

Békési László

A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEKKEL KAPCSOLATOS ALAPISMERETEK

A pilóta nélküli légi járművek a jelenkori hadviselés meghatározó haditechnikai eszközei. Felépítésükben, működésükben csaknem azonosak az ember által vezetett repülőgépekkel, helikopterekkel. A cikk első része a légi járművek felosztásával és a pilóta nélküli eszközök főbb tulajdonságaival foglalkozik. A szerző a cikk második részében ismerteti a repüléselmélet alapjait. Ezen belül: az áramlástan alaptörvényeit, az aerodinamikai erőket és jellemzőket, valamint a véges szárnyak elméletét. Ugyanakkor a cikk bizonyos fokú aerodinamikai előismereteket feltételez.

Kulcsszavak: repüléselmélet, áramlás, aerodinamikai erők, véges szárny, légi jármű rendszerek, drón.

BEVEZETÉS

A fegyverkezési verseny egyik robbanásszerűen fejlődő haditechnikai eszköze a pilóta nélküli légi jármű (Unmanned Aerial Vehicle – UAV), amelyek működését tekintve összetettek, a katonai műszaki tudományok vívmányait egyesítik magukban. Ahogy a technológia fejlődik, a drónok gyorsan veszik át azokat a feladatokat, amelyek megoldása ez idáig közvetlen emberi beavatkozással működtetett gépeké voltak [1][6].

A repülőeszközök, így a pilóta nélküli repülőgépek, irányítását automatikus szabályozó MIMO (multiple-input multiple-output) berendezések segítik, vagy veszik át teljes mértékben a légi jármű-vezetők feladatait. A repülőgépek térbeli mozgását leíró jellemzők/paraméterek időbeli változásának folyamatos rendelkezésre állása alapvető követelmény a repülésszabályozó rendszerek működéséhez. A repülő eszközök stabilizálását biztosító vezérlési törvények meghatározása (a kormánylap-kitérítés és az eszköz elmozdulása közti kapcsolat), továbbá a kormánysszervek megadott pontosságú és gyorsaságú kitérítésének létrehozása a vezérlési törvények szerint kiemelt feladat. Ezen eszközök fejlesztésének eredményeként az alkalmazásuk terjedése folyamatos és napjainkban egyre inkább kézzelfogható a megjelenésükkel okozott hatás [3][4][5].

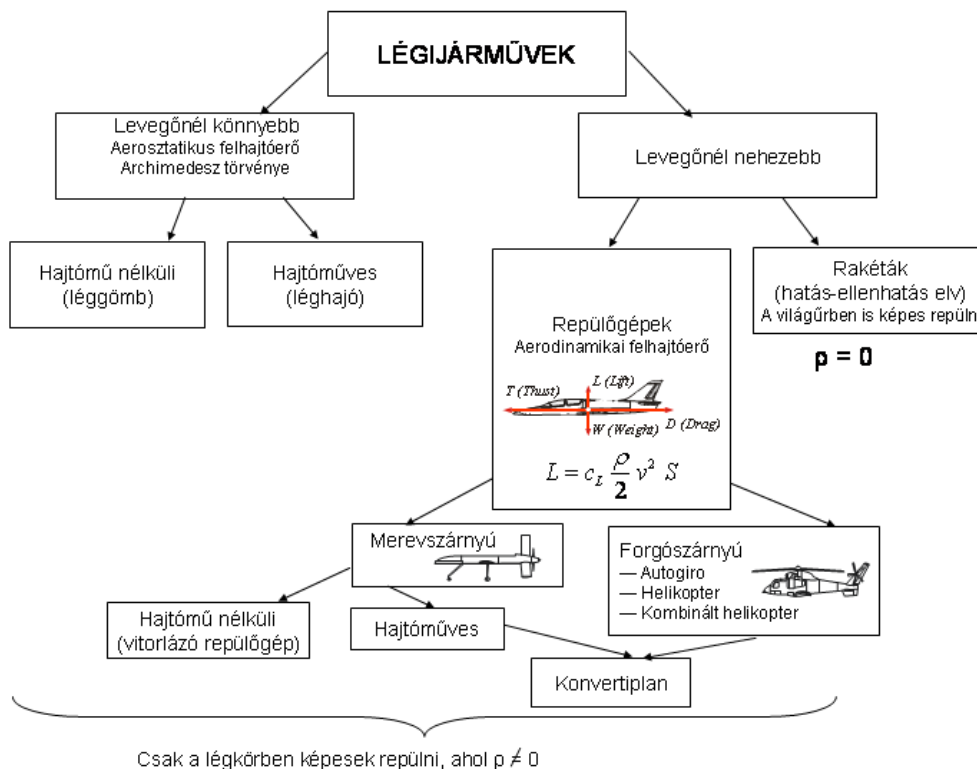
1. A REPÜLŐSZERKEZETEK FELOSZTÁSA, A PILÓTA NÉLKÜLI ESZKÖZÖK FŐBB TULAJDONSÁGAI

1.1 A repülőszerkezetek felosztása

A légiközlekedés eszközei, a légi járművek, a repülés fejlődése során különféle repülőszerkezetek formájában öltöttek testet. Ezek egyik lehetséges osztályozását szemlélteti az 1. ábra. A pilóta nélküli repülőeszközök az 1. ábrán látható felosztásban a merev és forgószárnyú eszközökhez tartozó kategóriákba sorolhatók be.

A létező UAV-k közel 80%-a a hagyományos merevszárnyú felépítésű rendszerű (2. ábra). Népszerűségét valószínűleg egyszerűségének és hatékonyságának köszönheti [33]. Vezérlése egysze-

rúbb, mint a forgószárnyú eszközöké (3. ábra). Képesek hosszú ideig a levegőben tartózkodni, ezáltal több különböző feladat végrehajtására is alkalmasak, mint például felderítés, harcmező megfigyelés, célmegjelölés, elektronikai harc illetve különböző polgári célú alkalmazás [34].



