosításán túl lehetővé teszi azt, hogy a személyzet tagjai lássák egymás kijelzőit. Ez azért fontos, mert a jól összeszokott és felkészített gépszemélyzet tagok egymás kijelzőjére nézve feltudnak készülni a következő feladatra. Például az irányító a szenzorkezelő utasításai nélkül is képes lesz a légijárművet abba a pozícióba fordítani, amely a legmegfelelőbb az észlelés szempontjából.

## AZ UAV-K ALKALMAZÁSÁRA TÖRTÉNŐ, GYAKORLATI KÉPZÉST TÁMOGATÓ SZIMULÁTOROKTÓL ELVÁRT KÉPESSÉGEK

A gyakorlati képzést támogató szimulátorral szemben pontosan behatárolható követelmények fogalmazhatóak meg. Elsősorban a ki kell jelenteni azt, hogy csak akkor hajtható végre hatékony képzés egy adott szimulátor berendezésen, ha az teljes mértékben képes szimulálni a kezelő által irányítandó eszköz aerodinamikai jellemzőit. Ha szimuláció erre nem képes, akkor a kezelő nem lesz képes az adott eszköz biztonságos irányítására. Egy nem várt esemény fellépésekor<sup>7</sup> elveszti uralmát az UAV felett, mely emiatt lezuhanhat, megsemmisülhet. [4]

Az eszköz kormányzására-, illetve a szenzorok működtetésére szolgáló kezelőszerveknek pontosan meg kell egyeznie a valós végrehajtásnál használt kezelőszervekkel. Ennek kiemelt jelentősége van azért, mert „éles” helyzetben gyakoriak az azonnali beavatkozást igénylő mozdulatok<sup>8</sup>. Ilyenkor az UAV hatékony alkalmazása a valós eszközzel megegyező szimulátoron kialakított reflexszerű mozdulatok végrehajtásán múlik.

A szimulátor berendezésnek rendelkeznie kell egy olyan interface-el, mely lehetőséget biztosít a repülés meteorológiai helyzetének repülés előtti és közbeni módosítására. A repülés előtti meteorológiai helyzet módosíthatósága fontos az eltérő körülmények közötti repülési manőverek begyakorlása miatt (hangsúlyozva a fel- és leszállási manővereket). A meteorológiai helyzet repülésközbeni módosításának lehetősége ott hasznos (különösen a rövid vagy annál nagyobb kategóriájú UAV-k esetén), ahol a fel és leszállás közötti repülési időtartam olyan hosszú, hogy közben a meteorológiai viszonyok változása feltételezhető. Megtörténhet az, hogy a felszállás időszakában még egyszerű időjárási viszonyok voltak tapasztalhatóak, de a leszállásra a látástávolság egy esetleges homokvihár miatt leromlik. Ennek értelmében a szimulátor berendezés

<sup>7</sup> A nem várt, vagy nem tervezhető események között kell említeni egy szélnyírást a leszálláshoz történő bejövétel időszakában.

<sup>8</sup> Azonnali beavatkozásra van szükség az irányítótól, ha a repülés egyensúlyi állapota a meteorológiai elemek hatásai miatt felbomlanak vagy ha a repülés folyamán – általában földközeli magasságon – akadályokat kell kikerülni. A szenzorkezelő azonnali beavatkozását igényli az, ha a megfigyelési zóna periferiáján hirtelen felbukkanó ellenséges erők és eszközök jelennek meg.



szoftverjétől fontos elvárás a szél irányának és sebességének különböző magasságokon történő módosítási lehetősége, a légköri csapadék különböző halmazállapotokban (pára, eső, hó, jég) történő megjeleníthetősége, a különböző típusú felhőzet eltérő magasságokon történő megjeleníthetősége, a légnyomással kapcsolatos beállítások módosíthatósága.

A szimulátor berendezésnek támogatnia kell mind a nappali, mind pedig az éjszakai körülmények közötti repüléseket. A nappali repülések begyakorlása érdekében a szimulációnak képesnek kell lennie a természetes terep- (dombok, hegyek, fák), és mesterséges (épületek, adótoronyok) akadályok realiztikus megjelenítésére. Ezen túl, a jelenkori műveletek kapcsán kijelenthető, hogy előtérbe került a harcoló erők éjszakai alkalmazása. Mivel a felderítési információk gyűjtését szolgáló szenzorok fejlődésével egyre inkább toródik az UAV-k alkalmazása is az éjszaka irányába, ezért fontos az éjszakai repülés szimulációs lehetősége.

A szimulációs tér vizualizációjának támogatnia kell az alap repüléstechnikai elemek – úgymint egyenes vonalú repülés, magasságtartás, emelkedés és süllyedés, állandó szögsebességű standardfordulók, forduló meghatározott irányszögre, emelkedő és süllyedő fordulók, különböző bedöntésű fordulók, sebesség és konfigurációváltások, repülőtér vizuális megközelítési eljárások – végrehajtását.

A repülések folyamán – főleg a képzés első időszakában – gyakorlatilag folyamatosan fennáll annak a veszélye, hogy a légi jármű „bonyolult helyzetbe”<sup>9</sup> kerül. Annak érdekében, hogy gyakorolni lehessen a bonyolult helyzetek kezelését, a szimulációs tér vizualizációjának támogatnia kell a nagy állásszögű-, és nagybedöntésű fordulók végrehajtását, merevszárnyas UAV esetén a repülések végrehajtását átesés közeli sebességen.

A rövid vagy annál nagyobb kategóriájú UAV-k esetén, a szimulációs térnek biztosítania kell a VFR<sup>10</sup> illetve IFR<sup>11</sup> repülésekre vonatkozó navigációs adatok betölthetőségét, az eljárások repülések végrehajtását. A műszerrepülések navigációs eljárásainak végrehajthatósága érdekében a szimulációs térnek tartalmaznia kell a földi telepítésű (működést szimuláló) navigációs eszközöket (VOR<sup>12</sup>, ILS<sup>13</sup>, DME<sup>14</sup>, NDB<sup>15</sup>). Mivel ugyanezen kategóriájú UAV-k repülési navigációjának elengedhetetlen eszköze a műholdnavigációs berendezés (GPS<sup>16</sup>), ezért a szimulációnak képesnek kell lennie a GPS navigáció támogatására.

Az UAV-k a légiközlekedés szerves részét képezik. Olyan sűrűn használt, korlátozásokkal felosztott légterekben repülnek, melyek felhasználása pontosan szabályzott, az illetékes légiforgalmi irányítók által koordinált/felügyelt. Az UAV kezelőnek ezért ismernie és értenie kell azt, hogy általánosságban hogyan épül fel a légtér szerkezet, mik a légterek használatával kapcsolatos alapvető szabályok, ho-

<sup>9</sup> A repülés folyamán fellépő bonyolult helyzet azt jelenti, hogy a légi jármű olyan üzemmódon repül vagy olyan térbeli helyzetbe kerül, mely nagymértékben eltér az előírttól és/vagy veszélyezteti a repülés biztonságát.

<sup>10</sup> VFR = Visual Flight Rules, Látvarepülési szabályok szerinti repülések.

<sup>11</sup> IFR = Instrument Flight Rules, Műszerrepülési szabályok szerinti repülések.

<sup>12</sup> VOR = VHF Omni-directional Radio-range.

<sup>13</sup> ILS = Instrument Landing System.

<sup>14</sup> DME = Distance Measuring Equipment.

<sup>15</sup> NDB = Non Directional Beacon.

<sup>16</sup> GPS = Global Positioning System.

gyan kell koordinálni a légtérhasználattal kapcsolatban (légtérigénylés rendje) az adott légtérben történő repülések irányításáért felelős szervvel. Ezért szimulációnak biztosítania kell a légi forgalom sűrűségének beállíthatóságát, illetve a légi irányítás generálását.

Természetesen a repülési elemek gyakorlásán túl el kell sajátítani a szenzorok alkalmazását is. A modern UAV-k döntően elektro-optikai-, és infravörös tartományban működő felderítő eszközökkel rendelkeznek. A nappali körülmények közötti információszerzést az elektro-optikai-, míg az éjszakai az infravörös tartományban működő éjjellátó képes szenzorok biztosítják. Annak érdekében, hogy a vett jelek feldolgozhatóak/értékelhetőek legyenek a szenzorkezelő számára, a szimuláció szoftverjének támogatnia kell a realisztikus képalkotás lehetőségét. Ennek megfelelően, a szimulációs rendszernek biztosítania kell mind a nappali, mind pedig az éjszakai (infra) céljeleket az ellenséges erők és eszközök vonatkozásában.

A szenzorok kezelésére történő képzéssel szorosan összefügg az, hogy a szimulátor berendezésnek képesnek kell lennie ellenséges tevékenység szimulálására. Figyelembe véve az UAV-k feladatrendszerét, a szimulációnak döntően az ellenséges erőkre, azok manővereire-, az ellenséges földi telepítésű harceszközök (például: lokátorok, légvédelmi komplexumok) megjelenítésére kell, hogy koncentráljon. A szimulációnak képesnek kell lennie mind az alacsonyan repülő kisebbességű-, mind pedig a harcászati repülő képességekkel rendelkező légtérsértő légijármű megjelenítésére, azok tevékenységének modellezésére. A kezelőnek a szimulációs térben történő gyakorlásakor a szenzorok alkalmazásával fel kell ismernie az ellenséges tevékenységet, be kell azonosítania a saját erők mozgásszabadságát befolyásoló ellenséges harceszközöket. Képesnek kell lennie az adatok értékelésre, gyors feldolgozására. Ezek alapján látható, hogy csak a szenzorok kezelésére vonatkozó képzés nem elegendő egy jól képzett kezelő számára. Fontos a harcászati ismeretek/harceljárások elsajátítása is.

Jelenkorunkban már mindennapinak számát az, ha a (kifejezetten a közepes és annál nagyobb kategóriájú UAV-k vonatkozásában) felderítő eszközökön kívül fedélzeti fegyverrendszer kerül függesztésre. [5] A fegyverek tekintetében a levegő-levegő és levegő-föld képességekkel rendelkező rakéták kerülnek alkalmazásra. A fegyverek hatékony használatára történő képzésnek több szimulációs jellegű feltétele van. Egyik feltétel a megfelelő nappali, éjszakai, illetve az ellenséges erőkre és eszközökre vonatkozó vizualizáció biztosítása (a fentiekben kifejtve), másik feltétel a függeszthető fegyverek alkalmazásának és romboló képességeinek szimulálása. A szimulátor berendezés hardverrendszerének tartalmaznia kell azt a fegyverkezelő pultot, melynek kialakítása és használhatósága meg kell, hogy egyezzen az „éles” eszköz kezelőpultjával. A fegyverkezelő képzése csak akkor tekinthető hatékonynak, ha a fegyverkezelő a tűzkiváltását követően eléri a megfelelő pusztítást. A pusztítás mértékének értékelhetősége egy olyan fontos feladat, melyre a szimulátornak választ kell adnia.

Abban az esetben, ha az üzemeltetett UAV több kezelővel rendelkezik (UAV irányító, fegyverrendszer kezelő, szenzorkezelő), akkor első lépésként a szakterületi egyéni képzéseket kell végrehajtani. Az egyéni szakképzést követően valósulhat meg a „gépszemélyzet” szintű képzés, az együttműködési képesség kialakítása érdekében. A gépszemélyzet helyes „fedélzeti” együttműködését (illetve az arra vonatkozó képzést) a NATO terminológia alapján „Crew Resource Management”-nek (és CRM képzésnek) nevezik. A CRM képzés végrehajthatósága érdekében



a szimulációs rendszernek támogatnia kell a közös repülésre történő felkészülést, az egy platformon történő feladat-végrehajtást (a fedélzeti kommunikáció, illetve gyors információcsere szimulálásával), illetve a repülések kiértékelését.[6]

A szimulátor berendezéssel szemben támasztott követelmények kapcsán eddig csupán a kezelők képzését biztosító „munkahelyekről” beszéltünk, de fontos megemlíteni az un. Oktatói munkahelyet is.

Az Oktatói munkahelynek lehetőséget kell biztosítani a repülés meteorológiai helyzetének repülés előtti és közbeni módosítására, a harcászati helyzet akár repülés közbeni módosítására, az ellenséges erők manővereinek folyamatos módosítására, a légi helyzet (légi forgalom) repülés előtti beállítására és módosítására, légi meghibásodás imitálására a repülés teljes időszakában (indítástól a hajtómű leállításáig). A feladatok végrehajtása folyamán, azért hogy az irányító tapasztalatot szerezzon egyes műszerek, berendezések üzemképtelenné válásának időbeni észlelésére, az oktató a repülés bármely szakaszában imitálhatja a légi meghibásodásokat.

Ennek megfelelően az oktatói pultnak – illetve kezelőjének – képesnek kell lennie: a szimulációs tér meteorológiai körülményeinek alapbeállítására, repülés közbeni változtatására; a különleges esetek szimulálására, a vizuális elemek megjelenítésére (módosítására) a látva és műszerrepülési szabályok végrehajtása melletti repülések folyamán, külső képi megjelenítéssel, navigációs adatok betöltésére, a légi irányítás, kommunikáció végrehajtására az UAV gépszemélyzet és az irányító szolgálat (jelen esetben az oktató) között.

## BEFEJEZÉS

Jelen cikk megírásával az volt a célom, hogy feltárjam a repülő szimulátorok alkalmazásának lehetőségeit az UAV kezelők képzésében. Bemutassam a jelenleg alkalmazott szimulátor berendezéseket, azok képességeit, korlátait, illetve azok lehetséges alkalmazási területeit. Írásomban a pilóták képzési követelményeivel kapcsolatban szerzett tapasztalataim felhasználásával összefoglaltam azon elvárásokat, melyek egy kompetens módon alkalmazható szimulátortól elvárhatóak.

Reményeim szerint sikerült annak alátámasztása, hogy az UAV kezelők gyakorlati képzésének egyik legfontosabb és leginkább költségghatékony eleme a szimulátorok alkalmazásában rejlik, azok alkalmazása nélkülözhetetlen a komplex rendszerekkel rendelkező légi járművek használata során. Az azokon történő képzés (gyakorlás) repülésbiztonsági szempontból megkerülhetetlen a harci alkalmazásra történő felkészítés időszakában.



*A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg”.*

*„The project was realised through the assistance of the European Union, with the cofinancing of the European Social Fund.”*

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. Kevin Heffner - Dr. J. Mark Pullen: Effective Simulation Support for Operator Training and Experimentation in Unmanned Aircraft Systems Development and Deployment, Letöltve: <http://ftp.rta.nato.int/public/>, 2013 február 05 21.14;
- [2] Dr. DUDÁS Zoltán - Dr. RESTÁS Ágoston: Nemzetközi példák az UAV repülés emberi tényezőit érintő jogi szabályozásra az RPAS 2012 konferencia tapasztalatai alapján (Redpüléstudományi közlemények, XXIV évfolyam 2012 3. szám, ISSN: HU ISSN 1789-770X);
- [3] Charlotte Adams: Simulation and Training (Rotor & Wing magazine, Rockvill /USA/ 2010 június, p 24-30, ISSN-1066-8098);
- [4] Carl Nehme, Jacob Crandall, Mary Cummings, "An Operator Function Taxonomy for Unmanned Aerial Vehicle Missions", Letöltve: <http://hdl.handle.net/1721.1/55960>, 2013 február 05 21.30;
- [5] United States Army UAS Center of Excellence, "Eyes of the Army - US Army Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2010-2035", Letöltve: <http://www.ousa.org/publications/ilw/Documents/TB-US%20Army%20Unmanned.pdf>, 2013. március 09 20.00;
- [6] NATO STANAG 4670 Edition 1, NATO Standardization Agency 2009. április 28.;

## ÁBRÁK JEGYZÉKE

Ábra	Forrás	Megjegyzés
1.	<a href="http://www.uasvision.com/2012/05/29/rpas-nano-rpas-a-new-reality/">http://www.uasvision.com/2012/05/29/rpas-nano-rpas-a-new-reality/</a> <a href="http://www.defensereview.com/micro-air-vehicle-backpackable-uav-for-tactical-reconnaissance-surveillance/">http://www.defensereview.com/micro-air-vehicle-backpackable-uav-for-tactical-reconnaissance-surveillance/</a> <a href="http://defense-update.com/20110817_enhanced_skylark_1leauvs-2.html">http://defense-update.com/20110817_enhanced_skylark_1leauvs-2.html</a>	Letöltve: 2013. február 05., 21.50 - 22.00
2.	<a href="http://uavdronesforsale.com/index.php?page=item&amp;id=24">http://uavdronesforsale.com/index.php?page=item&amp;id=24</a>	Letöltve: 2013. február 08., 21.10
3.	<a href="http://www.w54.biz/showthread.php?16-UAV-s-UCAV-s-and-other-such-matters/page63">http://www.w54.biz/showthread.php?16-UAV-s-UCAV-s-and-other-such-matters/page63</a> <a href="http://defense-update.com/features/du-2-05/uav-6.htm">http://defense-update.com/features/du-2-05/uav-6.htm</a> <a href="http://www.army-technology.com/projects/luna/">http://www.army-technology.com/projects/luna/</a> <a href="http://www.wired.com/dangerroom/2012/09/yemen-drone-war/">http://www.wired.com/dangerroom/2012/09/yemen-drone-war/</a>	Letöltve: 2013. március 10., 20.35 - 21.10
4.	<a href="http://files.air-attack.com/MIL/predator/mq1b_simulator_20091116.jpg">http://files.air-attack.com/MIL/predator/mq1b_simulator_20091116.jpg</a>	Letöltve: 2013. március 09., 19.15



Krajnc Zoltán<sup>1</sup> – Jenei Imre<sup>2</sup>

## „TÍZ ÁLLÍTÁS A LÉGIERŐVEL KAPCSOLATBAN” – PHILIPPE S. MEILINGER LÉGIERŐ ÉRTELMEZÉSE<sup>3</sup>

*A tanulmány bemutatja Philippe S. Meilinger ny. ezredes (USAF), légierő teoretikus, légierőről, ill. a légi hadviselés filozófiai alapjairól vallott nézeteit a „Tíz állítás a légierővel kapcsolatban” című könyve alapján. Meilinger bölcsészdoktor, PhD-fokozatát a University of Michigan-en szerezte. Jelenleg a School of Advanced Air Power Studies légierő-történelem professzora. Korábban, többek között, szolgált az US Air Force Academy-n hadtörténelem tanszékvezetőként, és az Air Staff Doctrine Division doktrínafejlesztőjeként is. Véleménye szerint a légierő egy igen összetett, bonyolult entitás, amit körülhatárolni (leírni) csak komplex módon lehetséges, amelyet Ő 10 állítás (tétel) megfogalmazásával és kifejtésével hajt végre.*

### **10 PROPOSITIONS REGARDING AIR POWER – INTERPRETATION OF AIR POWER OF PHILIPPE S. MEILINGER**

*The author presents in this study the interpretation of air power of Philippe S. Meilinger on the basis of his book named "Ten Propositions Regarding Airpower". Meilinger (born in 1948) is a retired colonel of the USAF as well as a historian and analyst. Before his retirement he was Dean of the School of Advanced Airpower Studies (SAAS) at the USAF's Air University in Montgomery, Alabama. A command pilot, he has served as a C-130 aircraft commander and instructor pilot in both Europe and the Pacific. After a tour at the Air Force Academy, he was assigned to the Doctrine Division of the Air Staff at the Pentagon. According to Meilinger air power is more complex entity which difficult to define. He formulated 10 propositions regarding to air power which he tried to grab essence of aerial warfare with.*

## BEVEZETÉS

A légierő értelmezése, alkalmazásának filozófiai alapjai alapvetően meghatározzák, hogy miként gondolkozunk a légierőnek, mint biztonságpolitikai erő-, és eszközrendszernek az alkalmazását, az adott politikai célok érdekében való bevetésének gyakorlatát illetően. Ezen legáltalánosabb törvényszerűségeket a légi hadviselés történelme folyamán sokan, és sokféleképpen megfogalmazták, azonban nem létezik egyetlen univerzálisan elfogadott teória sem. A mindennapok gyakorlatában, a légi hadviselési doktrínákban, több egymást kiegészítő elmélet is érvényesül.

NATO-tagságunk, a sokat emlegetett szellemi kompatibilitás miatt, megköveteli, hogy jól értjük a légierő, különféle doktrínákban lefektetett, alkalmazásának elvi kérdéseit. Ezért is célszerű áttekinteni azokat a legfontosabb légi hadviselési nézeteket, amelyek ma is hatást gyakorolnak a NATO légi stratégiájára, tanukmányunkba erre tettünk kísérletet. Feldolgoztuk, korunk

<sup>1</sup> Dr. habil; mk. alezredes, Nemzeti közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Vezetőképző Intézet Összhaderőnemi Művelési Tanszék, egyetemi docens, krajnc.zoltan@uni-nke.hu;

<sup>2</sup> 4. éves honvéd tisztjelölt, Nemzeti közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Vezetőképző Intézet Művelési Támogató Tanszék légvédelmi rakétatechnikai specializáció, jeneimre@hotmail.com;

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Palik Mátyás alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu

egyik meghatározó teoretikusának, PHILLIP S. MEILINGER<sup>4</sup>-nek a légierő értelmezéséről, a légi hadviselés alapkérdéséről vallott nézeteit.



1. ábra Philippe Meilinger

Munkái közül, ebben a problémakörben, a legnagyobb hatást a „*Tíz állítás a légierővel kapcsolatban*”<sup>5</sup> címmel megjelent könyvében fejtette ki, amelyben a légierő lényegét filozófiai szinten kísérli megragadni. Megfogalmaz tíz tételt, amelyek együttesen leírják a légierő-, a légi hadviselés lényegét:

- aki a levegőt ellenőrzi, az általában a felszínt is uralja;
- a légierő a belső lényegéből fakadóan stratégiai erő;
- a légierő elsősorban támadó jellegű;
- lényegében a légierő támadó tevékenysége ciklikus: csapásmérés és a következmények elemzése után újból csapásmérés, majd ismét elemzés;
- a légierő fizikai és pszichológiai sokkot okoz a negyedik dimenzió, az idő kihasználásával;
- a légierő képes egyidejűleg, a háború bármely szintjén, katonai műveleteket folytatni;
- a precíziós légi fegyverrendszerek újraértelmezik a tömeges alkalmazás jelentőségét;
- a légierő különleges jellemzői megkövetelik a centralizált irányítást;
- a technológia és a légierő integrált, egymással kölcsönösen összefüggő kapcsolatban van;
- a légierő nem csak a katonai erőforrásokat foglalja magába, hanem a repülő- és űripart, valamint a kereskedelmi repülést is;

## AKI A LEVEGŐT ELLENŐRZI, AZ ÁLTALÁBAN A FELSZÍNT IS URALJA

Ez az axióma a légi hadviselés alapkategóriáját a légi fölény (légi uralom) kérdéskörét, jelentőségét veszi górcső alá. Mit értünk légi fölény alatt?

*„A légtér feletti ellenőrzés képessége alapvetően három szinten, a kedvező légi helyzet, a légi fölény, és a légi uralom szintjén értelmezhető... a légi fölény, amikor a szemben álló fél légierője*

<sup>4</sup> Főbb publikációi: "Hoyt S. Vandenberg: The life of a General" (Indiana University Press, 1989), „The Problem with Our Air Power Doctrine” (Air Power Journal, 1990, Spring), „Air Strategy: Targeting for Effect," (Aerospace Journal, 1999, Winter), "Ten Propositions Regarding Airpower," (Aerospace Journal, 1996, Spring), "The Air Force in the Twenty-first Century: Challenge and Response," (Air Power Journal, 1990, Winter),

<sup>5</sup> Meilinger, Phillip S.: 10 Propositions Regarding Air Power, Air Power Studies Centre, ISBN 0642234450, 1995. ([http://ebookey.org/10-Propositions-Regarding-Air-Power\\_334706.html](http://ebookey.org/10-Propositions-Regarding-Air-Power_334706.html))

a hadszíntér egyik részén sem képes hatékony ellentevékenységgel korlátozni a másik fél csapatainak tevékenységét. A légi fölény meghatározott szintje felett a szárazföldön és a levegőben egyaránt minőségi változás következik be a hadműveletek végrehajtási feltételeiben. A légtér feletti ellenőrzés képességének ezen a szintjén megvalósul a légi uralom, amikor a szemben álló fél légierője már képtelen hatékony ellenállást kifejteni és befolyásolni a hadműveletek kimenetelét. Ez persze nem jelenti a légtér totális birtoklását, hiszen az az ellenséges légierő teljes megsemmisítését igényelné.”<sup>6</sup>



2. ábra Meilinger 10 tétele

Meilinger szerint a légierő első és egyben legfőbb feladata, hogy megsemmisítse az ellenség légierejét, miközben védelmezi a saját egységeket és a létfontosságú központokat („vital centers”).

Kijelenthetjük, hogy a legtöbb légi hadviselési teoretikus hasonlóan vélekedik. Douhet fogalmazza meg legtömörebben: „A légtér irányításunk alá vonni, annyi mint győzni”. Warden állítja, hogy olyan állam még nem veszített háborút, aki fent tudta tartani a légi fölényt.

A szerző leszögezi, hogy ez egy konvencionális hadviselés, háború tekintetében igaz lehet, példaként hozza fel Németország, Japán, Egyiptom, Irak háborúit. Azonban egy nem konvencionális hadviselés esetében ezt kétségesnek gondolja. Felteszi a kérdést: hogyan érjük el a kívánt eredményt? Meilinger szerint nem szabad a légierőt „védekező, statikus szerepbe” kényszeríteni, ahogy az egy szárazföldi parancsnok számára talán megfelelő lenne, hanem egy agresszív doktrínával kell megtámogatni, a légi fölényért vívott harcban. Ez a légi fölény nem csak a szárazföld feletti területekre, hanem a tengerek felettire is vonatkozik, mivel a tengeri műveletek nem elég hatásosak önmagukban. A haditengerészetnek szüksége van légi lefedettségre

<sup>6</sup> Dr. Ruttai László – Dr. Krajnc Zoltán – Dudás Zoltán: A légtér feletti ellenőrzés képességének szintjei, Repüléstudományi Közlemények Különszám 2002/2. p. 125-131;

(„*air cover*”). Az USA Japán ellen vívott ütközeteiben számtalan példa akad rá, talán a legismertebb példa Pearl Harbour eleste.

A legtöbb teoretikus írásaiból kitűnik hogy a légi fölény fontos és talán önmagában is elég a győzelemhez. Meilinger véleménye szerint alapvetően két probléma is akad ezzel az elgondolással. Az első: a légi fölény akkor ér valamit ha a politikai akarat („*political will*”) képes ezt kiterjeszteni, azaz ha az ellenfél nem hiszi, hogy légicsapások következnek ipari létesítményei és katonai erői ellen, a légi fölény értelmezhetetlen. Egyszerűbben: hiába a légi fölény, ha az ellenségre nem tudunk hatni vele. A második: ha a légierő nem veszi figyelembe az ellenség légi erejét és az ellenség területeibe benyomul, azt kockáztatja, hogy az ellenség megszállja a hátszágot, vagy elvágja az utánpótlási útvonalakat. Mindezek után Meilinger megállapítja, hogy a légi hadviselés nem szüntette meg a szárazföldit, csupán áthelyezte a súlypontokat, így a légi fölény szükséges, de nem elégséges feltétel a győzelemhez.

## A LÉGIERŐ A BELSŐ LÉNYEGÉBŐL FAKADÓAN STRATÉGIAI ERŐ

A repülőgép feltalálása, a katonai légierők alkalmazása előtti időkben a háború, leegyszerűsítve, abból állt hogy egy nemzet sereget toborzott és azokat az ellenség ellen vezette, hogy behatolhasson annak sebezhetőbb belső területeire és azt elfoglalja. Meilinger szerint a Clausewitz-i elveket követve a képlet egyszerű: „*semmisítsük meg az ellenséges hadsereget, mert ha az nem tud megfelelően működni akkor nem akadályozhat minket a katonai győzelem elérésében.*”

Elemzései alapján megfogalmazza, hogy kevés háború zajlott ezen forгатókönyv szerint, a legtöbb konfliktus elhúzódó véres csaták sorozatából állt, amit gyakran a végkimerülésig, a teljes összeomlásig (vereségig) vívtak. A fegyveres erők ezáltal taktikai elemekké váltak, azt remélték tőlük hogy a harcmezőn kivívott győzelmeket továbbfejlesztve, olyan helyzetbe kerülnek ahonnan stratégiai eredményeket érhetnek el. A haditengerészet is harcászati szinten folytatott rendszerint műveleteket, miután tengeri fölényre tesz szert, blokádnak alá von, partra száll, vagy a partvonal melletti erődítményeket, célpontokat rombolja.

Meilinger megfigyelései szerint a légierő változtatott ezen a szisztémán azzal, hogy csökkentette a stratégiai és harcászati szintek közötti markáns elválasztó vonalat. A katonai repülőgépek könnyen végrehajthatnak stratégiai hatással járó műveleteket, hiszen különleges képességük - miszerint könnyen átrepülnek hadseregek, flották és mindennemű földi akadály fölött - lehetővé teszi hogy közvetlenül az ellenség kulcsfontosságú központjai („*key centers*”) ellen végezzenek támadást. A mindenkorai légierő parancsnok célja az, hogy maximalizálja előnyeit, azzal hogy stratégiai szinten működik, miközben arra kényszeríti ellenfelét, hogy csak harcászati szinten harcoljon ellene. Mindemellett a légierő képes harcászati szinten is működni ha szükséges, a légierő parancsnokainak teljességében kell nézniük a háborút, nem csak egyes szegmenseiben, mivel a légi háború megvívásához széles látóköri, stratégiai gondolkodás szükséges. Megállapítja, hogy a légierőnek, mint nem halálos erőként („*non-lethal*”) való alkalmazásában is komoly lehetőségek rejlenek, és ebben a kontextusban a berlini blokádra utal.





## A LÉGIERŐ ELSŐSORBAN TÁMADÓ JELLEGŰ

Meilinger egy régi „*ökölszabállyal*” nyit, mely szerint nem ma vették kőbe, hogy a védelem a háború legerősebb formája. A védelmet folytató fél beássa magát, erődítményeket épít, mindemellett ismert és nem ellenséges (baráti) területen működik. Szun-Ce arra a következtetésre jutott, hogy az ellenség gyenge pontja a támadásakor jön elő, akkor mutatkozik legjobban. A hagyományos értelmezés szerint ezt ellensúlyozandó, háromszoros túlerőt kell biztosítani a támadás pillanatában a megfelelő ponton, hogy legyűrjék ellenséget a védelmi állásaikban. Rámutat, hogy a légierő haderőnem nem követi ezt a szabályt, mivel a „*légtér oszthatatlan egysége*” és úgymond „*útnélkülisége*” a biztosíték arra, hogy bármely irányból támadhasson. A légtérnek nincsen eleje vagy oldala, így a védekező félnek („*air defender*”) kevés esélye van előrelátható útvonalakra terelni a támadót, hogy védelme hatékonyabb legyen. Képtelenség tökéletesen megállítani egy légi támadást úgyis lesznek csapásmérő repülőgépek, amelyek elérik a céljukat.

Példaként hozza fel a katasztrófálisnak számító a Schweinfurt<sup>7</sup> elleni légi támadást, ahol a bombázók 85% túljutott a védelmen és leszórta a bombaterhét. Ezen felül, ha a védelemben lévő félnek, hogy minden fontos területet megvédjen, meg kell osztania az erőit, hogy minden helyen (irányban) képes legyen a támadót visszaverni. A légvédelemnek alapvetően nincsenek előnyei a támadóval szemben, így a passzív védekezés hasztalan. Míg a támadó elméletileg bármit támadhat, a légvédelem csak a támadót veheti célba, ha ez még nem lenne elég a védőnek egyéb hátrányai is vannak: jól szervezett, hatékony és túlélőképes vezetési és irányítási rendszerrel kell rendelkeznie, míg a támadónak nem feltétlenül. Teoretikus szemmel nézve a védekezőnek háromszoros túlerőben kell lennie, ami a szárazföldi helyzet pontos ellentéte. Ezek az elvek vezették Douhet-t és másokat arra a következtetésre, hogy a repülőgép, mint támadó eszköz példa nélküli a hadviselés eddigi történetében.

Ha ezt igaznak tekintjük, akkor Meilinger megvizsgálta, hogy mi következhet ebből: elsőként elmondhatjuk, hogy a győzelem csak támadó harccal vívható ki, tehát a késlekedés a levegőben csak a vereséget hozhat. Ennek okán a légi harcban nincsenek heteink, vagy hónapjaink a mozgósításra. Szun-Ce azt javasolja, hogy hogy győzzük le az ellenfél stratégiáját, lehet hogy a földön eredményesek lehetünk ezzel a stratégiával, de a levegőben erre nincs időnk, mert ez azt jelentené, hogy meg kell várnunk amíg körvonalazódik az ellenség stratégiája és ezután ellencsapást végezni. A vállalkozás kockázatos és a tévedésért nagy árat fizethetünk. Végül a támadó légierő koncepciója megszünteti a harcászati tartalékképzés szükségességét, ennek az az oka hogy a légi csaták nagyon kevés kivétellel gyorsan (hirtelen) kezdődnek és végződnek, így különleges körülmények kivételével a parancsnoknak óvakodnia kell a tartalékképzéstől. Inkább minden repülőgépnek harcfeladatot kell adnia, azaz régi mondás szerint „*minden vasat a levegőbe!*”

<sup>7</sup> „Schweinfurtot az ipara, különösen fontos csapágygyártása, több ízben tette a szövetséges bombázók célpontjává, elsősorban: 1943. augusztus 17-én, 1943. október 14-én, 1944. február 24./25-én és 1944. április 14-én. Különösen súlyos volt az 1943. augusztus 17-i támadás 317 B-17-es repülőgéppel, melyek több mint 724 t bombát dobtak a viszonylag kicsiny városra. Az október 14-i támadás azonban fiasónak bizonyult a bombázók számára, a 291 repülőgépből 77-et lelőtt és 121-et megrongált a légvédelem. A bombázó köteléket a német vadászgépek heves támadásai annyira szétszakították, hogy a beirányzott célokat nem találták el, és a bombák a környező földekre és falvakra hullottak. A légicsapások következtében Schweinfurt közel egyharmada dőlt romba.” ([http://nemet\\_sorstragedia.lorincz-veger.hu/terrorbombazas\\_schweinfurt](http://nemet_sorstragedia.lorincz-veger.hu/terrorbombazas_schweinfurt))



Összefoglalva: légierő sebessége, hatótávolsága és flexibilitása mindenütt jelenlévővé tette, és ezt támadó képessége hatja át, amivel a légi háborúban a siker gyakran a támadó oldalán áll.

## A LÉGIERŐ TÁMADÓ TEVÉKENYSÉGE LÉNYEGÉBEN CIKLIKUS: CSAPÁSMÉRÉS ÉS A KÖVETKEZMÉNYEK ELEMZÉSE UTÁN ÚJBÓL CSAPÁSMÉRÉS, MAJD ISMÉT ELEMZÉS

A tény hogy elméletileg bármit támadhatunk, még nem jelenti az hogy támadnunk is kell. A célok kiválasztása („*targeting process*”) a légi stratégia úgymond esszenciája. Attól függően milyen elméletet követünk, ezek a célok igen változatosak lehetnek. Douhet<sup>8</sup> elmélete szerint az ellenség úgynevezett vitális centereit, létfontosságú központjait kell támadnunk, a civil lakosságot főként, így a lakosságon keresztül fejtve ki nyomást a kormányzatra. Az „*Air Corps Tactical School*”<sup>9</sup> doktrinája az ellenfél iparát veszi célba. Az „*ipari hálózat*” („*industrial web*”) támadásának elmélete szerint ha leromboljuk a különálló egységekként elképzelt hálózatokat az ország háborús képességei kártyavárként omlanak össze. Slessor<sup>10</sup> szerint a közlekedési hálózatot kell lerombolni, így képtelenséggé válik az erők és eszközök átcsoportosítása. John Warden<sup>11</sup> a vezető szervezetet jelölte meg mint fő célt, szerinte a nemzet vezetői döntenek háborúról és békéről, így rájuk kell nyomást gyakorolni hogy békét kössenek. Billy Mitchell<sup>12</sup> 1925 előtti írásaiban magát az ellenséget jelöli meg a stratégiai csapások fő irányának. Mindegyik elmélet a látszat ellenére nagyon hasonlít egymáshoz az eltérés csupán az úgynevezett fontossági, vagy súlypont („*center of gravity*”) meghatározásában tér el. Az elméletek fejlődését a tökéletes célpont kiválasztása utáni hajszának is nevezhetnénk. A légi stratégiát képző

<sup>8</sup> DOUHET, Giulio, (1869-1930) olasz tábornok, kezdetben tüzértiszt, később léghajós osztagparancsnok majd a légierő parancsnoka. Elveit a „Légi uralom” (1921), a „Légi háború” (1927) és „Az 19... évi háború” (1929) c. műveiben írta le.

<sup>9</sup> AIR CORPS TACTICAL SCHOOL – ACTS. Az Egyesült Államok fegyveres erejének iskolája, szellemi alkotó műhelye. Az ACTS elmélete alapozta meg az USA II. világháborús légi stratégiáját. Az ún. „bombázó-maffia” tagjai (R. Olds, K. Walker, D. Wilson, H. L. George, O. Moon, R. Webster, H. Hansel, L. Kuter, M. S. Fairchild) a légierő elmélet alapvető kérdéseire keresték a választ: „Egy ellenséges ország erejének melyek a legfontosabb összetevői, és azt hogyan tudja a légierő pusztítani, ill. az ellenséges szándékaitól eltéríteni?”. Nézeteik szerint a nemzetállamok összefüggő gazdasági rendszerként értelmezhetőek, amelyek létfontosságú pontjainak pusztításával az egész rendszert le lehet rombolni.

<sup>10</sup> SLESSOR, John Cotesworth (1897-1979). A II. Világháború brit légi marsallja, az Imperial Defence College egykori parancsnoka. Magyar történelmi vonatkozásai is vannak az életének részt vett: azokon a tárgyalásokon (Caserta, Olaszország), amelyeket a világháborúból való kilépési lehetőségek céljából folytattak le Náday István vezérezredessel. Teóriája alapján végrehajtott légitámadásokban az ellenséges csapatokat, haditechnikai eszközöket, raktárakat és ellátó bázisokat pusztítják. Slessor úgy gondolta, hogy a katonai siker elérése az ellenséges állammal szemben elegendő a politikai célok eléréséhez.

<sup>11</sup> WARDEN, John III. Az USAF nyugállományú ezredese, egykori elnöki tanácsadó, stratégiai tervező, vadászpilóta és repülőparancsnok. A modern légierő-elmélet egyik meghatározó alakja, az Irak elleni szövetséges erők légi hadjáratának főtervezője. Nézeteit az „Air campaign” című főművében fejtette ki. Vendégprofesszorként rendszeresen tanít polgári és katonai egyetemeken. Nyugdíjazása után megalakította a Venturist nevű cégét, amellyel kiemelkedő sikereket ért el a stratégia tanácsadás, a team-építés, és a multimédia területén.

<sup>12</sup> MITCHELL, William „Billy” (1879-1936), tábornok, az amerikai katonai repülés hőskorának legendás alakja. Főbb művei: „Our Air Force” (1921), „Winged defense”(1925), „Skyways”(1930) Elgondolása alapján az ellenséges nemzet lakossága szempontjából létfontosságú központok (nagy városok, ellátó-centrumok, közlekedési csomópontok, stb.) ellen végrehajtott bombázásokkal elérhető, hogy az adott országban polgári elégedetlenség, vagy felkelés „elsöpörje” a kormányon levőket és így a célzott politikai események bekövetkezzenek.

elméletek fontos lépései a fejlődésnek, de csupán az első lépései, mert itt nem állt meg a fejlődés. Az első öbölháború mutatott rá arra, hogy ha nem tudtuk, hogy bizonyos célpontok léteznek, akkor a légi erő eredménytelen maradhatott. A különböző katonai információgyűjtő-, hírszerző szolgálatok évszázadok óta léteznek, az eredményeik eddig harcászati jellegűek voltak, főként felvonulási útvonalakat, csoportosítások helyeit, és ehhez hasonló volumenű információkat állított elő. Ezek az információk szintúgy hasznosak a légierő számára is, de annak stratégiai természeté folytán jóval mélyebb, stratégiai jellegű információkra is szüksége van. Az információ „*stratégiai nyersanyaggá*”, így a konfliktusok kulcsává vált a modern korban („*industrial age*”).

A következő lépés a légi támadás („*air attack*”) hatásainak elemzése. Az eddig széleskörűen alkalmazott módszer az ún. „*BDA*” („*bomb or battle damage assesment*”), ami főként harcászati jellegű tevékenységnek tekintendő. Egyszerű módja a csapások utáni felderítés, azonban ez a precíziós fegyverek esetében nem elég pontos, hatásos. Meilinger szerint a probléma gyökere abban rejlik, hogy a módszer „*özönvíz előtti*”: fogjuk a pusztítandó terület nagyságát, megnézzük (vizuálisan) mennyit sikerült lerombolni belőle (és ezt még összevethetjük a felhasznált pusztítóeszközök mennyiségével). A módszer már az első öbölháborúban sem adott sokszor igazán értékelhető eredményeket. Jó példa erre a hírszerzés főhadiszállásának elpusztítása: a jelentett BDA 25% volt, ami igaz volt mert a objektum negyede semmisült meg, de mivel a főhadiszállás pont abban az épületrészben volt, így a támadás teljesen hatásos volt, hiszen a cél funkcionálisan megsemmisült. (100%)

Stratégiai szinten a hatások vizsgálata még komplexebb. Például egy elektromos hálózat esetén néhány bombával is komoly károkat idézhetünk elő, de vannak még nehezebben elemezhető aspektusok is, például az 1991-es öbölháborúban az irakiak lekapcsolták az elektromos hálózatot remélve, hogy a koalíciós erők nem veszik célba így, mivel a koalíció célja az energiaellátó hálózat kikapcsolása, nem pedig megsemmisítése volt, így a támadással való fenyegetés olyan hatásos volt mintha támadták volna.

A múlt és jelen légierője számára még mindig ugyanaz a kihívás: megtalálni a legjobb módszert az ellenséges ország komplex, egymással kölcsönös viszonyban lévő rendszerei közti kapcsolatok elemzésére. Meghatározni hogyan, miként zavarhatók, kapcsolhatók ki? A szárazföldi erők könnyebb helyzetben vannak ezen a téren, mivel folyamatosan tudják elemezni a módszereik hatékonyságát, ellenben a légierő igazán csak a háború után tud mélyreható elemzéseket végezni.

## A LÉGIERŐ FIZIKAI ÉS PSZICHOLÓGIAI SOKKOT OKOZ A NEGYEDIK DIMENZIÓ, AZ IDŐ KIHASZNÁLÁSÁVAL

Meilinger megítélése szerint Napóleon győzelmeinek sikeressége, többek között, azzal magyarázható, hogy megértette a perc értékét, ha jobban megnézzük ez azt jelenti, megértette az idő fontosságát, azaz az időzítés szerepét a harcban. Az „*időzítés az egységek tevékenységeinek időbeni összehangolását jelenti az eredményesség maximalizálása érdekében.*” Fontos, hogy úgy gondoljunk az időre, mint időtartamra, mert idő kell mindenhez, a mozgáshoz, a felkészüléshez és harc megvívásához is. A légierő a legjobb idő-gazdálkodó, mert az a képessége, hogy sebessége segítségével közelebb hozza időben a hatásokat és ez sokként hathat az ellenfélre.

Nehéz különválasztani a fizikai és pszichológiai sokkhatást egymástól, bár természetük lényegesen különböző. A fizikai sokk akkor keletkezik, amikor erő találkozik egy testtel. Régen ezt a hatást a nehéz lovasság és a nehéz-gyalogság okozta. A légierő képes ezt a sokkhatást előállítani hatalmas mennyiségű, pusztító erejű fegyverzeete révén, amit akár egy jól körülhatárolható területre is képes koncentrálni. A légierő pszichológiai sokkot is előidéz, ami talán fontosabb is mint a fizikai, mert a háború alapjaiban pszichológiai jellegűnek tekinthető.

Legkönnyebb módja a pszichológiai hatásoknak az, hogy növeljük a fizikai sokkhatást, de óvatosságnak kell lennünk, mert könnyen összetéveszthetjük a pusztítás mértékét az eredményesség fokával. A légierő parancsnokainak inkább azt a képességét kell kihasználni a légierőnek, hogy sebessége révén drámaian növelheti a harci cselekmények tempóját, ezzel idézve elő pszichológiai sokkot. Könnyen megérthetjük eme tulajdonság fontosságát, ha megvizsgáljuk a más haderőnemek menetsebességét. A gépesített egységek idejük 90-99%-t nyugvásban töltik és harc közben sem képesek 5-10 km/h-nál gyorsabb menetre. Akadnak kivételek, de a tapasztalatok azt mutatják, hogy a robbanómotor feltalálása sem gyorsított annyit a harci cselekményeken mint azt az elemzők várták. Egy repülőgép könnyedén utazhat ellenséges terület fölött több száz m/s-os sebességgel a földi akadályok mellőzésével, így nagy előnyre tehet szert a védekezéssel szemben. Az idő ilyen módú felhasználása meglepetést okozhat, a meglepetés sokkot, a sokk pedig zavartságot és figyelmetlenséget.

John Boyd<sup>13</sup> OODA Loop-elmélete („*observe-orient-decide-act*”) is a légierő ezen képességére épül, pontosabban arra, hogy „*közelebb hozza a történéseket*”.

Meilinger szavaival élve: „*felnagyítja az időt*” („*telescoping time*”). Ez a hatás hatalmas pszichológiai nyomásként nehezedik az ellenségre, ami a háború döntő elemévé válhat. Ezen felül a sebesség és a meglepetés kombinációja akár tömeghatásként is érvényesülhet, maga alá gyűrve az ellenséget. Ennél is tovább menve, a sebesség és meglepés segít csökkenteni a támadó veszteségeit, hiszen kevésbé van kitéve ellenséges tűznek. Ezért van az, hogy a sugárhajtóműves gépek leváltották a hagyományosokat a harcászati légi műveletekben, hiszen a sebesség itt a túléléssel egyenértékű. Végeredményül azt is beláthatjuk, hogy a légierő ezen képességétől megfosztva szinte teljesen hatástalan, jó példa erre Vietnám, ahol az alacsony intenzitású konfliktus erősen lekorlátozta a légierő hatékonyságát.

## A LÉGIERŐ KÉPES EGYIDEJŰLEG, A HÁBORÚ BÁRMELY SZINTJÉN, KATONAI MŰVELETEKET FOLYTATNI

A szükséges szárazföldi haderő létszámát általában az ellenséges erők létszáma határozza meg, és a sikeres harcok (pl. megszállás) után a szárazföldi csapatok nem tudják a fő tevékenységüket folytatni (a harc megvívása). Leegyszerűsítve az ezt követő időszakban más rendszer is el tudná

---

<sup>13</sup> BOYD, John. Egykori harci pilóta (Korea, Vietnám). Az elméleti tevékenységen kívül részt vett az F-15, 16, és F-18-as repülőgépek kifejlesztésében is. Széleskörű teoretikus munkát folytatott, elméletének fő tételei felelhetők a „*Patterns of conflict*”, „*A Discourse on Winning and Losing*” című műveiben. Nyugállományba vonulása után, a stratégiai tervezésben szerzett felkészültségét, sikeresen alkalmazta az üzleti szférában, ahol tanácsadóként és tréningek vezetésével komoly elismerést vívott ki magának.

végezni a munkájukat, például milícia jellegű szervezetek is.

A légierő létszámát nem az ellenséges légierő határozza meg, mert a légierő a légi támadó jellegű bevetéseken kívül képes más fontos feladatok végrehajtására is, nem is beszélve arról, hogy ezeket a feladatokat képes párhuzamosan is ellátni. Míg a földi erők rá vannak kényszerítve arra, hogy az egyik ütközet után a másikat vívva kell a harcászati győzelmeiket hadászati vá fejlesztetniük, addig a légierő a háború különböző szintjein is képes műveleteket folytatni. Sebessége és hatótávolsága révén képes csapást mérni az ellenséges ország teljes szélességében és mélységében. A párhuzamos műveletek párhuzamos hatásokat érnek el, többes krízishelyzetet idézve elő egyazon időben, így az ellenség nem lesz képes mindegyikre reagálni.

Meilinger szerint az öbölháború kiváló példát ad erre: a koalíciós erők az első pár óra alatt gyakorlatilag megnyerték a háborút. A légitámadások nyomán szinte képtelenség volt parancsokat adni, vagy fogadni, kommunikálni, radareszközöket használni és a védelmet megszervezni, mert az ezekhez szükséges létesítmények és hálózatok megsemmisültek, vagy használhatatlanná váltak.

Meilinger összegzése szerint „*már régóta nem az a parancsnok célja, hogy felvegye a harcot az ellenséggel, hanem az hogy bénítsa, működésképtelenné tegye.*” A párhuzamos műveletek a megfelelő módszere erre a feladatra, és a légierő flexibilitása, sebessége és hatótávolsága révén a megfelelő eszköz a végrehajtásra.

## A PRECÍZIÓS LÉGI FEGYVERRENDSZEREK ÚJRAÉRTELMEZIK A TÖMEGES ALKALMAZÁS JELENTŐSÉGÉT

A tömeges alkalmazást mindig is a háború egyik a alapelveinek tartották. A lőfegyverek hatótávolságának növekedésére válaszul, a védelmi állások egyre fontosabbá váltak. A védelem áttöréséhez erőket és eszközöket koncentrálni kellett. A tömeg domináns eleme volt a szárazföldi hadviselésnek, a tervezők figyelmét az kötötte le, hogyan fejlesszék a közlekedési módokat és a kommunikációt, hogy elérjék a tömeg rendelkezésre álljon a megfelelő időpontban és helyen, az ellenség tudtán kívül.

F. W. Lanchester „*N a négyzetten törvénye*” – miszerint ha nagyszámú túlerőt halmozunk fel, akkor a veszteségeink négyzetgyökösen csökkennek – némi tudományos hitelt adott a tömegbe vetett hitnek. A korai időkben a tömeg elve igazolódni látszódnak a légierőre nézve is, ennek oka a pontatlanság volt, ami lényegében lekényszerítette a harcászati szintre. A légi műveletek pontosságának növekedésével teremtődött meg a lehetőség a párhuzamos műveletek végrehajtására. A fejlődést jól szemlélteti az, hogy míg a vietnami háborúban egy kisebb ház méretű terület pusztítására 190 tonna bombára volt szükség (1972, „*Linebacker művelet*”)<sup>14</sup>, addig az öbölháborúban egyetlen lézer-vezérelt bomba elég volt erre. Az ilyen mértékű fejlődést nézve

<sup>14</sup> „A Linebacker II hadművelet 11 napja alatt a B-52 bombázók összesen 729 bevetést repültek (az egyes támadásokban átlagosan 80-110 gép vett részt) és 15 ezer tonna bombát dobtak le. A légvédelmi erők összesen 266 db V-750 rakétát lőttek ki (az országban bevethető állomány majdnem egyharmadát), és 14 db B-52-t lelőttek, ötöt pedig súlyosan megrongáltak. A történelem azóta sem szolgáltatott példát a légvédelmi rakéták ilyen tömeges bevetésére.” ([http://katpol.blog.hu/2011/09/03/video\\_telefonpoznak\\_hanoi\\_felett](http://katpol.blog.hu/2011/09/03/video_telefonpoznak_hanoi_felett))



fel is tehetjük a kérdést: Miért vesztegetjük a muníciót a üres levegőre, vagy földre, ha minden egyes rakéta és lövedék akár célba is találhatna? A precíziós fegyverek elterjedésével a parancsnokok eddig ismeretlen problémával találták szembe magukat: miszerint ha a „*precízió*” ilyen szinten is lehetséges, akkor el is várják azt mindenkor. A légierő parancsnokainak óvatosnak kell lennie a járulékos veszteségekkel, civil veszteségekkel, mert a bombák politikai bombákká válhatnak, mert a sajtó tudósítóinak kamerái majdnem mindent látnak és rögzítenek.

## A LÉGIERŐ KÜLÖNLEGES JELLEMZŐI MEGKÖVETELIK A CENTRALIZÁLT IRÁNYÍTÁST

Sok korai teoretikus úgy vélte, hogy a légierő sosem nőhet fel és érheti el igazi potenciálját, ha szárazföldi irányítás alatt áll. Kezdetekben a légierő tisztjei karrierjüket a hadseregben, vagy a haditengerészetnél kezdték, de később rájöttek, hogy olyan emberekre van szükség, akik megértik a légierő különleges képességeit és sajátosságait. A szárazföldi parancsnokok azért viselnek felelősséget, ami közvetlen környezetükben történik, de amikor a szárazföldi műveletekben néhány kilométeres napi sebességgel mozognak előre, ez a környezet is nagynak számít. Az új fegyverzet kiterjesztette a fegyveres erők hatótávolságát, ezzel egyetemben kiterjesztette a felelősségi körzetüket is.

Ez a kiterjesztés a légierőre is igaz. Egy repülőgép több tonna bombát képes elvinni néhány perc alatt több száz kilométerre, ez megköveteli a stratégiai és műveleti szinteken való gondolkodást. A légierős szakembereknek szélesebb látókörben kell nézniük a háborút, mert a fegyverzet, amit irányítanak, a háború több szintjére lehet hatással. Az üresközök és a légi rendszerek mint AWACS („*Airborne Warning and Control System*”) és JSTARS („*Joint Surveillance and Target Attack Radar System*”) segítenek a szélesebb nézőpont kialakításában. A pilóták attól féltek hogy ha a szárazföldi parancsnokok irányítanák a légierőt, felosztanák úgy, hogy a saját műveleteiket támogassák az egész hadjárat céljainak támogatása helyett. Ezzel a tetteikkel ellehetetlenítenék, hogy a légerő gyorsan és eredményesen váltson egyik műveletről a másikra, hogy maximalizálja a hatásosságát.

## A TECHNOLÓGIA ÉS A LÉGIERŐ INTEGRÁLT, EGYMÁSSAL KÖLCSÖNÖSEN ÖSSZEFÜGGŐ KAPCSOLATBAN VAN

„*A háború a szív és az akarat ügye elsősorban. Fegyverzeté és technikáé másodsorban.*” tartja a mondás, de Meilinger nem így gondolja. Szerinte az ember könnyen vívhat harcot akár puszta kézzel is, vagy hajózhat egyszerű eszközökkel, de ahhoz hogy a földtől elemelkedjen már nem elég a testi ereje. A légierő a technológia eredménye, és ennek a megváltoztathatatlan ténynek az eredménye az, hogy a légierő egymást erősítő összefüggése a technológiával a szárazföldi erők számára ismeretlen.

A légierő magas szintű technológiát és gazdasági befektetést igényel, amit csak a leggazdagabb és legfejlettebb nemzetek engedhetnek meg maguknak. Mindemellert a légierő képességeire nagyban hatnak a fejlődő technológiák, mint például az űrtechnológia, számítástechnika, elektronika és az információs rendszerek.





---

## A LÉGIERŐ NEM CSAK A KATONAI ERŐFORRÁSOKAT FOGLALJA MAGÁBA, HANEM A REPÜLŐ- ÉS ŰRIPART, VALAMINT A KERESKEDELMI REPÜLÉST IS

Egy néhány katonai repülőgép még nem légierő, ebben majdnem az összes teoretikus véleménye egyezik. Emellett azt is kell látnunk, hogy a légierőt nem csak repülőgépek alkotják, hanem a technológia és gazdasági háttér is. A befektetés, amit ez a formálódó ipari ágazat követelt egyszerűen túl nagy volt ahhoz, hogy a vállalkozások önmagukban, így végezzék állami segítség kellett.

Meilinger egyetért azokkal a véleményekkel, hogy a kereskedelmi repülés szorosan összefügg a katonával, nem csak a közös gyökerek, gazdasági igények miatt, hanem amiatt is hogy a képességek, amelyek ahhoz szükségesek, hogy repülőgépeket építsenek, vezessenek és karbantartsanak, nagyban hasonlítanak egymásra. Az amerikai ipar terméke a ma repülő repülőgépek, műholdak nagy része, és bár a hidegháború véget ért a technológiai fejlődés és ezzel a fölény nem állt meg, csupán lelassult és csökkent.

### BEFEJEZÉS

Philippe Meilinger kritikai munkássága kiinduló alapjának tekinti, hogy a XXI. század realitásainak mindenben megfelelő légierő-elméletnek kell vezérelnie a jövő légi hadviselésének a gyakorlatát. A XXI. század potenciális hadviselési trendjének tartja, hogy a konfliktusok közül nem a hagyományos háború lesz a jellemző az elkövetkező időkben, ezért az ún. háborún kívüli konfliktusok légi komponensének a sikeres megvalósítására is fel kell készíteni a légierőt. A háborún kívüli tevékenységeken nem csak a válságkezeléssel- és a különböző békeműveletekkel összefüggő légi műveleteket érti, hanem az újra előtérbe kerülő, rendkívül nehezen definiálható, ún. alacsony intenzitású konfliktusokat is idesorolja.

Meilinger szerint John Warden „*elnagyolta*” a kulturális tényezők befolyásoló hatását, javasolja a „*visszatérést*” a Boyd-féle OODA-modell alkalmazásához, amely a kulturális- és mentális hatásokat favorizálja. Szükségesnek ítéli meg a légierő és a hadviselés (háború) alapelveinek felülvizsgálatát, amelynél a tárgyalat tíz tétel elveit ajánlja „*bedolgozni*”, hogy azok megfeleljenek a légierő természetének és a jelen kihívásainak.

Meilinger, a további kutatások számára iránymutatóként, szükségesnek tartja a modern KÁ-OSZ-ELMÉLET alapján a HYPERWAR-ELMÉLET továbbfejlesztését és beépítését a légierő-elméletekbe, hangsúlyossá teszi az eljövendő légierő műveleteknél a hadijogi- és a morális kérdések fontosságát.

***A tanulmány Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA) 84368. számú kutatási projektje támogatásával készült.***



---

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Meilinger, Phillip S.: 10 Propositions regarding Air Power, Air Power Studies Centre, ISBN 0642234450, 1995. ([http://ebookey.org/10-Propositions-Regarding-Air-Power\\_334706.html](http://ebookey.org/10-Propositions-Regarding-Air-Power_334706.html)) (2013. március 11.);
- [2] Telefonpóznák Hanoi felett ([http://katpol.blog.hu/2011/09/03/video\\_telefonpoznak\\_hanoi\\_felett](http://katpol.blog.hu/2011/09/03/video_telefonpoznak_hanoi_felett)) (2013. 03 11.)
- [3] Német sorstragédia Schweinfurt, ([http://nemet\\_sorstragedia.lorincz-veger.hu/terrorbombazas\\_schweinfurt](http://nemet_sorstragedia.lorincz-veger.hu/terrorbombazas_schweinfurt)) (2013. 03 11.)
- [4] Ruttai László – Krajnc Zoltán – Dudás Zoltán: A légtér feletti ellenőrzés képességének szintjei, Repüléstudományi Közlemények Különszám 2002/2. p. 125-131;
- [5] Krajnc Zoltán: A légierő alkalmazásának alapkérdései, Új Honvédségi Szemle 2005/7. P. 87-98,
- [6] Krajnc Zoltán: A légierő megváltozott szerepe a XXI. század hadviselésében (Kutatási Jelentés, Geopolitikai Tanács, 2006)

Fehér Balázs<sup>1</sup> – Dr. Bakó András<sup>2</sup>

## LÉGIFORGALMI INDULÁSI ELJÁRÁSOK OPTIMALIZÁLÁSA<sup>3</sup>

*Kutatásaim során az ún. tanuló algoritmusokkal végzett eljárás – optimalizálással foglalkozom. Ez azt jelenti, hogy egy adott módon legenerálunk megfelelően nagy eljárás-sokaságot, majd bizonyos szempontok alapján változtatunk rajtuk úgy, hogy az alapvető tulajdonságaik (elsősorban akadálymentesség) ne sérüljenek. Ha valamilyen szempontból jobb, mint az előző generációs, vagy kiindulási eljárás, akkor megtartjuk, ha rosszabb, elvetjük. Így az algoritmus egy folyamatos (ön-)fejlesztéssel teheti jobbá a meglévő eljárásokat.*

### AIR TRAFFIC DEPARTURE PROCEDURES OPTIMIZATION

*My research objectives (for my PhD studies) are the „self-developing” algorithms, and their usage for optimizing instrument procedures. Therefore we generate a sufficient number of procedures, and we change the parameters by different objectives (respecting the basic fundamentals e.g. obstacle clearance). If the generated next generation is better than the previous, we hold them for further developing, if worse, we „throw it out”. So the algorithm could develop the procedures with a continuous (self-) development.*

## BEVEZETÉS

A légiforgalmi eljárások tervezése nagyon sokrétű feladat, és nehezen automatizálható. Problémát jelent, hogy a légi járművek nem csak síkban mozognak, így nem csak a vízszintes, de a megfelelő függőleges elkülönítést is biztosítani kell. Számításba kell venni a tereptárgyaktól való megfelelő távolság biztosítását is. – A balesetek elég nagy hányada esik az ún. CFIT kategóriába, ami a Controlled Flight Into Terrain, azaz irányított földnek ütközést jelent. Ekkor a repülőgép teljesen kormányozható, és a balesetet a személyzet idézi elő, a légi jármű nem szándékos földnek vezetésével. Ennek egy része a téves helyzetfelismerés (ld. térbeli dezorientáció), másik kisebb része pedig a nem megfelelő eljárásból adódhat. A jelenlegi légi forgalom folyamatosságát is nehéz biztosítani, a fő szabály, hogy a biztonságos elkülönítést (a légi járművek egymástól és a földtől való elkülönítését) minden esetben biztosítani kell, minden más szempont (kapacitásmenedzsment, környezetvédelem, zajvédelem) csak ez után következik.

Mindazonáltal a repülőterek versenyképességének egyik jelzője az is lehet a közeljövőben, hogy mennyire könnyű az adott reptérre érkezni, és indulni. Milyen gyakran lehet várakoztatásra (holding) számítani, mennyi résidőt (azaz slotot) lehet kiosztani. (A várakoztatás extra üzemanyag-felhasználással jár (mind az indulás, mind az érkezés esetén), ezt a repülés előkészítés és tervezés folyamán számításba kell venni, így kell üzemanyagot vételezni.

<sup>1</sup> hallgató, Széchenyi István Egyetem – Győr Közlekedési Tanszék, feherb@sze.hu

<sup>2</sup> egyetemi tanár, Széchenyi István Egyetem – Győr Közlekedési Tanszék, bakoa@sze.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Palik Mátyás alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, palik.matyas@uni-nke.hu



## Pár szóban a területi navigációról

Hogy megértsük a téma további kifejtését, pár szóban szeretném ismertetni a hagyományos és az úgynevezett területi navigációs (azaz area navigation, vagy RNAV) módszerek közötti különbségeket. A hagyományos rádió navigáció úgy történik, hogy egy navigációs adótól a másikig haladunk, tehát egy útvonalat kizárólag két adó között tudunk kijelölni.

A területi navigáció pedig lehetővé teszi, hogy a repülőgéppel kielégítő pontossággal navigáljunk anélkül, hogy közvetlenül a földi telepítésű berendezés irányába, vagy irányából repülénk. Tehát egy olyan navigációs módszerről van szó, ami lehetővé teszi a repülési útvonal lényegében bárhol történő elhelyezését. A vízszintes síkban végzett navigációt lehetővé tevő RNAV rendszert LNAV-nak, azaz lateral navigation-nak nevezzük, a függőleges síkban való navigációt lehetővé tevőt pedig vertical navigation-nak, azaz VNAV-nak. Az RNAV-ot évekig az óceáni területeken alkalmazták, és olyan vidékeken, ahol megfelelő rádió navigációs lefedettség nem állt rendelkezésre. Mostanában olyan helyeken is előtérbe kerül, ahol nagysága meghaladja a hagyományos navigációs rendszerek útvonal kapacitását. Ez a Basic RNAV, azaz B-RNAV. Ez az RNP-5-ös navigációs pontosságnak felel meg.

Az RNAV-ot a közelkörzetben használják érkezési, indulási eljárások esetén, valamint a nem precíziós (NPA) műszeres megközelítési eljárásoknál is.

Az RNAV IAP különféle műszeres megközelítési módokat jelöl:

Az RNAV megközelítési eljárások, amelyeket a hagyományos megközelítési eljárások kiváltására terveztek, ugyanúgy a földi telepítésű rádióadókra vannak alapozva, mint a hagyományosak.

- Kizárólagos RNAV megközelítés, ami nincs RNP értékkel társítva.
- Kizárólagos RNAV megközelítés, ami GPS pontosságot követel meg, ezt néha GPS (kizárólagos) megközelítésnek is hívják.
- RNAV megközelítés, hozzárendelt RNP értékkel, GPS-el vagy a nélkül.

RNAV megközelítéshez, a repülőgép RNAV berendezéssel kell, hogy felszerelt legyen, ami az „A” teljesítményszintű repülőgépeken az FMS.

A navigációs adatok többféle berendezéstől származhatnak:

- DME-DME (tehát két DME által);
- VOR-DME (62 NM-es VOR hatósugárral);
- INS (rádió navigációs pozíció-frissítéssel, vagy korlátozva az utolsó földi pozíció-frissítéstől max. 2 órányira);
- LORAN C (korlátozásokkal);
- GPS (korlátozásokkal).

Az ECAC légterekben az elsődleges források a VOR-DME, a DME-DME és a GPS.

Hozzá kell még tenni, hogy az ICAO jelenleg igyekszik szabványosítani a navigációs pontosságot, ez az úgynevezett PBN, azaz performance based navigation. Ennek célja, hogy egységes legyenek az RNAV és RNP tulajdonságok, és elejét vegye a teljesen különböző navigációs szabványok globális elterjedésének.

Európában a B-RNAV-ot kötelezővé tették 1998-ban, így az európai útvonalhálózat sokkal rugalmasabb lett, a zsúfolt európai légtérben így akadt valamennyi tartalék. Egyes helyeken a P-RNAV is be van vezetve, azaz a precíziós RNAV, ami a repülési idő 95%-ában  $\pm 1$  NM eltérést enged meg a kijelölt útvonaltól.

Az RNAV megközelítéseknel a területi navigáció csak a minimális biztonságos magasságig használható, az alatt csak a hagyományos úton történő navigáció megengedett.

A részletes követelményeket a különféle RNAV navigációs eljárások (GNSS, DME/DME, VOR/DME) pontossági követelményeiről a doc. 8168 3-as fejezete tartalmazza.

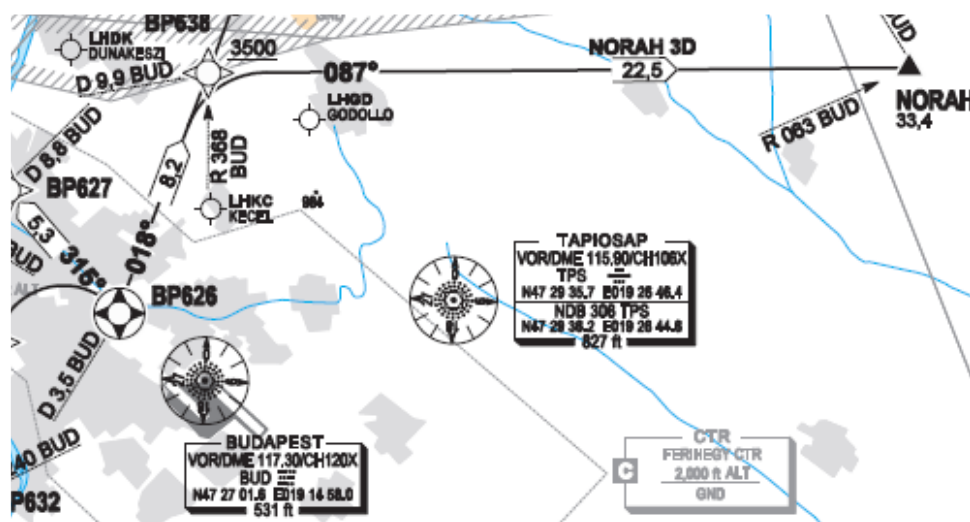
## A légiforgalmi eljárások felépítésének ismertetése

Hogy a téma további részleteit megismerjük, feltétlenül szükséges pár szót ejteni a légiforgalmi eljárásokról. Mivel a közforgalmi repülésnek olyankor is mennie kell, amikor a legtöbb „mezei” magánpilóta szakszolgálati engedéllyel rendelkező ki sem nyitja a hangárajtót, sőt a fel és leszállások egy része az egyszerű műszeres jogosításhoz képest is alacsonyabb időjárési minimumok mellett történik.

Tehát a repülések nagy része IFR (Instrument Flight Rules – műszerrepülési szabályok) szerint történik, így az eljárásokat is műszerrepülésre építik fel. Az eljárások típusában megkülönböztünk indulási és érkezési eljárásokat. Jelen cikkben (terjedelmi korlátok miatt) az indulási eljárások ismertetését végezzük. (Valamint az okból is, mert az érkezési eljárásokat más módon érdemes optimalizálni, azonban ez további kutatásokat igényel)

## Indulási eljárások

Vizsgáljunk meg egy adott indulási eljárást a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtérre (Ferihegy) ! Legyen az adott indulási eljárás, a NORAH 3D indulási eljárás.



1. ábra A NORAH 3D indulási eljárás [5]

A SID 3,5 mérföldre kezdődik a BUD VOR-tól, a BP626-os útvonalpontonál. Ez az eljárás kiindulópontja. 018°-ra fordulván, a track folytatódik a BP638 pontig. Ez a pont 9,9 NM-re van a BUD VOR-tól, a 356-os radiálon. BP638-nál a track 087°-ra fordul, amíg el nem éri a





NORAH pontot, ami 33,4 mérföldre van a BUD VOR-tól, a 063-as radiálón.

Tehát egy hagyományos indulási eljárás a SID, azaz Standard Instrument Departure – azaz szabványos műszeres indulási eljárás, amit lényegében a felszállástól a TMA-ból történő kilépőpont eléréséig tart.

Az indulási eljárásokkal szemben támasztott főbb jellemzők és követelmények [2] és [3] szerint:

- Általánosságban, az indulási eljárás azért van, hogy megfelelő akadálymentességet adjon, közvetlenül a felszállás után, amíg a repülőgép el nem ér egy útvonali szegmenst. Az indulási eljárások tartalmazzák, de nem kizárólagosan a szabványos indulási útvonalakat, és a kapcsolódó eljárásokat (az Annex 11, 3-as függeléke alapján).
- Az indulási eljárást légiforgalmi irányítás céljából, légtér menedzsment céljából, vagy egyéb okokból (például zajcsökkentés) követelik meg, és az indulási útvonalat nem kizárólag az akadálymentességi követelmények szabják meg.
- A doc. 8168 szerint az indulási eljárásokat az üzemeltetők, az ATC, és egyéb résztvevők folyamatos konzultációjával kell fejleszteni.
- Gazdaságosság: minden kísérletnek, amit a gazdaságosság érdekében tesznek, hogy minimalizálva legyen az indulási eljárás végrehajtási ideje, és az igénybe vett légtér mérete, arra kell irányulnia, hogy a tervezett eljárások össze legyenek egyeztetve a biztonsági követelményekkel.
- Az indulási eljárásokat vagy megadott útvonalakként, vagy irányítatlan indulási eljárásként (ld. doc. 8168, első rész, harmadik szakasz, negyedik fejezet – „Omnidirectional departures”) publikálják.
- A fordulókhöz hozzárendelt akadálymentességi területek tervezésekor a doc. 8168 2. szakaszának 3. fejezetét „Forduló-területek felépítése” célszerű alkalmazni. A rádió navigációs adók karakterisztikája, és a fixek tűrései a doc 8168 2. szakaszának 2. fejezetében találhatóak.

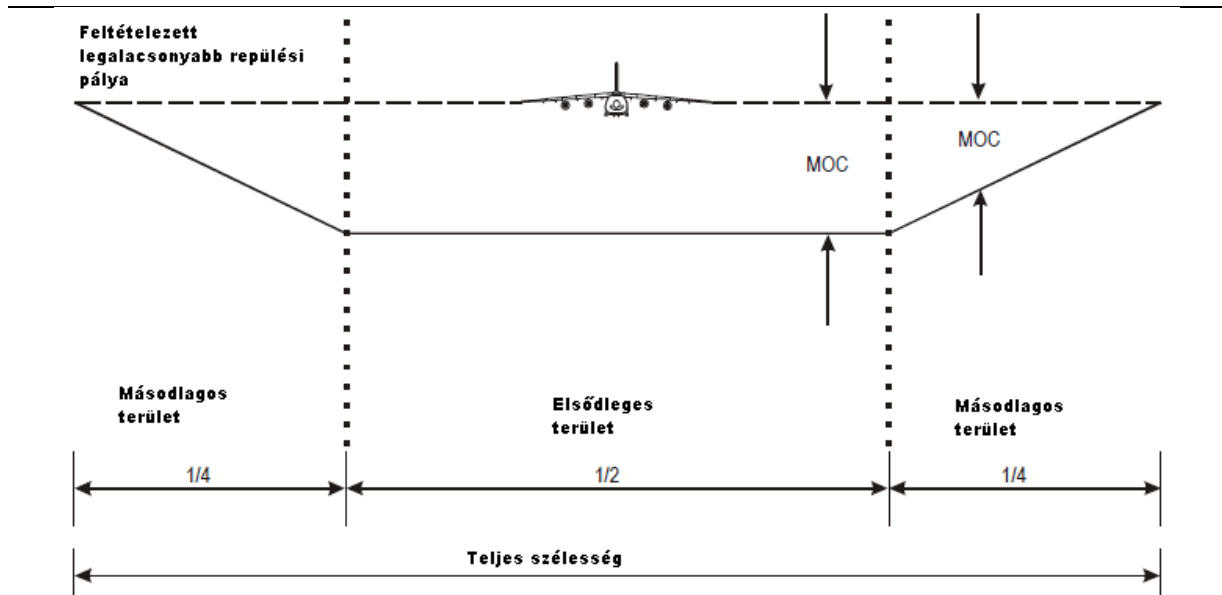
Természetesen mindez, ami fel van sorolva, nem szentírás, hiszen az ICAO PANS betartása nem kötelező, de célszerű, hogy a világon bármely repülőterre elkészített eljárások a világ bármely részéből érkező-induló hajózószemélyzetének ugyanazt jelentsék.

Ideális esetben egy SID geometriailag úgy néz ki, hogy a légijármű felszállás után direktben haladjon a kilépőpont irányába, illetve legfeljebb egy töréspont lehet a nyomvonalban, ahol fordulót kell végezni. Az első waypointnak pedig 3-5 NM körül kell lennie, a pályaküszöbtől mérve, illetve a kilépőpont felé vezető fordulót is tekinthetjük annak, ekkor a fordulót 3-5 NM-re kell a pályaküszöbtől elhelyezni.

### **Akadálymentesség vizsgálata**

Az akadálymentesség biztosításához a doc 8168 következő oldalon található ábráját célszerű elemezni.

Minden szegmensnek van egy megfelelően hozzárendelt területe, védett légtere, ahogy a fenti ábra is mutatja. Rendszerint a megfelelő track mindkét oldalára szimmetrikus a védett terület. Megkülönböztetünk elsődleges és másodlagos területeket, azonban sok esetben csak az elsődleges területek használata engedélyezett. Ahol vannak másodlagos védett területek, minden oldal külső része (névlegesen a teljes szélesség 25 százaléka) számít a másodlagos területekhez.



2. ábra Akadálymentességi területek

Egy adott „p” pont másodlagos védett légtereit két fix között lineáris interpolációval (egyenes arányosság) lehet meghatározni, az adott fixek szélességéből az alábbi formula alapján:

$$W_{sp} = W_{s1} + \frac{D_p}{L} (W_{s2} - W_{s1})$$

Ahol:

- $W_{sp}$  – a másodlagos terület szélessége „p” pontnál
- $W_{s1}$  – a másodlagos terület szélessége az első fixnél
- $W_{s2}$  – a másodlagos terület szélessége a második fixnél
- $D_p$  – „p” pontnak az első fixtől mért távolsága a névleges tracken mérve
- $L$  – a két fix távolsága a névleges tracken mérve.

A másodlagos légterek MOC (Minimum Obstacle Clearance) értékét a teljes MOC értékből egyenes arányossággal kapjuk meg, az alábbi formula szerint:

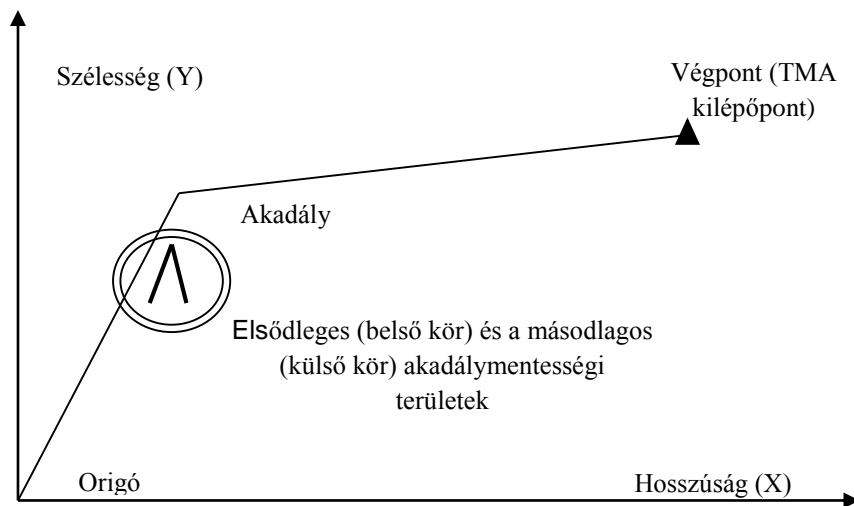
$$MOC_{sy} = MOC_p \cdot \left(1 - \frac{Y}{W_s}\right)$$

ahol

- $MOC_p$  – az elsődleges terület MOC értéke
- $MOC_{sy}$  – a másodlagos terület MOC értéke
- $W_s$  – a másodlagos terület szélessége
- $Y$  – távolság az akadálytól – az elsődleges terület szélére a névleges tracktől bocsátott merőlegessel mérve

Megjegyzés: a doc. 8168-ban található összes számítás és táblázat NEL szerint értendő, 2000 feettel tengerszint felett, és +15°C-os hőmérséklet esetére.

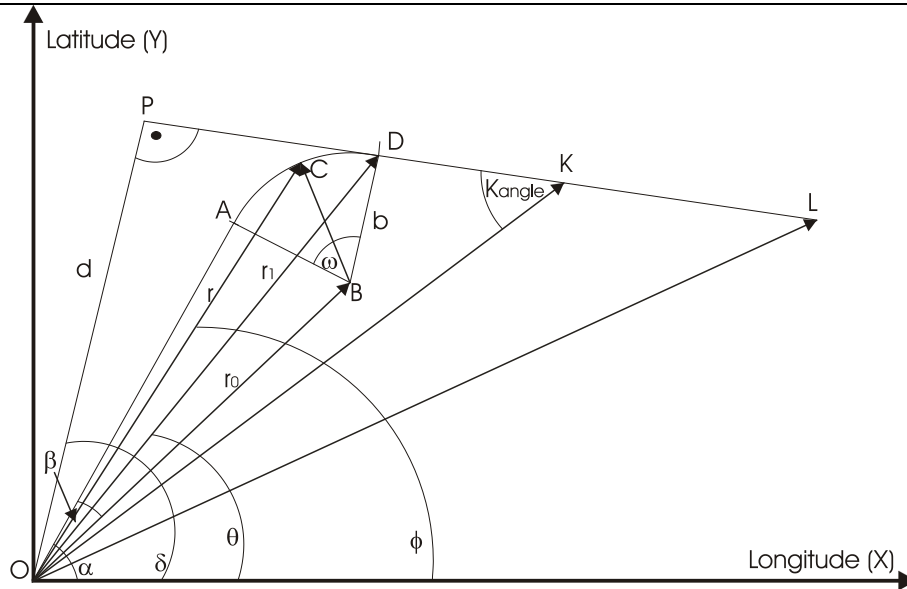
Ha egy algoritmussal generálunk eljárásokat, célszerű az akadálymentességi vizsgálatot „megfordítani”. Tehát az akadály körzetét kell vizsgálni, hogy a generált track „belelóg”-e az elsődleges, ill. másodlagos síkokba. Ha a generált track metszi mindkét kört, az eljárás nem biztonságos. Ha csak két metszéspontunk van (a külső körben) a track a másodlagos területen át halad. Ha ez a helyzet, az eljárás tovább vizsgálható, mivel a másodlagos terület limitei lineárisan csökkennek.



3. ábra A modell egyszerűsítése

### A modell egyszerűsítése

Hogy egyszerűbb legyen, a modellben legyen az első pont az origó, az OA a kezdeti emelkedés szakasza, erre van egy AB merőleges szakasz, ennek hossza legyen  $b$ . Itt van egy töréspont (mivel fordulóról van szó, ezért ív) ennek középpontja  $B(r_0, \beta)$ . Az ív a D pontig tart, utána egy újabb egyenes szakasz jön (a modellben ez a DL szakasz, a NORAH 3D példájában ez a BP638 utáni rész)



3. ábra A modell egyszerűsítése, forrás: [1]

Egy polárkoordinátás rendszerben a kört  $(r, \varphi)$  ismeretében az alábbi formában írhatjuk fel:

$$r^2 - 2rr_0 \cos(\varphi - \alpha) + r_0^2 = a^2, \quad (1)$$

ahol  $r_0$  a középpont első koordinátája  $(\alpha - \beta)$  így  $\alpha - \arctan \frac{b}{a}$  a kör sugara. Így az egyenlet  $B$  középponttal és  $b$  sugárral, ha  $r > a$ ,

$$r^2 - 2r\sqrt{a^2 + b^2} \cos\left(\varphi - \left(\alpha - \arctan \frac{b}{a}\right)\right) + (a^2 + b^2) = b^2 \quad (2)$$

$r_1$  általában  $r_0 + b$ , mivel nem lehet nagyobb a sugárnál:

$$r_1 = r_0 + b (< r_0 + b) \quad (3)$$

Az egyenes szakasznál  $\tan \alpha$ , és  $A$  pont adott. Az  $OBC$  koszinusz tételt alkalmazva, hogy megkapjuk  $r_1$ -et, ami a forduló végpontja:

$$b^2 = r_0^2 + r_1^2 - 2r_0r_1 \cos \delta \quad (4)$$

$$r_1^2 - 2r_0r_1 \cos \delta + r_0^2 - b^2 = 0 \quad (5)$$

Kör egyenlete, egy érintőre  $\theta = \varphi$  az alábbi  $(r_0; \varphi)$  érintési pontban:

$$r(\theta) = r_0 \sec(\theta - \varphi) \quad (6)$$

Az ív másik pontja  $D(d, \delta)$  sugara pedig  $b$ .

Az origóból merőlegest állítva  $P(r_0, \theta)$  pontban. Összekötjük  $D$  és  $O$  pontokat majd megkapjuk a  $DOP$  derékszögű háromszöget, ahol  $DO = d$  és  $DOP$  szög  $\delta - \theta$ . Ezért

$$OP = r_0 = d \cdot \cos(\delta - \theta) \quad (7)$$

OPK derékszögű háromszög, ezért  $\theta = \frac{\pi}{2} - K_{szög}$ , ezért

$$K_{szög} = \pi - \alpha. \quad (8)$$

Ezért:

$$\vartheta = \frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha) = \frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega)) \quad (9)$$

Amiatt, hogy

$$OP = r_0 = \cos(\delta - \theta),$$

ezért:

$$r_0 = d \cos\left(\delta - \left(\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega))\right)\right) \quad (10)$$

$\omega$  meghatározása: az ív középpontjában, három szög van, az első az OAB derékszögű háromszögben, az első szög ezért  $= \arctan \frac{a}{b}$ . A második az OBD derékszögű háromszögben. A koszinusz tételt alkalmazva

$$d^2 = b^2 + \left(\sqrt{(a^2 + b^2)}\right)^2 - 2b\sqrt{(a^2 + b^2)}\cos 2, \quad (11)$$

A (10)-es formulát behelyettesítve:

$r(\theta) = r_0 \sec(\theta - \varphi)$  Ahol  $r$  és  $\theta$  a vonal bármely pontjának polárkoordinátái,  $\varphi = \theta$  ezért

$$\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega)) \quad (12)$$

és

$$r_0 = d \cos\left(\delta - \left(\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega))\right)\right). \quad (13)$$

(12) és (13), alkalmazásával számítsuk ki  $r(\theta)$ -t:

$$r(\theta) = d \cos\left(\delta - \left(\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega))\right)\right) \cdot \sec\left(\vartheta - \frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega))\right)$$

### Ívhossz meghatározása

Polárkoordináta rendszerben az „S” ív hosszának meghatározása az alábbival lehetséges[7]:

$$S = \int_a^b \sqrt{\left(\frac{d}{dt}r(t)\right)^2 + r(t)^2} dt \quad (14)$$



A track hossza az alábbi háromból tevődik össze:

Elsőnek kiszámítjuk az egyenest:  $r = \arctan \alpha$  egyenes. Itt a legegyszerűbb módja eldönteni a hosszat, ez legyen  $a$ .

Második rész:

$$r(\theta) = d \cos\left(\delta - \left(\frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega))\right)\right) \sec\left(\theta - \frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha - (\pi - \omega))\right) \quad (15)$$

Az eredmény:  $b \cdot \omega$  mert a sugár  $b$ , a középponti szög  $\omega$ , a kerület  $2b\pi$  osztva  $2\pi$ -vel és beszorozva  $\omega$ -val:

$$\frac{2b\pi}{2\pi} \omega = b\omega. \quad (16)$$

Harmadik rész:

$r(\vartheta) = r_0 \sec(\theta - \varphi)$  megfelel a DL szakasznak, a második egyenesnek..

A teljes ívhossz a három rész összege, tehát  $a + b \cdot \omega + DL$ . Ennek az ívhossznak a minimalizálása szükséges lehet egy eljárás optimalizálásához. De az eljárás nem lehet túl rövid, mert az egyrészt nem adhat megfelelő emelkedést, és növelheti a személyzet terhelését. Pl. egy átlagos „Category A” repülőgép, pl. egy Boeing 737, vagy Airbus 320 esetén az Operation Manual (vagy a QRH, ill. “check-list”) több, mint 30 elemet tartalmaz, amit felszállás után végre kell hajtani. (ld [8] és [9])

Természetesen az akadálymentesség vizsgálata is fontos, ahogy korábban említettük.

## AZ ÖNFEJLESZTŐ ALGORITMUSOK BEMUTATÁSA

Hogy megérthessük a probléma megközelítési módját, ezen fejezetben bemutatom az ún. önfejlesztő algoritmusokat, amelyekkel megoldható az eljárástervezés egy részének automatizálása. A 1990-es évek második felében fejlesztették ki a bakteriális evolúciós algoritmust. Ezen algoritmusnak a működési elvét a természetből a baktériumok evolúciós fejlődésének nyomán alakították ki, lényegében lemodellezve a baktériumok génátadási (géntranszfer) jelenségét. Elsőnek pszeudo-bakteriális genetikus algoritmust publikálta

N. E. Nawa, T. Hashiyama, T. Furuhashi, és Y. Uchikawa, mely a genetikus algoritmusokban alkalmazott mutáció helyett az úgynevezett bakteriális mutációt alkalmazza. Később N. E. Nawa és T. Furuhashi által megjelent a bakteriális evolúciós algoritmus, mely a bakteriális mutáción kívül a génátadási (géntranszfer) műveletet is magába foglalja.

### A bakteriális evolúciós algoritmus folyamata a következő

Első lépés: Létrehozunk véletlenszerűen egy Ninduló egyedből álló populációt.

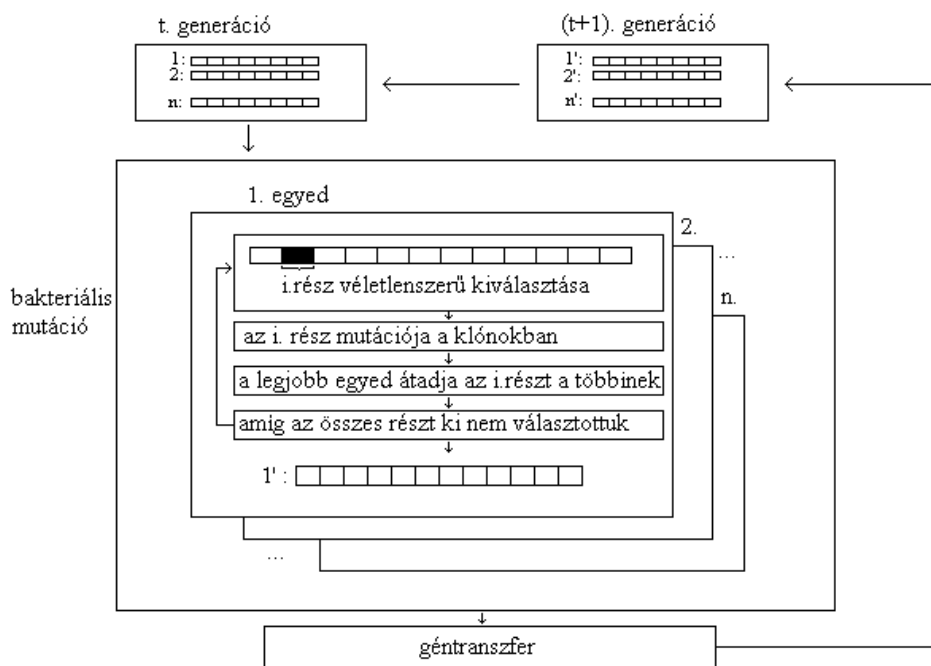
Ez esetünkben azt jelenti, hogy a jelenlegi módszerekkel, akár manuálisan, akár a GeoTitan szoftver segítségével megtervezünk egy eljárást, ami az összes korlátozó feltételnek (amit a doc. 8168 második kötete tartalmaz) megfelel, és valamilyen előre rögzített stratégiát (pl.

RNAV eljárás készítése, zajvédelmi korlátok, kapacitással kapcsolatos követelmények, szárok hossza – ld. az előző részben a kompromisszum a zajvédelem, és az üzemanyag-felhasználás között, stb.) követ, és ezt sokszorosítjuk, “klónozzuk” meghatározott számban.