1. ábra Légi járművek csoportosítása [7][38]



2. ábra Aviadron-reapter [35]



3. ábra Aviadron-hummingbird [36]

1.2 A pilóta nélküli légi jármű(vek) rendszerek főbb tulajdonságai

Egy UAS¹ két fő rendszert tartalmaz: (1) fedélzeti egység, (2) földi egység.

1. A fedélzeti egység, a sárkányszerkezet, magába foglalja az eszköz vázát, a propulziós egységet, az elektromos energiaellátó és a repülésirányító rendszert, valamint az UAV-k létezésének legfőbb okát, a „hasznos” terhet (általában szenzorokat, felderítési és megfigyelési feladatok ellátására alkalmas eszközöket stb).
2. A földi egység két jelentősebb alrendszere: a (1) Feladattervező és irányító állomás

¹ UAS: Unmanned Aerial System, Pilóta nélküli légi jármű rendszer

(MPCS²), és az UAV rendszer műveleti irányító központja (OCC³) által alkotott komplexum; és az (2) indító, leszállító berendezés.

Minden UAS egység további kulcsfontosságú elemeiként említendők:

- a kommunikációt biztosító funkcionális alrendszer (amely kétirányú adatforgalmat biztosít a repülőeszköz és a földi állomás között);
- a földi üzemeltető és üzemmentartó állomás (GSE⁴), (amely az UAV rendszerek kifinomult elektronikája és komplex mechanikája üzemeltetéséhez szükséges teszt és karbantartó felszerelést, pótalkatrészeket, üzemanyag utántöltő-felszerelést, a földi szállításhoz szükséges kezelőeszközöket és a teljes készlet energiaellátását biztosító generátorokat/agregátorokat tartalmazhatja) [13][20][31][32].

A tudósok szerint a nem túl távoli jövőben a mesterséges intelligencia fejlettsége eljut arra a szintre, hogy a drónok emberi beavatkozás nélkül olyan döntéseket hozzanak, amelyek kihatással lehetnek életre és halálra [6]. Mivel nincs a fedélzetükön pilóta, illetve kezelő személy, alapvetően biztosítani képesek az élő erő megóvását a katonai műveletek széles spektrumában.

A tervezés szempontjai között előkelő helyet foglal el az, hogy megtartsuk az egyensúlyt a saját tömeg, a hasznos teher, az energiaforrások és a felhajtóerő terén. A drónok egyik legfontosabb paramétere a repülőképesség, de azonnal a második helyen meg kell említeni az időjárással szembeni érzékenységüket. Az alkalmazók szempontjából fő paraméterek, amelyek alapján kiválasztják az pilóta nélküli repülőeszközöket egy adott feladatra:

- a repülés időtartama, hatótávolság;
- a hasznos teher felhasználhatósága;
- a hasznos teher fizikai méretei.

A robotrepülőgépek egyik legnagyobb előnye a gazdaságos üzemeltetés. A légi jármű-vezető által a fedélzetről irányított repülőgép és a drón gyártási költsége között sokszoros az arány a pilóta által vezetett repülőgép javára. A pilótát a pilóta nélküli repülőeszköz fedélzetén a számítógép helyettesíti. Felhasználásukat tekintve egyszer, vagy többször felhasználható robotokról beszélhetünk [20].

Az UAV-k műveleteiket távirányítással, vagy előre programozottan (pl.: akár Wi-Fi modulon, ingyenes iOS hozzáféréseken keresztül), a feladatokat táv-, fél-autonóm-, autonóm-, vagy kombinált vezérlés alapján képesek végrehajtani. A feladatok sokrétűségének megfelelően feladatfüggő speciális rendszerek telepíthetők a fedélzetükre. A többfunkciós drónok egy adott bevetésük után, a fedélzeti hasznos teher-rendszerek cseréjével és/vagy átprogramozásával, - akár más típusú feladatra is - újra elindíthatóak [2][30].

A hasznos teherszállító kapacitás az az egyik olyan paraméter, amellyel soha nem lesznek elégedettek az alkalmazók. A Lockheed Martin és a Piasacki Repülőgép Konzern évek óta közösen fejleszt egy pilóta nélküli teherszállító repülőgépet. Egy olyan UAV teherszállító repülőeszközt, amely képes felemelni a levegőbe és adott távolságra elszállítani akár egy gépjárművet is. A maximális repülési időt, és repülési magasságot alapvetően a fedélzeti energiaellátó rendszer teljesítménye fogja meghatározni [21][28].

² MPCS: Mission Planning and Control Station, Feladattervező és irányító állomás

³ OCC: Operational Control Center, Műveleti irányító központ

⁴ GSE: Ground Support Equipment, Földi üzemeltető és üzemmentartó állomás

Az alternatív üzemanyag felhasználásával működő UAV eszközök esetében (alternatív tüzelőanyagok, üzemanyagcellák, napelemek által működtetett eszközök), az emberi felügyelet az üzembentartás és az üzemeltetés folyamatában a teljes küldetés ideje alatt szükséges. Amennyiben az újabb típusú hajtóművek energiaszükségletének kielégítésére napelemeket alkalmaznak, – mint például a Titan Aerospace vállalat által fejlesztett Solara 50 nevű, sztratoszféra repülésre tervezett⁵, („légköri műholdnak” is nevezett) eszközön, – elérhetővé válik, hogy akár hónapokon keresztül is képes az eszköz a levegőben tartózkodni (15–20 km-es magasságokban) és ez idő alatt a fedélzetére telepített szenzoroktól függően különböző katonai és polgári feladatokat hajthat végre. Egy másik gép, a *RoboRaven* – ez az UAV egy madárnak látszó miniatűr szerkezet – egy napelem táplálású pilóta nélküli légi jármű. A napelemeket a szárny felső felületén helyezték el [21][22][23][24][25][26][27][29].



22. ábra RoboRaven [37]

Az eddig megépült sok-sok UAV típus szerkezeti felépítését, repülési elvét tanulmányozva, az a konklúzió vonható le, hogy az eddig említett eszközök felépítésükben, működésükben csaknem azonosak az ember által vezetett repülőgépekkel, helikopterekkel.