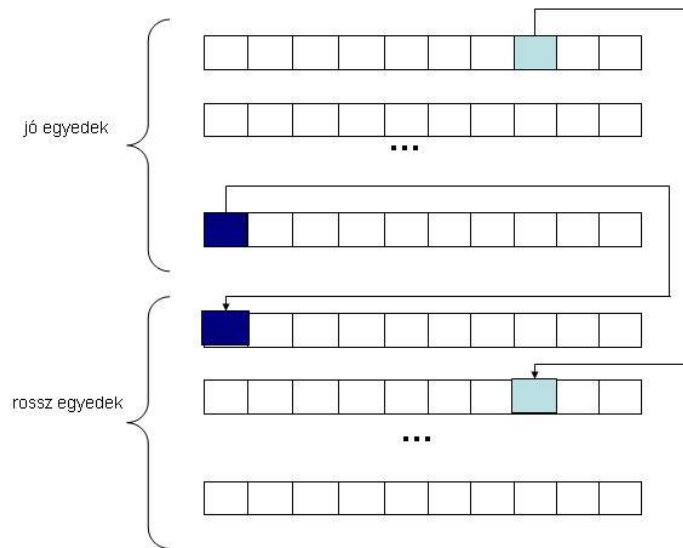
Másodszor, minden egyedre alkalmazzuk az ún. bakteriális mutációt, mely a következőképpen működik:

Az egyedet lemásoljuk  $N_{klónok}$  példányban (ezek a klónok). A kromoszóma egy véletlenszerűen kiválasztott  $i$ . részét megváltoztatjuk a klónokban (mutáció), az eredeti baktériumban viszont nem. Utána kiválasztjuk a legjobb egyedet, és a kromoszómájának az  $i$ . részét átadjuk a többi egyednek. Ez azt jelenti, hogy a többi egyed kromoszómájának  $i$ . részét helyettesítjük a legjobb egyed kromoszómájának  $i$ . részével. Ezt a folyamatot, mely a mutáció-kiértékelés-kiválasztás-behelyettesítés lépéssorozatát jelenti, ismételjük addig, amíg a kromoszómának mindegyik részét (pontosan) egyszer ki nem választottuk. Amikor az egész kromoszómával végeztünk, kiválasztjuk a legjobb egyedet (pontosabban 3 legjobb egyedet), a többi  $N_{klónok}$  egyedet pedig megszüntetjük.

A következő lépésben következik a géntranszfer művelet, ahogy az alábbi ábra mutatja.



4. ábra A vázlatos működés (Dr. Botzheim nyomán)



5. ábra A géntranszfer művelet (Dr. Botzheim nyomán)

Ezután a populációt rendezzük az egyedek jósági értéke szerint, majd felosztjuk két fél populációra. Az egyik alpopulációba a jobb egyedek kerülnek, a másikba pedig a rosszabbak.

Ehhez minden baktérium változatot ki kell értékelnünk. Az értékelés alapja az a kritérium rendszer, amit az első fázisban meghatároztunk. A kiértékelés nem abszolút számokkal történik, hanem az alapján, hogy a megváltoztatott baktérium az eredeti, manuálisan szerkesztett változathoz képest mennyire tér el, pozitív vagy negatív irányban.

A kiértékelés az ár/érték arány alapján történik: azaz mérjük, hogy az egyes változatok a pontozási rendszerben mennyivel jobbak, de azt is, hogy ez az esetleges jobb eredmény mennyivel több ráfordítással, azaz más szárhosszak, gazdaságosabb emelkedési feltételek a SID-eknél, stb. teljesíthető, és ezeket az előre megadott költségmutatókkal összeszorozva megkapjuk a javulás becsült költségvonzatát.

Majd kiválasztunk véletlenszerűen egy egyedet a „jónak” minősített eljárások közül, ez lesz a forrás-baktérium, és egy másikat a „rosszak” közül, ez a cél-baktérium.

Amint ez megtörtént, kiválasztunk véletlenszerűen egy részt a forrás-baktérium kromoszómájából, és átadjuk a cél-baktériumnak. A cél-baktérium ezzel felülírja a kromoszómájának ugyanezen részét.

A géntranszfer lépéseit ismétljük  $N_{inf}$ -szer, ahol  $N_{inf}$  egy paramétere az algoritmusnak, és az „infekciók” számát jelöli.

Ha a populáció megfelelő, vagy elértünk egy maximális generációs számot ( $N_{gen}$ ), akkor az algoritmus megáll, különben folytatjuk a bakteriális mutációtól.

A mi esetünkben egy baktérium egy eljárásnak egy adott változatát jelenti. Így a baktériumok fejlődése tulajdonképpen a megoldásvektor fejlődését jelenti. A baktérium kromoszómájának egy  $i$ . része a megoldásvektor egy koordinátáját jelenti.

Az algoritmus paramétereit:

1.  $N_{gen}$ : a generációk száma
2.  $N_{ind}$ : az egyedek száma
3.  $N_{klónok}$ : klónok száma a bakteriális mutációban
4.  $N_{inf}$ : az infekciók száma a géntranszfernél

Mit kell az algoritmusnak figyelembe venni?

1. az adott szegmens hossza,
2. az adott szegmens szélességi kiterjedése, akadálymenteségi területei
3. az adott szegmens emelkedési/süllyedési gradiense
4. az akadályfelületek esésviszonyai, melyeket az alábbi, meghatározott adatok felhasználásával lehet kalkulálni:
  - 4.1. földi navigációs berendezések pontossága, vagy területi navigációs pontosság,
  - 4.2. fedélzeti navigációs berendezés pontossága,
  - 4.3. repüléstechnikai / időzítési pontosság,
  - 4.4. műszer szerinti sebesség - valós sebesség,
  - 4.5. várhatóan alkalmazott bedöntés,
  - 4.6. az adott repülési szegmens magassága,

1. Várható környezeti adatok (hőmérséklet, szél)

Az első három értéket változtatni is tudjuk az eljárások javítása érdekében, ezeken felül még az alábbi paraméterekkel kell az algoritmusnak foglalkoznia:

- forduló geometria;
- szélspirál: amikor vége egy szegmensnek, és forduló következik, oda szélspirált szerkesztünk.

Fordulókat az indulásnál, megszakított megközelítésnél, ill. a végső megközelítésre fordulásnál (max. 10 fok) alkalmazunk. A forduló geometriai paramétereit:

- magasság;
- műszer szerinti repülési sebesség (IAS);
- várható szél;
- bedöntés;
- repteknikai tűrések.

## ÖSSZEFOGLALÁS, TOVÁBBI MUNKÁK

Azonban nem árt figyelembe venni, hogy a hagyományos bakteriális algoritmus rövid lehet, így célszerű a PSO-t (Particle Swarm Optimization [10]) módszert alkalmazni. A PSO egy adott populációból (amit swarm-nak nevez a szaknyelv), egy adott keresési térben néhány egyszerű formula szerint választja ki a jelölt eljárásokat (amiket particle-knek nevezünk). Annak meghatározása, hogy valóban a PSO célszerűbb, vagy egy bakteriális, esetleg egy többobjektumos (MO) algoritmus, és melyikből lehet jobb eljárásokat kihozni, ez további kutatásokat igényel.



---

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] FEHÉR, BAKÓ and FÖLDESI (2012): Cost and fuel-efficient departure and arrival air traffic procedure design method, 8th Annual International Bata Conference for Ph.D. Students and Young Researchers, Tomáš Bata University, Zlín, Czech Republic 19th April 2012
- [2] EUROCONTROL – Guidance Material for the Design of Terminal Procedures for Area Navigation 3rd edition, 2003. marc
- [3] ICAO Doc. 8168 Volume II 5th Edition, ICAO, 2005. június
- [4] Dr. BOTZHEIM János – Intelligens számítástechnikai modellek identifikációja evolúciós és gradiens alapú tanuló algoritmusokkal. – Ph.D. értekezés BME-VIK Távközlési és Médiainformatikai Tanszék Budapest, 2007
- [5] HungaroControl – Hungarian Air Navigation Services: AIP Hungary SID Map LHBP 31 AIRAC AMDT 003/2009 Chapter: AD-2, Page: LHBP- ARR 31R-1.
- [6] KIRCHNER, F.: Optimal unconstrained solution to conflict resolution in 3-d airspace. Manuscript (2001).
- [7] GEORGE B. Thomas, Jr: Thomas' Calculus, 10th edition, Addison Wesley, 2003. Section 8.5, p 432
- [8] Boeing Commercial Airplanes: 737-6Q8/-7Q8/-8Q8 Flight Crew Operations Manual, NP. 21.36-39, pp. 140-143. Revision Number: 14, Revision Date: September 25, 2009.
- [9] Airbus Industrie: A320 family Flight Crew Operating Manual, 3.05-3.06, pp. 162-164. Airbus, 2009.
- [10] PARSOPOULOS, K.; VRAHATIS, M: Particle swarm optimization method in multiobjective problems. Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing (2002). pp. 603–607.



Botta András<sup>1</sup>

## A MAGYAR FEJLESZTÉSŰ FELDERÍTŐ UAV-K TECHNIKAI ADATAI- NAK, FELHASZNÁLÁSÁNAK ELEMZÉSE<sup>2</sup>

*A pilóta nélküli légi járművek (UAV) fejlesztése és gyártása az egyik legkomolyabb ipari tevékenység az egész világon. Az iparág és fejlesztés kezdeti lépéseit az Amerikai Egyesült Államok és Izrael tette meg, és napjainkban az Egyesült Államok gyártói birtokolják a piac több mint 50%-t. Az izraeli és európai fejlesztők, gyártók csak másodlagos szerepet játszhatnak az alacsonyabb mértékű fejlesztési befektetések miatt. Az elmaradásban az is közrejátszott, hogy az egyes kormányok előnyben részesítették az amerikai rendszereket, azok magasabb szintű képességei miatt. Napjainkban az UAV-kat leggyakrabban katonai alkalmazásokkal asszociálják, azonban egyre inkább növekszik a polgári, állami szervezetek, a gazdasági élet által igényelt felhasználások száma. Ez a folyamat figyelhető meg Magyarországon is. Ebben az írásban a magyarországi ipari és tudományos szervezetek által kifejlesztett négy UAV rendszer elemzését végezzük el.*

### **ANALYSIS OF TECHNICAL PARAMETERS AND USES OF UAV SYSTEMS DEVELOPED IN HUNGARY**

*Unmanned Aerial Vehicles (UAV) design and production is a main activity, with manufacturers all across the world. The United States and Israel were initial pioneers in this technology, and today U.S. manufacturers have a market share of over 50%. Israeli and European manufacturers form a second tier due to lower investments, and the governments of those nations have initiatives to acquire U.S. systems due to higher levels of capability. Although UAVs are today most commonly associated with military actions, UAVs are increasingly used by civilian government agencies, businesses, and private individuals. This process can be investigated in Hungary, too. In this publication we are trying to analyze and contrast four UAV systems developed by Hungarian industry and scientific organization.*

## BEVEZETÉS

Az elmúlt évtized műszaki fejlődése hatalmas előretörést eredményezett a távirányítású, automatizált eszközök területén. Egyeduralkodóvá vált a digitális technológia és egyre nagyobb teret hódít az elektromos meghajtás is. Az utóbbit az elektromos energia tárolásának (Lítium alapú technológia) és a váltóáramú elektromotorok gyártásának, vezérlésének új műszaki eredményei tették lehetővé. Ahogy az már lenni szokott, ezek a vívmányok hamar megtalálták az utat a hadi és hétköznapi felhasználások felé, így a robbanásszerű elterjedés gyors árcsökkenést eredményezett és egyre szélesedett a felhasználók köre. Olcsóbbá váltak a további fejlesztések és a korszerű technológia már nem csak a gazdaságilag legfejlettebb országok számára vált elérhetővé. A távirányítású, automatizált eszközök vonatkozásában talán a legnagyobb fejlődés és a legnagyobb érdeklődés a pilóta nélküli légi járművek (UAV) fejlesztése, illetve alkalmazása területén volt megfigyelhető. Ebben nem kis szerepe volt az Egyesült Államok hadserege által a háborús konfliktusok során eredményesen alkalmazott csúcstechnológiát képviselő robotrepülőkről szóló híradásoknak és a titkos küldetések során bizonyított harci tapasztalatoknak. A gazdaságilag meghatározó államok már régóta

<sup>1</sup> Rendőr ezredes, Készenléti Rendőrség, Légirendészeti Parancsnokság, parancsnok, botta.andrás@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Palik Mátyás alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszoigálati Egyetem Katonai Repülő Tan-  
szék, palik.matyas@uni-nke.hu



önállóan vagy koprodukciónban fejlesztik és alkalmazzák saját pilóta nélküli légi járműveiket. Napjainkban már a Magyarország lehetőségeihez hasonló államokban is foglalkoznak ilyen repülőeszközök megalkotásával, és a feladatrendszerekbe történő beintegrálásával.

A nemzetközi összehasonlítás egyértelműen megmutatja az egyes országok alkalmazási koncepciói és lehetőségei közötti különbségeket, illetve a magyarországi felhasználások és az infrastruktúra jelentős lemaradását ezen a téren. Hazánkban, ahogy a többi országban is az első lépéseket az UAV alkalmazás területén a haderő tette meg, elsősorban a harci körülmények között bevetett élő erő megóvása, a légi felderítés költségeinek csökkentése, illetve a „modern kor követelményei” alapján megfogalmazott egyéb igények teljesítése érdekében. Az iparág már relatíve olcsó, máshol már „bizonyított”, harci alkalmazásokat, eszközöket kínál a nem annyira nagy költségvetéssel gazdálkodó fegyveres erők számára. Az árak csökkenésével az egyéb állami szervek, sőt vállalkozások, szervezetek is széles körben alkalmazhatják a távirányítású repülő eszközöket. Ezek az eszközök egyre nagyobb teret hódítanak a tudományos munkában (archeológia, geológia, meteorológia stb.) és a hobby, amatőr RC modellezés területén is.

## MAGYARORSZÁGON FEJLESZTETT PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐESZKÖZÖK

Az elmúlt években több fejlesztés is eljutott a próbarepülésig és nagy reménnyel kecsegtetett a jövőre nézve. Ennek ellenére, ezek a repülőgépek nem kaptak lehetőséget a bizonyításra. Úgy tűnik azonban, hogy ez a tény nem szegte kedvét a magyar szakembereknek, hiszen jelenleg is folyik a munka a különböző szervezeteknél, kutatóműhelyekben, tanintézményekben az állami célú vagy tudományos feladatokra alkalmazható repülőeszközök kifejlesztésére. Az alábbiakban kísérletet teszünk ezen UAV-k összegyűjtésére, felmérésére, műszaki adataiknak és felhasználási lehetőségeiknek összevetésére, elemzésére. Ezen írásban nem kívánunk foglalkozni az olyan berendezésekkel, eszközökkel, amelyek bár komoly műszaki és anyagi háttérrel vonultatnak fel, – és akár állami szerv(ek) számára ajánlják fel őket – mégis hobby vagy amatőr alkalmazásnak tekinthetők.

Négy repülőeszközt veszünk górcső alá. Mind a négy szinte teljesen hazai fejlesztésű és gyártású repülőeszköz. Merevszárnyú repülőgépek fejlesztését tűzte ki célul a két szakembergárda. A HM Elektronikai, Logisztikai és Vagyonkezelő Zártkörűen működő részvénytársaság (a továbbiakban: HM EI Zrt.) és a HM CURRUS Gödöllői Harcjárműtechnikai Zártkörűen Működő Részvénytársaság (továbbiakban: HM CURRUS) által közösen kifejlesztett légi jármű család tagjait (3 db) tanulmányoztuk csakúgy, mint a BHE Bonn Hungary Elektronikai Kft. vezetésével (BHE), a BME Mobil Innovációs Központ (MIK) és az Óbudai Egyetem Neumann Informatikai Kar (NIK) részvételével létrehozott fejlesztői konzorcium által néhány évvel ezelőtt megkezdett teljesen automatizált pilótanélküli légi jármű (UAV) fejlesztését.

### **Meteor-3MA légi cél**

A célrepülőgép a haditechnikai eszközöket kezelő állomány kiképzésére és gyakoroltatására alkalmas eszköz.



1. ábra Meteor-3MA típusú célrepülő<sup>3</sup>

#### Jellemzői:

- fejlesztő: HM EI Zrt. és HM CURRUS;
- sugárhajtóműves meghajtás;
- repülési sebesség: 250 km/h;
- repülési idő: 30 min;
- hatótávolság: 50 km;
- repülési magasság: 1000-1500 m;
- programozott útvonalrepülés;
- automata és kézi vezérlés;
- fel- és leszállás kézi irányítása;
- visszaverő felületnövelő elem hordozása;
- füstképzés biztosítása;
- 2-2 db külső felfüggesztési pont hőforrások érzékelőinek elhelyezésére.

#### IKRAN felderítő UAV



2. ábra Ikran felderítő UAV<sup>4</sup>

<sup>3</sup> A gyártó honlapjáról [http://www.hmei.hu/ingatlan-uzemeltetes\\_egyebszolgaltatasok\\_meteor.html](http://www.hmei.hu/ingatlan-uzemeltetes_egyebszolgaltatasok_meteor.html).

<sup>4</sup> RichPOI hírportál: <http://richpoi.com/cikkek/hazai/bemutattak-a-magyar-dronokat---sok-mindenre-alkalmas.html>

**Jellemzői:**

- fejlesztő: HM EI Zrt. és HM CURRUS;
- robbanó vagy elektromotoros meghajtás;
- tömege: 16-18 kg;
- szárnyfeszítávolság: 3,83 m.

**Bora felderítő UAV**



3. ábra Bora felderítő UAV<sup>5</sup>

**Jellemzői:**

- fejlesztő: HM EI Zrt. és HM CURRUS;
- elektromotoros meghajtás;
- szárnyfeszítávolság: 3,0 m;

**BHE-MIK-NIK teljesen automatizált UAV rendszer**



4. ábra Tudományos kutató eszköz<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Repülni jó WEB portál: <http://repulnijo.hu/2012/11/05/magyar-dronok-az-ikran-es-a-bora-bemutatoja/>

<sup>6</sup> Dr. Kazi Károly MAGYAR FEJLESZTÉSŰ, TELJESEN AUTOMATIZÁLT UAV RENDSZER ([http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2012\\_cikkek/82\\_Kazi\\_Karoly.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2012_cikkek/82_Kazi_Karoly.pdf))





5. ábra Fenti repülő második verziója<sup>7</sup>

#### Jellemzői:

- fejlesztő: BHE Bonn Hungary Elektronikai Kft vezetésével (BHE), a BME Mobil Innovációs Központ (MIK) és az Óbudai Egyetem Neumann Informatikai Kar (NIK);
- szárny fesztávolság: 3,7 m;
- hossza: 1,7 m;
- felszálló tömeg 17 kg, ebből hasznos teher 3 kg;
- repülési idő: minimum 1,5 óra;
- repülési sebesség: 80–100 km/óra;
- repülési magasság: 1000 m (repült már 2500 m-en is);
- elektromos meghajtás;
- hatósugár (aktív, élő rádiókapcsolattal): 15–20 km;
- 500 programozható útvonalpont, repülés közbeni átprogramozással;
- útvonaltervezés digitalizált térkép, vagy műholdas kép alapján;
- adaptív, nagy megbízhatóságú kommunikációs rendszer;
- stabilizált kamerarendszer (látható tartományú ill. hőkamera);
- párhuzamosan hozzáférhető adatbázis a repülési és megfigyelési adatok tárolására.

## A VIZSGÁLT PILÓTA NÉLKÜLI ESZKÖZÖK PARAMÉTEREINEK VIZSGÁLATA, ÉRTÉKELÉSE

A felsorolt UAV rendszereket többféle módon lehet kategorizálni, de mivel a négy repülő eszköz különböző felhasználási kört céloz meg, ilyen kategóriákat nem egyszerű felállítani. Az összehasonlítás érdekében azonban különböző fő témakörök alapján célszerű elvégezni a paraméterek, tulajdonságok elemzését, értékelését.

A vizsgálatot az alábbi szempontok szerint végeztem el:

- I. Műszaki tartalom.
- II. Alkalmazhatóság.
- III. Kezelhetőség.
- IV. Humán feltételek, szükséges képzés.

---

<sup>7</sup> Ld. előző hivatkozás



## I. Műszaki tartalom

### Akciórádiusz

A nemzetközi besorolás szerint ezek a repülőeszközök az úgy nevezett CR (close range – kis hatótávolságú) UAV kategóriába tartoznak (ld. 1. táblázat). A vizsgált légi járművek mindegyike megfelel a kategóriára meghatározott adattartománynak.

A fenti eszközök vezérlési alapelve minden esetben azonos. A kezelőszemélyzet gyakorlatilag „látótávolságon” belül, nyílt terepen – ahol a tereptárgyak, épületek, fák, stb. nem állnak az antenna és az irányított eszköz között virtuálisan meghúzott egyenes tengelyében – manuálisan irányítja, irányíthatja az UAV-t. Ez a körülményektől, eszközöktől függően 10-20 km lehet, de általánosságban 15 km-ről beszélhetünk.

Megnevezés	Rövidítés	Hatótáv (km)	Repülési magasság (m)	Repülési időtartam (óra)	Felszálló tömeg (kg)
Nano	–	≤1	100	≤1	≤0,025
Micro	–	10	250	1	≤5
Mini	–	10	150-300	≤2	≤30
<b>Close range (kis hatótávú)</b>	<b>CR</b>	<b>10-30</b>	<b>3000</b>	<b>2-4</b>	<b>150</b>
Short range (rövid hatótávú)	SR	30-70	3000	3-6	200
Medium range (közepes hatótávú)	MR	70-200	5000	6-10	1250
Medium range endurance (közepes hatótávú, megnövelt rep. idő)	MRE	≥500	8000	10-18	1250

1. táblázat Hagyományos UAV kategóriák<sup>8</sup>

Erre az utóbbi években a vezérlés, irányítástechnológia terén megfigyelhető robbanásszerű fejlődés ad viszonylag könnyen és nem utolsó sorban olcsó lehetőséget. Az újabb korszakba lépett mikrohullámú<sup>9</sup> technológia lehetővé teszi a digitális vezérlőrendszerek külső zavaroktól mentes működtetését és a kétirányú adatforgalmat. A korszerű, digitális mikrohullámú technológia segítségével nem csak az úgy nevezett telemetriás adatok (a repülési adatok a manuális vezérlés megsegítésére) továbbíthatók valós időben a földi irányító felé, hanem a repülés céljául szolgáló mérések adatai, vagy a felderítés képei is a földi kiértékelő egység (pl. célszámítógép) vagy video megjelenítő felé.

<sup>8</sup> DR. DUDÁS Z.: TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” pályázat keretében végzett kutatói tevékenysége során készült kézirat alapján.

<sup>9</sup> [6] 9. oldal: „A mikrohullámú sugárzás (MH) a nemionizáló sugárzásokon belül az elektromágneses spektrum ama része, melynek frekvencia-, ill. hullámhossztartománya 300 MHz–300 GHz, 1 m–1 mm között van (Almássy, 1982; Mátay és Zombory, 2000; Schubert és Regier, 2005). Ez a közepes és a magas frekvenciasávoknak felel meg. Megjegyzendő, hogy az egyes tudományágaknak megfelelően a határok az infravörös fény, a terahertzes sugárzás, a mikrohullámok és UHF rádióhullámok között eléggé szabadon értelmezettek. Egy hitelesnek tekintett definíció D.M. Pozartól ered, aki szerint mikrohullámúnak tekinthető az a sugárzás, amely „300 MHz (3·10<sup>8</sup> Hz) és 300 GHz (3·10<sup>11</sup> Hz) közti váltakozó feszültségű jeleket ír le.” A mikrohullámú tartomány a következőképpen osztható fel:

- ultramagas frekvencia: ultra-high frequency (UHF) (0,3–3 GHz),
- szupermagas frekvencia: super high frequency (SHF) (3–30 GHz),
- extrém magas frekvencia: extremely high frequency (EHF) (30–300 GHz) jelek.”

## Sárkány kialakítása

A tanulmányozott pilóta nélküli eszközök mindegyike – alapvető működését tekintve – azonos fizikai alapelveken nyugvó merevszárnyú kisrepülőgép. A méretük alapján történt összehasonlításokkor, jelentős különbség egyik esetben sem mutatható ki, hiszen a fejlesztők számára, az ilyen repülőket teljesítményére vonatkozóan kitűzött cél optimális megvalósítása hasonló külső méreteket, arányokat eredményezett. A sárkányszerkezetre mind a négy konstrukciót illetően a felsőszárnyas kialakítás a jellemző, ami az egyéb szárnyfelerősítési megoldásokhoz (alsó vagy közép szárny) viszonyítva a lehető legnagyobb stabilitást<sup>10</sup> biztosítja a légi jármű számára. Ugyancsak ezt a célt szolgálja a szárnyak „V”-be állítása vagy „fülezése” is<sup>11</sup>, amely mindegyik UAV-n alkalmazásra került. Igaz, hogy a két alkalmazott megoldás működésének fizikai magyarázata eltérő, de hatásuk a repülőeszköz stabilitására azonos. Részletes elméleti fejtegetést mellőzve kijelenthető, hogy tulajdonképpen emberi vagy akár automatikusan működő elektronikus eszközök beavatkozása nélkül is, a repülőeszköz és az aerodinamikai, illetve gravitációs erők, nyomatékok kölcsönös egymásra hatásának eredményeképpen az ilyen felépítésű légi jármű önmagát „vezérelve” törekszik visszatérni a stabil, előre definiált repülési üzemmódra, ami az esetek döntő többségében a vízszintes (vagy közel vízszintes), egyenes vonalú, előre haladó, egyenletes sebességű repülés. A stabil repülést segítik még automata üzemmódban a különböző elektronikai eszközök is, mint pl. a különböző elméleti tengelyek (az X, Y és Z tengely) szerinti giroszkópos stabilizáló egységek. Erre a stabilitásra nagy szükség is van a fedélzeti kamerák képalkotási minőségének biztosítása érdekében.

A vezérsíkok kialakításánál már nem ilyen egységes a kép. Két esetben hagyományos, míg két esetben „T” vezérsík alkalmazása mellett döntöttek a fejlesztők. Az Ikran nevű UAV osztott farokrésszel rendelkezik, mivel az útirányú stabilitás biztosítása érdekében a függőleges vezérsíkot kivitték oldalra a légcsavar által hátrafelé nyomott, kavargó levegő útjából. Ezzel a megoldással a két függőleges felület és az oldalkormányok zavarmentes légáramban működnek. Ennek a megoldásnak a további előnye, hogy a sárkányszerkezet erősebb, valamint nagyobb stabilizáló és kormányfelületek állnak rendelkezésre. Hátránya a nagyobb konstrukciós tömeg.

A vizsgált repülőgépek sárkányának gyártásához a lehető legkorszerűbb anyagokat használták a fejlett technológiák alkalmazásával. A szén és üvegszál, kompozit gyártástechnológia maximális szilárdságot, minimális tömeget biztosít a repülőeszközök számára. Ezen a téren nincs eltérés közöttük. Bár a közönséges hobby repülőmodellezés piacán is beszerezhető profi minőségű, kiváló alapanyagok felhasználásával készült, a fentiekhez hasonló külső paraméterekkel rendelkező repülőmodell, mégis a fejlesztők – véleményem szerint nagyon helyesen – az egyedi gyártás mellett döntöttek. Így biztosítható legjobban a megcélzott feladatokhoz optimálisan kialakított sárkányszerkezet, illetve a speciális, egyedi fejlesztésű elektronika és a vezérlő rendszer elhelyezéséhez, csatlakozásához szükséges terek, rekeszek, csomópontok. Saját gyártásra való felkészüléssel biztosítható továbbá a mindenkor reprodukción, a beszállítóktól való függetlenség, az eszköz saját terméként való értékesítése, a részegységek sérülése esetén a gyors javítás, a független fejlesztés lehetősége és nem utolsósorban a végső ár csökkentése.

<sup>10</sup> [5] 2.2.1. *Statikus stabilitás* című fejezet, 53. oldal

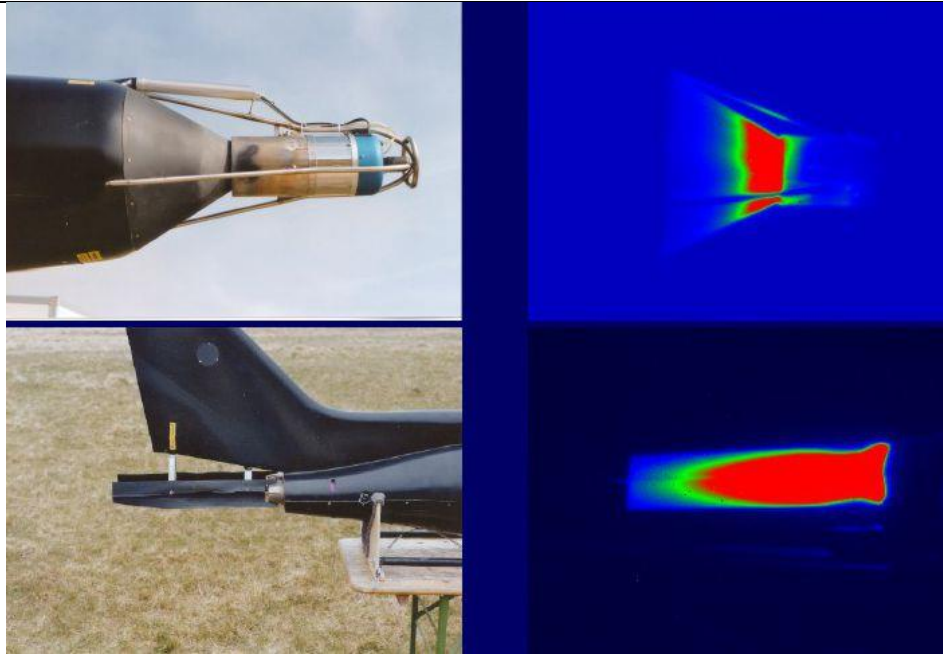
<sup>11</sup> [5] 2.2.2. *Aerodinamikai stabilitás* című fejezet, 55. oldal

## Meghajtás

A felsorolt eszközök meghajtása mutatja a külsőleg megfigyelhető legnagyobb eltéréseket. A legsokoldalúbb az Ikran nevű repülő, hiszen egyaránt felszerelhető belsőégésű és elektromos motorral. A meghajtási módok evolúciós folyamatában a legfiatalabb az elektromos meghajtás és a legöregebb a dugattyús belsőégésű motoros meghajtás. Az akkumulátorok és elektromotorok hatásfokának jelentős növekedésével és tömegének jelentős csökkenésével ez a meghajtási mód egyre inkább kiszorítja a korábbi technológiákat. Míg a 90-es években a szaklapok arról cikkeztek, hogy az elektromos repülőgép meghajtásnak nincs realitása, addig manapság már szinte minden robbanómotoros rádió-távírányítású (RC) légi járműnek megjelent az elektromotoros modifikációja, teljesen kiszorítva a korábbi megoldásokat. A lítium alapanyagú akkumulátorok és a váltóáramú, kefe nélküli villanymotorok alkalmazása három modell esetében (Ikran, Bora és BHE-MIK-NIK) bizonyította, illetve bizonyítja létjogosultságát. Az Ikran esetében a robbanómotor egyenrangú alternatívájaként lett kialakítva az elektromotoros változat.

A Meteor célrepülőgép-család fejlődése során egyre nyilvánvalóbbá váltak a robbanómotor hiányosságai. Az ilyen berendezések rendeltetéséből eredően a korszerű repülőgépeket imitálendő, viszonylag nagy sebességet és megfelelően nagy radarképet kell produkálni. Azon túl pedig a modern MISTRAL típusú légvédelmi rakéták infra érzékelői számára megfelelő hőforrást kell biztosítani a fedélzeten. Kézenfekvő volt a megoldás: sugárhajtóművet kell alkalmazni egy arra felkészített légi jármű meghajtására. A Meteor-3MA a törzs tetejére szerelt 160–200 N tolóerejű repülőmodell gázturbina segítségével biztosítani tudja a legalább 250 km/ó-ás repülési sebességet. A megfelelő radarkép kialakítása érdekében a célrepülőre rádiólokációs visszaverő, felületnövelő eszközt, úgy nevezett Luneberg-reflektort szereltek.

A sugárhajtóműből kiáramló forró gáz sugárzása megfelel a legtöbb infravörös önrá vezető szenzor spektrális érzékenységének, így nincs szükség hőforrás céljából piropatronok felszerelésére és az azt kezelő képzett szakemberek alkalmazására. Az ilyen hajtómű alkalmazása hatékony megoldást jelent, ha olyan modern, két hullámhosszon működő rakétarendszer számára kell célt imitálni, mint a MISTRAL, amelyik szenzorja infravörös és ultraviola tartományban, vagy két infravörös sávban érzékel, így képes megkülönböztetni a valós repülőgép és az infracsapdák hőképét.



6. ábra Egy célrepülőgép tipikus hőképe<sup>12</sup>

További előny, hogy repülés közben a gázturbinába spriccelt füstképző anyag a hő hatására jól látható füstcsíkot eredményez a repülőgép mögött, ezzel elősegítve a vizuális nyomkövetést.

### **Leszállómű**

Az UAV-k földet érése során különböző eljárásokat követnek, de a leszállómű nagymértékben hozzájárulhat a törzsben lévő elektronika megóvásához leszállás közben. A törzs védelmére az Ikran esetében hagyományos hárompontos futóművet (orrkerék és két rugalmas futószáron a főfutó egy-egy kerékkel) alakítottak ki. A Meteor-3MA a törzs orr részében elhelyezett egykerekes leszállóművet kapott, illetve a BHE-MIK-NIK valamint a Bora nem rendelkezik futóművel. A futómű elspórolása vagy leegyszerűsítése egyértelműen a súlycsökkentést és/vagy a kisrepülő aerodinamikai tisztaságát (légellenállás csökkentése) szolgálja. Az UAV-k összehasonlításánál a különböző konstrukciónak nincs jelentősége, inkább a startolás, felszállás és a leszállás eljárásainak értékelése fontos, hiszen a repülés egész folyamatának ezek a legkritikusabb részei, ezek igénylik a kezelő személyzet részéről a legnagyobb felkészültséget.

### **Indítás, felszállás**

Egy távirányítású repülőgép legnagyobb biztonsággal a földről, saját vagy „vendég” futón gurulva, saját energiaforrásról táplált meghajtással indítható. Ilyen feltételek mellett, – normális működést feltételezve – az irányítást végző személy számára minden szükséges paraméter befolyásolható, és csak ritkán léphetnek fel váratlan, tőle független körülmények. Természetesen különböző okok miatt ezek a feltételek nem mindig biztosíthatók. Például ha nincs futómű, vagy nem elég az alkalmazott meghajtás teljesítménye a szükséges felszálló sebesség eléréséhez, nagy a felszálló tömeg, nagy a felületi terhelés, esetleg nincs megfelelő minőségű sík terület a felszálláshoz, illetve a légcsvár (ha van felszerelve) forgássíkja vagy a szárny/törzs alá

<sup>12</sup> New Jet-Powered Drone Target Family -EADS Dornier (<http://www.dtic.mil/ndia/2002targets/frei.pdf>)



felerősített berendezések, eszközök elérik a talajt. Ezeknek a problémáknak az áthidalására számos megoldás létezik.

Ilyenek lehetnek:

- kézből indítás;
- különböző fajtájú katapult;
- magas start csörléssel vagy vontatással .

A fentiek közül a legegyszerűbb, a kiegészítő eszköz nélkül végrehajtható startolási mód a **kézi start**. Hátránya, hogy ha segítőtárs „dobja” el a repülőt, akkor annak „minősége” nagymértékben függ a végrehajtási technikától. Ha a vezérlő személy végzi a startot, az előbbi nehézséget növeli az a tény, hogy csak fél kézzel tud foglalkozni magával az irányítással. A probléma fokozottabban jelentkezik a légi jármű tömegének, méretének növekedésével. A **katapult** (legyen az gumis, rugós, hidraulikus stb.) hirtelen, rövidtávon közöl viszonylag nagy energiát a repülő szerkezettel, ami egyik pillanatról a másikra rendkívül felgyorsítja a repülőt. Ez az alap üzemmóddhoz képest nagy sebesség szélsőséges mozgásokat eredményezhet, ami relatíve gyors reakciókat igényel a jól képzett kezelőszemélytől, közvetlenül a repülés kezdeti szakaszában, földközelségben. A **csörlés** előnye, hogy viszonylag hosszú távon húzva, magasra juttatja a repülőt. Hátránya, hogy a csörlés során a nagyobb sebesség és a vontatókötélhez való csatlakozás miatt, képzett személy szükséges az u. n. kitörés, és egyéb váratlan manőver elhárítása miatt. Ezen kívül viszonylag nagy, sík terület szükséges az ilyen indításhoz. A **vontatás** két repülőgépet feltételez, több képzett személy együttműködésével, összehangolt tevékenységével és számos hibázási lehetőséggel. A megfelelő végrehajtáshoz sok gyakorlás szükséges. Az összes startolási mód végrehajtásának biztonsága nagymértékben növelhető különböző automatikusan működő, elektronikus vezérlőegységek alkalmazásával.

A különböző repülési devianciák azonnali érzékelését és a vezérlő személy beavatkozása nélküli, haladéktalan korrekcióját végző áramkörök jelentősen csökkenthetik az irányító egyén felkészültségének hiányosságait.

A vizsgált UAV-k indítását eltérő koncepciók jellemzik. A HM EI Zrt. és HM CURRUS fejlesztői két esetben (Meteor-3MA és Ikran) a földön, saját keréken guruló, a hajtómű vagy motor által létrehozott vonóerő segítségével történő repülőgépszerű startot részesítették előnyben, míg a Bora kézből eldobva indítható. A negyedik légi jármű startját egy összetett katapult szerkezet biztosítja. Ez az utolsó megoldás nagyobb előkészületet és szállítókapacitást igényel, de az így elérhető nagyobb felszálló sebesség, nagyobb felszálló tömeg alkalmazását teszi lehetővé.

### *Repülés végrehajtása*

A repülési tulajdonságokat egyértelműen az adott légi járműnek szánt alaprendeltetés határozza meg, de a fejlesztők minden esetben a stabil, műrepülő figuráktól mentes repülés megvalósítására törekedtek. A felderítő, kutató, mérőeszközt szállító repülő esetében a repülési sebesség nem számottevő és csak kismértékben tér el a teljes repülési tartományban. Ez alól természetesen kivétel a Meteor-3MA célrepülő, amelyik a légvédelmi gyakorlatok során a „megsemmisítendő” nagyrepülőgépeket imitálja. A megfelelő hatékonyságú képzés érdekében a távirányítású berendezés repülési sebességnek is az „igazihoz” hasonlónak kell lennie.



## Leszállás

A repülő szerkezetek egyik legkritikusabb repülési szakasza a leszállás. A szerkezeti sérülések nagy részét a helytelenül végrehajtott leszállások során szenvedik el az UAV-k is. A két hazai fejlesztő is nagy hangsúlyt fektetett a leszállás biztonságos végrehajtására. Az alkalmazott eljárások és a fedélzeti elektronika nagyban támogatják az adott eszközök sérülésmentes landolását. A HM EI Zrt. és HM CURRUS replői teljesen manuálisan vagy az elektronika segítségével közelítik meg a földet, majd kis magasságban a felkészült irányító személy „teszi” azokat a földre. Ettől teljesen eltérő utat választott a másik fejlesztőgárda. Egy teljesen saját fejlesztésű automatikus leszállító rendszer vezeti egy elfogó hálóba a robotrepülőgépet. A kifeszített háló két tartórúdja antennaként sugározza az oldalirányú vezérlőjelet, amelyet a fedélzeti elektronika feldolgoz és a légijárművet a két antenna közé irányítja. A hálóba érkezéshez szükséges ideális siklópálya irányt egy külön telepített harmadik antenna határozza meg a vevőegység számára. A repülő törzsén lévő kampó a hálóba ütközéskor felakad a hálóba, ezáltal nem esik a földre, nem sérül meg. A laza háló elnyeli a repülőeszköz mozgási energiáját. Az utóbbi megoldás hátránya, hogy a leszálláshoz is külön telepített, nagyméretű eszközök, speciális elektronikai berendezések szükségesek, megnövelt fuvarozási igénnyel és az ezekből adódó jelentős többletköltséggel. Előnye, hogy a teljesen automatizált leszállító rendszer még rossz látási viszonyok mellett (vagy éjszaka, sötétben), emberi beavatkozás nélkül is biztonságosan levezeti az adott repülőeszközt.

### *Távvezérlés, adattovábbítás, elektronika*

Egy UAV esetében elengedhetetlenül fontos a lehető legfejlettebb átviteltechnika alkalmazása. A vezérléshez és az adattovábbításhoz használt rádióforgalom ugyan már a sokkal megbízhatóbb digitális jelfeldolgozás alapján történik, mégis a gyors és nagymennyiségű adattovábbításhoz elengedhetetlenül fontos a minőségi, szélessávú jelátvitel. A hazai UAV fejlesztők által kitűzött kb. 15 km-es akciórádiusz biztosításához szükséges műszaki feltételek miatt nagynyereségű, elektronikus, speciális állványra szerelt irányított antenna szükséges. További előnyt jelent, ha az antenna automatikusan követi a robotrepülőgép mozgását, ezzel biztosítva a legoptimálisabb sugárzási/vételi karakterisztikát a feladat végrehajtása közben. Ezt földi és légi GPS adatok összehasonlításával vagy a légijárműről sugárzott rádiójel irányának meghatározásával érhető el. Ezeket alkalmazták a mi eseteinkben is.

A hazai UAV fejlesztések legnagyobb értéke a hozzáadott szellemi munka. Nem lévén jelentős hazai háttérpar, vagy az igényeknek megfelelő, elérhető árú célhardver és célszoftver – a két fejlesztő csapat hatalmas jelentőségű, önálló, a konkrét igényekhez igazodó fejlesztéseket hajtott végre a világszínvonalú, de hazai áron megvalósított vezérlőelektronika megtervezése, létrehozása és beüzemelése területén. A vizsgált repülőeszközöknek ezt a részét érthető módon titoktartás fedi, de annyi bizonyos, hogy a fedélzeti elektronika az általános repüléstámogató feladatok mellett a felhasználási követelményeknek megfelelő célfeladatok teljesítését is el látja. Ezt a célt különböző módon, de mindegyik drón teljesíti.

Mind a négy kisrepülő esetében a fedélzeti elektronika biztosítja:

- teljes körű távirányítás;
- automatikusan stabilizált repülés;
- leszállási manőver támogatása;



- külső beavatkozás nélküli, autonóm repülés;
- több előre tervezett útvonal (misszió) beprogramozása, végrehajtása vagy akár repülés közbeni módosítása;
- GPS alapú navigáció;
- fedélzeti kamerarendszerek („pilóta nézet”, megfigyelő/felderítő);
- kép és adattárolás a fedélzeten;
- valós idejű kép- és/vagy adattovábbítás (pl. telemetria);
- virtuális „pilótafülke”.

BHE-MIK-NIK által alkalmazott egyedi elektronikus rendszerek:

- tudományos kutatásokat (pl. légszennyezés, radioaktivitás, hőmérséklet stb. mérését) támogató szenzorok, mintavevő és elemző, valamint ezeket az adatokat tároló egységek;
- leszállás automatizálásához szükséges elektronikus siklópálya meghatározó rendszer.

## II. Alkalmazhatóság

A tudományos fejlesztési tevékenység egyik alapvető célja, hogy olyan magas szellemi és gazdasági értéket képviselő „terméket” állítson elő, amelyik – azon túl, hogy megfelel a kitűzött céloknak és elismerést hoz szakmai körökben – értékesíthető a piacon, kiszolgálja a gazdasági szereplők, vagy az állami megrendelők igényeit. Mindenkor cél a kutatásokra fordított pénzügyi források lehető legnagyobb mértékű megtérülése.

A hazai pilóta nélküli repülőeszközök fejlesztése két irányból indult. A BHE-MIK-NIK által kifejlesztett eszköz kezdetben nagyon jó lehetőséget biztosított az informatikai, vezérléstechnológiai, adatfeldolgozási, átvitel-technikai elképzelések kidolgozására, megvalósítására, a tudományos munkatársak fejlesztésére és a távlati elképzelések kimunkálására. Az elért fejlesztési eredmények sikerei kellő jogalapot adtak az értékesíthető elgondolások megvalósítására. Kialakult egy széles körben alkalmazható kutató rendszer, melyet elsősorban civil felhasználásra szántak. Egy olyan fejlett repülőeszköz valósult meg a hozzá tartozó összes hardver és szoftver feltételekkel, amely világszínvonalon szolgálhat ki tudományos kutatási igényeket csakúgy, mint a gazdasági tevékenység támogatásához szükséges adatszolgáltatókat. Ilyenek lehetnek például a légkör vizsgálatát szolgáló kutatások, a légszennyezettség vizsgálata, meteorológiai adatszolgáltatás, térképészeti célú fotókészítés, környezetvédelmi és vízszennyezettségi megfigyelések stb. Ezeknek a feladatoknak a végrehajtásához tulajdonképpen minden technikai eszköz rendelkezésre áll, és kísérleti jelleggel már most is folyik ilyen tevékenység.

A HM EI Zrt. és HM CURRUS szakemberei kissé más utat választottak. Felmérték a valós és előre látható igényeket. Elsősorban az állami felhasználások igényeinek kielégítését tűzték ki célul. A hadsereg légvédelmi alakulatainak gyakorlati képzésére már régóta alkalmazzák a távirányítású repülőmodelleket. A korszerű légvédelmi rakéták kezelésére, alkalmazására kiképzendő és kiképzett állomány gyakoroltatására, jártasságának fenntartására ma is a legkézenfekvőbb és legolcsóbb megoldás az „igazi” repülőgépek fizikai tulajdonságaira (hőkép, radarkép, sebesség stb.) nagymértékben hasonlító robotrepülőök használata. Az ilyen mesterséges repülőcélra végrehajtott imitáció, vagy akár éleslövészet szinte teljesen helyettesítheti a „harci” kö-



rülményeket. Ezeknek az igényeknek a szem előtt tartásával hozták létre a Meteor család legfiatalabb tagját a gázturbinás Meteor-3MA célrepülőgépet. A fejlesztés sikerére jellemző, hogy a honi légvédelem rendszeresen alkalmazza az eszközöket és éleslövészetben is bizonyításra ad lehetőséget a fejlesztők számára. Az afganisztáni misszió egyértelművé tette, hogy a korszerű hadviselés szerves része kell, hogy legyen a hatékony légi felderítést biztosító UAV. A magyar kontingens is használt/használ ilyen eszközöket a hadszíntéren. A drága külföldi eszközök kiváltására született meg a két magyar robotrepülő a nagyobb Ikran és a fiatalabb Bora. Mind a két drón alkalmas légi felderítésre, a földi csapatmozgások támogatására, különböző (normál vagy hő) kamerák által rögzített kép valós idejű földre sugárzására. Felhasználhatók nagyobb területek átvizsgálására, katasztrófák helyszínének feltérképezésére, a döntéshozatalhoz szükséges képi információk összegyűjtésére. Ezek a tulajdonságok a polgári életben is jól használható lehetőségeket biztosítanak a megrendelők számára.

A vizsgált repülőeszközök felhasználását némileg nehezíti, hogy a vezérléshez, adattovábbításhoz alkalmazott földi antennák irányítottak és automatikusan működve célkövetőek, ezért a használat előtt az optimális eredmény elérése érdekében a terepviszonyoknak és a körülményeknek megfelelő módon telepíteni kell azokat. Ennek az előkészítési feladatnak a szükségessége adott esetben lelassíthatja vagy szélsőséges esetben meg is hiúsíthatja a repülési feladat végrehajtását.

A felsorolt eszközök használhatóságának legszembetűnőbb korlátja a mikrohullámú rádiókapcsolat fizikai tulajdonságaiban rejlik. Annak érdekében, hogy a vezérléshez és adatforgalomhoz szükséges kétoldalú összeköttetés biztosítva legyen, folyamatos „rálátás” szükséges a földi irányító egység és a robotrepülő között. Ez csak nyílt, akadályoktól, tereptárgyaktól, fáktól, épületektől stb. mentes területen lehetséges, a terepviszonyoktól függően 10-20 km távolságon belül. Természetesen az UAV-k ennél nagyobb távolságokra is eltávolodhatnak a vezérlő ponttól, hiszen mindegyik eszköz fel van vértézve az összes repülési feladatot automatikusan vezérlő robotpilótával. A távirányítás vezérlő jelének elvesztése esetén vagy egy meghatározott küldetés tervei alapján az előre betáplált útvonal szerint hajtja végre a repülési feladatot a légijármű. Ez magába foglalja a repülési manővereket, az útvonalat, a visszatéréshez szükséges eljárásokat, a vészhelyzetek kivédését és a misszió alatt végrehajtandó feladatokat. Ebben az esetben természetesen nem beszélhetünk a valós idejű adattovábbításról, de minden esetben megoldott a fedélzeti adattárolás és a későbbi kiértékelés lehetősége. Éppen ezért kijelenthető, hogy olyan esetben, amikor a felderítési adatokra azonnal szükség van (pl. hadműveleti területen végzett felderítés, konvoj kísérés, határőrizeti tevékenység, stb.) a kis akciórádiusz miatt ezeknek a magyar drónoknak a bevetésük lehetősége igencsak korlátozott. Természetesen ez a hiányosság további fejlesztésekkel és jelentős anyagi ráfordítás után kiküszöbölhető. Ilyen fejlesztési elképzelések már rendelkezésre állnak és csak a megrendelő igényei (és persze anyagi lehetőségei) szabnak határt a megvalósításnak.

Mind a négy eszköz olyan sokrétű tulajdonságokkal rendelkezik, illetve a fejlesztő gárda annyira innovatív, hogy a potenciális ügyfél igényei szerint tudják módosítani, finomítani a felajánlott UAV képességeit, az esetleges szolgáltatás profilját.

### III. Kezelhetőség

Ahogy arról már szó volt, a vizsgált rendszerek magas fokú automatizáltsága mellett a vizsgált UAV-k repülése folyamán lehetőség van – és több esetben szükséges is – az emberi beavatkozásra. Ezen túl elengedhetetlen a szolgáltatott adatok, képek elemzése, feldolgozása, esetleg egyéb informatikai hálózatokon való továbbítása. Annak ellenére, hogy a rendszerben alkalmazott hardver és a szoftver világszínvonalú megoldásokat, csúcstechnológiás alkatrészeket, berendezéseket tartalmaz, a rendszerek bevetésekre való felkészítését, illetve alkalmazását viszonylag egyszerű eszközök felhasználásával kellett megvalósítani. A fejlesztők mindegyik esetben gondoltak a rendszer szakszerű szállítására, illetve a vezérlő, kezelő, adatfeldolgozási munkahelyek kialakítására. A szállító konténerek méretre gyártott, az adott eszközök tárolására, szállítására alkalmas „dobozok”, melyek a kitelepülést követően akár munkaasztalként vagy ülőalkalmatosságként is szolgálhatnak. A HM EI Zrt. és HM CURRUS fejlesztői ezen túlmenően olyan szállítóeszközt készítettek, ami a felszerelés kipakolása után, lakókocsi szerűen, magába foglalja vezérlőközpontot is. A repülőeszközök irányítása a rádióirányítású modellezők által jól ismert rádiós modellvezérlő (RC rádióadó) egység és igény szerint PC számítógép segítségével valósul meg. Az így kialakított munkaállomások egy virtuális pilótafülkét valósítanak meg. Ennek a „pilótafülkének” monitorjai egy repülő műszerfalához hasonló módon tartalmazzák a repüléshez szükséges adatokat, az aktuális térképet, a repülés útvonalát, a drón által „látott” képet és minden olyan paramétert, amely észlelésére felkészítették az UAV-t.



7. ábra BHE-MIK-NIK hordtáskája, valamint a HM EI Zrt. és HM CURRUS utánfutója.<sup>13</sup>

A BHE-MIK-NIK által kifejlesztett vezérlőközpont tulajdonképpen két kemény burkolatú, ipari kivitelű, árnyékoló lapokkal kiegészített hordtáskába helyezett laptop, míg a HM EI Zrt. és HM CURRUS gárdája az utánfutóban fixre szerelve hozta létre ugyan ezt. Mind a két megoldásnak van előnye és hátránya is egyaránt.

A vezérlő táska előnye a mobilitás, a könnyű telepíthetőség. Hátránya, hogy használata az időjárás viszontagságaitól, az erős napsütéstől függhet. Az utánfutóban létrehozott vezérlőközpont ezzel pont ellentétes, tehát nagy előnye, hogy az időjárástól független körülményeket biztosít a kezelő személyek számára, de a helyszínre vontatni kell, és egyenetlen vagy meredek terepen a telepítése nehézségbe ütközhet.

<sup>13</sup> [7] és a Légierő blog: [http://legiero.blog.hu/2012/11/05/kirajzas\\_a\\_hamburgeres\\_standbol\\_magyar\\_uav-ok\\_felszalloban](http://legiero.blog.hu/2012/11/05/kirajzas_a_hamburgeres_standbol_magyar_uav-ok_felszalloban)

A repülőgépek a végrehajtandó funkciók ellátására maximálisan felkészített légi járművek, melyek üzembe helyezése nem okozhat gondot a kiképzett egyszerű felhasználó számára sem. Az eszközök összeszerelése könnyen elsajátítható csakúgy, mint a fedélzeti rendszerek bekapcsolása, működtetése. Az egyes megfigyelő, kutató, vizsgáló eszközök moduláris felépítésűek és a feladatokhoz viszonylag könnyen adoptálhatóak.

#### **IV. Humán feltételek**

A vizsgált UAV rendszerek kifejlesztésében alapvető szerepet vállalt és vállal ma is a hazai repülőmodellezés néhány ismert szereplője. Nem véletlen, hiszen a fejlett rádió-távírányítású, nagy teljesítményű repülőmodellek egy külső szemlélő számára nem mutatnak nagy különbséget az egyszerű UAV-hez viszonyítva. Irányításuk alapelve, és módja megegyezik a manuálisan vezérelt robotrepülőkével. Kézenfekvő volt, hogy a műszaki fejlesztések az olyan sokat tapasztalt és a modellirányításban fejlett adottságokkal bíró „pilóták” közreműködésével, kezdeményezésére indultak meg, akik szakmailag jól felkészültek és innovatív képességekkel is rendelkeznek, vagy a tudományos élet területén eredményeket értek el. A tapasztalt modellezők biztosítják, hogy a repülőeszközök sárkányának fejlesztése helyes irányba haladjon, és hogy a prototípusok műszaki berepülései folyamán minél nagyobb mértékben kiszűrhető legyen az irányítási hibákból adódó emberi tényező. Ezáltal csökken a géptörések száma és nő az adatok értékelhetősége.

A két fejlesztő csapat által létrehozott repülőeszközök irányítása csak arra kiképzett szakemberek által valósítható meg biztonságosan.

Ezeknek a személyeknek tisztában kell lenniük:

- a repülés fizikájával, általános alapelveivel;
- a repülésbiztonság szabályaival;
- a légtérhasználat szabályaival;
- az alkalmazott rendszer lehetőségeivel és korlátaival;
- készségszinten egy repülőmodell irányításával;
- az alkalmazott eszközök, berendezések működésével;
- az átvitel- és számítástechnikai alapismeretekkel;
- a légi járművek használatára vonatkozó jogi szabályozással.

Látható, hogy a négy hazai UAV üzemeltetésének, használatának humán feltételei között semmilyen különbséget nem lehet tenni, hiszen azok csak a felhasználási célokban és néhány műszaki paraméterben térnek el egymástól. A fejlesztő szervezetek személyi összetétele biztosítja a fenti követelményeket, elvárásokat. A szakembergárda felkészültsége mesze meghaladja az üzemeltetéshez szükséges szintet. Meg kell jegyezni azonban, hogy ha a jövőben ezek vagy az ehhez hasonló eszközök más szervezethez, üzemeltetőhöz kerülnek akkor a kiszolgáló humán erő elméleti és gyakorlati felkészítését szervezett módon, a fenti feltételeknek megfelelően, kötelező jelleggel el kell végezni.





## ÖSSZEGZÉS

A vizsgálatok egyértelműen megmutatták, hogy a magyar kutatócsoportok által fejlesztett UAV-k felnőtt korba léptek. A fejlesztő, gyártó szervezetek és személyek szellemi potenciálja, innovatív hozzáállása, szakmai színvonala és az alkalmazott technológiai megoldások biztosítják, hogy a magyar robotrepülőök felvegyék a versenyt külföldi társaikkal, azoknál sokkal elérhetőbb áron. Jelentős előnyt jelenthet a magyar felhasználók számára, hogy a sokoldalú platformok abszolút rugalmasságot biztosítanak a fejlesztőknek a megrendelők egyedi igényének figyelembevételéhez. Lehetőség mutatkozik, hogy a „vásárlók” és a fejlesztők közösen dolgozzák ki az igények és lehetőségek összehangolásával a számukra legalkalmasabb UAV-t. A két fejlesztőgárda, a négy pilóta nélküli repülővel eltérő felhasználó csoportokat és feladatokat célzott meg, és ebből eredően eltérő technikai megoldásokat alkalmaztak, de mindegyik kisrepülő teljesíti a magas műszaki elvárásokat. A tanulmányozott berendezések tulajdonságai műszaki paraméterei, használhatósága között kimutatható számos hasonlóság, de mindenképpen javasolt az egyedi feladatokhoz megfelelő egyedi légi jármű kiválasztása (pl. éjszakai alkalmazásokhoz automatikus leszállórendszer).

Minden UAV kezelőszemélyzete vonatkozásában ki kell emelni a megfelelő képzettség, gyakorlottság, szakmai felkészültség fontosságát. Ezen feltételek nélkül nem garantálható sem a körzetben tartózkodó személyek, sem az infrastruktúra, sem pedig a légi jármű biztonsága, illetve sérülésmentessége.

***A publikáció a TAMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” pályázat keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.***

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] P. A. Межлумян: Аэромеханика и динамика полета летательных аппаратов, курс лекций, Часть IV, Устойчивость и управляемость летательных аппаратов, Министерство Гражданской Авиации СССР, Киев-1967., 23-66. old.
- [2] А. К. Янко, Н. А. Иванов, Т. Я. Купчик: Теория авиационных двигателей, Министерство Гражданской Авиации СССР, Киев 1977., 36-60. old.
- [3] Repülőmérnökök kézikönyve. Magyar Légiközlekedési Vállalat, Budapest, 1976., 19-58. old.
- [4] Hársfalvi Sándor: Repülőmodellezés. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978., 103-108. old.
- [5] Molnár András Doktori (PhD) értekezés: A polgári és katonai robotjárművek fejlesztésében alkalmazott új eljárások és technikai megoldások (ZMNE Katonai Műszaki Doktori Iskola). Budapest, 2005.
- [6] Szerencsi Ágnes Doktori (PhD) értekezés: A mikrohullám hatása a *Sacharomyces Cerevisiae*-re („Precíziós Növénytermesztési Módszerek” Alkalmazott Növénytudományi Doktori Iskola), Mosonmagyaróvár, 2011.
- [7] Dr. Kazi Károly: Magyar fejlesztésű, teljesen automatizált UAV rendszer  
[http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2012\\_cikkek/82\\_Kazi\\_Karoly.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2012_cikkek/82_Kazi_Karoly.pdf) (2013. 02. 12.)

Szabó Miklós<sup>1</sup>

## A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐ ESZKÖZÖK KATONAI ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI ÉS SAJÁTOSSÁGAI<sup>2</sup>

*Egy új eszköz megjelenése mindig magával hoz várt, és nem várt hatásokat. A következő tanulmány mottójaként tanulságos lehet a következő történet. Pilóta nélküli eszközök témakörében több fórumot, és konferenciát is látogattam pályám egy szakaszában. Egyik ilyen alkalommal beszélgettem egy amerikai kollégával, akinek katonatársával történt, hogy két hónapra egy hadművelet végrehajtására vezényelték. Ez a vezénylés azonban nem volt teljesen hétköznapi, mert váltásos munkarendben, az eredeti munkahelyén kellett tartózkodnia, a munkaidő leteltével pedig mehetett haza. A feladat műveleti feladat volt, egy másik országban kellett célokat megsemmisíteni felfegyverzett pilóta nélküli repülőalkalmozásával. Ez azt jelentette, hogy bent a munkahelyén „élesben” harcolt, majd hazatért a családjaához, és családtagként élte tovább aznap életét. Az elmondás szerint ezt két hétig tette így, majd a család felvetése alapján, velük megegyezve az ingatlanjuknak egy külön lakrészébe költözött. Saját napirendet kialakítva, a családdal minimálisra szorítva a kapcsolatot töltötte „kiküldetését”, majd annak végétével pár nap regenerálódás után visszaköltözött. A történet végére nem szántam semmilyen tanulság levonását, de elolvasva azt, talán más megvilágításba esik, a cím is: „A pilóta nélküli eszközök alkalmazásának lehetőségei és sajátosságai”*

### POSSIBILITIES AND PECULIARITIES OF THE MILITARY APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

*In the recent decades we are experiencing a definite boom in the field of unmanned aerial vehicles' applications. We can read related articles in the news or on the World Wide Web on a daily basis. Although the majority of these articles talk about military applications it is not unprecedented to run into reading about civil use of these assets. It was the drones which assured security during the 2012 Olympic Games in London or during recent V8 summits. They are also usually involved in disaster relief operations as reconnaissance assets. However, proliferation of UAV's nowadays reaches higher rates in the case of military applications. Therefore it is worthy to take a look what the directions of the developments are, and what the factors are which describe this development.*

## BEVEZETŐ

Napjainkban a pilóta nélküli repülő eszközök robbanásszerű fejlődésének lehetünk szem-, és fültanúi. Mi sem bizonyítja ezt jobban, hogy szinte napi rendszerességgel jelenik meg tudósítás, vagy hír a világhálón olyan eseményekről, melyeknek főszereplője, vagy egyik kulcsszereplője pilóta nélküli eszköz. Ezekből a híradásokból az is kiderül, hogy ezen eszközök alkalmazása nem korlátozódik katonai célok elérésére. Gondoljunk csak a 2012-ben rendezett londoni olimpia, vagy azon helyszínnek biztosítására, ahol a V8 tagállamok vezetői találkoznak. Találkozhatunk pilóta nélküli repülő eszközök alkalmazásáról szóló hírekkel nagyobb természeti katasztrófák esetén is, ahol például a korai károk felderítésében, vagy a kárfelszámolás folyamatában

<sup>1</sup> alezredes, MH 86. Szolnok Helikopter Bázis Szállítóhelikopter Zászlóalj parancsnoka, a Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások kapcsán a „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata és a szabályozói környezet meghatározása” elnevezésű kiemelt kutatási terület kutatója.

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Palik Mátyás alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Katonai Repülő Tan-szék, palik.matyas@uni-nke.hu

kaptak szerepet. Természetesen a hírek túlnyomó részt még mindig katonai alkalmazással kapcsolatosak. Emlékeztetek lehetnek a közelmúltbeli iráni események, vagy azok a híradások, amelyekből megtudhattuk, hogy egy adott terroristavezér likvidálását oldották meg fegyverek alkalmazására képes drónnal. Természetesen a híreket csak indikátornak tekinthetjük, mivel csak fontosabb, vagy „hírértékű” eseményekre koncentrálnak. Azt, hogy a fejlődés mekkora az első mai értelemben vett pilóta nélküli eszközök megjelenése óta, vagy az utóbbi évtizedben, csak úgy tudjuk megállapítani, ha a dolgoknak jobban a mélyére ásunk. Az azonban biztos, hogy a fejlődés elérte azt a szintet, hogy ma már nem lehet figyelmen kívül hagyni ezen légi járművek jelenlétét, és ennek megfelelően a tudomány különböző ágai, nemzetközi, vagy nemzeti hatáskörű szervezetek, oktatási intézmények tűzték napirendre azt, hogy a pilóta nélküli eszközök különböző területeken eredményesen tudjanak működni.

Két évvel ezelőtt két egyetem, az Óbudai Egyetem és a Nemzeti Közszolgálati egyetem (jogelődje a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem) összefogásával jött létre az a projekt, amely napjaink kihívásaira reagálva a Kritikus infrastruktúra védelemmel foglalkozik. Több alprogram, és kiemelt kutatási terület között helyet kapott „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata és a szabályozói környezet meghatározása” elnevezésű kiemelt kutatási terület is. Dolgozatomban a projekt szakértőjeként ennek a szakterületnek a munkájához szeretnék hozzájárulni olyan induló adatokkal a katonai alkalmazás terén, melyek elősegítik tudományos célok elérését. Áttekintést nyújtok arról, hogy a haderők mely területeken használják ma a pilóta nélküli eszközöket, és melyek azok a területek, amelyeken az alkalmazás megjelenésére, vagy a lehetőségek kiszélesítésére van lehetőség. Bemutatom azokat a különbségeket, amelyek megjelennek a pilóta nélküli, és a pilóta, vagy gépszemélyzet által a fedélzeten vezetett légi járművek alkalmazása között, valamint bemutatom azokat a hatásokat, amelyek kimondottan a katonai alkalmazás esetén jelentkeznek. Képet nyújtok továbbá arról, természetesen a publikáció keretei nyújtotta lehetőségeken belül, hogy mely kategóriáit különböztetjük meg a pilóta nélküli eszközöknek.

Munkámban segítségül hívtam azt a tapasztalatot, melyre helikoptervezetőként hadműveleti területen tettem szert, ahol nem ritka, hogy a „pilótás” és a pilóta nélküli gépek közös, vagy szomszédos légterekben üzemelnek. Segítségemre volt továbbá, hogy a NATO egyik tudásközpontjában a németországi Joint Air Power Competence Centre kötelékében a pilóta nélküli eszközök szakterület-felelőseként dolgozhattam három évig.

## KERETEK, KORLÁTOZÁSOK

Különböző szervezetek, vagy szakterületek a terminológia és a definíciók vonatkozásában nagyobb eltéréseket mutathatnak. A nyelvi különbségek miatt is nehéz „igazságot tenni” a helyes terminológia alkalmazása terén. Mivel a munkacsoportunk feladata többek közt a szabályozói környezet meghatározása is, azon belül a terminológia egységesítése, így publikációmban a munkacsoport által rendszerezett definíciókat, rövidítéseket tekintem irányadónak.

A katonai alkalmazás szakértőjeként mondhatom, hogy a pilóta nélküli eszközök, rendszerek, kapcsolódó szakterületek egységesítésében, ugyanúgy, mint a hadviselés más területein is, a

NATO élen jár. Több évtizedes múlttal rendelkező apparátusa a NATO Egységesítési Ügynökség<sup>3</sup> az általa kibocsátott, és a nemzetek által valamilyen szinten elfogadott dokumentumokkal hozzájárul a szövetségen belüli műveleti egységesítéshez, az egységes doktrínák és eljárások kidolgozásához. Ezeket, a szakterülettel kapcsolatos dokumentumokat, irányadónak tekintem a publikáció céljainak elérése érdekében.

## A PILÓTA NÉLKÜLI ESZKÖZÖK ALKALMAZÁSI SAJÁTÓSÁGAI

A pilóta nélküli eszközök sok tekintetben nem különböznek a személyzet vezette eszközöktől. Első, és talán a legfontosabb hasonlóság, hogy mindkét rendszert ember üzemelteti. Csupán helyrajzi kérdés, hogy azt honnan teszi. Még a legmagasabb szintű automatizáltságra, esetleg autonómiára képes eszközök esetén is első számú követelmény, hogy a repülés bármely fázisában lehetőség legyen emberi beavatkozásra. Azon kívül, hogy a gép irányítását, programozását ember végzi, több kapcsolódó szakterület munkájára is szükség van. Az ember vezette gépekhez hasonló a logisztikai ellátás, földi üzemeltetés rendszere, és ugyanabban a légtérben üzemelnek.

Talán a legegyszerűbb megközelítés a különbségtétel során az, hogy a pilóta nélküli eszközök alkalmazásával ugyanazon műveleti célt úgy lehet elérni, hogy nem kell kockára tenni emberek életét. Ugyanakkor – talán ellentmondásosan hangzik – a pilóta nélküli rendszerek üzemeltetésekor az okozza a legnagyobb kihívást, hogy kivettük az embert az aktuálisan repülést végrehajtó eszközökből. Mégis, a drónok számának, a velük végrehajtott feladatok mennyiségének növekedése azt bizonyítja, hogy a mérleg az előnyök oldalára billent.

### **Biztonság**

A katonai alkalmazás során a modern hadviselés új követelmények elé állította a különböző szintű parancsnokokat. Különböző hatásoknak, de főleg annak a ténynek köszönhetően, hogy a média napjainkban „egyenes adásban sugározza” a főbb konfliktusok, háborúk eseményeit, az emberélet megóvása a harccselekmények során is felértékelődött az elmúlt évtizedekben. A parancsnokok felelőssége az, hogy a műveletekben elszenvedhető veszteségek kockázatát a legalacsonyabb szintre szorítsák. Vonatkozik ez a saját erőkre ugyanúgy, mint a járulékos veszteségek okozására, vagy a civil lakosságra. A pilóta nélküli eszközök képesek az emberi tűrőképességet meghaladó időn keresztül járőrözni, vagy feladatot végrehajtani, és képesek olyan helyekre is eljutni emberi élet kockázatát nélkül, mint például egy radiológiaiilag, vegyileg, vagy biológiaiilag szennyezett terepszakasz, terület.

A Magyar Honvédség a mai napig is fenntart olyan sugárfigyelő szolgálatot, amelyet drága, ember vezette repülő eszközökkel lát el. Talán ideje lenne – mondjuk éppen a kritikus infrastruktúra védelmi kutatások hatására – az ilyen jellegű feladatokat az olcsóbban üzemeltethető, és főleg biztonságosabb, pilóta nélküli eszközökkel végrehajtani.

A biztonságra gyakorolt direkt hatások mellett érdemes megemlíteni azokat az előnyöket is, amelyeket a pilóta nélküli eszközöknek köszönhetünk a harcérrintkezés során. Nem csak a végrehajtó személyzetek élvezik ezen eszközök előnyeit, hanem azok is, akiknek az érdekében az

---

<sup>3</sup> NATO Standardization Agency



eszközt bevetik. Alkalmazásukkal lerövidülhetnek az időrések például a „keres, rögzít, követ, céloz, támad, értékel<sup>4</sup>” körben, amely segítségével – fontosság, vagy időtényező szempontjából – kritikus célpontok megsemmisítési valószínűsége nőhet meg.

### **A hordozóeszköz tervezése**

Gazdaságossági és egyéb előnyök származnak abból, hogy az eszközök létrehozásánál nem azzal a tényezővel kezdeni a tervezést, hogy beleférjen egy pilóta, vagy akár személyzet. Egy pár kilogrammos képrögzítő, és továbbító rendszert nem kell egy a méreteit nagyságrendileg meghaladó hordozóeszközre építeni, amivel csökkenthető a radarjel, a felhasználandó üzemanyag mennyisége. A kisebb méretek által növelhető az alkalmazás időtartama, nő a hozzáférhetősége alacsonyabb szintű egységek részére is, mint például a „kisméretű” kategóriába sorolt eszközök esetében.

### **Műveleti rugalmasság, időtartam, fenntarthatóság**

A három fogalom szorosan összefügg a pilóta nélküli eszközök alkalmazásával kapcsolatban. Habár mindegyik értelmezhető hagyományos repülőket esetén is, a mérték és a hatékonyság itt is a pilóta nélküli eszközök javára billenti a mérleget. A levegőben tölthető időnek, vagy a rövid újbóli harcbevetésnek köszönhetően eredményesebben lehet újabb – esetleg más jellegű - feladatokra bevetni, ami egyértelműen a rugalmasságot növeli. Nagyobb eszközök esetén a húsz, harminc órás bevetési idő lehetőséget ad arra, hogy addig nem tervezett feladatra vegyék igénybe. A kisebb eszközöket pedig az egyszeri rövid bevetési idő ellenére is olyan gyorsan lehet újra feladat készre tenni, hogy az elősegíti a művelet időbeni fenntarthatóságát.

### **Légtérhasználat**

Talán az egyik legnagyobb kihívás a pilóta nélküli repülőket alkalmazása során, – legyen az polgári, vagy katonai alkalmazás – hogy bele kell illeszteni a hagyományos forgalomba, műveleti légtérbe. Habár a cél az, hogy ezen eszközök egyenrangúként, nem elkülönített légtérben repüljenek a pilóta vezette társaikkal, egyelőre a leggyakrabban alkalmazott eljárás mégis az elkülönítés. Erre azért van szükség, mert a pilóta nélküli eszközöket üzemeltető személyzetnek nincs meg a repülő pilótához hasonló légi helyzetértékelésre a lehetősége. Ezt a különbséget napjainkban megfelelő eljárásokkal, és technikai eszközökkel próbálják csökkenteni, és nem utolsósorban, ezt a tényezőt a személyzetek kiképzésénél is figyelembe kell venni.

### **Egységesítés, kiképzés**

A gyarapodó alkalmazási tapasztalat egyre több területen teszi lehetővé az egységesítést<sup>5</sup> például a biztonság, alkalmazási eljárások, vagy a pilóta nélküli eszközökről származó adatok továbbítása terén, de az alkalmazhatóság széles skálája, az alkalmazók széles köre ezt hátráltatja. A világ legnagyobb alkalmazója, az Egyesült Államok hadereje több évtizedes tapasztalatokkal a háta mögött még ma is sokszor küzd a haderőnemek közötti adatforgalom, vagy a keresztkihasználás problémáival, néha még hasonló, vagy azonos típusok esetén is. Habár a NATO-nak

<sup>4</sup> F2T2EA – Find, Fix, Track, Target, Engage, Assess.

<sup>5</sup> Az egységesítés terén élenjáró szervezetek: NATO Standardization Agency, FAA - Federal Aviation Authority, EASA - European Aviation Safety Agency, EUROCONTROL a teljesség igénye nélkül





nincs olyan művelete, ahol ne alkalmaznának pilóta nélküli eszközöket, nincs például egységes harci alkalmazási szabályzat. Ennek ellenére a szövetség mégis élenjáró az egységesítés terén, több más szabályzat mellett például létrehozta azt a dokumentumot, mely meghatározza az ajánlott követelményeket a pilóta nélküli eszközök személyzetének képzéséhez.<sup>6</sup> Ez nagy lépés azok kiképzésének terén egy olyan szövetségi környezetben, ahol a tagországok mind a kiválasztás, mind pedig a gyakorlati képzés terén saját elgondolásaikat követik.<sup>7</sup>

A képzéssel kapcsolatban fontosnak tartom megemlíteni, hogy a kérdéskör nem korlátozódik csak az eszközöket vezető állományra. Bonyolultabb rendszerek esetén ez több szakterületet is érinthet, mint például a műszaki üzemeltetőket, adatelemzőket, és nem utolsósorban az eszközöket alkalmazó, vagy az azokkal végrehajtandó feladatokat ”megrendelő” parancsnokokat is. Egy nagy előnye van képzés tekintetében a pilóta nélküli rendszereknek a hagyományos repülőgépekkel szemben. Adott esetben a földi irányító állomás szimulátorként is működhet. A felhasználói követelményeknek megfelelően a gyártók egyre több rendszert úgy készítenek, hogy erre alkalmas legyen.

### **Adatkapcsolat, adatforgalom**

Mondhatjuk azt, hogy míg a hagyományos repülőgépek „pilótafüggők”, addig a pilóta nélküli eszközök nagymértékben „adatforgalom függők”, legyen az a „láthatóságon belüli”, vagy „láthatóságon kívüli” kapcsolat.<sup>8</sup> Ez leegyszerűsítve azt jelenti, hogy ha nincs adatkapcsolat az irányító és a gépe között, az a feladat végrehajtást korlátozhatja, lehetetlenné teheti, vagy egyenesen a gép elvesztéséhez vezethet. Az adatforgalom duplikálásával, vagy az információs csatornák titkosításával, megfelelő üzemeltetési eljárásrend alkalmazásával ez a kockázat csökkenthető. A műveletek végrehajtása során fontos tervezési faktor – sok esetben korlátozó tényező – a rendelkezésre álló frekvenciák, vagy az elegendő sáv szélesség hiánya.

## **A PILÓTA NÉLKÜLI ESZKÖZÖK RENDSZEREZÉSE, KATEGÓRIÁI**

A pilóta nélküli eszközök rendszerbe foglalása, az egységes értelmezés, „szóhasználat”, az alkalmazói irányelvek, és az eljárásrendek meghatározása szempontjából fontos kérdés. Ezt különböző alkalmazók a saját igényeik szerint meg is teszik, így nehéz találni egy univerzális, mindenkinek megfelelő kategóriába sorolást, terminológiát. Különbözik a szóhasználat a légtérirányítás, a jogalkotó, a katonai, vagy civil alkalmazó esetében. Azért az is megállapítható, hogy ennek a különbözőségnek vannak alapvető közös pontjai, így az, hogy a repülési magasság, sebesség, hatótávolság, súly vagy méret, az indítás-fogadás módja, vagy akár a feladatkörrel való utalás megjelenik a különböző kategóriák elnevezésében, az nem meglepő.<sup>9</sup>

<sup>6</sup> STANAG 4670 – Recommended Guidance for the Training of the Designated Unmanned Aerial Vehicle Operators.

<sup>7</sup> Olaszországban van rá példa, hogy aktív pilótákat rotálnak pilóta nélküli rendszereket üzemeltető alegységek állományába, míg például az Egyesült Államok Hadseregében kimondottan hátrány a „repülős múlt” az első kiválasztásnál.

<sup>8</sup> LoS – Line-of-Sight communication: rádiótechnikai értelemben közvetlen „rálátás” van az irányítást végző adó állomás, és a repülő eszköz között. BLoS – Beyond Line-of-Sight communication: nincs közvetlen „rálátás” az adó és vevő között, pl. műholdas kapcsolat esetén.

<sup>9</sup> Több helyen, főleg repülés-jogi anyagokban megjelenhet a kinetikus energia szerinti csoportosítás, amelyet több paraméterből számítanak ki.



Tanulmányomban a bevezetőben említett kutatási céloknak megfelelő mértékben példaként mutatok be néhány felosztást, csoportosítást. A UVS International<sup>10</sup> kategóriái az 1. számú mellékletben találhatóak. Ez egy általános jellegű felosztása a pilóta nélküli eszközöknek, átfogó képet ad a terület sokszínűségéről. Nem célom a publikációban említett felosztások részletekbe menő elemzése, viszont fontos referenciák, amikor az alkalmazás, valamint a lehetséges feladatok típusairól, vagy a katonai alkalmazás sajátosságairól van szó.

A NATO Joint Air Power Competence Centre (JAPCC) több évet szánt arra, hogy tanulmányozza, felmérje és értékelje a NATO országok pilóta nélküli eszköz-béli potenciálját. Ennek a munkának az eredményét a 2008-ban megjelent „The JAPCC Flight Plan for Unmanned Aircraft Systems in NATO” című kiadványában publikálta. Habár a mű tartalmilag a magas szintű döntéshozókat hivatott információkkal ellátni a területről, felépítése lehetővé teszi, hogy bármely szint felhasználja az abban foglaltakat. Az 2. mellékletben található ábra a JAPCC által azonosított kategóriákat mutatja be.

Az Egyesült Államok Szövetségi Légügyi Igazgatóságának<sup>11</sup> a 3. számú mellékletben látható táblázatában már megtalálható, hogy mely eszköz kategóriák mely légtér osztályba, és milyen módon illeszthetők.

A katonai alkalmazás terén, nemzetközi szinten is mértékadó eredményekkel rendelkezik az amerikai Joint Unmanned Aircraft Systems Center of Excellence (JUAS CoE).<sup>12</sup> A szervezet kategória felosztása tükrözi az egyedülálló alkalmazói tapasztalatokat. A 4. számú mellékletben található táblázat már utal az alkalmazás szintjére is.

## A PILÓTA NÉLKÜLI ESZKÖZÖK KATONAI ALKALMAZÁSA, FELADATTÍPUSOK

Talán nem túlzás azt állítani, hogy a pilóta nélküli eszközök alkalmazási területeinek csak a fantázia szabhat határt. Ezt megerősíteni látszik az a tény, hogy a pilóta nélküli eszközök, rendszerek sokszor – azon kívül, hogy a fejlesztések tárgyai – a kutatás-fejlesztés, egyes tudományos kutatások egyre nélkülözhetetlenebb eszközeiként jelennek meg. Világszerte használják őket a rend-, vagy határvédelemben, közigazgatási feladatok, és az alkalmazott tudományok támogatására. A UVS International 2008/2009. évi évkönyvében<sup>13</sup> csak civil alkalmazásban, tizenhárom kategóriában több tucat alkalmazási területet azonosított. A JAPCC Flight Plan<sup>14</sup> a

<sup>10</sup> Unmanned Vehicle Systems International – Világméretű non-profit egyesület, mely fórumot nyújt mindazon szervezeteknek, melyek pilóta nélküli eszközökkel foglalkoznak, legyenek azok az ipar, oktatás, kormányzati szervek.

<sup>11</sup> FAA – Federal Aviation Administration

<sup>12</sup> Összhaderőnemi szintű, pilóta nélküli eszközökkel foglalkozó tudásközpont. Creech Air Force Base, Indian Springs, Nevada.

<sup>13</sup> Unmanned Aircraft Systems – The Global Perspective 2008/2009 (Kiadó: Blyenburgh & Co 86 rue Michel-Ange, 75016 Paris, France)

<sup>14</sup> The JAPCC Flight Plan for Unmanned Aircraft Systems in NATO 2008, kiadta: NATO Joint Air Power Competence Centre, von-Seydlitz Kaserne, Klakar, Germany



katonai alkalmazást is számításba véve 51 területen látja lehetségesnek a pilóta nélküli eszközök alkalmazását, amelyeket a NATO légierő doktrínában<sup>15</sup> közölt feladatköröknek megfelelően csoportosított. Mielőtt elveszne a kutató a különböző lehetséges, vagy már ma is végrehajtott feladattípusok között, úgy gondolom, hogy érdemes a különböző feladattípusok között megtalálni a közös pontot. Az egyik legfontosabb jellemzőnek azt tartom, hogy milyen gyakorisággal hajtják végre az egyes feladatokat, vagy – ehhez szorosan kapcsolódóan - hogy milyen fontosságúak a feladatok. A már említett JAPCC Flight plan öt feladat típust jelöl meg magas, vagy közepes prioritásúként<sup>16</sup>:

1. precíziós célmeghatározás és célmegjelölés;
2. műveleti légtér- vagy területfelügyelet, műveleti vezetés, irányítás;
3. felderítés, tengerészeti őrzés;
4. támadás őrjáratok légtérből;
5. rádió felderítés.

Egy amerikai felmérés műveleti tapasztalattal rendelkező parancsnokokat kért meg, hogy rangsoroljanak tizenhét pilóta nélküli eszközökkel végrehajtható feladatot aszerint, hogy a műveletek során melyikre volt szükségük a leginkább. Itt, az alábbi eredmény született:<sup>17</sup>

1. felderítés;
2. precíziós célmeghatározás és megjelölés;
3. rádió felderítés;
4. kommunikáció, és reléállomás feladatok;
5. műveleti vezetés, irányítás,
6. kémiai, és biológiai felderítés

Egy másik megközelítés szerint egyszerűsíti az átláthatóságot, ha megtaláljuk azokat a nagy feladatcsoportokat, amelyek legjobban jellemzik a lehetséges feladatok végrehajtását. Véleményem szerint ezek a következők:

1. érzékelés<sup>18</sup>;
2. fegyverzet, vagy anyag célba, vagy rendeltetési helyre juttatása, anyagok kiemelése<sup>19</sup>;
3. jeltovábbítás, kibocsátás<sup>20</sup>.

Természetesen ezen, nagy feladatcsoportok kombinációi is előfordulhatnak, ezt egyes – főleg nagyobb méretű eszközök – lehetővé teszik.

## A KATONAI ALKALMAZÁS SAJÁTÓSÁGAI

Úgy gondolom, hogy a katonai alkalmazás sajátosságait azon keresztül lehet a legjobban bemutatni, hogy miért is merült fel egyáltalán olyan repülő eszközöknek a használata, amelyek

<sup>15</sup> ALLIED JOINT DOCTRINE FOR AIR AND SPACE OPERATIONS - AJP-3.3(A)

<sup>16</sup> A prioritások ebben az esetben a NATO elsődleges szükségleteit tükrözik.

<sup>17</sup> A teljes táblázatot a XXX számú melléklet tartalmazza

<sup>18</sup> Példa: optikai, elektro-optikai, radar felderítés, megfigyelés, levegő minőség elemzés

<sup>19</sup> Példa: irányított, vagy nem irányított rakéták célba juttatása, légi utántöltés, anyagutánpótlás szállítása.

<sup>20</sup> Nem ideértendő a pilóta nélküli eszköz, vagy az azon elhelyezett rendszerek irányításához, vagy adatok továbbításához kibocsátott jel. (Jellemző példa a zavaró, vagy átjátszó állomásként történő működés)



fedélzetén nincsen pilóta. Az angolszász katonai, valamint a NATO írott anyagaiban többször is megtalálható a „Dull, Dirty, Dangerous” szóhármás a pilóta nélküli eszközök alkalmazása kapcsán. Maguk a szavak lefordítva is keveset mondanak: dull = unalmas, egyhangú, dirty = piszkos, szennyezett, dangerous = veszélyes. Értelmet nyernek viszont példákon keresztül,<sup>21</sup> és bizonyos értelemben bemutatják a katonai alkalmazás sajátosságainak egy körét.

### **Dull, azaz unalmas, egyhangú**

Az 1999-es koszovói háború idején az Amerikai Egyesült Államok Légierője B-2 bombázókkal hajtott végre feladatokat úgy, hogy azok igénybevétele a Missouri – Koszovó oda-vissza útvonalon a harminc órát elérte. Mindezt 34 napig tartották fenn. A feladatokat két darab kétfős személyzettel repülték, ami így is az emberi tűrőképesség határát jelentette. Ezzel szemben MQ-1 Predator típusú pilóta nélküli repülőgépekkel az iraki, és afganisztáni konfliktus együttes fennállása idején két évig, amerikai irányító központból „repültek” művelési területen úgy, hogy négy óránként váltották egymást az operátorok. Ez tipikus példája annak, hogy milyen előnyökkel jár hasonló célú feladatok esetén a pilóta nélküli rendszerek, eszközök használata.

### **Dirty, azaz piszkos**

Az Amerikai Légierő, és haditengerészet 1946-48 között átalakított pilóta nélküli B-17-eseket használt arra, hogy berepüljenek a radioaktív felhőbe néhány perccel a robbantás után, majd a visszatérő gépekből különleges berendezések segítségével eltávolították a mintákat, és úgy viték vizsgálatra. Később a légierő vezetése úgy döntött, hogy a kockázat kezelhető pilóta vezette eszközökkel is, így ugyanezt a feladatot F-84-ek, és azok pilótái kapták. 30 kg-os ólomból készült overállban repültek, és megesett, hogy ezen mellény miatt túlélhető balesetekben pilótákat veszítettek, mert azok nem voltak képesek elhagyni a repülőt. A védőöltözet ellenére is többen haltak meg a sugárzás káros hatásai miatt. Talán ebben az esetben sem kérdés a pilóta nélküli eszközök, és az azok által hordozható modern érzékelők használatának indokoltsága.

### **Dangerous, azaz veszélyes**

Természetesen a veszélyesség mértéke háborús viszonyok között viszonylagos, az elfogadható kockázat kortól, helyzettől függő, de tradicionálisan a légi felderítés például egyértelműen mindig a veszélyes feladatok közé tartozott. A második világháború idején, az afrikai hadszíntéren az amerikai 3. Felderítő Csoport pilótáinak 25%-át veszítette el, míg a Németországot bombázó társaiknál a veszteség 5% volt. Az Egyesült Államok a hidegháború idején 23 repülőgépet, és 179 gépszemélyzet-tagot veszített el békeidőben felderítő feladatok végrehajtása során. Az egyik emlékezetes eset 1960. május 1-én történt, amikor a szovjet légvédelem lelőtte Francis Gary Powerst U-2-es gépével. A május 1-én még elfogadható kockázat május 2-án már nem volt vállalható sem katonai, sem pedig politikai szempontból. A később rendszerbe állított, és Kína fölött felderítést végrehajtó pilóta nélküli eszközök esetleges elvesztése lényegében soha nem került napvilágra.

A fentiekből is látszik, hogy a pilóta nélküli eszközök a lehetőségek új tárházát biztosítják mind

<sup>21</sup> Forrás: Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030. Kiadta: Office of the Secretary of Defence, Department of Defense, USA; [https://www.fas.org/irp/program/collect/uav\\_roadmap2005.pdf](https://www.fas.org/irp/program/collect/uav_roadmap2005.pdf); (2013. 03. 11)

a mennyiségi, mind pedig a minőségi paraméterek tekintve. Ez azzal jár, hogy ezen eszközök száma nő, egyre nagyobb területet fednek le a feladatok spektrumában, és ebben a növekedésben élenjáró szerepet játszanak a katonai alkalmazók. Az általános tapasztalatok azt mutatják, hogy ezen eszközökkel szemben támasztott igények mindig egy lépéssel előbb járnak akár a technikai lehetőségek, akár pedig a szabályzók, eljárások előtt. Ennek ellenére elmondható, hogy a katonai alkalmazás szabályozott keretek között történik.

A katonai alkalmazás jellemzőjeként tekinthetünk arra a tényre is, hogy bár a műveleti alkalmazás, főleg háborús környezetben, a polgári forgalomtól elkülönülten folyik, az nem választható el egyes általános, a repülésben érvényes törvényszerűségektől. Az alkalmazóknak késznek kell lenniük arra, hogy ha átmeneti időre is, de együtt, vagy közös légtérben kell üzemeltetniük eszközeiket a hagyományos forgalommal, az adott légtérszerkezet sajátosságait figyelembe véve. Ezt figyelembe kell venni olyan területeken, mint például a felkészítés, kiképzés, vagy akár a szabályzatok, eljárások kidolgozása.

Egy rendkívül sajátos jellemzőt hozott felszínre az egyre tökéletesedő érzékelőkkel, főleg optikai eszközökkel ellátott drónok alkalmazása. Segítségükkel egészen magas szintű katonai, vagy akár politikai vezetők láthatnak bele az addig láthatatlan, alacsonyabb szintű végrehajtók munkájába. Sokak által ismert, hogy Barack Obama, az Egyesült Államok elnöke, aki egyben országának haderejének főparancsnoka is, lényegében „egyenes adásban” követhette végig a tálib vezér Osama Bin Laden megölését. Az események ilyenén követése néha oda vezetett, hogy egy magas szintű parancsnok a hatáskörébe eső, de szakmai kompetenciáján túlmutató feladatra kívánt hatást gyakorolni, esetleg megpecsételve annak sikerességét. Ezt a hozzáférsi szintek szigorú szabályozásával, és a vezetői állomány képzettségével lehet megelőzni.

Nagyon fontos jellemzője a katonai alkalmazásnak, – más területekkel analóg módon - hogy a technika ismeretén kívül az üzemeltetőknek magas szinten kell ismerniük az eszközükhöz kapcsolódó harceljárásokat is. Ez azt is jelentheti, hogy egy bizonyos típusú eszközre már kiképzett szakembernek, ugyanazon eszköz üzemeltetéséhez más területen, újabb kiegészítő kiképzésre van szüksége.

A fegyvereket hordozó eszközök alkalmazásával kapcsolatban új problémák, kérdések merültek fel, ami mondhatni, hogy kizárólag a katonai alkalmazás sajátossága. A kezdeti alkalmazások során megtörtént, hogy olyan operátorok, akik a valós harctéri körülményekkel nem találkoztak testközelből, azzal találták szemben magukat, hogy „munkájuk” eredményeképpen halottak torzóit, vagy szanaszét repülő emberi testrészeket látnak a monitorjaikon keresztül. Ez párosulva azzal a tudattal, hogy ő maga nem is a harc része a szó klasszikus értelmében, egyébként kitűnő szakembereket tett a feladatra alkalmatlanná. Természetesen ez azt is magával vonta, hogy a felkészítés során elkezdtek figyelmet fordítani az ilyen operátorok pszichológiai felkészítésére. Érdekes hadijogi kérdést vethet fel egy olyan eset – korábban már utaltam rá, hogy kontinensnyi távolságból is irányítják ezen eszközök bizonyos fajtáit – amikor egy, a hazájában települő kezelő küzd le, egy több ezer kilométerre levő ellenséges célpontot. Ennek az emberre gyakorolt pszichikai hatása a bevezető előtti történet tükrében talán még kézzelfoghatóbb.