2. A KEZDETEK, AERODINAMIKAI ALAPOK

A cikk következő részében röviden, kissé tömörítve bemutatásra kerülnek azok a repüléselméleti alapok, melyek a dolgozat témájához illeszkednek. Felvázolásra kerülnek az áramlástan alaptörvényei, az aerodinamikai erők és jellemzők, valamint a véges szárnyak elmélete. Kiemelendőnek tartom, hogy a leírtak megértése és rendszerezése bizonyos fokú aerodinamikai előismereteket feltételez.

2.1 A kezdetek

A repülés szempontjából meghatározó levegő, mint áramló közeg két, fontos jellemzőjének (sebesség és nyomás) összefüggéseit Daniel Bernoulli (1700–1782) fedezte fel és tette megismerhetővé mások számára is. 1799-ben George Cayley (1773–1857) angol tudós, feltaláló bővítette a repüléshez szükséges ismereteket, mikor is felismerte az aerodinamikai felhajtóerő és az ellenállás lényegét. A levegőnél nehezebb szerkezetek repülésére vonatkozó kísérleteivel hozzájárult az aerodinamika alapvető törvényeinek megismerhetővé tételéhez. Otto Lilienthal (1848–1896) és Gustav Lilienthal közösen fogalmazták meg a repülés három alapvető feltételét:

⁵A repülőgépet nagy magasságokra tervezték, valószínűleg azért, hogy a Napból érkező energiákat a lehető legjobban fel tudja fogni, és ne legyen hatással a repülésre az időjárás [3].

(1) a felhajtóerőt, (2) a hajtóerőt, (3) a kormányzást. Az általuk épített siklórepülőgéppel sikeresen végrehajtott kísérleti repülésekkel bizonyították a levegőnél nehezebb repülőeszközök repülési képességét, elméletük helyességét.

Wilbur Wright (1867–1912) és Orville Wright (1871–1948) kifejlesztették és megépítették az első – irányítható, motorral hajtott, levegőnél nehezebb – repülésre alkalmas eszközt. A kutatásaik során kidolgozták a repülőgépek kormányozhatóságának alapelveit.

1903. december 17.-én, az emberiség történetének első motorral hajtott repülőgépével, Orville Wright-nak az észak carolina-i Kitty Hawk (4. ábra), homokdűnéi között sikerült megtennie 12 másodperc alatt, 39 méteres távot 3–4 m/s sebességgel, ellenszélben. Az aviatika úttörői a repülést tudományos kihívásként kezelték, a mindennapi életből vett megfigyeléseik, ötleteik és a gyarapodó ismeretek következtében egyre közelebb kerültek a működő modellek megépítéséhez. Ezek a fáradozások, elért eredmények tették lehetővé, hogy a levegőnél könnyebb és nehezebb szerkezetek a levegőbe emelkedhessenek, manővereket hajtsanak végre, különböző – a hasznos terhelésektől függő – feladatokat lássanak el és visszatérjenek a földre. Munkásságuk teremtette meg a napjainkban is folyamatosan fejlődő repüléstudomány – ezen belül a pilóta nélküli repülőgépek üzemeltetéséhez, fejlesztéséhez szükséges – alapismereteit [2][6].



4. ábra Kitty Hawk [39]

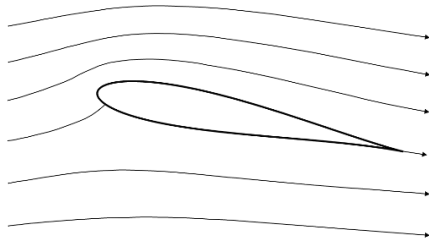
2.2 Repüléselméleti alapok

Az áramló közeg törvényszerűségeivel és az áramlásba helyezett testekre ható erőkkel foglalkozó tudomány aerodinamikának nevezzük.

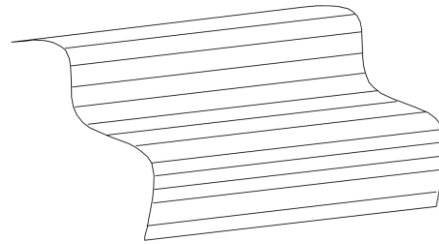
A megfordíthatóság elvét felhasználva – azaz mindegy, hogy a test áll és a közeg mozog (szélcsatorna); vagy a közeg áll és a test mozog (repülőgép repülése) – vizsgáljuk meg a pilótánélküli repülőgépek az áramlási viszonyait és a keletkező erőket.

Az áramlás megjelenítésére, az áramlási tér sebességviszonyainak megjelenítésére, leírására az

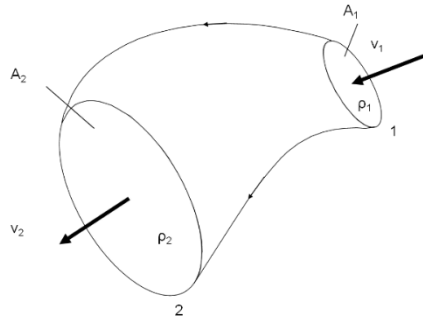
áramvonalak⁶ összességéből álló áramképet (5. ábra), az áramfelületet⁷ (6. ábra) és az áramcsövet⁸ (7. ábra) használhatjuk.



5. ábra Áramkép [38]



6. ábra Áramfelület [38]



7. ábra Áramcső [38]

2.3 Az áramlástan alaptörvényei

Az áramlástan tárgyaként a folyadékok és gázok egyensúlyát és mozgását vizsgáljuk. Az áramló közegek viselkedésének megismeréséhez szükségünk van olyan változókra, amelyekkel jellemezni tudjuk az áramlásokat. A levegő, mint közeg jellegzetes mozgásformája az áramlás. Az áramlás egy intuitív mechanikai fogalom, amely a teret hézagok nélkül kitöltő közeg folytonos deformációinak végtelen sora [9].

Az áramlástan három alaptörvénye:

1. folytonosság (continuitás) egyenlet;
2. Bernoulli tétel;
3. impulzus tétel.

2.3.1 A folytonosság egyenlet

Az anyagmegmaradás törvényét fejezi ki áramló közegre. Az áramlás leírásához bevezették az áramcső – az áramlási térben felvett kis zárt görbén áthaladó áramvonalak által alkotott cső – fogalmát, 7. ábra. Vegyünk egy áramcsövet, a két keresztmetszet között nem lehet:

- forrás (közeg bevezetés);
- nyelő (közeg elvezetés).

⁶ Áramvonal: a sebességvektorok burkológörbéje egy adott időpillanatban.

⁷ Áramfelület: tetszőleges térgörbéből kiinduló áramvonalak összessége.

⁸ Áramcső: Zárt görbére (ami nem áramvonal) illeszkedő áramvonalak összessége. Ennek palástján nem lép ki, vagy be anyag, mert nincs ilyen irányú sebességkomponens.

Az áramlással kapcsolatosan felmerül az a gyakorlati kérdés, hogy egy tetszőlegesen kiválasztott felületen (pl. egy cső keresztmetszetén) adott idő alatt mennyi gáz (levegő) áramlik át, vagyis mekkora az áramlás „erőssége”.

Tömegáram: Adott keresztmetszeten másodpercenként átáramló közeg tömege.

$$m_{\text{sec}} = \rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 = \text{áll.} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (1)$$

ahol: m_{sec} a másodpercenként átáramló tömeg

ρ – a levegő sűrűsége;

v – sebesség;

A – keresztmetszet;

Ha a sűrűség állandó ($\rho = \text{áll.}$) az előző egyenlet egyszerűsödik:

$$Q_{\text{sec}} = v_1 A_1 = v_2 A_2 = \text{áll.} \quad [\text{m}^3/\text{sec}], \quad (2)$$

a térfogatáramra.

Az előzőekből következik, hogy (1) a szűkülő csőben (konfúzor) a sebesség nő; (2) bővülő csőben (diffúzor) a sebesség csökken. (Hangsebesség felett a ρ erősen csökken, így pont fordítva: bővülő Laval-csőben lehet hangsebesség fölé gyorsítani az áramlást) [7][10].

2.3.2. Bernoulli – egyenlet

A mechanikai energia megmaradás törvényét fejezi ki áramló sűrűségmentes közegre. A két keresztmetszet között nem lehet energia betáplálás, illetve elvétel. Egységnyi térfogatú közegnek a munkavégző képessége lehet:

→ belső energiából, itt a közeg nyomásából. A nyomás nem más, mint az egységnyi térfogatú közeg belső energiából származó munkavégző képessége ($P_a = \frac{N}{m^2} = \frac{N m}{m^3} = \frac{\text{Joule}}{m^3}$);

→ helyzeti energiából. Ha $V = 1 \text{ m}^3$, akkor $m = \rho V = \rho$, így

$$E_h = m g h = \rho g h \quad (3)$$

→ mozgási energiából. Itt is $V = 1 \text{ m}^3$ esetén $m = \rho$

$$E_m = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{\rho}{2} v^2 \quad (4)$$

Az energia-megmaradás törvénye értelmében bármelyik keresztmetszetben a térfogategység összmunkavégző képessége azonos. Legyen $\rho = \text{áll.}$ ($v < 500 \text{ km/h}$)

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho}{2} v_2^2 \quad (5)$$

Levegőnél a közeg sűrűsége miatt a $\rho g h$ -tag elhanyagolható, és így

$$p + \frac{\rho}{2} v^2 = \text{áll} = p_{\text{össz}} \quad (6)$$

ahol: p – statikus nyomás;

$\frac{\rho}{2} v^2$ – dinamikus nyomás (amelyet q -val is jelöljük: $q = \frac{\rho}{2} v^2$);

$p_{\text{össz}}$ – össznyomás.

$$p_{st} + q = p_{\text{össz}} = \text{áll.} \quad (7)$$

Ahol a sebesség nő, ott a statikus nyomás csökken és fordítva [7][8][10].

2.3.3. Impulzus tétel

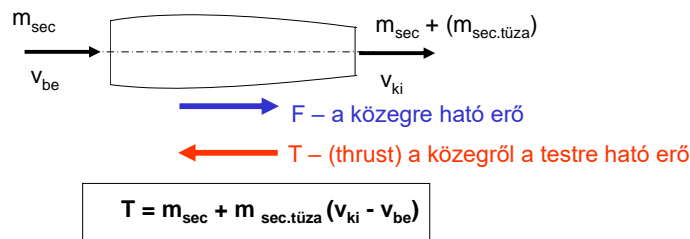
Felhasználható a légsavár vonóerő, a forgószárny vonóerő, a sugárhajtómű tolóerő, a rakéta tolóerő meghatározására akkor is, ha csak egy úgynevezett ellenőrző felület mentén ismerjük a nyomás (p) és a sebesség (v) változását. Merev testekre:

$$\overline{F} = m \overline{a} = m \frac{d\overline{v}}{dt} = \frac{d(m\overline{v})}{dt} = \frac{d\overline{I}}{dt} \quad (8)$$

ahol: $m\overline{v} = \overline{I}$ – impulzus vektor;

F – a közegre ható erő;

Δv – a sebesség változása.



8. ábra Sugárhajtómű tolóereje [38]

Ugyanakkora nagyságú, de ellentétes értelmű erő hat a közegről arra az elemre, ami gyorsította. (pl.: sugárhajtómű tolóereje, 8. ábra) [7][10][11].

2.4 Az aerodinamikai erők

Két okból képződhetnek: (1) a közeg belső súrlódásából (súrlódási ellenállás), (2) nyomás-különbségből (alakellenállás, felhajtóerő). A felhajtóerő L (lift) – az eredő légerő zavartalan áramlás irányára merőleges komponense. Kísérletekkel bizonyítható, hogy a felhajtóerő a repülési sebességtől, a levegő sűrűségétől, az áramlásba helyezett test alakjától és méretétől, valamint az áramlásbeli helyzetétől függ:

$$L = \frac{\rho}{2} v^2 S c_L \quad (9)$$

Az ellenállási erő D (drag) – az eredő légerő zavartalan áramlás irányú, mozgást akadályozó összetevője:

$$D = \frac{\rho}{2} v^2 S c_D \quad (10)$$

Eredő légerő:

$$R = \frac{\rho}{2} v^2 S c_R \quad (11)$$

ahol: c_L – felhajtóerő-tényező;
 c_D – ellenállási-erőtényező;
 c_R – eredő légerő-tényező;
 S – a szárny alaprajzi felülete, vagy homlokfelület.