Habár az alkalmazó országok körében nem egységes a kép, a kiválasztás és képzés területén is vannak sajátosságai a katonai alkalmazásnak. Egyelőre egységesnek látszik a kiválasztás terén



az elképzelés, miszerint a kezelő személyzetnek meg kell felelnie a katonai alkalmasság legszigorúbb követelményinek. Ez az alacsonyabb szervezeti szintek által alkalmazott technika esetében egyértelmű, mivel ők ki vannak téve harctéri körülményeknek, esetleg közvetlen vesznek részt harccselekményekben. A magasabb szinten alkalmazott, nagyobb automatizáltsággal rendelkező rendszerek kezelői védett objektumokban, – ahogy korábban említettem – nem ritkán hazai földön látnak el szolgálatot, így különböző fórumokon fel-felmerül a kérdés, hogy részükre nem lehetne-e enyhíteni a követelményeken. Egyelőre a tapasztalat azt mutatja, hogy a katonai alkalmazás teljes értékű katonát kíván.

A kiképzés kérdése is különböző kategóriájú eszközökre vonatkozóan különböző választ kíván.<sup>22</sup> Ez a terület az esetek nagy többségében nemzeti felelősség, és a gyártók általában már kiképzési csomaggal kínálják termékeiket. Főleg a NATO és szövetségesei körében kívánatos egyféle egységes értelmezés mivel a műveleteket általában koalíciós partnerekkel hajtják végre. Ennek támogatására született meg például a korábban említett STANAG 4670<sup>23</sup> dokumentum is.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a publikációban, szem előtt tartva „A pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának humán aspektusból történő vizsgálata és a szabályozói környezet meghatározása” kiemelt kutatási terület célkitűzéseit, átfogó képet adtam pilóta nélküli eszközök alkalmazásának sajátosságairól. Az egyes fejezetek tömörített kivonatai egy nagyobb tudás-, és adatbázisnak, amelyek alapot teremtenek a projekt további munkájának.

A pilóta nélküli eszközök egyre jobban életünk részévé válnak, és alkalmazásuk természetrajzának megismerésével hatékonyabbá, biztonságosabbá és a környezetükbe integrálhatóbbá tehetjük őket. Mert ne feledjük, a pilóta nélküli eszköz is ember vezette jármű, és arra hivatott, hogy az embert szolgálja.



***A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg”.  
„The project was realised through the assistance of the European Union, with the cofinancing of the European Social Fund.”***

<sup>22</sup> Ezt az 5. számú mellékletben található táblázat szemléletesen mutatja.

<sup>23</sup> STANAG 4670 – Recommended Guidance for the Training of the Designated Unmanned Aerial Vehicle Operators.

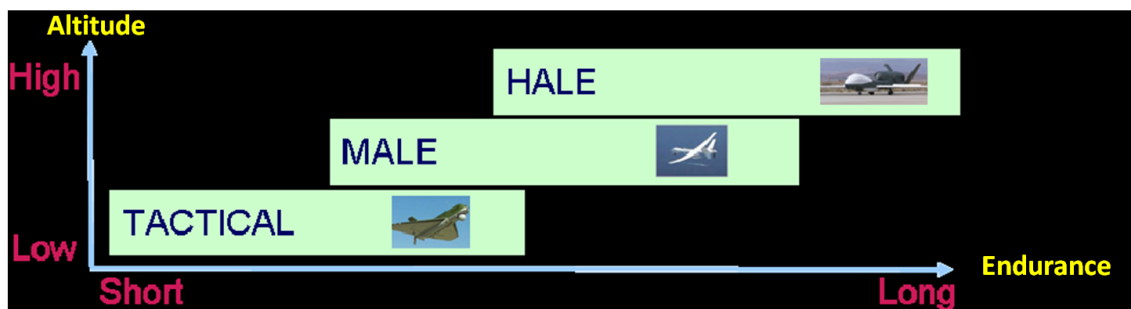
## 1. számú melléklet<sup>24</sup>

UVS International<sup>25</sup> kategóriái (Egy-egy, a szerző által kiemelt típus példával)

Unmanned Combat Aircraft –	nEURon, X-47B
High Altitude Long Endurance UAS –	Global Hawk
Optionally Piloted and Converted General Aviation Aircraft UAS –	Little Bird (OH-8 helikopter)
Missile Carrying UAS –	Predator A, Reaper
Lethal UAS –	Taifun
Medium Altitude Long Endurance UAS –	Hermes 1500
Low Altitude Long Endurance UAS –	EagleScan
Low Altitude Deep Penetration UAS –	Carapas
Medium Range Endurance UAS –	Shadow 600
Medium Range UAS –	Camcopter S-100 Schiebel
Short Range UAS –	Shadow 200
Close Range UAS –	Aerostar
Mini UAS –	Orbiter
Micro UAS –	Raven B

## 2. számú melléklet<sup>26</sup>

A JAPCC – NATO tudásközpont által azonosított kategóriák



HALE = High Altitude, Long Endurance (typically above 45k ft)

MALE = Medium Altitude, Long Endurance (typically from 10k to 50k ft)

Tactical = Low Altitude, Short Endurance (typically below 15k ft)

<sup>24</sup> Forrás: Unmanned Aircraft Systems – The Global Perspective 2008/2009 (Kiadó: Blyenburgh & Co 86 rue Michel-Ange, 75016 Paris, France)

<sup>25</sup> Unmanned Vehicle Systems International – Világméretű non-profit egyesület, mely fórumot nyújt mindazon szervezeteknek, melyek pilóta nélküli eszközökkel foglalkoznak, legyenek azok az ipar, oktatás, kormányzati szervek.

<sup>26</sup> Forrás: The JAPCC Flight Plan for Unmanned Aircraft Systems in NATO 2008, kiadta: NATO Joint Air Power Competence Centre, von-Seydlitz Kaserne, Klakar, Germany



### 3. számú melléklet<sup>27</sup>

#### Az FAA kategória felosztása

	Certified Aircraft / UA (Cat III ) <sup>2</sup>	Non-Standard Aircraft / UA (Cat II)	RC Model Aircraft / UA (Cat I)
FAA Regulation	14 CFR 91	14 CFR 91, 101, and 103	None (AC 91-57)
Airspace Usage	All	Class E, G, & non-joint-use Class D	Class G (<1200 ft AGL)
Airspeed Limit, KIAS	None	NTE 250 (proposed)	100 (proposed)
Example Types	Manned	Airliners	Light-Sport
	Unmanned	Predator, Global Hawk	Pioneer, Shadow
			Dragon Eye, Raven

The terms within Table F-1 are further defined below.

- UA – Cat III: capable of flying throughout all categories of airspace and conforms to Part 91. (i.e., all the things a regulated manned aircraft must do including the ability to S&A). Airworthiness and operator certification are required. UA are generally built for beyond line-of-sight operations. Examples: Global Hawk, Predator
- UA – Cat II: non-standard aircraft that perform special purpose operations. Operators must provide evidence of airworthiness and operator qualification. Cat II UA may perform routine operations within a specific set of restrictions. Examples: Pioneer, Shadow
- UA – Cat I: analogous to RC models as covered in AC 91-57. Operators must provide evidence of airworthiness and operator qualification. Small UA are generally limited to visual line-of-sight operations. Examples: Pointer, Dragon Eye

<sup>27</sup> Forrás: UAVs Twenty-Third International Conference 7 April – 9 April 2008 Bristol, United Kingdom; Conference Papers; - Kiadta: University of Bristol, Department of Engineering, 2008



#### 4. számú melléklet

A JUAS CoE kategória felosztása

Domestic Use UAS Levels	Current System Attributes				Description
	Airspeed (kts)	Weight (lbs)	Operating Altitude (ft)	Current Systems (Projected by 2014)	
Level 0	≤ 250	≤ 2	≤ 1200	Hornet, BATCAM, Wasp	Systems under 2 lbs within LOS control, operating in unregulated airspace
Level 1	≤ 250	2-20	≤ 3,000	Raven, DragonEye FPASS, Pointer Buster, MAV	Systems under 20 lbs, operating below VFR airspace
Level 2	≤ 250	21-1,320	< 18,000	SilverFox, Finder Aerosonde, Marts ScanEagle, Neptune OAV-II, Tern, Mako Shadow 200, Pioneer REAP, RAID TARS, JLENS KillerBee	Systems under 1,320 lbs fall under light sport aircraft standards
Level 3	≤ 250	1,321-12,500	< 18,000	Maverick SnowGoose Dragonfly, Hunter A Hunter B, Onyx I-GNATER EagleEye, ER/MP FireScout, BAMS Hummingbird Predator	Systems over 1,320 lbs operating below Class A airspace
Level 4	≥ 250	≤ 12,500	< 18,000	Currently no DoD UAS fall in this category. Example is KillerBee concept UAS	Systems operating below 10,000 ft MSL with max speeds that exceed the limit of 250 lbs
Level 5	Any	> 12,500	> 18,000	Reaper, GlobalHawk N-UCAS HAA, NSMV	Systems operating at or above 18,000 ft



JUAS Categories	Operational Altitude (ft)	Typical Payload	Launch Method	Weight (lbs)	Airspeed (kts)	Endurance (hours)	Radius (nm)	Current Systems (Projected by 2014)
T1-Tactical 1 Special Operations Forces Team Small Unit Company & below	≤ 1,000	Primarily EO/IR or Comms Relay	Hand-launched	≤ 20	≤ 60	< 4	< 10	Hornet, BATCOM Raven, DragonEye FPASS, Pointer Wasp, Buster (rail-launched), MAV
T2-Tactical 2 Battalion/ Brigade Regiment SOF Group/ Flight	≤ 5,000	Primarily EO/IR or Comms Relay	Mobile launched	20-450	≤ 100	< 24	< 100	Neptune, Tern, Mako OAV-II, Shadow 200 SilverFox ScanEagle Aerosonde
T3-Tactical 3 Division./Corps MEF/Squadron/ Strike Group	≤ 10,000	Above, plus SAR, SIGINT, Moving Target Indicator	Conventional or vertical take-off & landing (VTOL)	450-5000	≤ 250	< 36	< 2000	Maverick, Pioneer Hunter, SnowGoose I-GNAT ER, ER/MP Dragonfly, EagleEye FireScout, BAMS Hummingbird, Onyx
O-Operational JTF	≤ 40,000	(MTI), or WPNS	Conventional	≤ 15000	≤ 250	< 36	< 2000	Predator, N-UCAS Reaper
S-Strategic National	≥ 40,000	Above, plus Radar	Conventional	>15000	> 250	< 36	Theater wide	GlobalHawk

Note: This chart is meant to be evolutionary in nature. It reflects current capability/technology and is likely to evolve. As an example, although not a separate JUAS category, airships are recognized as having capabilities and attributes similar to other UAS. As their utility becomes more operational, they will be included in appropriate JUAS categories. The data presented represents typical parameters for the systems that fall in each category. There are several exceptions.

- Operational Altitude: The normal altitude range for systems based on payload capabilities, airspace management requirements, & aircraft capabilities
- Endurance: Includes the time from launch to recovery, based on single aircraft capability without refueling.
- Radius: The radial distance from a launch site to the operating area, limited by C2 linkage and/or endurance and desired time on station.
- Exceptions: Aerosonde endurance - 30 hrs; radius - 1,000 nm; Silver Fox airspeed - 105 kts; Predator airspeed - 118 kts; N-UCAS weight - 46,000 lbs.
- UA operating within an operational theater must comply with existing ACO / SPINS.
- Airspeed: 250 kts is the upper airspeed limit for operations below 10,000 ft MSL.
- Weight: 1,320 lbs is the upper MGTO limit for FAA light sport aircraft, 12,500 is the upper limit for normal, utility, and acrobatic aircraft.
- Altitude:
  - 1,200 ft AGL is upper altitude limit for Class G uncontrolled airspace.
  - 3,000 ft AGL is the lower limit for VFR en-route altitudes.
  - 18,000 ft MSL is the lower alt. limit of Class A airspace. (Predator is an exception as it operates above 18,000 ft.)
- Design: FAA standards also vary for winged aircraft, rotorcraft, and airships.

Forrás: Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030. Kiadta: Office of the Secretary of Defence, Department of Defense, USA; [https://www.fas.org/irp/program/collect/uav\\_roadmap2005.pdf](https://www.fas.org/irp/program/collect/uav_roadmap2005.pdf); (2013. 03 11)





## 5. számú melléklet<sup>28</sup>

System/Course	Service	Location	Duration	Throughput	Flt Hours	Staff
<b>Global Hawk</b>	Air Force	Beale AFB, CA				10
Pilot			26 weeks	48/yr	32	
Sensor Operator			12 weeks	18/yr	48	
Maintenance			5 weeks	77/yr*		
<b>Hunter</b>	Army	Ft Huachuca, AZ				300**
Internal Pilot			24 weeks	40/yr	21.5	
External Pilot			16 weeks	4/yr	30	
Maintenance			10 weeks	20/yr		
Technician			11 weeks	20/yr		
<b>Pioneer</b>	Navy	OLF Choctaw, FL				37*****
Mission Commander			3 weeks	17/yr	10	
External Pilot			17 weeks	24/yr	102***	
Internal Pilot/Payload Operator			14 weeks	40/yr	56	
Mechanical Maintenance			7 weeks	18/yr		
Technical Maintenance			9 Weeks	24/yr		
<b>Predator</b>	Air Force	Indian Springs AFAF, NV				22
Pilot			13 weeks	48/yr	38	
Sensor Operator			14 weeks	48/yr	37.5	
Maintenance			4 weeks	95/yr****		
<b>Shadow</b>	Army	Ft Huachuca, AZ				300**
Operator			24 weeks	240/yr	14.5	
Maintenance			8 weeks	40/yr		
Technician			9 weeks	40/yr		
<p>*Number of graduates is total from the seven Global Hawk Maintenance courses. Duration is average length of the seven courses.</p> <p>**Total staff supporting Hunter and Shadow instruction at the U.S. Army UAS Training Center.</p> <p>***Consists of some 80 hours flying subscale RC models plus 22 hours flying the Pioneer.</p> <p>**** Number of graduates is total from the five Predator Maintenance courses. Duration is average length of the five courses.</p> <p>*****Total staff supporting Pioneer training at OLF Choctaw.</p>						

<sup>28</sup> Forrás: Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030. Kiadta: Office of the Secretary of Defence, Department of Defense, USA; [https://www.fas.org/irp/program/collect/uav\\_roadmap2005.pdf](https://www.fas.org/irp/program/collect/uav_roadmap2005.pdf); (2013. 03 11)



---

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ALLIED JOINT DOCTRINE FOR AIR AND SPACE OPERATIONS - AJP-3.3(A) - KIADTA: NATO STANDARDIZATION AGENCY
- [2] STANAG 4670 – Recommended Guidance for the Training of the Designated Unmanned Aerial Vehicle Operators. – Kiadta: NATO Standardization Agency
- [3] Unmanned Aircraft Systems – The Global Pespective 2008/2009 (Kiadó: Blyenburgh & Co 86 rue Michel-Ange, 75016 Paris, France)
- [4] The JAPCC Flight Plan for Unmanned Aircraft Systems in NATO 2008, kiadta: NATO Joint Air Power Competence Centre, von-Seydlitz Kaserne, Klakar, Germany
- [5] Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030. Kiadta: Office of the Secretary of Defence, Department of Defense, USA; [https://www.fas.org/irp/program/collect/uav\\_roadmap2005.pdf](https://www.fas.org/irp/program/collect/uav_roadmap2005.pdf); (2013. 03. 11)
- [6] UAVs Twenty-Third International Conference 7 April – 9 April 2008 Bristol, United Kingdom; Conference Papers; - Kiadta: University of Bristol, Department of Engineering, 2008
- [7] Strategic Concept of Employment for Unmanned Aircraft Systems in NATO; January 2010 - kiadta: NATO Joint Air Power Competence Centre, von-Seydlitz Kaserne, Klakar, Germany
- [8] STANAG 4545 AIR (Ed. 1) NATO Secondary Imagery Format (NSIF) - Kiadta: NATO Standardization Agency
- [9] STANAG 4575 (EDITION 3) - NATO ADVANCED DATA STORAGE INTERFACE (NADSI) - Kiadta: NATO Standardization Agency
- [10] STANAG 4586 NAVY (EDITION 2) - STANDARD INTERFACES OF UAV CONTROL SYSTEM (UCS) FOR NATO UAV INTEROPERABILITY - Kiadta: NATO Standardization Agency

Boda Péter<sup>1</sup>

## ÚSZÓ REPÜLŐTEREK AVAGY A TENGER HATALMAS ÚRNŐI<sup>2</sup>

*A cikk a repülőgép-hordozókat mutatja be egészen a kialakulásuk kezdetétől napjainkig. Elemzem azok változatos kialakítását és felszereltségét. Bemutatom, hogy milyen változásokon ment keresztül az elmúlt pár évtized a repülőgép-hordozókat illetően. Megvizsgálom, hogy mekkora szerepe volt és van jelenleg egy ilyen flottának a harcászati területén és egyáltalán egy ország megítélésének szempontjából. Érdekességgéppen bemutatok hat különleges hordozót, melyekből négy a mai napig aktív, kettő pedig a tengerek mélyén nyugszik.*

### **SWIMMING AIRPORTS, MIGHTY MISTRESS OF THE SEAS**

*The article below presents how aircraft evolved at the early start until these days. I analyse their various performance and facilities. In addition I am going to present the changes of the last few decades regarding the aircraft carriers. I am going to analyse, what was and is currently the role of a fleet at the scope of tactics and not at all what the respect of awarding of a country. It could be interesting 6 special carrier which I present below. Four of them are active up to this day, two of them are lying in the seabottom.*

### KIALAKULÁSUK RÖVID TÖRTÉNETE

1903 volt a repülés történetének mérföldköve. Ekkor szállt fel az első működőképes, irányítható, a levegőnél nehezebb jármű. 1903. december 17-én az amerikai Wright fivérek, Orville és Wilbur valóra váltották az emberiség ősi álmát. Az új találmány rögtön felkeltette a katonai tervezők figyelmét. Miért kellene az ellenséget bonyolult módon, nagy áldozatok árán a földön legyőzni, amikor ez a levegőből könnyebben kivitelezhető. A levegőből való bombázásra akkor még nem is gondoltak, de 1911-ben, az olasz-török háború idején egy olasz repülőgép Líbiában bombákat dobott a török katonai táborra. Bár túl nagy kárt nem okozott, de ez volt a későbbi tragédiák első állomása.

Csupán öt évvel a Wright fivérek első repülése után az amerikai Glenn Curtis azon töprengett, hogyan tudna egy hajó fedélzetéről felszállni. A császári Németországban is hasonló kísérletek folytak. 1910-ben az amerikai haditengerészet szolgálatába állt Eugene Ely, pilóta és légi akrobata, és munkához látott<sup>3</sup>.

A Birmingham nevű könnyűcirkáló fedélzetén egy enyhén emelkedő felszállópályát építettek. Ely 1910. november 14-én innen startolva emelkedett a levegőbe. Néhány hónap múlva megfordította ezt a folyamatot, a Philadelphia nevű cirkáló fedélzetére szállt le, megnyitva az utat a repülőgép-hordozók előtt.

A repülőgépek tengeren való megjelenésének mozgatórugója a felderítés, ezáltal a vezérkar könnyebben tud a látóhatár mögé tekinteni, mint korábban. Az 1. világháború kitörése előtt már sok

<sup>1</sup> Phd. hallgató Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola pureglas@gmail.com

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Krajnc Zoltán mk. alez, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, krajnc.zoltan@uni-nke.hu

<sup>3</sup> 3. évezred folyóirat 2013.01. szám A repülőgép-hordozók melléklet pp. 51-58 (9771785568009) (2013.03.12.)

olyan kísérlet zajlott, ami a repülőgép jelenlegi erőfölényét megalapozta. Így 1914-ben először tesztelték repülés során a másfél fontos ágyút, és a légi torpedót is ekkor dobták le először. [1]

Az európai államok kapcsolata a 20. század elején annyira feszültté vált, hogy egy kis szikra is elegendőnek bizonyult a robbanáshoz. Ez a szikra a Ferenc Ferdinánd, osztrák trónörökös elleni merénylet volt 1914-ben. Az európai kormányok hadüzenete után a férfiak egyenruhát öltöttek, és négy évre a lövészárkok váltak az otthonukká. A tengeren is háború zajlott. Tengeri csaták már az ókori görögöknél is voltak, de az 1. világháború eseményeibe a repülőgépek is beavakoztak. A tenger vizét átépített kereskedelmi hajók, repülőgép-anyahajók szeltek, fedélzetükre felderítő hidroplánok szálltak le. Ám a repülőgép-anyahajók lassúbbak voltak a flotta hajóinál, így a brit haditengerészet átépítette a régi gőzhajót, a Campaniát, amely már a sebességet is tudta tartani, a fel és leszállás azonban még bizonytalan volt.

A HMS (His Majesty's Ship, azaz „őfelsége hajója”) Ben-my-chree anyahajó hidroplánjai 1915-ben hajtották végre a hadtörténet első torpedótámadását. A britek elégedettek lehetek-tervük sikeresnek bizonyult, mivel a török teherhajó elsüllyedt.

Csakhogy a hagyományos szárazföldi repülőgép és a hidroplán némileg különbözik. Az előbbi jóval nagyobb teljesítményre képes, mint az úszó repülőgép. Viszont, ha a hagyományos repülőgépeket a tengeren is alkalmaznák, akkor teljesen új hajóra lenne szükség, amely a fel-és leszállást lehetővé tenné. [2]

### **Az első repülőgép-hordozó**

Az első kísérleteket a britek végezték: egy fedélzetet erősítettek a HMS Furious könnyűcirkáló elejére, de a landolás nem volt egyszerű. Edwin Harris Dunning őrnagy első, sikeres kísérletekor nagy volt az öröm. Az újabb próbálkozásnál azonban a leszállási manőver nem sikerült és Dunning a lángok között lelte halálát. Ekkor a fedélzet hosszát növelték, és a felszálló gépet már a szárazföldi támadásoknál is bevetették, miközben két német Zeppelin léghajót is megsemmisítettek. A HMS Furioust később hagyományos repülőgép-hordozóvá építették át, párhuzamos fel illetve leszálló fedélzettel látták el és a 2. világháborúban is, főként a Földközi-tengeri műveletek során, ilyen formában szolgált. A háború után leselejtezték és szétbontották [3].

Az 1. világháború négy évig tartott, de hamarabb véget ért, mintsem a nagyobb repülőgép-hordozókat bevethették volna. A békefeltételek a haditengerészet megszüntetésére kötelezték a vesztes államokat. Ausztria és Magyarország haditengerészete elenyésző volt. Németország azonban tengeri nagyhatalom akart lenni, amit a békeszerződés megtiltott, így ők titokban fegyverkeztek. A repülőgép-hordozók fejlesztésében az 1. világháború győztese játszották a vezető szerepet, főként az USA, Japán és Nagy-Britannia. A nagy teljesítményű repülőgépek tengeren való bevetésében óriási lehetőség rejlett, így a Brit Királyi Haditengerészet nem sokkal a háború befejezése után több hajót repülőgép-hordozóvá épített át. Mindez a japánokat sem hagyta hidegen, 1919-ben a Hószó hajó építésébe kezdtek, amelyet eredetileg is repülőgép-hordozónak szántak. A hajó a 2. világháborúban is szolgált. Egyike volt azon kevés, ilyen típusú vízi járműnek, amely túlélte a háborút. A csaták után szállítóhajóvá alakították át, ami rövidebb fedélzetet eredményezett. A gép 1946 májusáig a japán katonák Japánba való hazatelepítésére szolgált. Ezután leselejtezték és 1947-ben szétbontották.

A háborús konfliktusokban fontos szerep jutott a repülőgép-hordozóknak. „Varázserejük” a 2. világháborúban nyilvánvalóvá vált. A tenger királynői mellett akkor jelentek meg a dízel-elektromos tengeralattjárók is, melyek hatékony eszköznek bizonyultak a tengeri kereskedelem és a harcok korlátozására. Németország ezekkel próbálta kiéheztetni Nagy-Britanniát. A Német haditengerészet, a Kriegsmarine rájött, hogy csupán a csatatér korlátozásával nem nyerhetnek háborút. Csak aktív offenzívával győzhetnek, ami az óceán nagy területének és a felette lévő légtérnek az uralmát jelenti. Ezért váltak szükségessé a repülőgép-hordozók [4].

Az amerikaiak 1919-ben indították el a repülőgép-hordozók építési programját. Bár az USA-ban az elszigetelődési politika oly mértékű volt, hogy az ország az újonnan megalakult Nemzetek Szövetségébe sem lépett be, a haditengerészetet megelőzőként továbbfejlesztették. Az amerikai kormány 1919-ben elkülönített pénzüsszeggel támogatta a USS Jupiter szénszállító hajó átépítését, amelyből a USS Langley nevű, első amerikai repülőgép-hordozó született. Sajátos legénysége miatt a Covered Wagon ragadványnevet kapta. A következő húsz évben az első generációs pilóták képzésére szolgált. A háború kitörése után szállítóhajóként üzemelt. Ma is a Jáva-tenger mélyén pihen, ahol 1942-ben a japánok elsüllyesztették. Az USS Langley legnagyobb érdeme, amivel a tengeri légierőket gazdagította, a fékező berendezések fejlődése volt. A landoló repülőgépnek viszonylag hosszú leszállópálya szükséges, ilyet a repülőgép-hordozón nem lehet kiépíteni. A USS Langelyn kezdetben fékező drótkötélrendszer volt, ami a repülőgép alvázára szerelt fékezőhorgot elkapta. Az amerikaiak ezt a fedélzeten keresztben kifeszített fékező drótkötéllal egészítették ki, melynek fékező hatása a két végén lévő, munícióval teli ládákban rejtett. A rendszer hidraulikával is kibővült, ami javította a működését, és ma is számos repülőgép-hordozó alapvető tartozéka. A másik újítást a sűrített levegővel működő pneumatikus katapult jelentette. Ezt bár a hidroplánokra szánták, később a hagyományos repülőgépek gyors felszállását is lehetővé tette. Legfőbb előnyét a felszállás biztonságának növelése adta [4].

Az 1920-as évek vége és a 30-as évek eleje a repülőgép-hordozók fejlesztése jegyében telt. Amerika és Japán lett a két legnagyobb fejlesztő. A csatahajók kora lejárt, felváltották őket az egyre modernebb hordozók.

Ezek közül kiemelnék hat különleges repülőgép-hordozót, melyekkel bővebben foglalkozom.

## A HAT MÉRFÖLDKŐ

### **Ark Royal**

Brit hordozó, amelyet 1937 áprilisában bocsátottak vízre. A brit flotta büszkeségét 1939. szeptember 28-án német Ju 88-as zuhanóbombázók támadták meg. Egy bomba közvetlen közelében robbant, a németek azt hitték, sikerült elsüllyeszteniük, de csak kisebb sérüléseket szenvedett. Az Ark Royal 1939 októberében közreműködött az Admiral Graf Spee üldözésében. Ezután előbb Norvégiában, majd a Földközi-tengeren harcolt. 1941 májusában az Atlanti-óceánra hajózott, részese volt a Bismarck elleni hadműveletnek, egyik repülőgépének torpedója okozta azt a végzetes találatot, amely megbénította a német csatahajót. 1941. november 13-án az U-81 német tengeralattjáró megtorpedózta. Vontatókötélre vették, de már nem sikerült Gibraltárba vontatni, elsüllyedt [5].





1. ábra Ark Royal repülőgép-hordozó a II. Világháborúban  
forrás: [www.freedom.hu/sheep](http://www.freedom.hu/sheep) letöltve: 2013.03.12.

### Technikai adatok:

- vízrebocsátás: 1937;
- vízkiszorítás: 22 600 t (üresen), 28 000 tonna (harckészen);
- méretek: hossz: 240 m - szélesség: 28,7 m;
- sebesség: 30,7 csomó;
- személyzet: 1575 fő;
- hajtómű: gőzturbina;
- fegyverzet: 72 repülőgép;
- páncélzat: nincs.

### Zuiho

A Japán flotta büszkeségét a Zuiho-t 1934/35-ben eredetileg Takasaki néven flotta-olajszállítónak kezdték el építeni. Menet közben a hajó terveit átdolgozták, és tengeralattjáró-ellátó anyahajóként kezdték el építeni 1935-ben. 1936. június 19-én bocsátották vízre, de 1940-ben repülőgép-hordozóvá való átalakítását kérték, nevét pedig Zuihóra (Szerencsés Főnix) változtatták. Az év decemberére készült el. Nem sok repülőgép befogadására volt ugyan alkalmas, de szolgálata értékesnek bizonyult a Csendes-óceánon. Légvédelmi fegyverzete azonban túlságosan gyenge volt. 1942 júniusában repülőcsoportja a japán inváziós haderő közvetlen légi támogatását végezte a midwayi ütközetben. Szeptemberben a Guadalcanal körzetében tervezett hadműveleteket támogató hajórajjal tartott, majd 1942. október 26-án a Santa Cruz-i csatában bombák rongálták meg. 1943 áprilisában repülőgépei a Rabaulon és Bukán állomásozó 11. légiflotta utánpótlását biztosították az utolsó japán légi offenzíva (a Salamon-szigetek körzetében) előkészítése során; az újabb segédcsoportokat októberben dobták le a zónában. 1944 októberében a Leyte-öbölben az Ozawa admirális irányította hajórajjal hajózott, melynek feladata az amerikai 58. Task Force (harci külfőntmény) lekötése volt. A Zuihót az ezt követően kialakult ütközetben süllyesztették el az amerikai repülőgépek az Engano-foktól északkeletre, három másik hordozóval együtt [5].

### Technikai adatok:

- vízrebocsátás: 1936 (1940);
- vízkiszorítás: 11 260 t (üresen), 14 427 tonna (harckészen);
- méretek: hossz: 217,5 m - szélesség: 26,4 m - merülés: 6,6 m;
- sebesség: 27,5 csomó (50,93 km/h);
- személyzet: 785 fő;
- hajtómű: gőzturbina;
- hatótávolság: 10 900 km;
- fegyverzet: 8 db 127-mm-es (5 h.) löveg, 15 db 25 mm-es légvédelmi ágyú – 30 repülőgép;
- páncélzat: nincs.

### Principe de Asturias

Az eredetileg tengeri ellenőrző hajó felkeltette a spanyolok édeklődését, hordozót szerettek volna készíteni belőle, terveit 1977-ben véglegesítették. A hajó vízre bocsátására 1982. május 22-én került sor. 1987-ben végezte első próbaútját és a tesztek megfelelő eredményt hoztak. A hajó síugrósánc elejű orra lehetővé teszi nehezebb repülőgépek felszállását rövidebb kifutóval. A repülőfedélzetről két nagyméretű felvonó szállítja a repülőeszközöket a hangárfedélzetre. Az egyik a felépítmény előtt, a másik a tatnál található [5].

### Technikai adatok:

- vízrebocsátás: 1982 (1987);
- vízkiszorítás: 17 190 t;
- méretek: hossz: 196 m - szélesség: 24,3 m - merülés: 6,6 m;
- sebesség: 45 km/h;
- személyzet: 600+230 fő;
- hajtómű: kombinált gázturbinás egység;
- hatótávolság: 11 700 km;
- fegyverzet: 29 db merev vagy forgószárnyas gép is elhelyezhető.



2. ábra Principe De Asturias spanyol hordozó

forrás: <http://www.haborumuveszete.hu/rovatok/fegyverek/hadihajok/tronorokos/> letöltve: 2013.03.12.

## Giuseppe Garibaldi

A Garibaldit eredetileg csak helikopter üzemeltetésére tervezték, azonban a szükséges engedélyek megszerzése után a genovai Fincantieri cég 1981 márciusában megkezdte az építését már teljes értékű repülőgép-hordozóként. 1983-ban bocsátották először vízre, 1985-ben állították hadrendbe, teljes harcászultségét azonban csak 1987-ben érte el. Békeidőben a hajó fő alkalmazási területe a Földközi-tenger medencéje, de ENSZ felkérés vagy NATO hadművelet keretében a világ több pontján részt vett már bevetésen. A Garibaldi első éles harci bevetésére 1995-ben került sor, ekkor Szomália partjai mentén hajózó hordozóról felszálló Harrierek biztosították az ENSZ békefenntartó erőinek tevékenységét a polgárháború sújtotta országban. Jelenleg is aktív szolgálatot teljesít Olaszország zászlaja alatt [6].

### Technikai adatok:

- vízrebocsátás: 1983 (1987);
- vízkiszorítás: 13 850 t;
- méretek: hossz: 180 m - szélesség: 33 m;
- sebesség: 54 km/h;
- személyzet: 550+225 fő;
- hajtómű: kombinált gázturbinás egység;
- hatótávolság: 11 265 km;
- fegyverzet: 16 db merev vagy forgószárnyas gép is elhelyezhető.



3. ábra Giuseppe Garibaldi a Földközi tengeren 2002-ben

Forrás: [http://www.haborumuveszete.hu/rovatok/fegyverek/hadihajok/olasz\\_3/\\_letoltve](http://www.haborumuveszete.hu/rovatok/fegyverek/hadihajok/olasz_3/_letoltve): 2013. 03 12.

## Charles de Gaulle

Az Charles de Gaulle (NATO kódja R91) a Francia Haditengerészet zászlóshajója. Nukleáris meghajtású repülőgép-hordozó. Nevét Charles de Gaulle tábornokról, Franciaország elnökéről kapta, bár eredetileg a Richelieu volt (Richelieu bíboros után, akiről a mindenkori zászlóshajókat nevezik el), csak 1987-től viseli jelenlegi nevét. Amerikai társaihoz képest a francia hajó jelentősen kisebb, azonban François Mitterrand elnök szükségesnek látta az európai csapásmérő

erők között egy repülőgép-hordozó meglétét. Az építés és az üzembe helyezés során számos probléma lépett fel, így a vízrebocsátás és a hadrendbe állítás között sok idő telt el. 2000-ben a reaktorokkal történt kisebb incidens, de még ebben az évben Norfolk felé a tengeren eltört a hajó egyik hajócsavarja, így vissza kellett térjen Toulonba. [7]

#### **Technikai adatok:**

- vízrebocsátás: 1994;
- vízkiszorítás: 38 000 t;
- méretek: hossz: 261,5 m - szélesség: 64,4 m;
- sebesség: 54 km/h;
- személyzet: 1950 fő;
- hajtómű: nukleáris egység;
- fegyverzet: 40 db merev vagy forgószárnyas gép is elhelyezhető.

#### **George H. W. Bush**

Az USS George H. W. Bush a tizedik és egyben utolsó Nimitz osztályú nukleáris repülőgép-hordozó, a következő repülőgép-hordozók már a Gerald R. Ford osztályba fognak tartozni. Nevét George H. W. Bushról, az Egyesült Államok negyvenegyedik elnökéről kapta.

A Nimitz osztály az Amerikai Haditengerészet egyik repülőgéphordozó-osztálya, melybe napjaink legnagyobb repülőgép-hordozói tartoznak. Ezt a hajóosztályt az 1960-as években tervezték azzal a céllal, hogy a fedélzetről bevethető harci repülőgépekkel megfelelő elrettentőerőt, illetőleg csapásmérő erőt jelentve reprezentálja az Amerikai Egyesült Államok nagyhatalmi státuszát a világ bármely területén. Ennek megfelelően kerülnek a hajók beosztásra az egyes flottakötelékek alárendeltségébe. A Nimitz osztály hajóiban a szükséges energiát 2 db nyomottvízes atomreaktor szolgáltatja. (A technológia gyors fejlődését mutatja, hogy az első, a Nimitz osztály előtt alig néhány esztendővel korábban elkészült USS Enterprise CVN 65 ellátásához szükséges energia előállításához még nyolc reaktor beépítésére volt szükség, amelyekben 3–5 évenként kellett cserélni a fűtőanyagot.) A reaktorok fűtőanyaga urán, amelyet mintegy 20 évenként kell lecserélni. Az utolsó Nimitz osztályú repülőgép-hordozó, a USS George H. W. Bush CVN 77 építése 2008-ban fejeződött be. A hajó lényegesen eltér a hajóosztály korábbi egységeitől. (Bulbaorr a nagyobb sebesség eléréséhez, módosított fedélzeti elemek a radarkeresztmetszet és a saját emisszió csökkentésére, illetve számos, a személyzet létszámának csökkentését lehetővé tévő módosítás.) Ezzel az egységgel egyébként a hajóosztály biztosan lezárul, a következő repülőgép-hordozó osztály első egységének – USS Gerald R. Ford CVN 78 – az építése megkezdődött, a hajó várhatóan 2015-ben áll majd hadrendbe a USS Enterprise CVN 65 leváltására [8].

A hajók tervezett élettartama 50 év, amely lényegesen hosszabb a hajók átlagosnak mondható élettartamánál. Természetesen ezalatt a hosszú élettartam alatt a technika fejlődését követve a hajók egyes rendszereit rendszeresen modernizálják.

A Nimitz osztály hajói hadrendbe állításuk óta részt vettek az Egyesült Államok részvételével lezajlott összes katonai konfliktusban, így az öbölháborúban és az iraki háborúban is.

### Technikai adatok:

- vízrebocsátás: 2006;
- vízkiszorítás: 104 000 t;
- méretek: hossz: 333 m – szélesség: 76,8 m;
- sebesség: 56 km/h;
- személyzet: 3200+2480 fő;
- hajtómű: nukleáris egység;
- fegyverzet: 90 db merev vagy forgószárnyas gép is elhelyezhető.



4. ábra USS. George H.W. Bush CVN 77

forrás: <http://www.google.hu/searchq=george+h+w+bush+anyahajó> letöltve: 2013.03.12.

Ez a hat repülőgép-hordozó is mutatja, hogy a kor előrehaladtával mennyire nőtt az igény az ilyen jellegű beruházásokra. A hajók egyre nagyobbak lettek, egyre több gépet tudtak fogadni és tárolni. A hajtóművek korszerűbbek, a hordozók gyorsabbak és felszereltebbek lettek. Ezek a hordozók azonban lassan vagy teljes mértékben elavultak lesznek. Nézzünk egy a mai kornak megfelelően felszerelt és a jövőbe mutató fejlesztést. [9]

## AZ ÚJ KOR SZÜLÖTTEI

A jelenleg is használt legendás Nimitz-osztály egységei a dicsőségük utolsó pillanatait élvezik. Lassanként az új generációs, az Egyesült Államok 38. elnökéről elnevezett Gerald R. Ford-osztály hajói váltják fel őket. A repülőgép-hordozó alapkoncepciója a Nimitz-osztályból származik, de a legmodernebb technológiákat alkalmazzák, lehetővé téve ezáltal az üzemeltetési költségek és a személyzet létszámának csökkentését. Összesen tíz hajó megépítését tervezik, az első, a USS Gerald R. Ford egység a Northrop hajógyárban készül. 2009-ben kezdték építeni és várhatóan 2015-ben fejezik be. A másik egység a USS. John F. Kennedy építését 2011-ben kezdték és várhatóan 2019-ben készül el. Az új repülőgép-hordozók naponta kb. 220 felszállást tesznek lehetővé, ami a Nimitz osztály egységeinél csupán 140 volt. Mindebből világosan látható, hogy a repülőgép-hordozók korszaka még távolról sem zárult le [10].



Úszó erődök, különleges csatahajók, amelyek a katonai repülőgépek felszálló pályáját biztosítják. Tíz különböző zászló alatt jelenleg 23 repülőgép-hordozó szeli a világ óceánjait. Ezek a technológiailag rendkívül igényes és drága hajótípusok adják minden nagyhatalom presztízsét. Az erő és a hatalom jelképei. Hullámok hátán úszó katonai támaszpontok, melyek egy ország légierijének megfelelő repülőflottát üzemeltetnek a fedélzetükről. Korunk minden kétséget kizáróan legösszetettebb haditechnikai eszközei a hatalmas repülőgép-hordozók, a civilek számára lenyűgöző, az ellenfelekben pedig félelmet keltő monstrumok. A nagyhatalmak számára ezek az egységek három okból különösen fontosak. Egyrészt azért, hogy minden másnál nagyobb mobilizálható erőkoncentrációt biztosítsanak, másrészt pedig mivel a Föld felszínének nagyobbik részét tengerek és óceánok borítják, ezért szinte bárhová eljuttathatják repülőgépeiket és helikoptereiket. Nem utolsó sorban pedig ezek a politikusok és az admirálisok igen drága “játékszerei”, az adott ország haderejének státuszszimbólumai.

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] Az USS George H.W. Bush szolgálatra jelentkezik (angol). Fox News, 2009. január 10. (Hozzáférés: 2013.03.11.)
- [2] Polmar, Norman. The Naval Institute guide to the ships and aircraft of the U.S. fleet. Naval Institute Press (2004). ISBN 978-1591146858
- [3] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Rep%C3%BC1%C5%91g%C3%A9p-anyahaj%C3%B3> letöltve: 2013.03.11
- [4] Tony Gibbons – David Miller: Korszerű hadihajók (Kossuth, 1993, ISBN 9630936623)
- [5] Sárhidai Gyula, Bak József, Lévay Gábor: A tengeri harc fegyverei (Zrínyi Katonai Kiadó, 1985) pp. 23-35. ISBN: 963-326-327-1
- [6] [http://www.haborumuveszete.hu/rovatok/fegyverek/hadihajok/uszo\\_repuloterek/](http://www.haborumuveszete.hu/rovatok/fegyverek/hadihajok/uszo_repuloterek/) (2013.03.12.)
- [7] Purger Tibor: A Birodalom odavág. Egy jámbornak ígért külpolitika színelváltozása, Magyar Szó Lapkiadó és Fórum Könyvkiadó, Újvidék (Vajdaság) 2004 március ISBN: 978-86-323-0597-7 pp. 56-65
- [8] James Moore, Wayne Slater. Bush's Brain: How Karl Rove Made George W. Bush Presidential (angol nyelven). Wiley, 210. o. ISBN 978-0-471-42327-0. (2003). (2013. 03.11.)
- [9] A Francia Védelmi Minisztérium honlapja (francia nyelven). [defense.gouv.fr](http://defense.gouv.fr). (2013. 03.11.)
- [10] Ships That Mother Seaplanes: craft of the "hush-hush" fleet may play a part in first trans-Atlantic flight. Popular Science monthly, February 1919, p. 80, on Google Books.

Hennel Sándor<sup>1</sup>

## THE SCOPE OF APPLICATION FOR PASSENGER AND CREW RESCUE EQUIPMENT IN MILITARY-CIVILIAN LIGHT MULTIPURPOSE AIRCRAFTS<sup>23</sup>

*The need to enhance safety levels has been an issue since the appearance of the first flying machines. Due to the high standards of design, production and operation aviation risks can be regarded low compared to other forms of transport. Military aircrafts pose a greater risk owing to their nature of application so they require crew and passenger rescue equipment that is different from civilian-run aircrafts. The primary function of this is to save the lives of the persons who are on board the aircraft and to increase their survival chances. The danger stems from airspeed, height and the conditions of landing. My study focuses on the category of military-civilian light multipurpose aircrafts, examining the relations of reconnaissance and destruction in NOE flying, and the operational settings for guided crash, using ejection seats, parachutes, airbags, the GRS system and escape crew capsules.*

### **LÉGIJÁRMŰVEK UTAS- ÉS SZEMÉLYZETMENTŐ BERENDEZÉSEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI EGY KATONAI-POLGÁRI VEGYES FELHASZNÁLÁSÚ KÖNNYŰREPÜLŐGÉP ESETÉN**

*Az első repülőszervezetek megjelenésétől felmerült az igény a biztonsági szint növelésére. A tervezés, gyártás és az üzemeltetés magas színvonala miatt a repülési kockázatok a többi közlekedési formához képest alacsonynak tekinthetők. A katonai légi járművek alkalmazási jellegükből adódóan nagyobb veszélyeztetettségűek, ezért a polgári üzemeltéstől eltérő személyzet és utasmentő berendezéseket igényelnek. Ezek alapvető rendeltetése a légi járművön tartózkodó személyek életének és testi épségének mentése, túlélési esélyeik javítása. A veszélyforrás a repülési sebességből, a magasságból, illetve a földet érés körülményiből ered. Tanulmányom kifejezetten a könnyű, katonai-polgári vegyes felhasználású repülőgépek kategóriájára fókuszál, megvizsgálva a földközeli repülés felderíthetőségi, megsemmisíthetőségi viszonyait, az irányított lezuhanás, katapultálás, ejtőernyő, légszák, GRS teljes gépet mentő rendszer, valamint a mentőkapszula működési környezetét.*

## INTRODUCTORY THOUGHTS

The need to enhance safety levels has been an issue since the appearance of the first flying machines. People's mistrust originates in the most important two elements of flying: height and speed. Despite the outstandingly great values of the current level of operational safety the development and developing of rescue and survival equipment has not stopped and offers further prospects. Owing to their scope military aircrafts pose a greater risk than civilian flying. Accordingly, crews – passengers – leaving the aircraft in an emergency situation is more typical in military flying, and thus it requires rescue equipment that is different from civilian-run aircrafts.