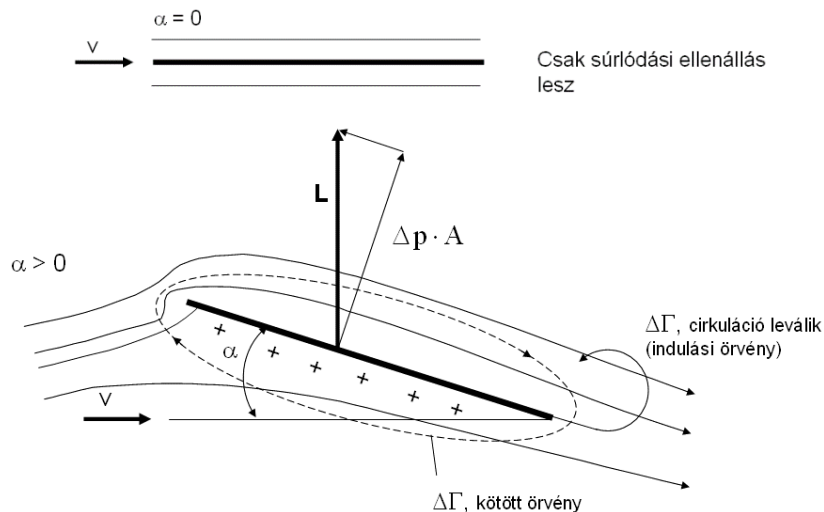
Tapasztalat és a dimenzióanalízis alapján elmondható, hogy minden aerodinamikai erő arányos a dinamikus nyomással és a felülettel⁹ (A vagy S). Az előzőekben bemutatott erőtényezők mértékegység nélküli arányossági tényezők, aerodinamikai jellemzők [7].

2.5 A felhajtóerő

Az aerodinamikai intézetek a szárnymetszetek jellemzőit katalógusokban adják meg [8][12].

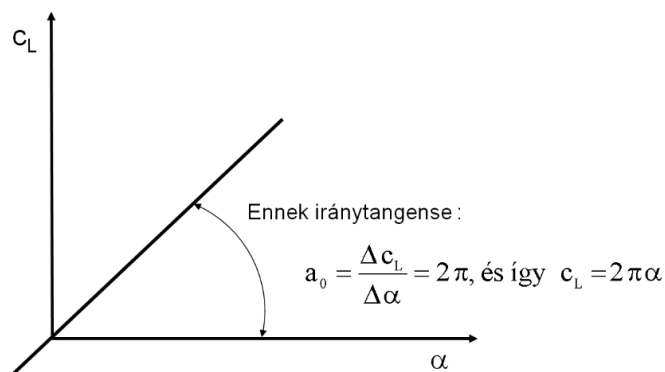
Síkáramlást vizsgálunk.

a.) Síklapon



9. ábra Síklap felhajtó ereje [38]

Állásszög (α) – a zavartalan áramlás és a húr által bezárt szög.

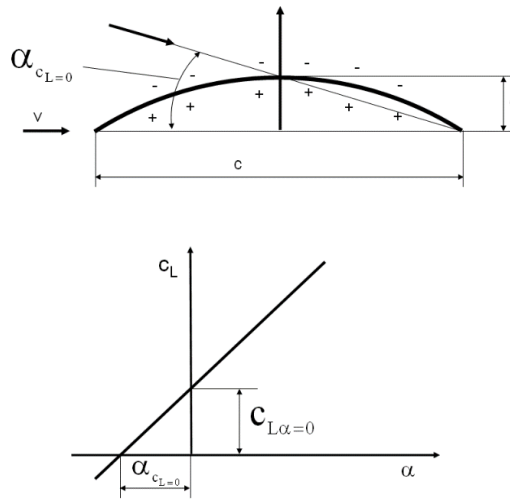


10. ábra Felhajtóerő tényező az állásszög függvényében síklapnál [38]

⁹ lehet homlokfelület, súrolt felület vagy alaprajzi felület.

b) Ívelt felületen

Az ilyen felületen, már $\alpha = 0$ állásszög esetén is keletkezik felhajtóerő, mert felül gyorsul az áramlás a nyomás pedig csökken, alul lassul az áramlás, ezért a nyomás növekszik.



11. ábra Felhajtóerő tényező az állásszög függvényében ívelt felületen [38]

Az ábrából:

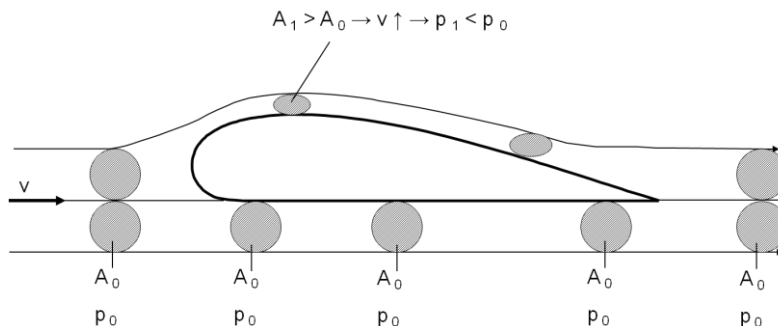
$$\alpha_{c_L=0} \approx \operatorname{tg} \alpha_{c_L=0} = \frac{-d}{\frac{c}{2}} = -\frac{2d}{c} = -2\bar{d} \quad (12)$$

ahol: $\alpha_{c_L=0}$ – a zérus felhajtóerő irány, vagyis negatív állásszöggel kell megfújni a felületet, hogy ne keletkezzen rajta felhajtóerő.

c) Profilozott felületen

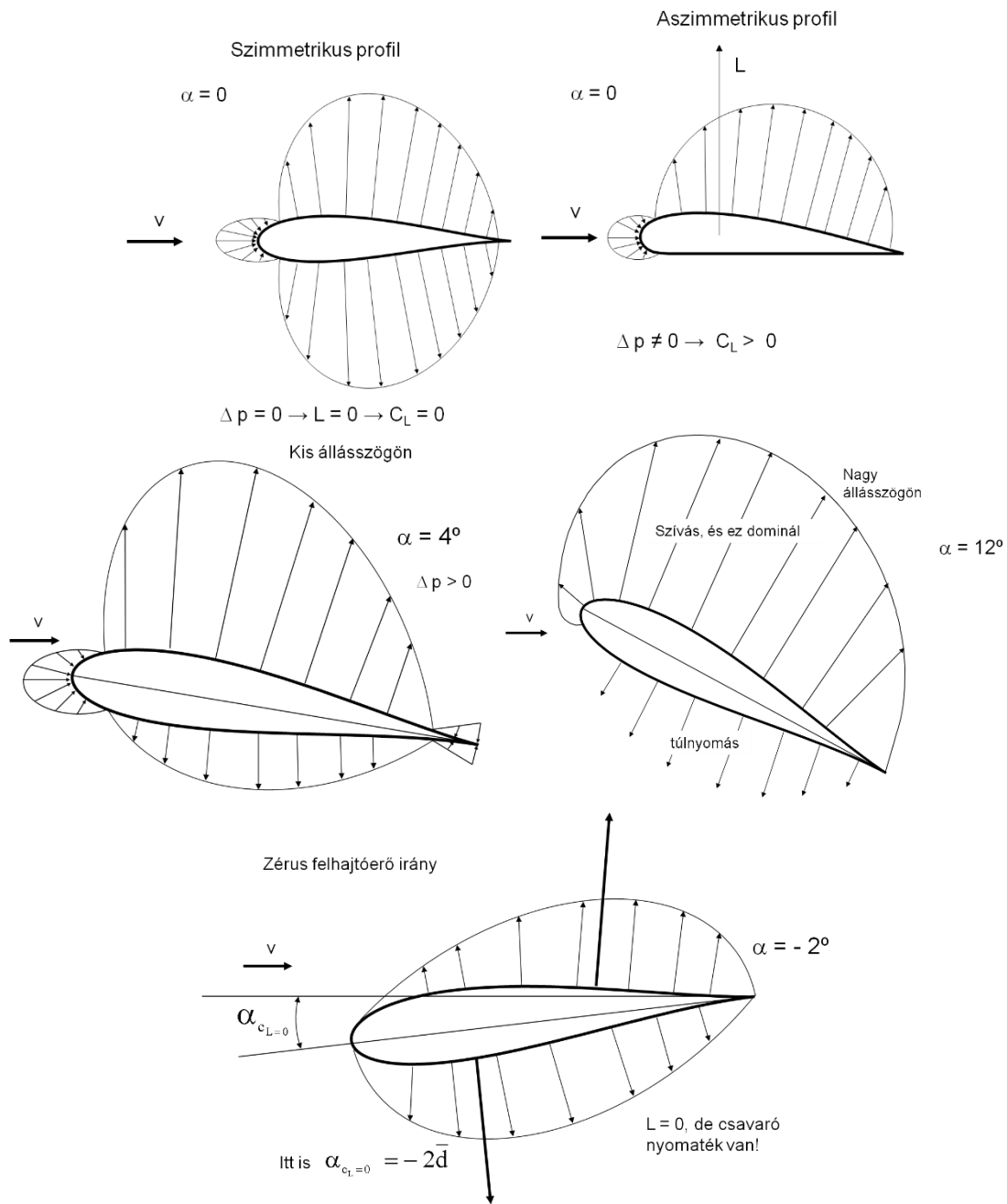
Itt a profil alsó és felső oldala közötti nyomáskülönbség, ami a felhajtóerőt eredményezi és az állásszögon kívül függ a profil alakjától is.

Magyarázata a folytonosság és a Bernoulli-tétel alapján: $\alpha = 0$, felül domború alul sík profil (12. ábra).



12. ábra Szárnymetszet körüláramlása [38]

A felső oldalon kisebb lesz a nyomás, mint alul és a nyomáskülönbséget szorozva a felülettel kapjuk a felhajtóerőt. A nyomáseloszlás változása az állásszög függvényében (13. ábra):

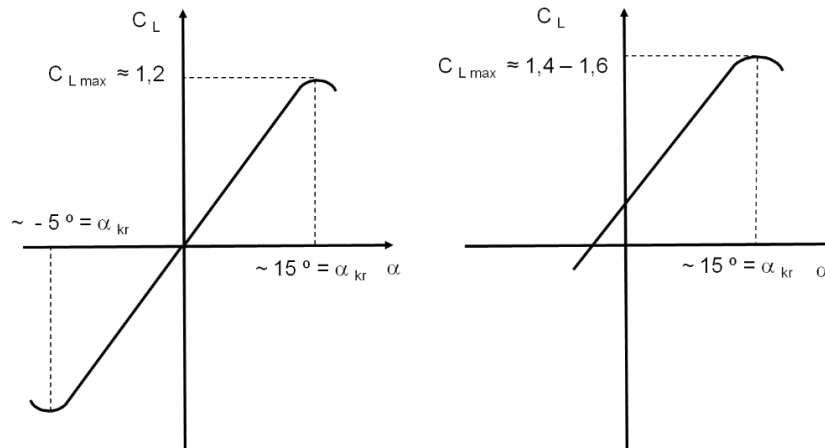


13. ábra Nyomáseloszlás változások különböző állásszögek esetén [38]

Kritikus állásszög: ennél az állásszögnél az áramlás leválik a szárny felső oldalán és a szárny alsó nagyobb nyomású oldaláról a felső oldalra áramlik a közeg, a nyomáskülönbség csökken és ezért a felhajtóerő nem nő tovább az állásszög (α) növelésekor. A kritikus állásszöghöz tartozó felhajtóerő tényezőt **maximális felhajtóerő tényezőnek** ($C_{L \max}$) nevezzük [14].