<sup>1</sup> eng. maj. PhD student of National University of Public Service, sanko1@freemail.hu

<sup>2</sup> Publisher's reader: Gyula Óvári, Professor, National University of Public Service Technology Department of Military Aviation, ovari.gyula@uni-nke.hu

<sup>3</sup> Publisher's reader: Lt. Colonel Bertold Békési (PhD), Associate Professor, National University of Public Service Technology Department of Military Aviation, bekesi.bertold@uni-nke.hu



---

It is worth examining the potentials and limits of currently used equipment through the technical solutions of rescue equipment and procedures used in aviation, and based on that search for new directions for future developments that can efficiently ensure an optimally high level of safety for light aircrafts.

In view of the low take-off weight, the similarity of their set of tasks, speed and height range it is worthwhile to examine the solutions used in helicopters. Out of the possible solutions I will analyse the potentials of catapulting, emergency parachuting, guided crash and escape crew capsule saving the whole of the aircraft as well.

My study is searching for optimal solutions for life defence, safety – both theoretical and practical – for military-civilian light multipurpose aircrafts.

## CONSTRUCTIONAL SOLUTIONS

### **The necessity of rescue**

The function of rescue equipment on board is to save the lives of the persons who are on board the aircraft and to increase their survival chances. The dangers connected to civilian flying stem from airspeed and height, the ones connected to military aviation originate in air defence counteractions, and the challenges of survival and rescue after landing. Since my study focuses on the category of military-civilian light multipurpose aircrafts, I am intentionally not discussing emergency situations stemming from dehermetisation and from high speed (supersonic emergencies). I am not examining the dangers resulting from the failures and shortcomings of organisational, air traffic control or passenger information systems.

The necessity of rescue equipment is justified by the permanent inability of aircrafts to fly. We can differentiate among technical failures and emergency situations arising from the pilot's or air traffic controllers' error, meteorological conditions or military counteractions. It is worthwhile to examine the details of emergency situations that can be attached to aviation, especially to military applications.

Our fast developing world ensures great opportunities for air travel since it has managed to enhance the level of safety to a required level. Accordingly, passive safety means are used in civilian aviation that fulfils their tasks directly, without intervention, by their sheer presence, or because of their special features, by prevention. In the case of emergency landing these include anti-sparkle materials, guided breaking-points, ergonomic formations protecting crew against crashes in cabins, anti-burn materials, notices informing passengers, et cetera. There are, however, devices serving safety actively, which block or reduce damage by means of intervention. Such are eject seats, parachutes, on board fire extinguisher systems, seat belts and air bags.

Let us examine which procedures and constructional solutions meet requirements, and what the strengths and weaknesses of implementation and operation are [1].



---

### *Guided crash*

Guided crash is landing conducted by the pilot which emerges from the permanent inability of the aircraft to fly and demands an immediate solution. The aircraft unable to fly performs the landing stabilised in its motion on a designated area in a very short time. If the aircraft suffers a major damage the most important aspect is to save lives and reduce injuries.

This especially needs to be examined when flying at low altitudes, particularly for military aircrafts. It is a fact that there is no sufficient time left to reduce or restore immediate breakdowns as a result of technical or military counteractions or to make use of other rescue devices when lacking sufficient altitudes.

Military flying uses these zones that are dangerous for aviation due to tactical, reconnaissance and air defence security reasons. In these cases the first step is to examine the external circumstances of guided crash, emergency landing.

The use of passive means serves the function of absorbing the impact energy that comes from the power of the hit which is a result of the vertical sinking speed. Crews aim to achieve the smallest load multiple and the smallest retardation in order to avoid damaging the aircraft. In the majority of cases this can be achieved by increasing the travelling length and keeping retardation at a guided, regulated level. Tolerating the strain materialises in a flexible change of form at the beginning, then after a certain limit it realises in permanent guided changes. The landing gear – the strut and the tyre – absorbs the impact energy coming from the impact with the ground without permanent change of form. If the complete pit of the strut is not, enough the fixing of the crew's seat becomes deformed on a further 40–60 cm distance. (Figure 2.)



Figure 2. An AK-2000A pilot seat that absorbs impact energy, suffering a non-flexible change of form [2]

Further retardation is ensured by the guided deformation of the fuselage after the break of the landing gear. The parts bearing the load may be timed to deform by changing the strength of the bolt coupling, so the extent of retardation can be regulated [3].

In figure 3 we can see airbags built into airplanes. According to statistics, 50% of deaths are caused by head injuries which can be reduced this way significantly. Airbags protecting aircraft crews were introduced much later than those for car drivers. When we search for reasons we must size up the speed ranges used by the two industries as different. The operational speed of airbag systems installed into cars is strongly limited (10–50 milliseconds depending on size and approximately 300 km/h fast). The time to sense, make a decision and intervene and the retardation distance define a maximum speed which is usually a 60-80 km/h limit value, thus a 0-80 km/h speed range. This interval at the same time is a range not used by airplanes for flying. It can be used in the retardation period after landing or by helicopters. It is usually experienced that the full length of retardation time is considerably longer than in road traffic. That is why airbags used in airplanes remain inflated for longer, for nearly 3 seconds [4][5].



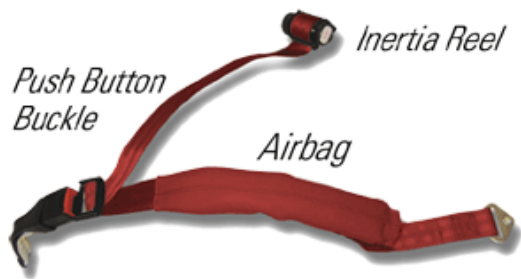


Figure 3. The Mooney airbag and the crash test of the Diamond Da-40 type aeroplane fitted with it [6][7]

Despite all the above airbags can serve as a device to avoid certain injuries when doing emergency landing and guided crash. Their structural formation is partly different from the ones in cars, the opening process starts at  $n_y=9$  load multiple. The airbag fitted into the dashboard or the seatbelt protects the human body lashing forward helplessly from injuries like a cushion. (Figure 3)



Figure 4. The airbag system fitted externally on the MD-500 and the one fitted onto the seatbelt in Da-40 [8]

Another solution – which for the moment is in its experimental stage – can be airbags fitted onto the outside of the fuselage to decelerate crashes. (Figure 4) Advantages of this inflating balloon system are that they weigh a mere 1.5 kg and that the protection is activated regardless of the pilot's intention. Figure 1 shows that flying at low altitudes and at high speed the response time of the crew is not sufficient to solve an emergency situation. The drawback of this system is the speed limit which cannot offer real protection in some of the aviation incidents.

Guided, regulated crash is a passive means decreasing the amount of injuries among those protecting the crew. The limits of the results achieved by the modified fittings may be the limited nature of the descending speed, and the lack of guided emergency landing. If rudders become ineffective or are lost the supplements cannot protect the lives of the crew. Other disadvantages are the weight and cost increase of the structural modifications. Thus it is worthwhile to examine options that can be suitable to effectively save the lives of the crew at higher altitudes compared to what we have studied before, in case of the aircraft's total inability to fly.



---

## *Parachutes as rescue equipment*

Using parachutes to rescue crews is a generally used, obvious and long standing solution. According to the cyclopaedia of flying parachutes are structures that can decelerate the dive of the body (load) attached to them during falling. They can only perform their unfolding and their braking effect as a result of drag, when in air. They reduce the 50 m/s speed of the falling human body to 5-8 m/s (or 0 m/s) vertical speed which is a condition to land safely, without injuries. (The 0 m/s in brackets refer to the so-called ram-air parachutes (that can be flared); the 5-8 m/s refer to traditional round parachutes.)

The idea of creating parachutes is probably as old as the wish to fly. Although the Chinese and Venetian constructions or those designed by Leonardo da Vinci had ensured the theoretical background, the appearance of hot air balloons and zeppelins – and later aeroplanes – have made the improvement of parachutes more important [9].

There are different types of rescue parachutes that have been and are used in Hungary. More popular ones are: S-3-3; S-4; S-5K; Pn-58; Re-5; PSM-3; PSM-4; PSU-36; developed in Hungary are: ZHM-1 and ZÜM-1.

Rescue parachutes that are popular abroad are: USA-B-12; B-4; NB-6; NB-8.

In civilian air traffic Security Safety-Chute, Pioneer Thinpack and Beta are popular.

Requirements for parachutes:

- they should operate and unfold safely;
- their structure should bear all strains as safely as indicated in their specifications;
- they should be sturdy but light, and small in volume;
- it should be easy to plan their lifetime – that is reduced by the fatigue caused by the repeated strain – through their practical formation, structure, and an excellent quality of material;
- after unfolding parachutes should be stable and easy to direct; they should equalise the harmful effects of wind;
- they should have a simple structure and should be easy to fold; the cost of their production and repair should be low.

The use of parachutes can be limited by the physical feature of the pilot which prevents or limits leaving the aircraft due to its high speed, complicated movements and the power impact resulting from these. (It is easy to see that if a helicopter has a torque effect trouble – which happens suddenly and usually ends in a catastrophe – beside the 180°/second turnover rate the radial force makes it impossible to leave the helicopter. In the case of a fighter plane a resistance at 600–700 km/h which is a result of convection changes leaving the plane safely without outside help into an impossible task.)

The descending speed of round rescue parachutes is formed in such a way due to size and mass economy that they are suitable for rescuing lives as opposed to sport parachutes which are expected to make landing possible without injuries. Mass and volume of rescue parachutes are in inverse ratio to descending speed. It has been an aim to reduce the mass of rescue parachutes through their size. As we can see from the formula of reaction force and strength (Formula 1)



the product of mass ( $m$ ) and gravitational acceleration ( $g$ ) equals the product of the drag coefficient ( $C_x$ ) characteristic of the shape of the dome, half of the density ( $\rho$ ), square of the vertical speed ( $v$ ) and the surface ( $A$ ) of the dome. Depending on the mass of the pilot with the consistency of  $g$ ,  $C_x$ ,  $\rho$ ,  $A$  descending speed changes and because of that the risk of injuries increases considerably. Limits of a rescue parachute's use are the mass of the pilot and flying height because of the change in the density of air.

$$m \cdot g = F_x = C_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot A \quad [kg \cdot \frac{m}{s^2} = N = \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{m^2}{s^2} \cdot m^2] \quad (1)$$

$$v = \sqrt{2gs} \Rightarrow s = \frac{v^2}{2g} \quad \left[ \begin{array}{c} \frac{m^2}{s^2} \\ \frac{m}{s^2} \end{array} \right] \quad (2)$$

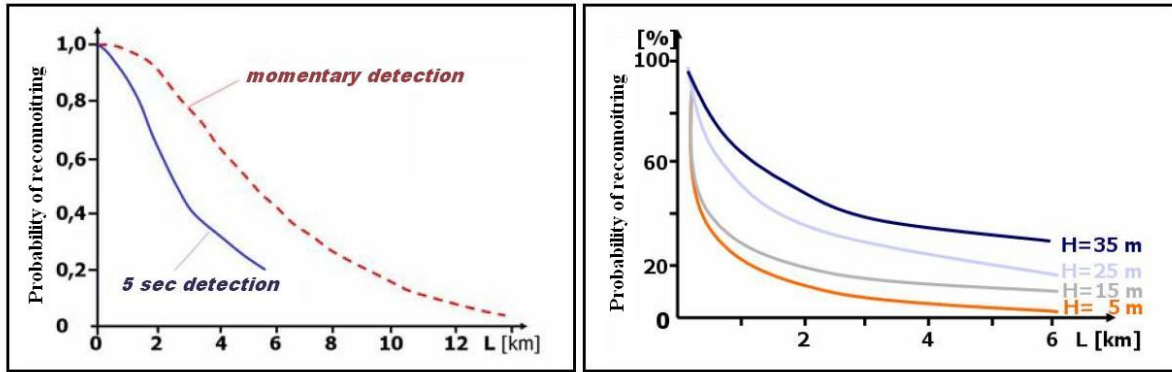
As an example, if we fit the 6 m/s descending speed of a parachutist into Formula 2 equals the landing speed of a person jumping from 1.8 meters. The density of air at 5500 meters is half of what can be measured at sea-level. [10] The  $v^2$  doubles and the equal jump height without a parachute changes from 1.8 to 3.6 meters. Depending on the nature of the ground this can be dangerous. The example is extreme but because of its nature it shows that landing on high surfaces using a rescue parachute may mean further risks.

Although not generally used as rescue parachutes, it is worthwhile to examine the so-called ram-air parachutes that can reach 0 vertical speed at touch-down. Their small structural mass and low descending speed make them an obvious solution. However, this structural formation is rarely used as a pilot's rescue parachute since its unfolding procedure is slower than that of round parachutes so their minimal jump height is also higher. In practice the unfolding process requires a stable fall that can only be performed by experienced parachutists. High forward speed, selecting the appropriate moment to glide, and touching the ground are all important, sensitive parts of remaining accident-free so they make rescuing an unconscious person risky.

On the whole we can say that a pilot's high body mass or parachute landing performed at high altitudes in mountainous areas pose increased risks.

The application of parachutes can be limited by time required for leaving the aircraft and for unfolding the parachute, and through that the minimal flying height as well. A significant feature of parachutes is their minimal height to unfold from where beside the given flying speed the parachute can reduce the speed of its load to land safely. Thus we can conclude that in NOE (Nap Of the Earth) flying parachutes cannot be used on their own as rescue devices.

Light aircrafts have limits when in military use. Due to the low take-off weight, the option of armour-plating of an aeroplane, and installing missile defence in it is strongly limited. As a result of this, flying at low altitudes where landmarks and the curve of the Earth guarantee protection is an excellent way of reducing the chance of being reconnoitred. This protection, however, worsens flight security, increases the crew's stress level, and can require the installation of special soil tracking facilities, systems.



Destruction device	Flight altitude (H)				
	5 m	50 m	100 m	500 m	1000 m
	Survival chances [%]				
“Ground to air” missile	~100	90	80	40	10
Portable air defence missile	~100	95	90	85	90
Multiple pompom guns	~100	90	85	75	60
Airborne machine gun	~100	90	75	85	95
Infantry gun class firing	80	70	60	80	~100

Figure 5. Chances of being visually reconnoitred, destroyed in accordance with distance and height

As we can see in Figure 5, the chances of being visually reconnoitred largely depends on flight altitudes; below 15 metres the chances of being reconnoitred are a mere 5% in 5 km, and in 1.5 km – which is the inducement distance for Sz-5 non-guided missiles – is only 15%. [3]

Based on this we can say that flying near ground level guarantees fair protection. Although parachutes alone are not sufficient to enhance the safety of pilots flying at low altitudes, a possible solution is to use catapult systems at the same time.

### Catapulting

“Catapulting is when the pilot leaves – usually military – aircraft flying at a high speed using an ejection seat in cases when the aircraft gets damaged and impossible to control.” [11] Its development was necessitated by the increased speed of military flying. Flying over 400 km/h makes it impossible for the pilot to leave the aircraft without help because of the volume of strength from dynamic pressure. The first operable plan of the ejection seat was designed in Germany in 1939, and then came successful development in the UK, USA and the former Soviet Union. [12]

The constructional solution was that the pilot’s seat was formed in such a way that the gas piston in the cylinder attached to it is ejected by the gas produced during ignition and later landing is assisted by a parachute. The most powerful limit of the use of this system is the overload which is a result of the pilot’s acceleration. [13] (Figure 6)

$$n_y = \frac{F_y}{G} = \frac{m \cdot a}{m \cdot g} \quad (3)$$

Since the overload can be as high as a  $n_y = 16 - 20$ , the endurance of the strain depends on the pilot’s fitness level, their build, the position of their body and the time of the overload.

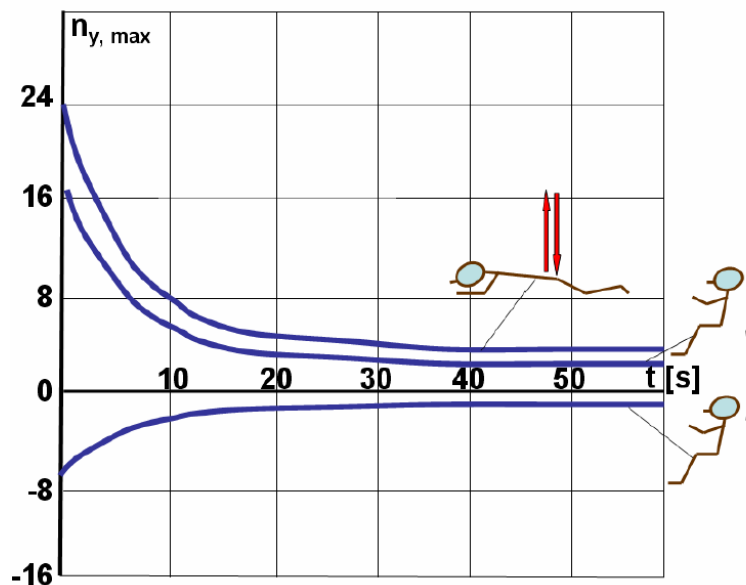


Figure 6. Tolerable overload in accordance with body positions and time [2]

When leaving the aircraft a pilot needs to do several tasks using technical devices. Let us see these in the order of using an ejection seat:

- Successful rescue of crew should be ensured in all possible **altitude and speed** ranges and spatial positions. As a result of developments now state-of-the-art ejection seats are able to do a so-called double 0 – at 0 km/h and from 0 meter high – successful rescue. The spatial position of the aeroplane is not crucial, since it is able to turn and direct the seat into a vertically ascending orbit, and eject it 50-150 meters higher than the aircraft, even if it is diving or flying upside down.
- Facilitating the pilot's decision to leave the aircraft, since the seconds, deciseconds before **decision** making can be crucial. Unambiguous warnings of instruments on board and clean-cut vocal instructions help in making this decision. On some aircraft there is an automatic system examining the elements of flying and in critical situations – such as stalling at low altitudes – it initiates ejection regardless of the pilot.
- Forcing the **pilot's special body position** that is necessary for ejection. The process begins with the use of pull handles. Positioning it in the cockpit makes ejection possible during considerable overload as well. The position of hands is defined and legs are typically put into safe position by a sling. Tolerating the overload, and protecting body parts the position of the spine, the head and the elbow is forced by side cushions.
- Escape hatches or **canopies are blown off** or broken through: these happen with the help of explosion, unhitching using blast, so there is no obstacle for ejection. In other cases the seat itself breaks the canopy.
- **Separating the pilot from the flight instruments:** joining the radio, oxygen and the g-suit has to be easily loosened and if they are fitted into the seat then their further operation is ensured.
- Reaching the necessary **vertical speed** to leave the aircraft: the formation of the tail is dangerous for the crew. The airspeed of the aircraft determines the necessary ejection speed. High airspeed involves high ejection speed, which increases acceleration and overload.





- 
- Another important aspect is to keep the head-to-pelvis overload tolerable, which is a result of the **acceleration** from ejection. In Figure 6 we can see that the acceleration value is limited by physiology. Different acceleration values of ejection are desirable but regulating these is a difficult matter.
  - Dealing with the overload stemming from the convection from the opposite direction after ejection, from the **ram pressure** and deceleration. Specially designed helmets and masks are used against air pressure that suddenly affects the face and the body. Shock wave generators are made in front of the pilot with the body positioned in the flow, creating shock waves when ejection seat use above sound speed. This way the ram pressure on the pilot is reduced considerably. A never-failing solution when the ejection seat is used with high speed is making use of the cockpit canopy as protective sheathing.
  - Elimination of the harming effects of **dehermetisation** as a result of the opening of the cockpit (sudden change of pressure): After leaving the pressurised aircraft, at higher altitudes pressure equalization means a considerable physical strain for the human body – its oxygen supply, circulation and eardrums. These harmful effects can be greatly reduced by using the helmet, the g-suit and the oxygen mask.
  - **Stabilising the spatial position** of the seat after ejection: a balance is necessary in terms of dynamics and aerodynamics that can prevent the seat turning in the wrong direction after ejection. In practice this is provided by aero dynamical surfaces and stabilising canopies.
  - In military use it is of high importance to **land on safe areas** after ejection. From the military point of view a good solution is to use ram-air parachutes that glide properly (as opposed to rescue parachutes) – these can take us 30–40 km from the boundaries of the stratosphere. (In this case the pilot’s control is necessary. Currently the development of autogiros and Rogallo-wings is on the way. Using these could multiply this distance.
  - **Hit-like** strains resulting from unfolding the parachutes and landing are necessary to be reduced: The aim is to reduce the strains to a minimum that stem from hitting the ground and from jerking when the parachute unfolds, since other injuries, unconsciousness of the crew can be expected thus further strains can cause serious injuries. Braking from airspeed can be done using the stabiliser canopy.
  - **Radiating radio signals** for search and rescue units to help them find the crew: when unfolding the parachute the radio fitted into the seat starts radiating, using the internationally accepted 121.5, 243 or 406 frequencies.
  - Making **survival devices** available after landing (on ground or water): different devices are placed in the life jacket or the pilot’s equipment that are suitable for the scope of application. If landing on water can be expected, a life jacket and dinghy are provided to help the pilot stay above the water.
  - Assisting **military camouflage**, survival: it is worthwhile to differentiate between equipment necessary to leave the aircraft and equipment used in warfare. Life jackets are usually orange attracting attention to help search and rescue actions. On enemy grounds these are hidden, buried immediately after landing. According to war application the pilot’s self-defence gun is placed on their clothing. Their equipment is fitted with several small items like shark alarm, whistle, chocolate, torch, hook, knife.

Based on all of the above we can see the technical realisation of using the ejection seat needs a technical background. The light aircraft category – 2000–3000 kg maximal take-off weight and room for 800–1000 kg payload – makes it difficult to use a rescue system that weighs 100–110 kg for each seat. [14] Although the ejection seat as rescue equipment offers a defined safety level, due to its technical realisation it is necessary to search for other solutions in this category.

Although flying at low altitudes ensures excellent tactical and reconnaissance protection, it makes leaving the aircraft suddenly a difficult task. At low heights colliding with small landmarks is an increased risk which often leads to losing the aeroplane. The reaction time of the crew is reduced at failures because of low heights. The use of parachutes is limited, the solution with appropriate speed would be using an ejection seat but this cannot be applied realistically due to the extra mass of the aircraft. Company Zvezda has developed an in-between solution which is an ejection parachute with no seat as a rescue device for light aircrafts flying at low speed.

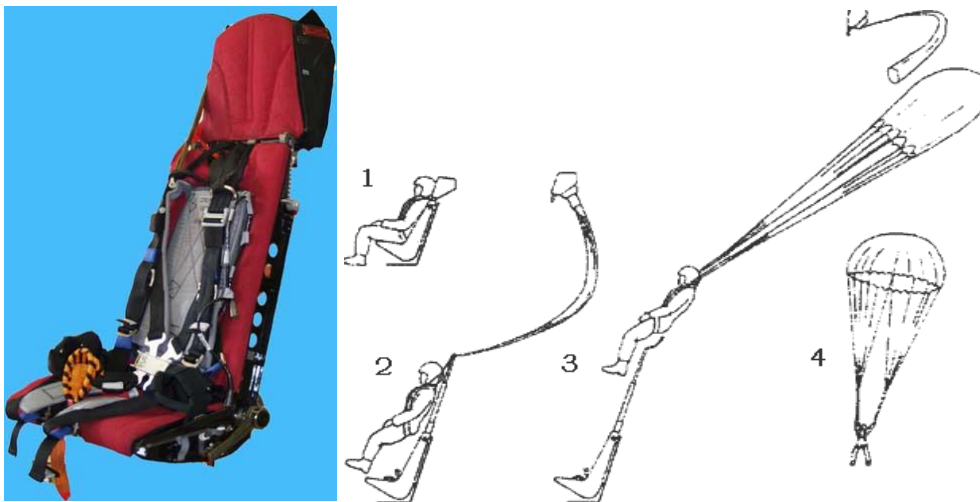


Figure 7. The CKC-94 type rocket operated rescue parachute [14]

The CKC-94 rescue system shown in Figure 7 helps the pilot leaving the aircraft by a jar-like eject system. This pulls out the parachute using a rocket, and then the flow of the air fills the dome. This makes leaving the aircraft considerably faster and the strain on the pilot is not more than the one originating in the pull of unfolding the parachute. The minimal application height is 7 meters flight altitude according to the factory data. The weight of the entire rescue device is 22–28 kg, depending on the variety. Thus the CKC-94 and other rescue devices analogous with these principles could be an alternative utilized by military-civilian light multipurpose aircrafts.

Table 1 shows the comparison of the technical data of some ejection seats.

<i>Producer</i>	<i>Type</i>	<i>Operational speed</i>	<i>Ignition height</i>	<i>Mass</i>	<i>Aeroplanes types using the device</i>
Zvezda	K-93	0–900 km/h	0–13 km	68 kg	L-39
Zvezda	K-36D	0–1400 km/h – M=2,5	0–20 km	103 kg	Mig-29
Zvezda	K-36L	0–1050 km/h – M=1	0–13 km	87 kg	
Zvezda	CKC-94	60–400 km/h	7–4000 m	28,5 kg	Su-26, Yak-52
	MK-17	60–300 knots	0–7,5 km		

Table 1. Technical data of ejection seats [12][14][15]

*The parachute GRS system that rescues the entire aircraft*

GRS (Galaxy Rescue System) is a special variety of rescue systems based on parachutes which makes landing injury- and damage-free for not only the crew but also for the entire aircraft. The GRS parachute is ejected in a sealed container to 15–18 meters from the aircraft which puts the complete pylon system into a strung position. The container only opens after this, so the dome avoids the components of the aircraft. The whole system is created in such a way that it enables the fastest opening adequate for the given circumstances, thus ensuring safe operation at the lowest height. The system starts by pulling a mechanical trigger – approximately 90 N-sized force – and the sear mechanism ignites the solid propellant of the rocket. The effusing gas is piped outside the fuselage of the aircraft so during ignition only a small amount of reactive force affects the aeroplane. [16]



Figure 8. Varieties of GRS 750, 840, 960 and 1200

When the dome opens 18 meters above the aeroplane, the rocket flies further using kinetic energy and it separates from the dome. Depending on the size of the dome and the airspeed, the rescue parachute system unfolds completely in 1.5-6 seconds. Thus a safe height for unfolding is above 30-150 meter, depending on the direction of ejection, the moves of the aircraft, and the fitting of the device. The rocket can be ejected into any direction but the most practical is to eject it at right angles with the centreline upward, or slightly backward. (Figure 9)

**System GRS GALAXY - Patented: 1589-94**

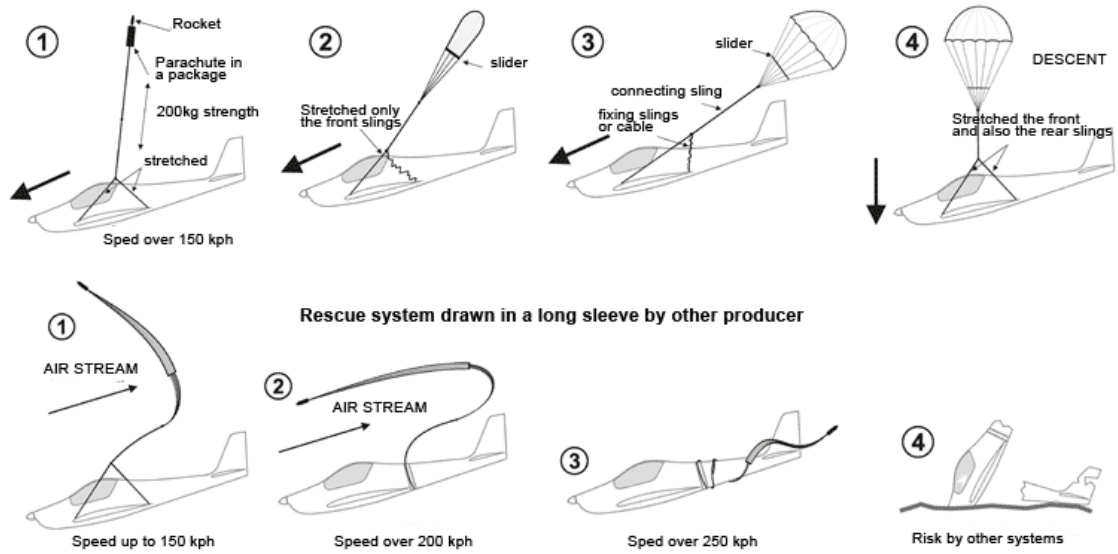


Figure 9. The operational draft of the GRS rescue system [17]

The GRS system can be used with ultra light, experimental, engine light or any other aircrafts whose maximal take-off weight is 250–2000 kg. The rocket system is designed in such a way that it is able to open the dome under extreme circumstances like between –40 and +60 Celsius outside temperatures. [17]



TYPES	safety coef.	GRS 6 750 SDS 140m <sup>2</sup>	GRS 6 840 SDS 245m <sup>2</sup>	GRS 6 960 DS 245m <sup>2</sup>	GRS 6 1200 SDS 245m <sup>2</sup>	GRS 6 1300 SDS 245m <sup>2</sup>
<b>Total safety coefficient of the canopy 1,25 x 1,21</b>	K =	(• 1,08)	1,5	1,5	1,5	1,5
<b>Allowed max. operational weight (MTOW)</b>	K= 1,25	• 750 kg	840 kg	960 kg	1200 kg	1300 kg
<b>Allowed never exceed speed for use (VNE)</b>	K= 1,21	• 250 km/h	268 km/h	250 km/h	250 km/h	250 km/h
<b>Maximum test dive speed at MTOW + 25% load</b>	K = 1	270 km/h	325 km/h	305 km/h	305 km/h	305 km/h
<b>Measured tested figures</b>						
<b>Overall time of full canopy stretching at the speed of 95 km/h and operational weight MTOW</b>	sec.	6,3 sec.	6,4 sec.	6,4 sec	6,5 sec	6,6 sec
<b>Overall time of full canopy stretching at the MTOW at VNE</b>	sec. kg	5,3 sec. 750 kg	5,8 sec. 840 kg	5,9 sec. 960 kg	6,0 sec. 1200 kg	6,0 sec. 1300 kg
<b>Maximum operational opening dynamic shock at VNE at MTOW</b>	kN	28,8 kN 3,9 G	26,5 kN 3,2 G	28,7 kN 3,1 G	40,3 kN 3,4 G	45,7 kN 3,6 G
<b>Maximum load at speed 250 km/h</b>	Kg	793kg	1200 kg	1500 kg	1730 kg	1820 kg
<b>Descending recorded at Sea Level (AMSL) for MTOW</b>	m/sec.	7,0 m/sec.	5,6 m/sec.	6,0 m/sec.	6,7 m/sec.	7,0 m/sec.
<b>Canopy</b>						
<b>Area</b>		140 m <sup>2</sup>	245 m <sup>2</sup>	245 m <sup>2</sup>	245 m <sup>2</sup>	245 m <sup>2</sup>
<b>Number of lines and panels</b>		28	40	40	56	64
<b>Nominal diameter</b>		1x13,1 m	1 x 15,6m	1 x 15,6m	1 x 15,6m	1 x 15,6m
<b>Ballistic device</b>						
<b>Igniter – mechanical ignition</b>		Dual primer				
<b>Stationary rocket engine pull</b>		770 N/ sec. / 78 kg/sec.				
<b>Maximum rocket engine pull</b>		1400 N / 142 kg				
<b>Ballistic and drawing device weight</b>		2,62 kg				
<b>Burn time (- 40 °C do + 60°C)</b>		1 sec. ± 0,2 sec.				
<b>Cycle Exchange 6 years</b>		lifetime 30 let				
<b>Dimensions</b>						
<b>Soft pack B1</b>	LxWxD	440x280x230	660x265x25	700x315x230	700x315x230	700x315x230
<b>Soft pack B2</b>	LxWxD	360x380x200	580x270x270	690x380x210	690x380x210	690x380x210
<b>Weight unit – GRS</b>						
<b>Drawing sling</b>	length weight	1 x 6 m 0,4 kg	1 x 8 m 1,2 kg	1 x 8 m 1,2 kg	2 x 8 m 1,7 kg	2 x 8 m 1,7 kg
<b>GRS total weight Incl. the drawing sling</b>	<b>Soft B</b> <b>Soft B2</b>	<b>14,8 kg</b> ---	<b>26,9 kg</b> ---	<b>---</b> <b>27,9 kg</b>	<b>---</b> <b>31,4 kg</b>	<b>---</b> <b>32,0 kg</b>

Table 2. Technical data of the GRS rescue parachute [17]

The parachute system rescuing the complete aircraft has several positive features. In this case we can speak about not only a personal rescue device but about a device that protects an entire valuable aircraft, its weaponry, airborne equipment and information. In the case of the maximum 1300 kg take-off weight category the entire system is a mere 32 kg.

In the category of light multipurpose aircrafts due to military uses the potentials of the GRS rescue parachutes is realistic but is to be treated with limitations.

The 7 m/s descending speed is critically high because of the sitting position of the pilot, but these values are for sea-level so a hit from high altitudes would worsen them. The intentions to rescue the aircraft do not seem to realise since this vertical speed brings about the damaging of the aircraft as well. The use of braking rockets before hitting the ground this value could be reduced to an acceptable level.



## Escape crew capsule

Stanley Aviation Company has developed their B-58 escape crew capsule (Figure 10) for supersonic ejections and ejections at high altitudes. The airtight system has made it possible to safely leave an unserviceable aeroplane flying at 20000 meters at double the sound speed. The capsule sealing at the moment of ejection ensures the necessary survival conditions using its own pressurised and oxygen system. Naturally, it is fitted with a parachute to reduce descending speed but due to its formation it can float on water and act as a rescue raft.

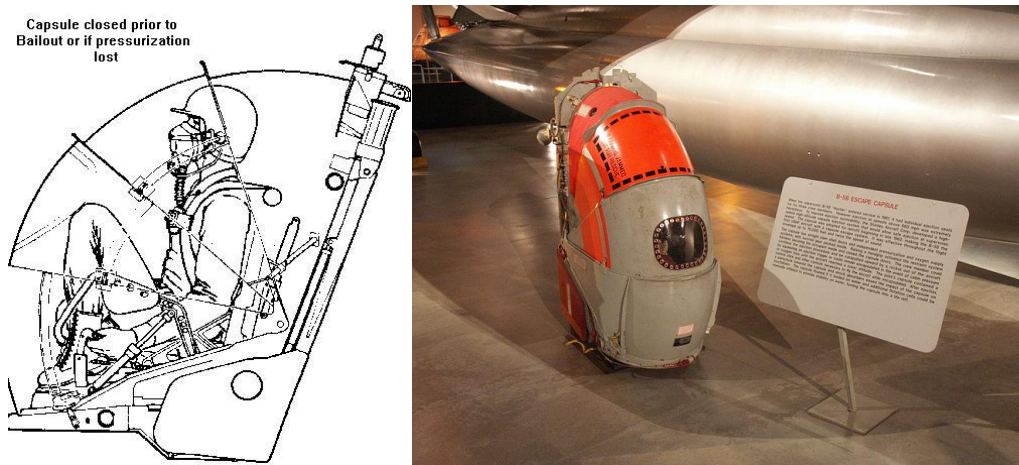


Figure 10. Escape crew capsule of B-58 bomber aircraft [18]

The lives of the two-man crew of the F-11 fighter-bomber aircraft were saved by a unit separating from the fuselage of the aircraft (Figure 11). Ejecting the entire capsule on the ground and in the stratosphere it guarantees safe landing even at double sound speed. The stability is ensured by the aero dynamical surfaces at the back of the capsule and after opening the same is done by the parachute. Safe landing on ground or water is assisted by inflating balloons that also help to stay above water. This solution is an interesting mixture of ejection and the GRS system that rescues the complete aircraft. The reduced mass of the rescue capsule results in a smaller parachute and lower descending speed.



Figure 11. The escape crew capsule of the F-11

The construction of the escape crew capsule that separates from the fuselage could be a possible rescue device for the aircraft category examined in this study. This way it is not only the crew



but the passengers and the airborne load may be rescued. The parts that are not engaged in the rescue process – wings, engine, tail, fuel, weaponry – can be separated from the damaged aeroplane and this way the mass to be saved reduces to 10–30%. The remaining fuselage, landing gear unit can bring about successful landing and keeps crew, passengers and load away from potential dangers. The fuel, the operating hot engine, the weaponry may be the cause of several potential injuries damages after landing.

## Summary

As opposed to civilian aviation the military operation of aircrafts involves greater risks. Keeping safety levels relatively high needs the use of special means, devices and systems. It is worthwhile to examine the details of technical solutions of rescue devices and procedures, and search for new constructional solutions and new directions for development. Military-civilian light multipurpose aircrafts need solutions that can function as rescue devices in a realistic and efficient way in the case of an aircraft serving a special function. That is why in my study I have examined the guided crash, parachutes, ejecting, GRS system and the escape crew capsule separating from the fuselage as active rescue devices. I have attempted to draw conclusions based on their structural, technical and practical features about the possible applications of these for military-civilian light multipurpose aircrafts.

## BIBLIOGRAPHY

- [1] ÓVÁRI Gyula A légi járművek gazdaságosságát és manőverező képességét javító sárkányszerkezeti megoldások. Jegyzet, MN KGYRMF, 1990
- [2] ÓVÁRI Gyula Merev- és forgószárnyas repülőgépek szerkezetana. III. rész A sárkány rendszerei Magyar Néphadsereg Kilián György Repülő Műszaki Főiskola
- [3] ÓVÁRI Gyula Autorotálni, katapultálni vagy lezuhanni? Haditechnika 1992/4. HU ISSN: 0230-6891
- [4] CABS-brochure.pdf.
- [5] <http://www.amsafe.com> (2012.12.03)
- [6] <http://www.youtube.com/watch?v=QmlArptnHKg> (2012-12-03 10:00)
- [7] <http://www.avweb.com/eletter/archives/avflash/211-printable.html> (2012-12-03 10:00)
- [8] <http://www.emtjets.com> (2012.12.03)
- [9] DOMBI Lőrinc Selyemkúpulák. Zrínyi Kiadó, 1993. ISBN 963 327 194 0
- [10] <http://www.idokep.hu/alapismeretek> (2012.07.10)
- [11] SZABÓ József: Repülési lexikon. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991.
- [12] <http://www.ejection-history.org.uk> (2012.07.10)
- [13] HENNEL Sándor – MEGYERI Miklós Repülőgép sárkányszerkezet és rendszerismeret III. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987. ISBN 963-10-2951-4
- [14] <http://www.zvezda-npp.ru> (2012.07.10)
- [15] <http://www.martin-baker.com> (2012.07.10)
- [16] <http://www.brsaerospace.com> (2012.07.10)
- [17] <http://www.galaxy.lead-crm.eu> (2012.07.10)
- [18] <http://www.ejection-site.com> (2012.12.03)
- [19] <http://www.airliners.net> (2012.12.03)

Szaniszló Zsolt<sup>1</sup>

## ŰRHAJÓSOK EJTŐERNYŐVEL II. AZ AMERIKAI ASZTRONAUTÁK<sup>2</sup>

*Az amerikai űrrepülő-program lezárását követően a Nemzetközi Űrállomás személyzeteit napjainkban az orosz kozmikus ipar Soyuz-TMA űrhajói juttatják el szolgálati helyükre, majd vissza a Földre. A hajdani szovjet, harmadik generációs űreszköz legújabb modifikációjának vészmentő berendezése, valamint ejtőernyőrendszere tervezetten még több évtizedig (!) szolgálja az űrhajósok együttes biztonságát. Előfordulhat viszont olyan jellegű különleges eset is az űrrepülés, illetve az arra történő felkészülés során, amikor a személyzet tagjainak el kell hagyniuk a kozmikus eszköz vagy a kiképző berendezés fedélzetét, és életüket csak egyéni mentőernyőik megléte és azok szakszerű használata garantálhatja. A 2012. évi Szolnoki Repüléstudományi Konferencia programjában szereplő „Űrhajósok ejtőernyővel I. A szovjet/orosz kozmonauták” című tanulmányom a szovjet, illetve orosz emberes űrrepülő programok során alkalmazott pilóta mentőernyőkkel foglalkozott. Jelenlegi munkám ennek folytatása: az egykori „rivális”, az Amerikai Egyesült Államok asztronautáinak készített egyéni ejtőernyős mentőberendezéseit mutatja be. Ezt a tanulmányt a múlt évben elhunyt Neil Alden Armstrong, valamint a tíz évvel ezelőtt katasztrófát szenvedett Columbia űrrepülőgép asztronautáinak emlékére ajánlom.*

### SPACEMEN WITH PARACHUTES II. THE AMERICAN ASTRONAUTS

*After the closure of the manned Space Shuttle-program, these days crews of the International Space System are commuting to the place of their service and back to the Earth, by the Soyuz-TMA spacecrafts, the products of the Russian Space Industry. The most sophisticated version of the former Soviet 3<sup>rd</sup> generation spacecraft has been designed to symbolize the collective security of the spacemen for many decades. During the training period and space missions may happen some special case or when crew members must escape the board of the spacecraft or training vehicle, and their lives highly depend on the availability and the proper usage of the individual, emergency parachutes. There was the Flight Science Conference in Szolnok in 2012 on the subject: employing of the pilot emergency parachutes in the history of the Soviet or Russian manned space programs. Here I presented my study titled “Spacemen with parachutes (part one). The Soviet cosmonauts”. Related to this subject in my recent study I work on: the astronauts individual emergency parachute systems invented in the United States of America, the former “rival” of the Soviet Union at that time. This study is dedicated in memory of Neil Alden Armstrong who died last year, and the memory of the astronauts of Columbia Space Shuttle who lost their lives in a catastrophe one decade ago.*

## BEVEZETÉS

Az emberiség utolsó nagy kalandjaként a világűr meghódítása, illetve az ember Hold felszínére történő lépésének technikai biztosítása nemcsak új kihívást, hanem speciális lehetőséget is jelentett a II. világháborúban megerősödött egyik szuperhatalomnak, az Amerikai Egyesült Államoknak. Esélyt adott rá, hogy nemcsak politikai ellenfelének, a Szovjetunióknak, hanem a világ közvéleményének is megmutathassa technikai tudása szinte végtelen lehetőségeit. Nem kitérve

<sup>1</sup> okl. mk. százados Nemzeti Közlekedési Hatóság, Légügyi Hivatal, Állami Légügyi Főosztály, Állami Repülési Osztály, Szaniszló.Zsolt@nkh.gov.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Óvári Gyula ny. okl. mk. ezds., egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu



a cél politikai aspektusaira, tanulmányomban az Egyesült Államok „emberes” űrrepülő-programjaiban vészhelyzeti alkalmazásra tervezett, – a valóságban csak háromszor használt – egyéni ejtőernyős mentőberendezéseket tisztán technikai oldalról, repülő-műszaki, repülő-hajózó, illetve ejtőernyős szemmel fogom vizsgálni.

Noha a szovjet birodalom több területen előrébb járt az űrversenyben, ez a kezdeti technikai előny egyre csökkent: a nyugati rakétatechnika és a visszatérő rendszerek dinamikus fejlődése is eljutott arra a szintre, hogy a kísérleti állatokat (majmok, teknősök stb.) után, az ő részükről is lehetővé vált az ember biztonságos kijuttatása a világűrbe. Arról viszont nem szabad megfeledkeznünk, hogy az űrrepülés csak akkor tekinthető sikeresnek, ha az űrutas(ok) az adott feladat végrehajtását követően sérülésmentesen térnek vissza bolygónk felszínére.

Az embert szállító űreszközök alkalmazása kezdetén az amerikaiak – a szovjetektől eltérő módon, akik a szárazföldön landoltak –, a leszállóegység vízfelszínre történő visszatérést választották a fedélzeten elhelyezett ejtőernyőrendszer segítségével, így biztosítva a személyzet sérülésmentes földetérését. Mivel vészhelyzet az indítás, a kozmikus pályára állás közben és után, vagy az onnan történő visszatérés során is bekövetkezhet, gondoskodni szükséges a repülés e fázisaiban is a fedélzeten tartózkodók megbízható mentésről.

Az ejtőernyős technika korszerűsödése és megfelelő módon végbemenő, űreszközökre történő adaptációja megfelelő választ adott az előzőekben felsorolt vészhelyzetek egy részének megoldására. Vagyis: az indítóállásban, valamint a keringési pályára állás kezdeti emelkedési valamint a visszatérés adott sebességi- és magassági paraméterekkel jellemezhető szakaszaiban, semmi más nem menthette meg az asztronauták életét, mint a kollektív, vagy a személyi mentőberendezésük, azaz, a leszállóegység és/vagy a pilóta ejtőernyőjének megléte.

Az egyéni mentőeszközök kifejlesztése során, azon belül a személyi mentőejtőernyők vészhelyzeti alkalmazhatóságát vizsgálva olyan különleges ejtőernyős ugrások végrehajtására is sor került – pl. a második generációs, kétszemélyes Gemini<sup>3</sup> űreszköz esetében –, amelyeknél az asztronauták részére tervezett egyéni mentőeszközöket speciális körülmények között, a sztratoszférából végrehajtott ejtőernyős ugrás során is teszteltek. Az ekkor felállított magassági ugrás rekordját csak a közelmúltban sikerült megdönteni.

Az aktuális űrprogramokra történő felkészülés során alkalmazott kiképző repülőeszközök sok esetben szintén nem nélkülözheték az ejtőernyős mentőberendezések meglétét, és az amerikai űrrepülés történetében volt, amikor ez életet is mentett. Például a nemrég elhunyt Neil Alden Armstrongra – a Hold felszínére lépő első emberre – holdprogram végrehajtására történő egyik felkészülési gyakorlat során egy speciális repülőeszközből katapultált sikeresen, így 1969. július 21-én elmondhatta a mindenki által jól ismert mondatot,<sup>4</sup> amellyel Földünk kísérőjének felszínére lépett.

A későbbiekben megjelent, majd napjainkra nyugállományba helyezett űrrepülőgép-flotta tagjainak fedélzetére csak a Challenger Űrrepülőgép katasztrófáját követően (!) állítottak rendszerbe egyéni

<sup>3</sup> (ang. „Ikrek”).

<sup>4</sup> „That's one small step for a man, one giant leap for mankind.” (ang. „Kis lépés az embernek, de nagy lépés az emberiségnek...”)



ejtőernyős mentőeszközöket minden asztronauta számára. Viszont ezek is csak meghatározott körülmények között garantálhatták közel 100 %-osan a személyzet túlélését, rendeltetésszerű használatuk esetén. Erre pedig egy évtizeddel ezelőtt 7 embernek nem adta meg a sors az esélyt.

## A „KOZMIKUS” EJTŐERNYŐTECHNIKA TERVEZÉSE, A „HAGYOMÁNYOS” EJTŐERNYŐK ADAPTÁCIÓJA AZ ÚJ KÖVETELMÉNYEKHEZ

Az ejtőernyő olyan speciális légijármű, [1] amely a rá erősített test (teher) zuhanását esés közbeni kinyílással fékezi. Mindkettő csak légellenállás hatására – tehát levegőben – jöhet létre. Az ernyő szabadon eső test sebességét a troposzférában 45–55 m/s-os sebességről, 5–13 m/s-os értékre lassítja, mely a biztonságos, sérülés nélküli földetérés feltétele. Az ejtőernyővel személyek, tárgyak, haditechnikai eszközök, űreszközök földre (vízre) juttathatók, illetve járművek haladási sebessége is csökkenthető velük [2].

Azzal kapcsolatosan, mennyire bonyolult dolog is egy ilyen közlekedési eszköz tervezése, idézzük a híres ejtőernyő-aerodinamikus Theodore Knacke<sup>5</sup> gondolatait: *„Ejtőernyőt tervezni egészen más dolog, mint repülőgépszárnyat: itt nincs egyetlen stabil dimenzió sem. – Minden mozog és változik. A repülőgépek aerodinamikája állandó állapotokat vizsgál, de a nem elsősorban életmentésre szolgáló ejtőernyők kinyílásához még ma sem találunk matematikai egyenletet. A légáramlás ugyanis pillanatonként változik. Nem lehet tehát egyszerűen számítógépbe vinni sem a kupolás-, sem a paplanernyőt, és megnézni hogyan viselkedik.”* [3]

Az ejtőernyőrendszerek tervezésének gyakorlatában a két későbbi űrnagyhatalom közötti alapvető különbség, hogy a tervgazdálkodást folytató Szovjetunióban az űreszközök leszállító berendezéseivel kapcsolatos munkákkal mindig egy adott tervezőirodát bíztak meg, amely feladatot általában más kutatóintézetekkel közösen, [4] állami irányítás alatt végezte, míg az Amerikai Egyesült Államokban a különféle „kozmosz” problémák technikai megoldására pályázatokat kiírva versenyeztették az űr- és repülőipari cégeket. Ezek külön-külön tervezték meg az ejtőernyőrendszereket az adott feladatra, amelyek közül a NASA<sup>6</sup> választotta ki a számára megfelelőt. Ez a gyakorlat napjainkban is változatlan.

Az ejtőernyő tervezés komolyságát, annak tudományos jelentőségét már 1964-ben felismerték az Amerikai Egyesült Államokban, így attól az évtől kezdve az AIAA<sup>7</sup> kisebb kihagyásokkal két évente konferenciát szervez az aerodinamikai fékezőeszközökről,<sup>8</sup> amelynek anyagait (előadásait) folyóiratban, illetve önálló kiadványban terjesztik.

A különálló kutatások és fejlesztések gazdaságosabbá tétele érdekében 1997-ben létrehozták a

---

<sup>5</sup> Nevezett személy a második generációs Gemini, majd a harmadik generációs Apollo űrhajók leszállóegységeinek visszatérését biztosító ejtőernyőrendszerek tervezésében játszott kiemelkedő szerepet.

<sup>6</sup> National Aeronautics and Space Administration (ang. „Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal”)

<sup>7</sup> American Institute of Aeronautics and Astronautics (ang. „Országos Repülésügyi és Űrkutatási Intézet”)

<sup>8</sup> Aerodynamic Decelerator Technology Conference (ang. „Aerodinamikai Sebességcsökkentési Technológiai Konferencia”)





NPTC<sup>9</sup>-t a következő alapító tagok: a NASA, a USSOCOM<sup>10</sup>, a USDA<sup>11</sup>, a USDOE<sup>12</sup>, a USMC<sup>13</sup>, a USAF<sup>14</sup>, a USA<sup>15</sup> és a USN<sup>16</sup> együttműködésével [5].

## AZ ŰRHAJÓSOK SZEMÉLYI EJTŐERNYŐJÉNEK ALKALMAZÁSA A FÖLD KÖRÜLI PÁLYÁRÓL TÖRTÉNŐ VISSZATÉRÉSI SZAKASZ SORÁN

Mivel az Amerikai Egyesült Államok emberes űrprogramjának visszatérési „filozófiája” egyértelműen a vízfelszínre történő leszállást részesítette előnyben, ez a tervezett megvalósítási cél alapvetően meghatározta az űrutasok személyi ejtőernyőinek alkalmazhatóságát is. Elsősorban ez indokolta azt, hogy az amerikai leszálló rendszerek mérnökei – szovjet kollégáikkal ellentétben – a Földre történő, rendeltetésszerű visszatérési manőver során nem gondolkodtak sem a leszállóegység személyi ejtőernyővel történő elhagyásában, sem annak ún. puha leszállást biztosító hajtóműegységekkel való felszerelésében.

A bajba jutott űrjármű elhagyására kézenfekvő módon adódott – a sugárhajtású repülés elterjedésével egyre szélesebb körben teret hódító, de még meglehetősen kezdetleges – katapultülés alkalmazása. Mivel az akkor már a hanghatárt is átlépő, és valamilyen különleges helyzetbe került, véglegesen irányíthatatlanná vált, egyetlen repülőeszköz hajózószemélyzete sem nélkülözhetette ezt az életmentő szerkezetet a biztonságos gépelhagyás során, így egyértelművé vált, hogy a mérnököknek meg kell oldaniuk a már meglévő katapultülések és pilóta mentőejtőernyők felhasználhatóságát az első generációs emberes űrjárművek esetére is. Vagyis az asztronautáknak csakis vészhelyzet esetén kellett (mivel mindannyian vadászrepülőgép vezetők voltak) – a korábbi felkészítésük során elsajátított módon – elhagyniuk az űreszközt és személyi ejtőernyőjük segítségével biztosítani a saját túlélésüket. A normál tervezett visszatérés során végig a járművükben maradtak, így továbbra is eleget tehetnek a FAI<sup>17</sup> rekordok hitelesítésére vonatkozó előírásainak.<sup>18</sup>

<sup>9</sup> National Parachute Technology Council (ang. „Országos Ejtőernyő Technológiai Tanács”)

<sup>10</sup> United States Special Operation Command (ang. „Egyesült Államok Különleges Műveletek Parancsnoksága”)

<sup>11</sup> United States Department of Agriculture (ang. „Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériuma”)

<sup>12</sup> United States Department of Energy (ang. „Egyesült Államok Energiagazdálkodási Minisztériuma”)

<sup>13</sup> United States Marine Corps (ang. „Egyesült Államok Tengerészgyalogsága”)

<sup>14</sup> United States Air Force (ang. „Egyesült Államok Légierije”)

<sup>15</sup> United States Army (ang. „Egyesült Államok Hadserege”)

<sup>16</sup> United States Navy (ang. „Egyesült Államok Haditengerészete”)

<sup>17</sup> Fédération Aéronautique Internationale (fr. „Nemzetközi Repülő Szövetség”)

<sup>18</sup> Ez azt jelentette, hogy a pilóta járművében szálljon fel és le az űrrepülési rekord során. A FAI által elkészített űrrepülési sportkódex Gagarin űrrepülését követően fogalmazta meg ezt a kritériumot, amely az amerikaiakkal kapcsolatosan teljesen reális volt, [6] szemben a leszállóegységből katapultáló és saját személyi ejtőernyővel visszatérő Vosztko-kozmonautákkal.



## AZ ŰRHAJÓSOK SZEMÉLYI EJTŐERNYŐINEK ALKALMAZÁSA A STARTHELYEN, A FÖLD KÖRÜLI PÁLYÁRA ÁLLÁS ÉS A VISSZA- TÉRÉSI SZAKASZ SORÁN BEKÖVETKEZŐ VÉSZHELYZET ESETÉN

### **Az első generációs Mercury<sup>19</sup> űrhajó vészhelyzeti mentőrendszerének ejtőernyői**

A Mercury űrhajó leszállóegységét – az előbbieken megfogalmazottaktól eltérő, – szokatlan módon nem katapultüléssel, hanem egy ún. mentőtoronnyal szerelték fel, amelynek fő elemeit egy rácsszerkezet végén egymással párhuzamosan elhelyezett, két különálló, szilárd hajtóanyagú rakéta jelentette. Ezek kezdetben az MR Redstone, majd későbbiekben az MA Atlas-D típusú hordozórakéta esetleges meghibásodása esetén léptek volna működésbe, egymástól teljesen eltérő feladattal, a vészhelyzet bekövetkezése helyétől függően.

Az üresközt magába foglaló burkolat csúcsán elhelyezkedő kombinált berendezés tulajdonképpen mentőrakétája a starthelyen bekövetkező azonnali menekülést biztosította az asztronautának. Az ebben az esetben az űrhajós által kézi vezérléssel működésbe hozható, három mentőrakéta, összesen 236 kN nagyságú tolóerőt kifejtve, egyszerűen „letépi” az űrkabint a hordozórakéta csúcsáról, majd – az indítóállványhoz viszonyított – 700 m-es magasságba emeli fel, ahol a kabin 19,2 m-es átmérőjű, tartalék „Ringsail” ejtőernyője, saját nyitóernyője által már képes belobbanni. Utóbbi szerepét egy speciális fékező ejtőernyő látja el, melyet az ejtőernyőtartályból egy csatolótaggal ellátott speciális minirakéta húz ki a légáramlatba.

A folyamat ugyanígy játszódik le az orbitális pályára állás kis magasságú szakaszán is.

A hordozórakéta indítási folyamata után, az azt követő kritikus szakaszon túljutva lép működésbe a kisebb, mindösszesen 3,5 kN tolóerejű, egyfűvókás rakétahajtómű, amely a - szerencsés esetben alkalmazásra nem került –, teljes nagyságában 6,2 m-es hosszúságú mentőrakétát távolítja el a hordozórakéta orr-részeről.

A tervezők eredeti elképzelései alapján – annak ellenére, hogy katapultülés maga nem volt beépítve az űrhajóba, valamint az űrkabin bűvónyílásának méretei is meglehetősen kicsik voltak –, a Mercury-asztronauták egy mellkasra szerelt 7,32 m-es átmérőjű, személyi tartalék ejtőernyőt is magukkal vittek az űrkabin szükségszerűen történő elhagyásához. [7] Ezt minden bizonnyal már a saját, jól felfogott érdekében alkalmazta volna az amerikai űrhajós, hasonlóan szovjet kollégájához.<sup>20</sup> Viszont míg utóbbi, a Vosztok űrhajó katapultülése segítségével hagyta el a meghibásodott repülőeszközt, addig ő „a klasszikus módon”, a kabinjából kimászva, attól elrugaszkodva, zuhanás közben nyitotta ki személyi az ejtőernyőjét.

Ez az eljárás mindenképpen az asztronauta biztonságát szolgálta volna, de csak abban az eset-

<sup>19</sup> (ang. „Merkur”)

<sup>20</sup> A szovjet első generációs Vosztok űrhajók kozmonautái kivétel nélkül a katapultálás mellett döntöttek a visszatérési folyamat során. Ennek oka egyértelmű: mivel még nem volt technikailag megoldva az ún. "puha leszállás" végrehajthatósága, ezért a kozmonauták dönthettek arról, hogy vagy a saját pilóta mentőernyőjükkel, a kabinból függetlenül, vagy a kabinban maradva, annak ejtőernyőjével érnek földet. Erre részletesen kitértem az „*Űrhajósok ejtőernyővel I. A szovjet/országi kozmonauták*” című, 2010-ben megjelent tanulmányomban.

ben lett volna rá szükség, amikor a mentőrakétás menekülést követően nincs biztosítva a vízfelszínre történő landolás, bár az utóbbihoz kabint speciális energiaelnyelővel látták el, a becsapódás csillapítására. Ennek viszont vajmi kevés hatása lett volna az indítóállványról történő menekülést követő, szárazföldre történő ejtőernyős leereszkedéskor.

Az első amerikai űrugrást végrehajtó Alan Shepard, feladatának teljesítését követően jelentette, hogy az ejtőernyőcsomag akadályozta az űrhajó kézi vezérlőszerveinek használatában, így az a döntés született, hogy az asztronauták a további repülések során, csak saját, külön kérésükre vihetik magukkal a fedélzetre személyi ejtőernyőjüket.

Bár többnyire általánosságban igaz, hogy a pilóták körében az ejtőernyő és annak használata nem igazán népszerű,<sup>21</sup> és mindent meg is tesznek azért, hogy fizikailag is a lehető legtávolabb kerüljenek tőle, a Mercury űrhajósai mégis mind a mentőejtőernyő viselése mellett döntöttek [9]. Alkalmazásukra azonban a Mercury repülések során soha nem került sor.

### **A második generációs Gemini űrhajó vészhelyzeti mentőrendszerének ejtőernyői**

A Gemini Titan-II típusú hordozórakétáit nitrogén-tetraoxid és Aerozin-50<sup>22</sup>-ből álló folyékony keverékkel töltötték fel [11], így azok indítóállásban történő meghibásodása esetén bekövetkező esetleges robbanásokor keletkező „tűzlabda” mérete is lényegesen kisebbre adódott volna. Éppen ezért előnyösebbnek tűnt a személyi katapultülések használata a kétfős személyzet részére, mint a teljes űrkabin leválasztása és ún. mentőtoronnyal történő eltávolítása a hordozórakéta orr-részeről, majd megfelelő távolságra az egész komplexum földetérésének biztosítása ejtőernyővel. A Gemini katapultüléseit úgy tervezték, hogy megfeleljenek a vonatkozó, korabeli legmagasabb megbízhatósági követelményeknek.

Mivel az üléseknek nagy repülési sebességen is alkalmasnak kellett lenniük feladatuk ellátására, így mind a működési sorrendjük, mind az indításuk utáni stabilizált helyzetük biztosítása – a bennük ülő asztronautával együtt – legalább annyira komoly kihívást jelentett a tervezőknek, mint az asztronauta szabadesésben történő zuhanási testhelyzetének stabilizálása az üléstől történő elválása után. Ez utóbbi azért fontos, mert a katapultülésre, valamint az azt elhagyó ejtőernyősre a nagy magasságokban lévő ritka levegőben előforduló, nagy szögsebességű, intenzív forgások miatt olyan mértékű túlterhelések hathatnak, amely az ugró cselekvésképtelenségét is előidézhetheti.

Az első problémát úgy sikerült szerkezetileg megoldani, hogy a két ülés hossz tengelyét egymással 24° -os szöget bezáróan építették a kabinba [12] így egyszerre mehetett végbe a katapultálás folyamata (1. ábra).

---

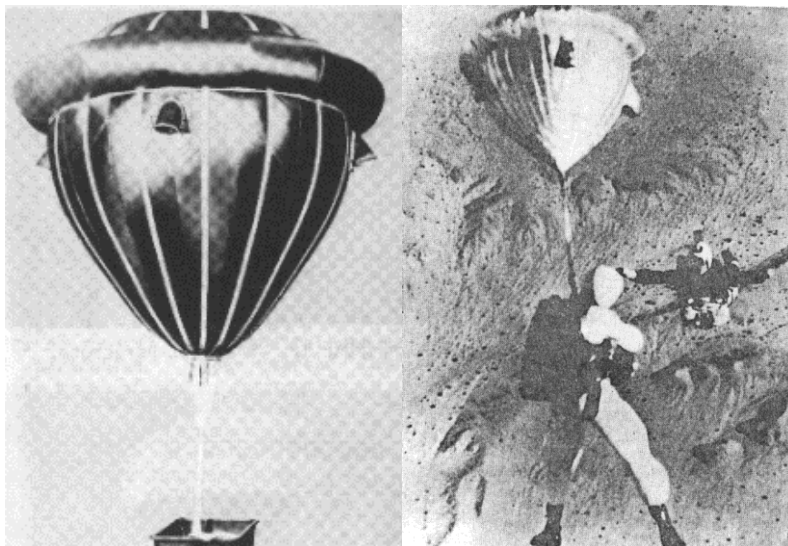
<sup>21</sup> A szovjet, illetve orosz, többnyire a légierőtől érkezett űrhajósok közül sokan több száz ejtőernyős ugrással is rendelkeznek. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy az asztronauták között ne lennének a bátrak sportjának, az ejtőernyőzésnek szerelmesei. Az alapigazság abban rejlik, hogy a drága pénzen kiképzett amerikai űrhajósok részére – a szovjet/orosz kiképzéssel szemben - az ejtőernyős sporttevékenység szigorúan tiltott dolog volt, [8] elsősorban azért, nehogy valaki is feleslegesen megsérüljön, vagy esetleg életét veszítse egy ejtőernyős ugrás során.

<sup>22</sup> Aszimmetrikus dimetil-hidrazin és hidrazin 50%-os keveréke. [10]



1. ábra. A Gemini űrhajó katapultrendszerének működési vázlata [13]

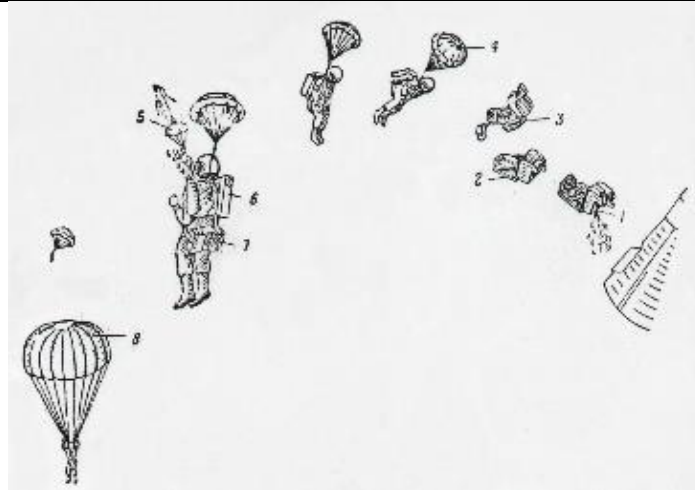
Az utóbbi probléma megoldására a Goodyear cég két különböző – az egy-, valamint a két felfüggesztési ponttal ellátott - ún. „Ballute” konfigurációjú stabilizáló ejtőernyőt fejlesztett ki (2. és 3. ábra).



2. és 3. ábra A „Ballute” ejtőernyő felépítése és alkalmazása, ejtőernyős ugrás során [14]

A bal oldali képen az ejtőernyő általános szerkezete, a jobb oldalin az egy felfüggesztési pontos változatának stabilizáló ejtőernyőként való alkalmazása látható, Charles Laine által 1963. november 22-én. Az utóbbi képen jól megfigyelhető az ejtőernyő-beugróval szemben zuhanó, sisakkamerával ellátott légi operátor, akinek feladata a kísérleti ugrás – és így a vizsgált „Ballute” ejtőernyő működésének – képi dokumentálása

A tervezők a kezdeti egy felfüggesztési pontos, 0,91 m-es átmérőjű „Ballute” stabilizáló ejtőernyő helyett végül a két ponton rögzített, és 1,21 m-es átmérőjűre növelt változat alkalmazása mellett döntöttek. A katapultülések 21300 m-es repülési magasságig és 2,86-os repülési Mach-szám értékig alkalmazhatóak voltak. A katapultálást és a mentőernyő működésének folyamatát a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra A Gemini katapultülésének, valamint az asztronauta mentőernyőjének működési vázlata [15]  
 1 – rakétahajtómű, amely a katapultülés pilótával együtt történő kivetéséről gondoskodik; 2 – katapultülés; 3 – ejtőernyők az ejtőernyőkkel; 4 – felfújható ballon, amely az ugró stabilizálásáról gondoskodik; 5 – kihúzó ejtőernyő; 6 – ejtőernyők a tartalék ejtőernyővel; 7 – a vészhelyzeti mentőrendszer oxigéntartályai; 8 – főejtőernyő (8,5 m-es átmérőjű)

Az asztronautákat az Amerikai Egyesült Államok Légierében rendszeresített, konvencionális kialakítású C-9 típusú ejtőernyő-rendszerrel szerelték fel (5. és 6. ábra).



5. és 6. ábra A C-9 típusú pilóta mentőernyő és a kupolán elhelyezett gyártó cég jelzése [16].  
 A felirat alapján jól látható, hogy az adott ejtőernyőt az Amerikai Egyesült Államok Légieréje részére készítették, 1952. decemberében

A pilóta mentőernyőt egy, – a szovjet kozmonautákéhoz hasonló – biztonsági automatával is ellátták, amely a tengerszinthez viszonyított 580 m-es, barometrikus nyomással megegyező magasságon kezdi meg a nyitási folyamatot [17] abban az esetben, ha ezt az ejtőernyős ugró valami miatt, kellő időben nem hajtotta végre.

A katapultülés következő minősítő tesztelésénél a NASA 4500 m-es magasság alá korlátozta a működés alkalmazhatósági határát, azért, hogy elkerülhető legyen az űrkabin és a rakéta első fokozatának levegőben történő összeütközése, valamint növeljék az űrhajós vízi túlélési képességét.

A Gemini mentőrendszerek csak néhány héttel az első emberi személyzettel ellátott űrrepülésük előtt fejezték be minősítő tesztjeiket. Az asztronauták – minden bizonnyal egy sikertelen bábús



próba hatására<sup>23</sup> – nem különösebben bíztak a szerkezet működésében, így különösebben senkinek sem okozott meglepetést, amikor 1965. december 12-én, a Gemini-6-A startja közben, a hordozórakéta indító fokozatának leállításakor a személyzet parancsnoka, Walter Marty Schirra nem a katapultálást választotta. Végül a katapultülések tényleges alkalmazására az űrrepülés történetében, a Gemini küldetések során sohasem került sor.

## A Space Shuttle vészhelyzeti mentőrendszerének ejtőernyői

Az űrrepülőgép vált az első amerikai ember vezette űrjárművé, amely – a második generációs szovjet Voszhoz<sup>24</sup> űrhajókhöz hasonló módon –, a tényleges alkalmazás kezdetén még nem rendelkezett az indítóállásban is működtethető vészrendszerrel.

Azért, hogy legalább a starthelyzetben, közvetlenül a hordozórakéta indítási folyamata előtt mégis legyen egy minimális esély a(z űr)repülő- és a földi személyzet menekülésére, kétféle – de nem ejtőernyős – módszert alkalmaztak:

1. Kezdetben az űrrepülőgép bejárati nyílásán történő kiszállást, majd a kiszolgáló toronyra történő átjutást követő, liften történő menekülést alkalmazták. A későbbiekben ez kiegészült egy ferde drótkötélpályán történő, kétszemélyesre épített, speciális gondolákban történő meneküléssel, amely az indítóállástól 365 m-es távolságra juttatja el a maximálisan 12 főt.<sup>25</sup>
2. A másik problémát a leszállási fázis során esetlegesen bekövetkező vészhelyzetek megoldatlansága jelentette, ugyanis már az űrrepülőgép tervezési fázisában is bizonyos volt az, hogy – szerkezetéből adódóan - repülőgépszerű leszállást csak a repülőprogram szerint tervezett, szilárd burkolatú és kellően hosszú leszállópályára lehetséges végrehajtani. Az esetleges kényszerleszállás rossz minőségű szárazföldre, vagy esetleg vízfelszínre, kétségessé tette a személyzet túlélését.

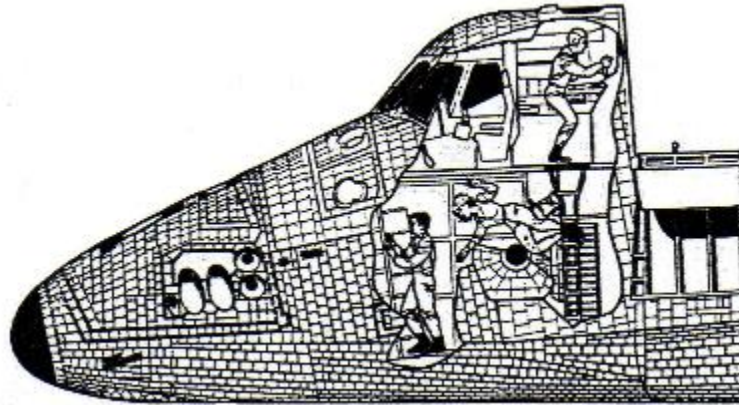
Ennek ellensúlyozásaképpen a tervezők az eredeti űrrepülőgép-program biztonságosabbá tétele érdekében szilárd hajtóanyagú mentőrakéták felhasználásával kívánták a személyzet biztonságát garantálni, [19] ugyanis mind az egyéni, mind a csoportos katapultálás végrehajthatóságának lehetősége korlátokba ütközött. Az űrrepülőgép kabinjának szerkezeti kialakítása (7. ábra) egyszerűen lehetetlenné tette, hogy a személyzet minden tagjának munkahelyére katapultülést lehessen beépíteni, s így vészhelyzet esetén mindenki biztonságosan azzal menekülhessen.

---

<sup>23</sup> Az asztronauták szemtanúi voltak a vészmentő berendezés egy gyakorlati tesztelésének, starthelyzetben bekövetkező katasztrófa szimulációs gyakorlata keretében. A katapultülés a le nem dobódott bűvönnyíláson keresztül távozott, lefejezve az űrhajóst jelképező bábút. [18]

<sup>24</sup> Восток (or. „Napkelte”).

<sup>25</sup> Ebbe a létszámba beletartozott az a 6 fő technikus is, akiknek az érvényes szabályozók szerint csak az indítást megelőző 30. percen kellett elhagynia a kiszolgálótoronyt. Összesen 6 db mentőgondola állt készenlétben az űrhajósok, valamint a földi kiszolgáló személyzet mentésére. Ez kétfős asztronauta-személyzet esetén 50%-os „ráhagyással” biztosított helyet minden menekülőnek. Teljes, 8 fős személyzet esetén természetesen volt, akinek csak a liften jutott volna hely.



7. ábra Az űrrepülőgép kétszintes kabinjának szerkezeti kialakítása [20]

Az asztronauták „mentési fontosság” szerinti besorolására, azaz, hogy a teljes személyzet egyes tagjai katapultülésben foglaljanak helyet, míg mások kedvezőtlenebb módon, vagy sehogyan sem biztosított az űrjármű vészelhagyása, szóba sem kerülhetett. Etikai szempontból csak lehet(ett) elfogadható biztonsági célkitűzés, hogy „*vagy mindenkint megmentenek, vagy senkit*”. [21]

Az elmélet gyakorlatba történő átültetését jelentette, hogy a repülés során bekövetkező mentés érdekében csak az űrrepülőgép-típus berepülését végző kétszemélyes OV-102 Columbia-t látták el katapultrendszerrel, amely a következőképpen garantálta a(z űr)hajózószemélyzet biztonságát.

Az indítóállástól mért 24000 m-es magasságtartományig, a repülési sebességet tekintve pedig 2,7 Mach értékig szavatolt működésű katapultülés saját ejtőernyővel rendelkezett, amely egy darab 1,98 m-es átmérőjű fékező szalag ejtőernyőből, egy darab 1,02 m átmérőjű kihúzó/nyitó, valamint egy darab 10,6 m-es átmérőjű (kb. 88 m<sup>2</sup> felületű) főejtőernyőből állt. Automatikus üzemmódban kétféle magasságtartományban, eltérő módon működhetett:

- $H > 4500$  m-es magasság feletti katapultálás esetén a fékező ejtőernyő biztosítja az ülés stabilitását és gyors ereszkedését 4500 m-es magasságig. Ezt követően végbemegy az asztronauta leválasztása az ülésről, majd működésbe lép a nyitó- és a főejtőernyő.
- $H < 4500$  m-es magasság alatti katapultálás esetén a fékező ejtőernyő lefékezi az ülést és stabilizálja a helyzetét, majd 1,6 s-mal a katapultálási folyamat kezdete után, illetve 0,2 s-mal az asztronautának az ülésről történő leválasztása után, szintén egy – már a Mercury-program pilótaernyőjénél említett, – ún. „ágyú”, vagyis egy csatolótaggal el-látott minirakéta hozza működésbe a kihúzó/nyitó ejtőernyőt.

Abban az esetben, ha a katapultálás után az ejtőernyőrendszer automatikus működése nem indul be, az asztronautáknak lehetőség van a kézi nyitási folyamat megindítására is. A pilótaernyő hevederzetének bal oldali vállrészén található kézi kioldófogantyú meghúzásával az ejtőernyőrendszer elválik az „ágyú”-tól és megkezdődik önálló nyílási folyamata. [22]

Mivel az egyetlen (!) emberi személyzettel végrehajtott berepülés során semmilyen repülésre veszélyes esemény nem következett be, ezért a – csak a gépparancsnok és a másodpilóta részére kialakított – katapultüléseket az űrrepülő-programban sorrendben ötödik orbitális repülést követően leszerelték. [23]

Az űrrepülőgép-flotta tagjaival végrehajtott feladatok a repülési programoknak megfelelően zavartalanul haladtak, egészen az 1986. január 28-án bekövetkezett Challenger-katasztrófáig. A tragikus repülőesemény kivizsgálásával megbízott Rogers-bizottság a fedélzeti adatrögzítő felvétele alapján arra a következtetésre jutott, hogy a viszonylag egy darabban maradt kabinban a személyzet túlélte a robbanást, majd a kabin dehermetizációja, illetve a vízbe csapódás során veszítették életüket. [24]

A tragédia átértékelésre készítette az Amerikai Egyesült Államok űrkutatási programjának biztonsági rendszabályait, így a Challenger-vizsgálat következtetéseinek megfelelően a NASA személyi ejtőernyős mentőrendszert terveztetett az asztronauták vészhelyzeti mentésére. A pályázati kiírás szerint ennek a fel- és leszállás meghatározott repülési sebességű és magasságú fázisaiban alkalmasnak kellett lennie a repülőgép biztonságos vészelhagyására.

Egyértelmű volt, hogy az űrrepülőgép elhagyását mindkét esetben egyénileg, katapultülés használata nélkül kell végrehajtania a személyzetnek, majd saját ejtőernyővel földet érni. De kétségtelen volt az is, hogy hatalmas különbség van a hagyományos, illetve az űrrepülőgépből történő ejtőernyős ugrás végrehajtása között. Az orbitális pályára állás szakaszában a repülőeszköz egy tűz- és robbanásveszélyes szerkezet „hátán”, folyamatosan emelkedő pályán, egyre gyorsuló mozgással halad, míg a leszállási szakaszban szintén nagy sebességgel, kb.  $-16^\circ$  –os állásszöggel süllyed a leszállópálya irányába. Vagyis felszállás során először az űrkomplexum többi alkotóelemétől – az SRB<sup>26</sup>-ktől és a hatalmas méretű üzemanyagtartálytól kell első lépésben megszabadulni – hatalmas mérete következtében óriási lökéshullám keletkezik az ún. orrpont előtt –, míg leszállás során az űrrepülőgép szárnyai és függőleges vezérsíkja jelenti a veszélyt a kiugró ejtőernyősre [26]. Azt pedig minden ejtőernyős tudja, hogy az ejtőernyő biztonságos belobbanásának egyik legfontosabb előfeltétele a levegőben (mivel elősegíti az ún. biztonságos „nyitási testhelyzet” felvételét): a biztonságos gépelhagyás. És ennek megvalósítására mégis csak ez a két fázis adódik.

A NASA megbízásából a Virginia állambeli LRC<sup>27</sup> mérnökei kiszámították, hogy a felszállási fázis során bekövetkező vészhelyzet esetén, speciális pályára állva lehetséges a komplexum biztonságos szeparációjára, majd azt követően 31,5 m/s-os süllyedési sebességgel elérhető az a 6000 m-es tengerszint feletti barometrikus nyomásnak megfelelő magasság, amely alatt, a repülési sebesség pedig 450 km/h alatti értékre történő csökkenése mellett az ejtőernyős vészelhagyás már biztonságosan végrehajtható. A leszállási fázis során bekövetkező vészhelyzet esetén szükségessé váló ejtőernyős vészelhagyás paraméterei ezzel megegyeznek. Az elképzelés szerint a fedélzeti számítógép gondoskodik automatikusan a siklási paraméterek betartásáról, miközben a személyzet tagjai a bal oldali zsilipajtónál várják a kiugrási parancsot.

Ezáltal elméletileg adott volt az egyéni ejtőernyős menekítés végrehajtásának lehetősége, ami csak akkor ér(t) valamit, ha azt a gyakorlat is alátámasztja. A biztonságos gépelhagyás még most sem volt teljesen rendben, ugyanis a bal oldali zsilipajtó és a nagyméretű szárny egymáshoz való

---

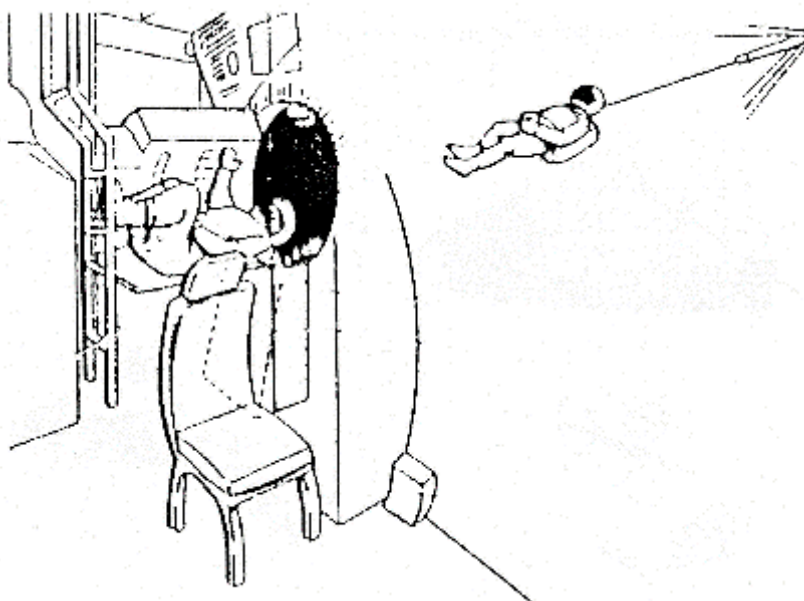
<sup>26</sup> Langley Research Centre (ang. „Langley Kutató Központ”).

<sup>27</sup> Solid Rocket Booster (ang. „Szilárd Hajtóanyagú Rakéta”). Ez tulajdonképpen 2 db gyorsítórakétát jelent, amelyek feladatukat végrehajtva az orbitális pályára állás során leválnak az űrrepülőgép-üzemanyagtartály komplexumról, majd ejtőernyő segítségével a tengerbe ereszkedve, kiemelésük után újra felhasználhatóvá válnak. [25]

helyzete felvetette az azzal történő összeütközés lehetőségét, amely az ugró súlyos sérülését vagy halálát okozhatja. Ennek igazolására számos kísérletet végeztek szélcsatornában, amelyek során az ejtőernyős ugrót helyettesítő, álló vagy ülő kiugrási testhelyzetet „felvett”, alumíniumból öntött bábuk – volt, amelyik a szárny belépőéléről a függőleges vezérsíknak, majd onnan vissza, ismét a szárnynak csapódott (!) – sérülései a kísérletek közel 100%-ában igazoltak. [27]

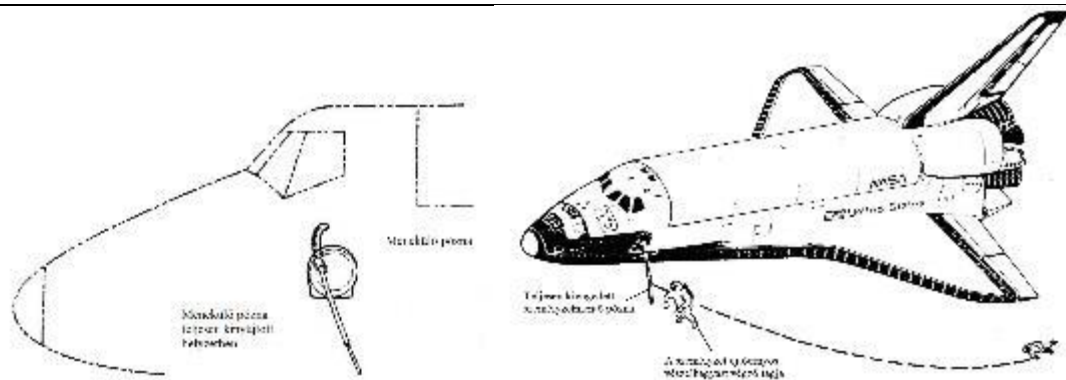
Az ugrónak a kiugrás során az ürrepülőgép sárkányszerkezetétől – elsősorban a bal oldali zsilipajtóhoz legközelebb lévő bal szárnytól – történő eltávolítására két lehetőség kínálkozott:

1. „Rakétás kivontató mentési terv”: a személyzettagok mentése a Mercury- és a Gemini-programok személyi ejtőernyőrendszerénél is említett, ún. „ágyú”, vagyis egy csatolótagra erősített minirakéta segítségével történik. A csatolótag az asztronauták hevederéhez erősítették, akik a vészelhagyást a lerobbantott bal oldali zsilipajtón keresztül - a szilárd hajtóanyagú katapultrakéta vonóereje által kirántva, és így az ürrepülőgép sárkányszerkezetét kellően eltávolodva – hajthatták végre (8. ábra).



8. ábra Az ún. „rakétás kivontató mentési terv” vázlata [28]

2. A „menekítő rudas, vagy póznás” koncepció szerint az asztronauták az ürrepülőgépet ugyancsak a bal oldali zsilipajtón keresztül hagyják el egy, az ajtón – a repülőgép szimmetriasíkjával és hossz tengelyével adott szöge(ke)t bezáróan - kibocsátott teleszkópikus rúdon végigcsúszva, amely ugyancsak lehetővé tette a sárkányszerkezetétől történő biztonságos eltávolodást (9. és 10. ábra).



9. és 10. ábra Az ún. „menekítő rudas, vagy póznás” mentési terv vázlatai [29].

A bal oldali ábra a zsilipajtón kinyúló teleszkópos rudat, a jobb oldali a távozó űrhajós várható, eltávolodási pályáját ábrázolja.

Az elképzelések gyakorlatba történő átültetését a China Lake-ben található NWC<sup>28</sup> kapta feladatul, [30] egy aktív haditengerész, – a USPA<sup>29</sup> tagsággal rendelkező, tapasztalt ejtőernyős – Robert Hudson vezetésével. A speciálisan felkészített csapat mindkét tervezetet megvizsgálta, végül a döntést a „rudas, vagy póznás” megoldás mellett hozták meg.

Eredetileg nem hajlékony, hanem merev rúd alkalmazásával tervezték a problémát megoldani, de a Houstonban található JSC<sup>30</sup> úszómedencéjében felépített zsilipajtó-maketten, majd egy átépített C-141 típusú repülőgépből 3000 m-es magasságon, 360 km/ó repülési sebesség mellett végrehajtott, több ugrásból álló kísérleti ugrássorozat hatására a hajlékony rúd alkalmazása mellett döntöttek. Ennek helyességét az 1988. nyarán, mindösszesen 87 db ejtőernyős ugrás keretében Hudson és öt ejtőernyős kollégája által végrehajtott, végső minősítő tesztorozat igazolta.

Ezt követte magának az ejtőernyőnek a tesztelése, amelyet már csak Hudson és az egyik ejtőernyő-beugró társa folytatott le, a valóságot teljesen megközelítő körülmények között, nyílt tengervíz fölött, 7600 m-es magasságból, 360 km/h repülési sebesség mellett (11. ábra). Erre a következőképpen emlékezett vissza maga a végrehajtó személy:

*„41-kg-os felszereléssel ugrottunk, pontosan azzal, amellyel az űrhajósokat is ellátták (ejtőernyő, egy részben túlnyomásos ruha, oxigén készülék, vízi túlélési felszerelés mentőtutajjal, plusz egy extra felszerelési cikk: előre szerelt tartalék-ejtőernyő.” [30]*

A teljes sikerrel végződött tesztelési folyamat eredményeként született meg a végül az űrrepülőgép személyzetek részére rendszeresített pilóta mentőernyő (12. ábra) rendszer, amelynek fő alkotórészén, a 7,92 m-es átmérőjű, fő ejtőernyő-kupolán már megjelent a kevlár erősítőszalagok alkalmazása. A főejtőernyő kupoláját egy 0,76 m-es átmérőjű stabilizáló/fékező ejtőernyő húzta ki a tokból az ugró aktív, vagy passzív közreműködésével, utóbbi esetben a beállított, 4200 m-es barometrikus nyomásnak megfelelő tengerszint szerinti magasságban történő működésbe lépő FXC 7000 típusú nyitó automata segítségével.

<sup>28</sup> Naval Weapons Center (ang. „Haditengerészeti Fegyverzeti Központ”).

<sup>29</sup> United States Parachutist Association Center (ang. „Egyesült Államok Ejtőernyős Szövetsége”).

<sup>30</sup> Johnston Space Center (ang. „Johnston Űrközpont”).



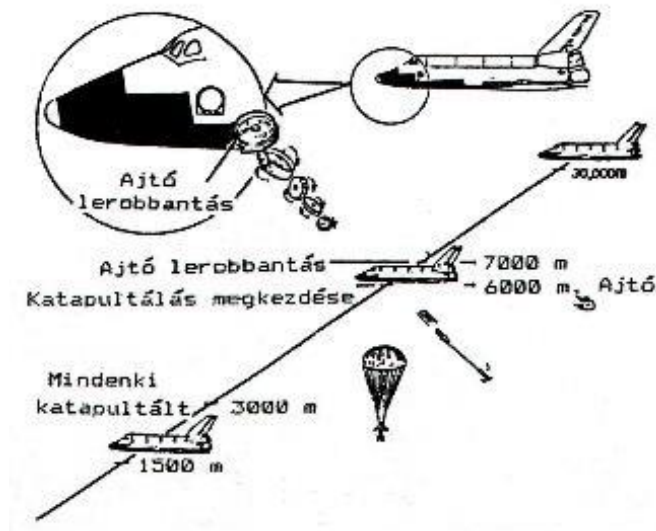


11. és 12. ábra A Space Shuttle egyéni ejtőernyős mentőrendszerének tesztelése a kísérleti ejtőernyős ugrás során [31]

A bal oldali képen jól megfigyelhető, hogy az ejtőernyő-beugró személy – az asztronauták részére tervezett háti ejtőernyő mellett - hason elhelyezett tartalék-ejtőernyőt is visel, valamint a mentőberendezés fontos elemét jelentő, teleszkópius működésű, hajlékony rúd. A jobb oldali kép a pilóta mentőernyőt ábrázolja, rajta a bal oldali hevederen elhelyezett kézi kioldó fogantyúval

A teljes fejlesztés eredményéről, valamint a feltett kérdéssel kapcsolatban, hogy a mentőberendezés tökéletesen fog-e működni egy esetleges későbbi szerencsétlenség esetén, Hudson a következőképpen nyilatkozott: „Adott a lehetőség, a rendszer a tervezet feltételein belül működni fog. A személyzet képes lesz arra, hogy biztonságosan ugorják.” [32]

Az 1990-től szolgálatba állított új mentőrendszer valamint a hozzájuk tartozó ejtőernyők alkalmazhatóságának magasságtartományát a 13. ábra szemlélteti.



13. ábra Az űrrepülőgép mentőrendszerének működési folyamatát szemléltető ábra [33]

Az ábrát megvizsgálva látható, hogy az űrjármű sikeres elhagyása akkor biztosított, ha 7000 és 6000 m-es magasság között megkezdik úgy, hogy a személyzet felkészülve a vészelhagyásra, felsorakozik a lerobbantható zsilipajtó mögött és várja a parancsot az ugrás végrehajtására [34].

Amennyiben a vészhelyzet hirtelen, minden előzetes jel nélkül, vagy a garantált magassági határon túl következik be, szinte egyáltalán nincs lehetőség a túlélésre. A Columbia személyzete (14. ábra) is emiatt veszítette életét 2003. február 1-én.



14. ábra Akiknek később a mentőrendszer sem segített ... [35]

A katasztrófát szenvedett STS-107 Columbia űrrepülőgép személyzete: Brown, Husband, Clark, Chawla, Anderson, McCool és Ramon

A repülés utolsó fázisának elemzése során a vizsgálóbizottság arra a következtetésre jutott, hogy az űrrepülőgép tragédiája – a sérült hőszigetelő burkolat miatt, a légkörben történő erőteljes felmelegedés hatására – hirtelen, robbanásszerűen következett be, a mentőberendezés alkalmazási határait jóval meghaladó, kb. 63 km-es magasságban. [36]

Hogyan is fogalmazott Hudson? „... *a rendszer a tervezet feltételein belül működni fog...*” Az ő esetükben a mentőrendszernek jóval azokon a határokon túl kellett volna biztosítania a mentési lehetőséget a személyzet számára, mint amire eredetileg megtervezték. „*És egy gép soha sem tudja túllépni képességeinek a határát. Az ember néha igen...*”

## A PILÓTA MENTŐEJTŐERNYŐ SZEREPE AZ ŰRHAJÓSOK REPÜLŐKIKÉPZÉSÉBEN

A ma mérnökének szemével nézve még kezdetlegesnek mondható korabeli katapultülések és egyéni védőeszközök biztonságos alkalmazhatósága természetesen a jövő személyzet előképzettségét is megkövetelte a kiképzési program tematikájának összeállításától.