Kritikus állásszögnél nagyobb állásszögek esetén a felhajtóerő tényező lecsökken, átesik a profil és az áramlásleválás miatt erősen megnő a profilellenállás (14. ábra).

A $C_L = f(\alpha)$, függvény:



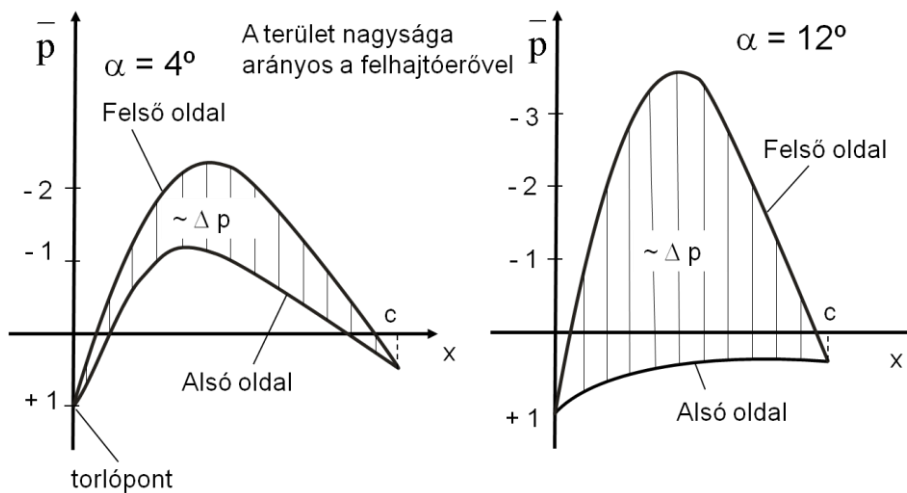
14. ábra $C_L = f(\alpha)$, függvény szimmetrikus és aszimmetrikus szárnymetszet esetén [38]

Kb. $0,9 C_{L \max}$ -ig lineáris a $C_L = f(\alpha)$, függvény. Az átesés jellege (éles, fokozatos) függ a profil íveltségétől és az orrgömbületi sugártól. Nagy orrgömbületi sugár esetén fokozatos az átesés [11].

A felhajtóerő tényező számszerű értékelésére alkalmas, ha a felső és alsó oldalon lévő nyomásokat úgynevezett nyomástényezőként ábrázoljuk (15. ábra).

$$\bar{p} = \frac{p - p_0}{\frac{\rho}{2} v^2} \quad (13)$$

Itt a p_0 – a zavartalan áramlás statikus nyomása.

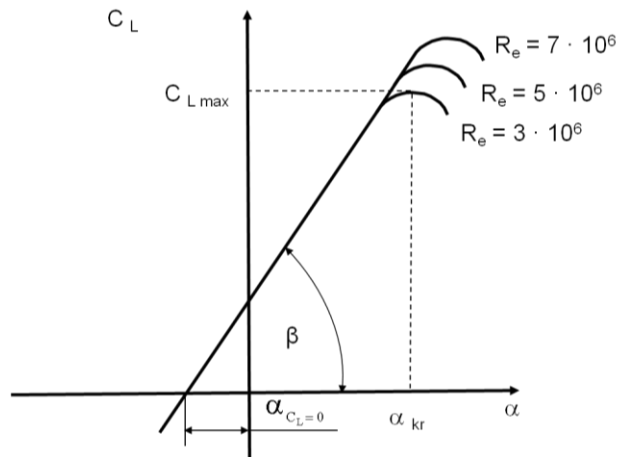


15. ábra Nyomástényező [38]

Szárnyprofilok jellemző aerodinamikai görbéi, amelyek az aerodinamikai intézetek adnak meg:

- $C_L = f(\alpha)$, felhajtóerő tényező;
- $C_{Dpr} = f(\alpha)$, profil-ellenállási erőtényező;
- C_{m0} , C_{mAC} , nyomatéki tényező.

a) $C_L = f(\alpha)$, felhajtóerő tényező



16. ábra Felhajtóerő tényező változása különböző Reynolds-számok esetén [38]

A Reynolds-szám mértékegység nélküli szám, amely a tehetetlenségi erők és a viszkozus erők, azaz a közeg belső súrlódása közötti viszonyszám, és az alábbi képlettel számítható:

$$Re = \frac{v l}{\nu} \quad (14)$$

ahol: v – az áramlási sebesség [m/s],
 l – egy jellemző hossz méret [m],
 ν – a kinematikai viszkozitás [m²/s].

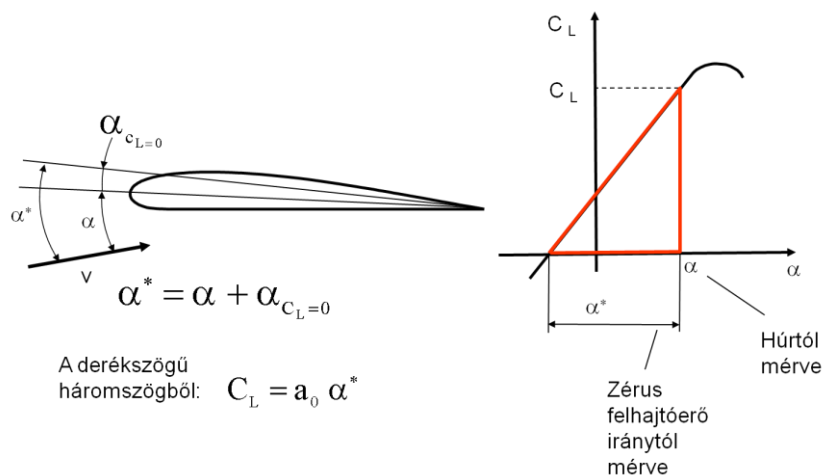
$\alpha_{C_L=0} = -2d$, pl. 2%-os íveltség esetén $\alpha_{C_L=0} \approx -2,5^\circ$.