A szovjet űrprogramok során alkalmazott kiválogatási módszerrel szinte tökéletesen megegyező módon, az első amerikai asztronautákat is elsősorban a katonai pilóták közül választották ki. Éppen ezért sokan gondolhatják úgy, hogy nekik már nem is kellett ejtőernyős kiképzé-

sen részt venniük, hiszen az ilyen jellegű ismereteket és gyakorlatot már repülő-hajózó pályafutásuk elején megszerezték. Ez a feltételezés csak részben igaz, de a téma sokoldalúsága miatt itt, néhány mondatban tökéletesen nem kifejthető. (Ezért, az asztronauták speciális ejtőernyős kiképzését, valamint a keleti és nyugati ejtőernyős kiképzési rendszerek közötti különbségeket egy másik, következő tanulmányban mutatom be.)

Így most csak az űrhajósok felkészítése során bekövetkező, pilóta mentőejtőernyővel kapcsolatos esetek közül ismertetek még egyet.

### **Az LLRV<sup>31</sup>/LLTV<sup>32</sup> kiképzőeszközökön alkalmazott mentő ejtőernyők**

Az amerikai holdraszállási program keretén belül, a speciális repülőkiképzésben különleges járművek alkalmazására is sor került, melyekkel az asztronauták a holdkomp leszállását gyakorolhatták. A Holdra történő leszálláskor alkalmazott, hidrogén-peroxid hajtóanyagú rakéta-hajtóművekkel felszerelt speciális leszálló eszköz, az ún Hold-komp. utolsó 150 m-es szakaszában történő irányításának földi gyakorlására, az LLRV-t és az LLTV-t szimulátorokat használták fel (15. ábra). Utóbbiak rendkívül instabilak voltak, ezért katapultülésekkel szerelték fel azokat, hozzájuk a – Gemini-programban is egyéni ejtőernyős mentőberendezésként alkalmazásra tervezett – C-9 típusú pilóta mentőernyő tartozott.

A mentőberendezések három esetben is bizonyították alkalmasságukat, amibe beletartozik Neil Alden Armstrong – az első a Holdra kilépő ember –, által az EAFB<sup>33</sup> felett, mindössze 30 m-es magasságban [37] végrehajtott katapultálása is (16. ábra) 1968. május 6-án. [38]



15. és 16. ábra Az LLRV-t magába foglaló LLTV és Neil Armstrong katapultálása

A balesetek hatására a NASA kezdetben le akarta selejtezni a járműveket, majd az asztronauták tiltakozására a tökéletesítésük mellett döntött. Az asztronauták az újratervezett LLTV-vel 1969. márciusában ismét megkezdhatték repüléseiket és az általuk szerzett tapasztalatok nagyban hozzájárultak a Hold felszínére történő leszállások sikeres végrehajtásához.

<sup>31</sup> Lunar Landing Research Vehicle (ang. „Holdra Leszálló Vészhelyzeti Jármű”)

<sup>32</sup> Lunar Landing Training Vehicle (ang. „Holdra Leszálló Kiképző Jármű”)

<sup>33</sup> Ellington Air Force Base (ang. „Ellington Légibázis”)



## FEJEZETEK AZ ŰRHAJÓZÁS TÖRTÉNETÉNEK KULISSZATITKAI- BÓL: EJTŐERNYŐS UGRÁSSAL KAPCSOLATOS ESEMÉNYEK

„Az űrhajósok személyi ejtőernyőinek alkalmazása a starthelyen, a föld körüli pályára állás és a visszatérési szakasz során bekövetkező vészhelyzet esetén” fejezetben leírt „Ballute” rendszerű stabilizáló ejtőernyő első emberes kipróbálása előtt négy nappal, 1960. augusztus 16-án hajtotta végre Joseph Kittinger rep. százados (17. ábra) híres, összes időtartamát tekintve 13,7 perces ejtőernyős ugrását, 31333 m magasságból (18. ábra). [39] [40]



17. és 18. ábra. A bal oldali ábrán Joseph Kittinger rep. százados nevezetes ugrása előtt, az Excelsior III. nevű léggömb gondola-ajtájában. Az ajtó alján látható felirat alapján „The highest step in the world”, ez „A világ legmagasabb lépcsője”. A jobb oldali kép a nevezett lépcsőfokról történő lelépést ábrázolja.

Az ejtőernyős ugrás időtartama mind a szabadesés, mind az ejtőernyős ereszkedés időtartamát magába foglalta. Ez előbbi közel 4,5 percet tett ki, s ebből a hosszú zuhanási időből megállapítható, hogy Kittinger – „A második generációs Gemini űrhajó vészhelyzeti mentőrendszerének ejtőernyői” alfejezetben leírt ok miatt ugrásához „Ballute” stabilizáló ejtőernyőt használt. Ez okozta a későbbiekben azt az anomáliát, amelyre hivatkozva az FAI nem minősítette ugrását világrekordnak a szabadesés-kategória előírásait tekintve, ugyanis a stabilizáló/fékező ejtőernyő bizonyos mértékben fékezte az ejtőernyős zuhanási sebességét, így az nem minősíthető „tisztán” szabadesésnek. Az ugró egyébként már a stabilizáló ejtőernyő nyitása előtt átlépte a hanghatárt, elérve a 998 km/h értéket, [41] így ő vált a világon az első emberré, akinek ez mindenféle technikai eszköz nélkül sikerült.

Kittinger rekordja végül több mint egy fél évszázadon keresztül megdöntetlen maradt. 2012. október 14-én Felix Baumgartner, hajdani osztrák ejtőernyős katona és extrém sportoló egy világcég szponzorálásával sikeresen szárnyalta túl a nagy öreg teljesítményét, aki szakértői tapasztalatainak köszönhetően – mentorként – a sztratoszférából végrehajtásra kerülő rekordkísérleti ejtőernyős ugrás végrehajtói stábjában kapott szerepet.



19. és 20. ábra. A bal oldali képen a nevezetes ugrás egyik művészi ábrázolása látható. A jobb oldali képen a földetérés utáni pillanatok egyike: az egészségügyi személyzet megvizsgálja az ugró általános állapotát

(Terveim szerint a magassági ejtőernyős ugrásokkal kapcsolatosan összegyűjtött ismereteimet a 2014-es Szolnoki Repüléstudományi Konferencia kiadványában tervezem közreadni a „*Különleges ejtőernyős ugrások a sztratoszférából. Kittingertől Baumgartnerig. Akiknek sikerült ... és akiknek nem*” címmel megjelenő tanulmányomban.)

## ZÁRSZÓ

A történelem igazolta, hogy a világűr felfedezéséhez és hasznosításához elengedhetetlenül szükséges az ejtőernyők alkalmazása. Az ejtőernyős technika és az űreszközök közötti kölcsönös kapcsolat mindkét területen hihetetlen ütemű műszaki fejlődéshez vezetett.

A legújabb kori űrkutatás történetének alig több mint ötven éve alatt a kozmikus eszközökön alkalmazott ejtőernyőrendszerek – néhány kivételtől eltekintve – pontos és megbízható működése is biztosította a világűr békés meghódítását és az emberi tudás fejlődését.

A jövőben végrehajtásra kerülő, tervezés alatt álló új emberes űrprogramok egyre növekvő kihívásainak megfelelő kollektív biztonsági rendszerei mellett a személyzet tagjainak egyéni védőeszközei – minden bizonnyal – továbbra is a kozmikus repülőeszköz fontos berendezései maradnak.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 21/1998. (XII. 21.) HM rendelet az állami légijárművek nyilvántartásáról, gyártásáról és javításáról, valamint a típus- és a légialkalmasságáról
- [2] Repülési lexikon. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991. 212. o.
- [3] Michael Parfit Habselyem őrangyal. Inter Press Magazin, 1991. március. 136. o.
- [4] Szaniszló Zsolt Ejtőernyőrendszerek alkalmazási lehetőségei és tervezésének lépései ember vezette űrjárművek Földre történő visszatérési folyamatának ejtőernyős fázisa biztosítására. Diplomamunka, BME, Budapest, 2011. 15–16. o.
- [5] Szaniszló Zsolt hallgató Ejtőernyőrendszerek alkalmazási és szabályozási lehetőségei űrhajózási eszközökön. Szakdolgozat, ZMNE, Szolnok, 2000. 17. o.
- [6] M. J. Ravnitzky, S. N. Patel, R. A. Lawrence Zuhanás az űrből: Ejtőernyők és az űrprogram. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1997/3. (az eredeti változat: AIAA. 89-0926) 32. o.
- [7] M. J. Ravnitzky, S. N. Patel, R. A. Lawrence: Zuhanás az űrből: Ejtőernyők és az űrprogram. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1997/3. (az eredeti változat: AIAA. 89-0926) 37. o.



- [8] Űrhajósok: Nincs móka! EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1991/5-6. 54. o.
- [9] Szaniszló Zsolt hallgató: Ejtőernyőrendszerek alkalmazási és szabályozási lehetőségei űrhajózási eszközökön. Szakdolgozat, ZMNE, Szolnok, 2000. 59. o.
- [10] Űrhajózási lexikon. Akadémiai Kiadó, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1984. 771. o.
- [11] Űrhajózási lexikon. Akadémiai Kiadó, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1984. 15. o.
- [12] Korzszenjanc, Kosztrub: Kozmikus eszközök személyzeteinek mentő eszközei. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1983/6. 16. o.
- [13] Korzszenjanc, Kosztrub: Kozmikus eszközök személyzeteinek mentő eszközei. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1983/6. 15. o.
- [14] Bitó János, Sinka József: 3...2...1...Start! Táncsics Könyvkiadó, Budapest, 1968. 172. o.
- [15] Инженерный справочник по космической технике. Ордена Трудового Красного Знамени Военное Издательство Министерства Обороны СССР, Москва, 1977. 303. o.
- [16] A Survival Evasion Resistance Escape Instructor, 22nd Training Support Squadron, perform a parachute demonstration for SERE students May 13, 2011 at Fairchild AFB, Wash. The demos show students the characteristics of the C-9 Static line parachute and allow students to see firsthand techniques they've learned. This parachute was previously packed by the 336th Aircrew Flight Equipment shop and signifies all the hardwork that went into the preparation.(U.S. Air Force Photo/Tech. Sgt. JT May III) Fairchild's Parachute shop, last to let you down, e-dok. url: <http://ebay.com>
- [17] M. J. Ravnitzky, S. N. Patel, R. A. Lawrence: Zuhanás az űrből: Ejtőernyők és az űrprogram. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1997/3. (az eredeti változat: AIAA. 89-0926) 37. o.
- [18] M. J. Ravnitzky, S. N. Patel, R. A. Lawrence: Zuhanás az űrből: Ejtőernyők és az űrprogram. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1997/3. (az eredeti változat: AIAA. 89-0926) 37. o.
- [19] M. J. Ravnitzky, S. N. Patel, R. A. Lawrence: Zuhanás az űrből: Ejtőernyők és az űrprogram. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1997/3. (az eredeti változat: AIAA. 89-0926) 39. o.
- [20] Szentpéteri László: Az újrainduló űrrepülőgép-program. Repülés 1988/7. 9. o.
- [21] Szentpéteri László: Az újrainduló űrrepülőgép-program. Repülés 1988/7. 9. o.
- [22] G. M. Kalinyin: A Space Shuttle többszörös felhasználású űrrepülőgép kísérleti repüléseinél az űrhajósok és a földi kiszolgáló személyzet biztonságának biztosítása. (rövidített fordítás) (az eredeti változat: Проблемы Безопасности Полетов 1983/6.) EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1983/6. 22–24. o.
- [23] Paluch Norbert hallgató: Kozmikus személyszállító eszközökön alkalmazott kollektív és egyéni mentőeszközök. Szakdolgozat, ZMNE, Szolnok, 2000. 32. o.
- [24] Szentpéteri László: Az újrainduló űrrepülőgép-program. Repülés 1988/7. 9. o.
- [25] Szaniszló Zsolt hallgató: Ejtőernyőrendszerek alkalmazási és szabályozási lehetőségei űrhajózási eszközökön. Szakdolgozat, ZMNE, Szolnok, 2000. 54 - 55. o.
- [26] P. Glaude: Ugrás az űrből. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1990/4. (az eredeti változat: Parachutist, 1990. N. 3) 41. o.
- [27] P. Glaude: Ugrás az űrből. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1990/4. (az eredeti változat: Parachutist, 1990. N. 3) 41. o.
- [28] Paluch Norbert hallgató: Kozmikus személyszállító eszközökön alkalmazott kollektív és egyéni mentőeszközök. Szakdolgozat, ZMNE, Szolnok, 2000. 34. o.
- [29] Space Shuttle Crew Escape System. NWC TP 6575. 8-24. o.
- [30] P. Glaude: Ugrás az űrből. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1990/4. (az eredeti változat: Parachutist, 1990. N. 3) 42. o.
- [31] Space Shuttle Crew Escape System. NWC TP 6575. 8-26. o.
- [32] P. Glaude: Ugrás az űrből. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1990/4. (az eredeti változat: Parachutist, 1990. N. 3) 43. o.
- [33] Szentpéteri László: Az újrainduló űrrepülőgép-program. Repülés 1988/7. 9. o.
- [34] P. Glaude: Ugrás az űrből. EJTŐERNYŐS TÁJÉKOZTATÓ 1990/4. (az eredeti változat: Parachutist, 1990. N. 3) 42. o.
- [35] Space Shuttle *Columbia* disaster. e-dok. url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Space\\_Shuttle\\_Challenger\\_disaster](http://en.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle_Challenger_disaster) (2013. 01.23.)



- 
- [36] Space Shuttle *Columbia* disaster. e-dok. url:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Space\\_Shuttle\\_Challenger\\_disaster](http://en.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle_Challenger_disaster) (2013. 01.23.)
- [37] Szaniszló Zsolt hallgató: Ejtőernyőrendszerek alkalmazási és szabályozási lehetőségei űrhajózási eszközökön. Szakdolgozat, ZMNE, Szolnok, 2000. 62. o.
- [38] Apollo 11 Armstrong Ejecting From LLTV, e-dok. url: <http://apollomissionphotos.com> (2013.02.14.)
- [39] Dombi Lőrinc: Selyemkupolák. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1993. 119. o.
- [40] Joseph W. Kittinger and the Highest Step in the World, e-dok. url: <http://stratocat.com.ar/artics/excelsior-e.htm>
- [41] Dr. Lits Gábor ny. alezredes: Egy különleges rekordkísérlet: ejtőernyős ugrás 36 kilométer magasságból Honvéd Altiszti Folyóirat, XXII. évfolyam 2010/6. 17 o.

Kovács Gábor<sup>1</sup>

## FORGÓSZÁRNYZAJ VIZSGÁLATA REPÜLÉS KÖZBEN<sup>2</sup>

*A repülőgépek, köztük a helikopterek zaja folyamatosan erősödő tendenciát mutat, közel egyenesen arányos a hajtóművek teljesítményének növekedésével. A társadalom eljutott egy olyan küszöbüg, ahol már szükséges az ártalmas zajszennyezés figyelembevétele. Napjaink polgári és a katonai elvárásai kikényszerítik a technika ez irányú fejlődését. Az akusztikai tesztek döntő többsége szélcsatornában folytak, ahol a kapott eredmények nem mindig tükrözték a valóságot. A NASA repülés közbeni zajvizsgálata igyekszik kiküszöbölni a szélcsatorna mérési hibáit, új utat mutatva a komfortosabb légijárművek építéséhez.*

### IN-FLIGHT ROTOR NOISE INVESTIGATION

*The noise of aircrafts, including the helicopters show a steadily increasing trend, almost directly proportional to the increase of jet engine performance. The society has reached a threshold, where it is necessary to take into account the harmful noise. Today's civil and military expectations force the development of the technique in this direction. The vast majority of acoustic tests are conducted in wind tunnels, where results did not reflect the reality. NASA in-flight acoustic tests try to eliminate those faults from the wind tunnel, to give a new way out of the construction of a more comfortable helicopter.*

Vizsgálatokkal is igazolt, hogy a folyamatosan zajnak kitett emberek egészségkárosodást szenvednek. Ha az eltelt idő függvényében vizsgáljuk a hatást, rövidtávon közérzetük romlik, munkaképességük csökken, hosszútávon koncentráció- és alvászavar lép fel, az egyén agresszív és feszült lesz. Intenzitását vizsgálva a zaj kedvezőtlen pszichés hatása igen változó. de a 30–40 dB feletti zajszint terhelésként jelentkezik, melynek következményei: fáradtság, kimerültség, fejfájás, fokozott ingerlékenység formájában jelentkezhetnek. Ezenkívül a vegetatív idegrendszer által irányított élettani funkciók egy részében is zavarok léphetnek fel [1]. Következésképpen – amennyiben ez a hatás munkavégzés közben jelentkezik – megnő a hibázás lehetősége, mely balesetet, katasztrófákat okozhat, így ez, egy pilóta esetében is, könnyen tömegszerencsétlenséghez vezethet. Mindezek miatt is belátható, hogy nagy gondot kell fordítani a zajvédelemre, hiszen az efféle zavaroknak kitett munkavégző, biztonsággal semmilyen tevékenységet nem végezhet.

Katonai területen a zaj más értelmezést is kap. A fent említett hatások természetesen itt is jelentkeznek, hiszen a harceszközök kezelője az ember (pl. a légijármű hajózó személyzete), ennek folyamatos elszennvedője. A tényleges hadműveleti tevékenységnél azonban rendszerint a kitűzött cél elérése az abszolút prioritás, ehhez képest minden más megfontolás – különösen a régebbi konstrukcióknál – benne a környezeti zajszennyezés csökkentése másodlagos kérdésként jelentkezett. A léghárító és gyalogsági fegyverzet megbízhatóságának, találati pontosságának és megsemmisítési hatékonyságának számottevő növekedése azonban meghatározó szemponttá tette a

<sup>1</sup> Honvédtiszt-jelölt, Nemzeti Közszolgálati Egyetem - Hadtudományi és Honvédtisztképző kar, kanonenvogel@freemail.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Prof. Dr. Óvári Gyula egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

korszerű helikopterek létrehozásánál a zajcsökkentést, az akusztikai álcázást, mivel egy alig észlelhető repülőeszközt megcélózni, ezáltal megsemmisíteni is jóval nehezebb. Természetesen ennek a helikopter számára az ellenség rejtett megközelítésekor is kedvező hatása van.

### **A forgószárny, mint zajforrás**

Helikoptereknél legjelentősebb zajforrások a működő forgószárny és faroklégszavár, (az általuk létrehozott légnyomáslökötés okán), ezenkívül a hajtó- és közlőművevek. A domináns zaj általában a légszavaraké, mely több összetevőből áll, de közülük rendszerint meghatározó a forgószárnylapátok által indukált örvények közötti kölcsönhatásból kialakuló – a helikopterekre jellemző jellegzetes - hanghatás. Az angol terminológiában ezt *blade-vortex interaction noise*-nak nevezik, melyet szakszerű magyar kifejezés hiányában a továbbiakban BVI-ként használok. Mivel a lapát által indukált örvények turbolensek, így a forgásból adódóan a következő lapát ebbe az örvényes légtömegbe érkezik, ilyenkor jelentős zajt is ébreszt. A hang iránya szétszórta, bárhol jelentkezik a forgószárny síkjában, de általában az előrehaladó lapátok oldalán keletkezik. Intenzitását befolyásolja a forgószárnylapátok egymással bezárt azimuttszöge (a lapátszám!), sebessége és profil-geometriája.

E zajtípus a csökkentése a legfontosabb, a legtöbb kutatás is ennek a megszüntetésére irányul, mivel az akusztikus észlelhetőséget jelentősen növeli, valamint zavarhatja a verbális kommunikációt repülőgépen belül és kívül is bizonyos esetekben. Süllyedésnél és manőverező repülésnél is igen jelentős hanghatások jöhetnek létre, a nagy amplitúdójú, viszonylag alacsony frekvenciájú lapátlengések következtében [2].

### **Aeroakusztikai vizsgálatok**

A szélcsatorna olyan kísérleti berendezés, melyet elsősorban testek körül áramló közeg hatásainak vizsgálatára fejlesztettek ki. Ezek során tanulmányozhatóak az áramlásba helyezett testre ható légerők (felhajtóerő, közegellenállás, illetve a légerők nyomatóka), az áramlásba helyezett test körül kialakult nyomáseloszlás, a határréteg viselkedése, az áramvonalak alakjára, a légáramlás keltette rezgés és zaj. A szélcsatornában számos olyan hatás kiváltható, ami valós környezetben nem. Sajnálatosan ez a pontos akusztika mérésekre nem vonatkozik, ugyanis a csatorna falairól történő hangvisszaverődés kiküszöbölhetetlen és módosítja az eredményeket. Ezenkívül a szélcsatornának jelentős saját zaja is van, amivel számolni kell, ezért megbízható akusztikai mérés szabadtéri vizsgálatokat (is) feltételez.

A levegőben különböző repülési magasságokon végezhető mérés, helikopterek esetében ez jellemzően  $H=600-3000$  méter között történik. Elenyésző azon szélcsatornák száma, ahol a magasság paraméterként állítható. Amennyiben mégis megvalósítható, akkor azt a nyomás változtatásával érik el. Figyelembe kell venni, hogy a nyomásértékek folyamatosan változását a természetben az időjárási körülmények határozzák meg, míg a szélcsatornában a gépezet bemelegedése is okozhatja. A sok változó kiküszöbölésére átszámított paramétereket használnak a mérések során, ilyen például az átszámított Mach-szám, melyet a forgószárny lapátvégi sebességénél alkalmazhatók. Olyan számokkal dolgoznak, melyek állandóak az adott körülmények mellett, mint a sűrűség, a forgószárny kerületi sebessége, és a súrolt felület. Ezekből az érté-

kekből számítható a vonóerő, és az előre mozgató erő. A felmerülő problémák elhátítására vezette be a NASA az IRAP<sup>3</sup> programját [4].

## Vizsgálat repülés közben

A NASA kutatásainak részét képezte a kibocsátott BVI zaj vizsgálata és csökkentése azért, hogy a helikopterek és a dönthető légsavarral rendelkező repülőgépek (konvertiplánok) megfeleljenek a polgári környezetvédelmi előírásoknak is. Az IRAP valós alternatívát nyújtott a szélcsatornákkal szemben, hiszen valós körülmények között, zavaró hatások nélkül váltak mérhetővé a zajok. Mikrofonokat helyeztek el a NASA halk, YO-3A típusú akusztikai kutató repülőgépe szárny- és farokvégein. A repülőgép zárt kötelékben repült a vizsgálandó helikopterrel, olyan közel amennyire lehetett, így mérve a BVI zajokat. Később a kapott eredményeket visszaellenőrzésképp összevetették a szélcsatorna tesztek eredményeivel.



1. ábra A program emblémája<sup>4</sup>

BVI zajok repülés közbeni mérése már az 1970-es években is voltak próbálkozások. A Bell UH-1H "Huey" típusú helikoptere volt a mérendő objektum, melyet egy mikrofonokkal felszerelt OV-1 Mohawk merevszárnyú motoros repülőgép kísért. 1979-ben az OV-1-est leváltották a jóval halkabb üzemű YO-3A-ra, amivel tovább folytatták az UH-1H-S, és az AH-1G Bell Cobra BVI zajának méréseit. A YO-3A a mérés eszköze maradt a további helikopterprogramok idején is (UH-60, YUH-61, YAH-63, vagy az AH-64 Apache). de a közelmúltban a McDonell Douglas MD500D helikoptert is kísérte [3]. IRAP tesztek nem csak helikoptereken hajtottak végre, még a szuperszonikus SR-71 Blackbird nagysebességnél keltett hangrobbanásait is vizsgálták a YO-3A-val, (természetesen nem kötelékben követve!). [6]

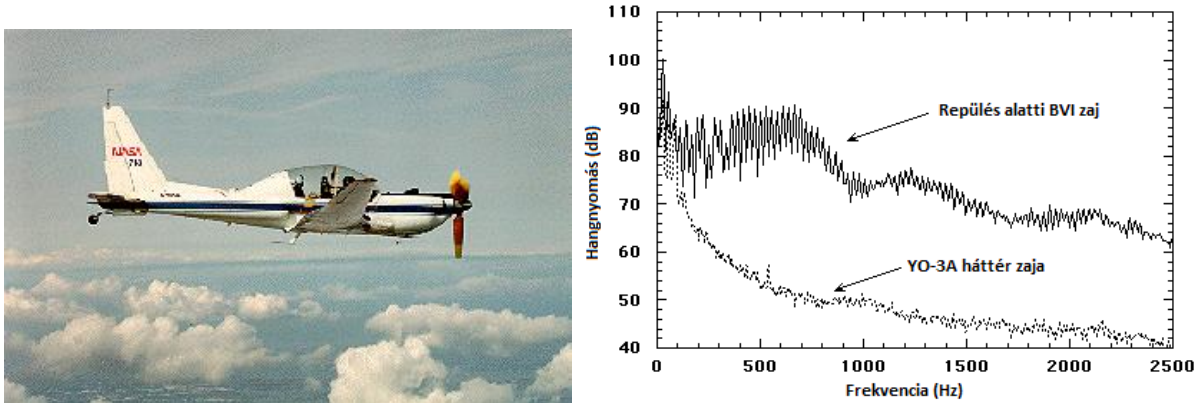
A YO-3A (Quiet Star) eredetileg a svájci SGS-2-32 vitorlázógép alapjaira épült. Az 1960-as évekre a Lockheed egy ultra halk repülőgépet álmodott meg a Dél-vietnámi térség fölé, ahol az megfigyeléseket végzett volna. Az X-26B és QT-2 (Quiet Trust) típusok mellett 1968-ra megépített 14 darab YO-3A-t. Az "Y" a prototípus modelleket jelölte, de ez megmaradt végig a repülőgép üzemeltetése során. Az "O" observation, azaz megfigyelőt jelentett. 210 LE Continental V-6 motorja már gyárilag zajsökkentett működésre készült. Ezért a meghajtás fogaskerekek helyett szíjakkal történt, maximum 800 fordulat/min fordulatszámmal. Rétegelt lemezről készült légsavarrjának hat lapátja szélesebbek volt az akkor szokásosnál. Később ezt, háromlapátos légsavarra cserélték. A kipufogógázokat a törzs oldalán vezették el eloszlatva,

<sup>3</sup> IRAP - In-Flight Rotorcraft Acoustics Program - Repülés Közbeni Helikopter Akusztikai Program

<sup>4</sup> Forrás: [http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/images/YO-3A\\_logo.gif](http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/images/YO-3A_logo.gif)



így a zaj- és infravörös kibocsátás is mérséklődött. E módosításokkal a repülőgép zaja alig haladta meg a környezetit, így ideálisnak bizonyult a NASA kutatásaihoz (2–3. ábra) [5]. Ismeretes, ha két hangintenzitás szint között 10 dB-nél nagyobb a különbség, akkor az erősebb hang mintegy elnyomja a gyengébbet, azaz megjelenik az elfedés jelensége [1].



2-3. ábrák YO-3A és zajkibocsátása<sup>56</sup>

A NASA és a US Army<sup>7</sup> a kutatások érdekében mikrofonokat és adatgyűjtő rendszereket helyezt el a szárnyvégekre és a farokrésze. A 0,5 inch (1,27cm) átmérőjű mikrofonok egy lövedék formájú házban kaptak helyet, melyek porózusak voltak, hogy az akusztikai hullámokat átengedjék. Merev tartókon tűnnyúltak a repülőgép szárnyfeszítávján (4. ábra), illetve a függőleges vezérsíkon, hogy a sárkányon keletkező örvények ne eredményezzenek mérési hibákat. [6]



4. ábra Mikrofon elhelyezkedése a szárnyvégeken<sup>8</sup>

Az IRAP tesztknél a YO-3A repült a kötelék élén, míg mögötte szorosan két-három forgószárny átmérő távolságnyra a helikopter. Ennek az, az oka, hogy a BVI zajok nagy része a menetirányba terjedt. Azért, hogy a távolság a megengedett és előírt kereteken belül legyen, a helikopter másodpilótája egy kézi lézeres távolságmérővel ellenőrizte azt. Azokon a helikoptereken, melyeken nem voltak a célra alkalmas mérőeszközei, a NASA kifejlesztett egy hordozható adatrögzítő egységet, kiegészítve a mérőrepülőgép rendszerét, amely figyelembe vette a lézeres távmérő által detektált jeleket is. A két adatrögzítőt forgószárny-fordulatonként szinkronizálták [6].

<sup>5</sup> Forrás: <http://rotorcrafterc.nasa.gov/Research/Programs/Images/YO3A-side.gif>

<sup>6</sup> Forrás: <http://rotorcrafterc.nasa.gov/Research/Programs/Images/YO-3A-noise.gif>

<sup>7</sup> Egyesült Államok hadserege

<sup>8</sup> Forrás: <http://rotorcrafterc.nasa.gov/Research/Programs/Images/YO3A-stbd-mic.gif>

Az IRAP keretein belül 1991-ben kezdődtek meg a repülés közbeni mérések. A program célja a valós repülési körülmények között produkált zajadatok begyűjtése volt, melyeket a szélcsatorna tesztek eredményeivel vetettek össze. A programban eddig négy helikoptert vizsgáltak; 1991–92 között a Sikorsky S-76C-t, 1993-ban az MBB Bo 105-öt, 1993–94-ben a Sikorsky UH-60A-t, majd 1995-ben a dönthető légcsavaros Bell XV-15 konvertiplánt [3].

### **Előnyök, hátrányok**

A szélcsatorna tesztek előnye a precizitás, és az ismételhetőség. Hátránya legfőbbképp a zajmérésnél jelentkezik, melyek az eddig megismerteken túl különböző okokból adódhatnak. A legtöbb teszt nem magát a repülőgép törzsét állítja az áramlásba, hanem csak a forgószárnyat vizsgálja egy erre a célra alkalmazott platformon, aminek aerodinamikai tulajdonságai nem azonosak a valós repülőgéptörzsével, így kölcsönhatásuk vizsgálatára sem kerülhet sor. Más akusztikai jellemzőkkel bír a törzs és a forgószárny is ennek hiányában. Ezért lényegi szempont a valós körülmények közötti repülés megvalósítása. Az ilyen tesztek mellett szól az a tény is, hogy realisabb a helikopter kezelése a pilóta részéről repülés közben, tehát olyan konfigurációval repülnek, mely üzembiztos és ésszerű, ezzel szemben a szélcsatorna tesztek szabad kezet adnak a mérnököknek, és így olyan beállításokat tudnak létrehozni, melyek nem adják vissza a valós környezetben történő repülés paramétereit. Rendeltetésükből adódóan fontos, hogy a szélcsatorna tesztszei közel teljes mértékben reprodukálják a valós repülések körülményeit. Előnye a nyitott terű vizsgálatokhoz képest nyilvánvaló, hiszen egy ereszkedő helikoptert nehéz pontosan ugyanúgy kormányozni, mint az előző alkalommal, így a mérések pontossága megkérdőjelezhető. Ellenben a szélcsatorna teszt tökéletesen reprodukálható. A szabadban mért adatokat átlagolni, korrigálni szükséges, hogy összehasonlíthatóak legyenek. Ezt figyelembe véve alkották meg a YO-3A repülőgép mikrofonjai geometriai elrendezését, ami megfelel a szélcsatorna mikrofon elhelyezési előírásoknak [4].

A valós repülésnél a teszt körülményeit előre, alaposan meg kell tervezni, ami szélcsatornánál lényegesen egyszerűbb, mivel zárt körülmények között a repülési sebesség, forgószárny kerületi sebesség és teljesítmény egyszerűen állítható, ami repülés közben nehézségekbe ütközhet. IRAP repülések alatt figyelembe kell(ett) venni a YO-3A repülőgép minimális repülési sebességét, ami alatt – átesés miatt – mérések nem végezhetőek. A helikoptereknél nincs ilyen korlát. Néhány forgószárnyas és dönthető légcsavarral rendelkező légi jármű gyorsabb a YO-3A-nál, így a vizsgálat felső határa is korlátozott volt, bár ettől a limittől ezúttal eltekinthettek, hiszen a kutatási program olyan BVI zajokra fektet hangsúlyt, melyek leszállásnál és kis repülési sebéségnél jelentkeznek. Továbbá, mivel a forgószárny vonóerő függőleges összetevője mindig a súlyerővel tart egyensúlyt, ezért repülés közben figyelembe kell venni az üzemanyag tömeg csökkenését, ami csökkenő hajtómű teljesítményt szükséges ugyanazon feladat végrehajtására az idő függvényében. Ez jelentkezik a mérési eredmények folyamatos változásában is. A szélcsatornában ez a körülmény sem létezik [4].

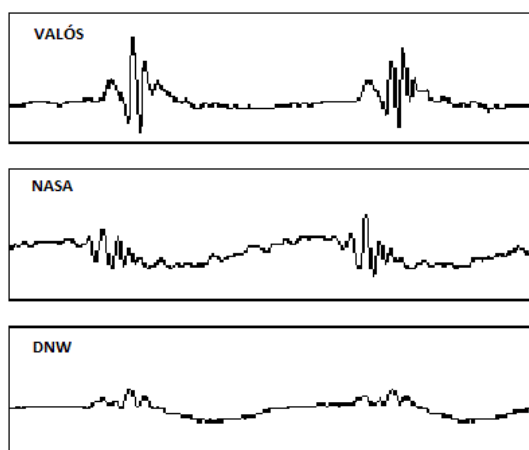
A távolság a mikrofon és a BVI zajok forrása között, kritikus mérési körülmény. Repülés közben a helikopter pilótája szorososan követi az YO-3A-at ügyelve az előírt repülési paraméterek pontos betartására, nem mellékesen a biztonságra. Nagyon előre döntött repülési helyzetnél a helikopter pilótája nem látja a mérőrepülőgépet a pilótafülke felső műszerfal paneljei miatt, így

az ütközésük lehetősége is fennáll. Ez egy újabb mérési korlát. Amennyiben a vizsgálat úgy kívánja, akkor a mikrofonok minimálisan távirányítással is mozgathatóak, csökkentve a baleset lehetőségét. Szélcsatornában a mikrofonok rögzítve vannak, továbbá a forgószárny bedöntésénél nem okoz gondot a geometriai elrendezés, hiszen itt nem történhet baleset. Repülés közben a megtartandó távolság 2–3 forgószárny átmérőnyi, melyet lézeres távolságmérővel ellenőriznek. Ezt, nem feltétlenül sikerül megtartani a pilótának, így akár pár méteres eltérés is lehet a két repülő eszköz között [4].

## Beindul a program

Az új mérési eljárás - a hátrányaival együtt is – közelebb jár a valós eredményekhez, mint a szélcsatorna tesztek. Ezek tudatában időrendben először a Sikorsky S-76C típusú helikoptert vizsgálták repülés közben, majd a kapott eredményeket összehasonlították a szélcsatorna tesztek eredményeivel. Ezek döntő többsége igen nagy hasonlóságot mutattak. Ami lényegi eltérés volt, az a nagy sebességű, nagy beállítási szögű repülések akusztikájánál jelentkezett. Ebben az intervallumban jelentősen eltértek a grafikonok, így a szélcsatornás tesztek e része nem vehető figyelembe az eredmények kiértékelésénél, mivel nem tükrözi a valóságot. Lényegében több megállapítás nem történt az első IRAP teszt során, mivel döntően az akusztikai program működőképességének a vizsgálata történt. [7]

A második teszt a Messerschmitt-Bölkow-Blohm Bo 105 típusú helikopteren történt. Ezt a típust számtalanszor vizsgálták már akusztikailag és aerodinamikailag is. Korábban Európában is vizsgálat alá vetették a DNW<sup>9</sup> szélcsatornában, majd a NASA Ames-i központjában. A DNW teszteket egy a valóditól 60%-kal kisebb méretű forgószárnyal végezték. Sajnálatos módon, a két szélcsatorna, és a valós repülési mérések is más eredményeket mutattak (5. ábra). Az indoklás szerint a trimmelés mikéntje, és a forgószárny forgatását biztosító mechanizmus geometriája és zaja miatt lehetett ez az eltérés, de a más alakú szélcsatorna falat is valószínűsítették lehetséges okként [8].



5. ábra A tesztek összehasonlítása<sup>10</sup>

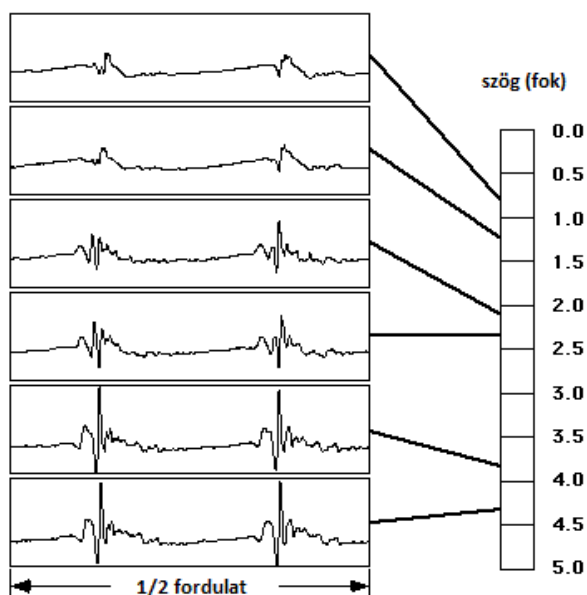
A YO-3A, a helikopterekkel kötelékbe repülve a forgószárny előrehaladó oldalán kissé alatta

<sup>9</sup> DNW - Deutsch-Niederländischer Windkanal - Német-holland Szélcsatorna

<sup>10</sup> Forrás: [http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/IRAP\\_gifs/BO105-fig4.gif](http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/IRAP_gifs/BO105-fig4.gif)

helyezkedett el, így tökéletes BVI zaj lefedettség adódott. A NASA szélcsatornájában egy valós méretű forgószárnyat építettek, az e célra kifejlesztett meghajtási rendszerrel (RTA-ra<sup>11</sup>). A mikrofonok típusa és elhelyezése mind a három tesztnél azonos volt (0,5 inches, működési tartomány 5Hz–20kHz) [8].

A 5–6. ábrán látható a mérések eredménye. A grafikonok a forgószárny előrehaladó félfordulatát szemléltetik, mely két lapátot érint. Jól megfigyelhetők a nagy amplitúdójú kiugrások, melyek a BVI zajok. Erősödést figyelhetünk meg, a lapátok beállítási szögének állításakor is. Megállapítható, hogy ennek növelésével nő az amplitúdó, vagyis nő a BVI zajok erőssége [8].



6. ábra Beállítási szög és a BVI zaj erősödése<sup>12</sup>

Átfogó, a mai napig tartó teszt sorozatot végez/végzett a NASA a Sikorsky UH-60 Black Hawk helikopterén, mely szintén része volt az IRAP-nak. Együttesen vizsgálták a valós, és az arányosan csökkentett méretű modellt. Ezek az IRAP tesztek párhuzamosan folytak a NASA és a US Army kutatásaival, ami az "UH-60 Airloads Project"<sup>13</sup> név alatt futott. Az IRAP UH-60 tesztjeinél az YO-3A, a helikopter bal oldalán, kissé előre, alacsonyabban helyezkedett el a forgószárny bekötéstől számítva 1,5 forgószárny-átmérőnyire, ami a szokásos távolság fele volt. A megnövelt számú szenzornak köszönhetően, egyidejűleg igen sok adatot nyertek a repülések során. Összesen 6 kötelékrepülés történt. A korábbi DNW szélcsatorna tesztek eredményeit sikerült rekonstruálni, annak ellenére, hogy a DNW-ben 1:5,73 arányú forgószárny modellt használtak [10]. Az eredmények az

<sup>11</sup> **RTA - Rotor Test Apparatus** - Forgószárny Tesztelő Berendezés (nem egyenlő az LRTA-val)

<sup>12</sup> Forrás: [http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/IRAP\\_gifs/BO105-fig3.gif](http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/IRAP_gifs/BO105-fig3.gif)

<sup>13</sup> Az Airloads Project-et az Egyesült Államok Hadserege finanszírozta, és adta a helikoptert hozzá. A cél átfogó, pontosan dokumentált terhelési adatok rögzítése olyan körülmények között, amire a helikopter hosszútávon számíthat, így az üzemeltetőket pontos forgószárny-tulajdonságokkal, az eddig ismert adatok finomításával láthatják el. Igen összetett szenzor-rendszerrel látták el a lapátokat, 221 nyomásérzékelő egy lapáton, és további 21 a lapátvég belépőjénél. Vizsgálták a forgószárny strukturális terhelését, a lapátok mozgását, állapotát. Hét hónap alatt 31 repülést végeztek összesen 57 repült órában. A repülési manőverek érintettek minden eshetőséget, repültek vízszintesen és nagy terhelésű fordulókban is. [9]



Airloads Project keretein belül közölték. 2000 után is további vizsgálatoknak vetették alá az UH-60A forgószárnyát, hiszen a modern katonai deszant-, és szállítókapacitás jeles képviselője napjainkig is ez a típus. A helikopter többek között részt vett a NASA SMART<sup>14</sup> programjában is.

Az XV-15-ös konvertiplán az IRAP program következő, egyben időrendben az utolsó vizsgálati objektuma, mely ugyan nem helikopter, de légsavarjára jellemző a ferde átáramlási üzemmód. Szakértők szerint ez a forma és elrendezés lehet a jövő városi repülőgépeinek is az ideális megtestesítője. Mivel ilyen célokra (is) tervezik, alkalmazásukra sűrűn lakott területek felett kerülhet sor, ezért az akusztikai jellemzői fontosak. Nem csak az IRAP-on belül foglalkoztak a repülőgéppel, hanem a NASA SHCT<sup>15</sup> programban is, ahol a légsavarjait szélsatornában tesztelték. Ezek a dönthető légsavarok a hagyományoshoz képest sokkal nagyobb terhelés alatt üzemelnek. Üzem módjuknak köszönhetően eltérő akusztikai karakterisztikával rendelkeznek, ha egészében vizsgáljuk a zajkibocsátást a függéstől az egyenes vonalú repülésig. Mivel ez esetben is a BVI zajok mérése és elemzése a fő szempont, ezért az esetek igen nagy hányadában minimális hajtóműgondola bedöntés mellett vizsgálták a légsavart. A szélsatornában az RTA platformra szerelték fel a légsavar teljes méretű modelljét. Mivel a hajtóműburkolat geometriai formája eltért a valós gondolatól, így az akusztikai eredmények sem mutattak valós értékeket, ezért indokolt volt az IRAP programban való részvétel. A teszteket a texasi Bell Helicopter Repülési Teszt Központban hajtották végre. Összesen négy kötelékrepülést végeztek, a BVI zajokat mérésére. A YO-3A a jobb oldali légsavargondola előtt-alatt repült. Azért, hogy mérni lehessen a YO-3A-val, kénytelenek voltak a 90°-os merőleges gondolat megdönteni 80°-ra, és előrehaladó mozgást végezni legalább olyan vízszintes sebességen, ahol a mérőrepülőgép még minimális sebességgel repülhetett. Emellett 200 m/min süllyedéssel csökkent a meghatározott repülési pálya profilja, szimulálva a süllyedő, érkező repülőgépet, ahol a legnagyobb a BVI zajkibocsátás. A szélsatorna tesztekénél a légsavar vizsgálatánál mérték az áramlási tulajdonságokat, a lapátvégek sebességét, a létrejött forgatónyomatékokot, megfelelő lapát beállítási szög és gondola-dőlésből adódó állásszög mellett [11].

## Bizonytalan eredmények

A valós és a szélsatorna tesztek közel azonos körülmények között zajlottak, az eredmények napjainkban is feldolgozás alatt vannak. Valószínűsíthető, hogy a NASA befejezettnek ítélte az IRAP-ot, hiszen továbblépés az eredmények értékelése ügyében nem történt, a feldolgozás 1996 óta tart. Feltételezhető, hogy a program kutatási eredményeit felhasználták későbbi projektekbe, mint például a S.M.A.R.T. program és az IBC, ahol ismét az UH-60A forgószárnyát vizsgálták.

---

<sup>14</sup> **SMART** - Smart Material Advanced Rotor Technology - Intelligens Anyagokból álló Fejlett Forgószárny Technológia

<sup>15</sup> **SHCT** - Short Haul Civil Tiltrotor - Rövid Hatótávolságú Polgári Konvertiplán





7. ábra A tesztprogram mérési alanyai<sup>16</sup>

Természetesen a repülés közbeni akusztikai méréseknek is vannak hibái, melyeket próbáltak kiküszöbölni. A mai napig nem lehet kijelenteni, hogy valóban sikerült tökéletes méréseket elvégezni, és úgy tűnik nem is törekednek erre a gyártók. Pillanatnyilag, a világviszonylatban jelentkező pénzügyi nehézségek forráselvonást eredményeznek minden területen, ami a kutató-soknál is másodrendűvé degradálhatja a zajcsökkentés kérdését.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. KÓSA Csaba - Munkavédelem, egészségvédelem I., BME, Budapest, 2005.
- [2] Kenneth S. BRENTNER, F. FARASSAT – Modeling aerodynamically generated sound of helicopter rotors, NASA Research Center, e-dokumentum. (2013-02-11)
- [3] <http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP.html> (2013-01-16)
- [4] [http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP/irap\\_tech.html](http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP/irap_tech.html) (2013-01-16)
- [5] <http://www.wmof.com/yo-3a.htm> (2013-01-17)
- [6] [http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP/yo\\_3a.html](http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP/yo_3a.html) (2013-01-23)
- [7] <http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP/IRAP-S76.html> (2013-02-24)
- [8] <http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP/IRAP-BO105.html> (2013-02-24)
- [9] [http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/Programs/uh\\_60\\_test\\_summary.html](http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/Programs/uh_60_test_summary.html) (2013-02-24)
- [10] <http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP/IRAP-UH60.html> (2013-03-01)
- [11] [http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP/IRAP\\_XV-15.html](http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP/IRAP_XV-15.html) (2013-03-06)

<sup>16</sup> Forrás: <http://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/Programs/IRAP.html>, saját szerkesztés