Az egyenes szakasz meredeksége $tg \beta = \left(\frac{\Delta C_L}{\Delta \alpha} \right)_{AR=0} = a_0$

Az a_0 értékei:

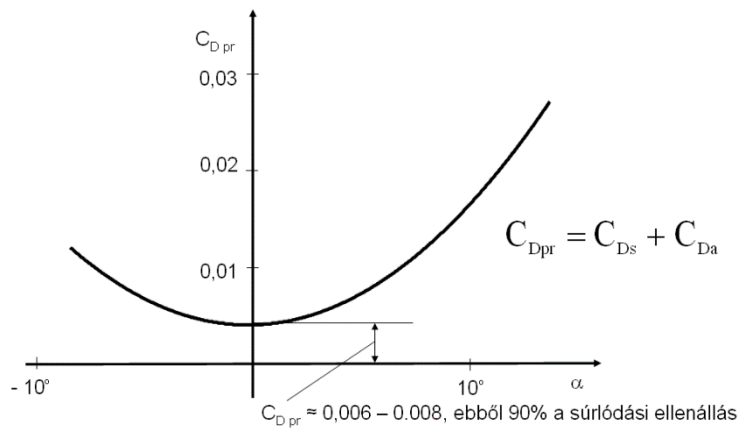
- elméleti, 2π (mint a síklaplánl);
- gyakorlati, 5,6–6,1;
- lamináris profil, 6,3.

A meredekség ismeretében felírható a C_L és α közötti kapcsolat (17. ábra), ha az állásszöget nem a húrtól, hanem a zérus felhajtóerő iránytól mérjük (aerodinamikai húr) [16].



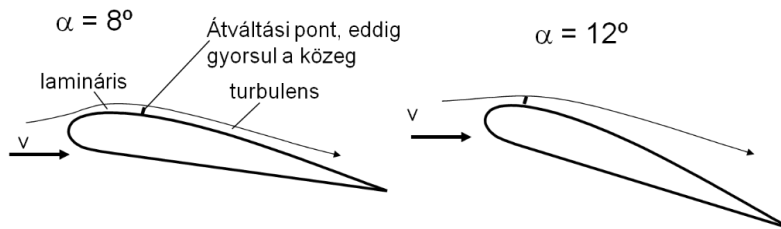
17. ábra Felhajtóerő tényező változása az állásszög függvényében [38]

b) $C_{Dpr} = f(\alpha)$, profil-ellenállási erőtenyező



18. ábra Profil-ellenállási erőtenyező változása az állásszög függvényében [38]

Az állásszög növekedésekor a lamináris – turbulens határreteg átváltási pontja előre mozog, egyre nagyobb lesz a turbulens határreteg [15] (19. ábra).



19. ábra Lamináris és turbulens határreteg [38]

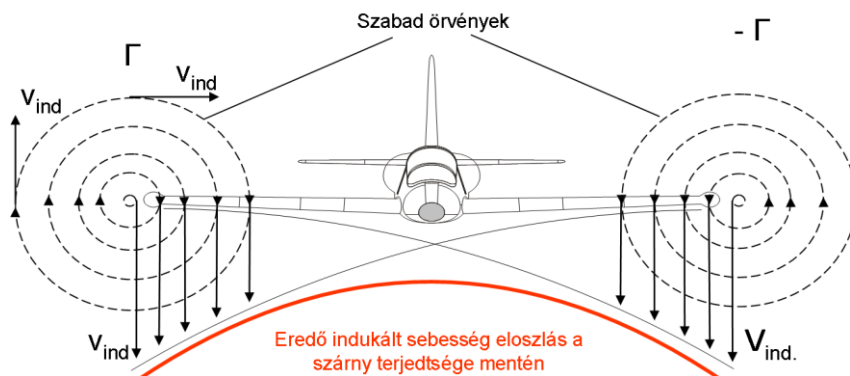
2.6 Véges szárnyak aerodinamikája

Eddig a profil körüli áramlással és az ebből származó erőkkel foglalkoztunk. Ez $AR = \infty$ karcsúságnak és síkáramlásnak felel meg (értelemszerűen ez $c = \text{áll. húr}$ hosszát jelentett).

A valós szárnyak a mérsékelt sebességtartományban ($v < 500 \text{ km/h}$) $AR = 6\text{--}20$ karcsúsággal rendelkeznek és a szárny véges volta miatt megváltoznak a körüláramlási viszonyok.

Vegyünk egy téglalap alakú véges szárnyat és vizsgáljuk meg a különbségeket.

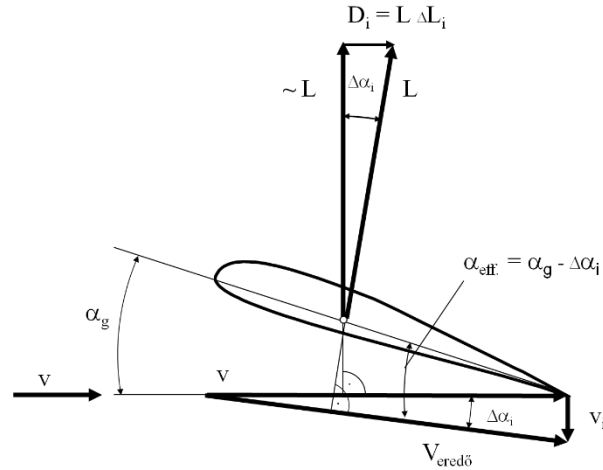
A szárnyvégi nyomáskiegyenlítődés miatt térbeli lesz a szárny körüláramlása. A sebességnek lesz „y” irányú komponense is. Nagy szárnykarcsúságnál (pl.: vitorlázó repülőgép) csak a szárnyvégén érződik, a szárnytőhöz közel síkáramlás van [11][17].



20. ábra Szárnyvégi feláramlás [38]

A szárny síkján a szárnyvégi örvény miatt a levegő felülről lefelé áramlik át, ami csökkenti a szelvények effektív állásszögét. A felhajtóerő az eredő sebességre lesz merőleges.

Létrejön az indukált ellenállás, melynek oka az, hogy a felhajtóerő az indukált sebesség miatt megdől hátrafelé és lesz egy mozgást akadályozó összetevője D_i (21. ábra).



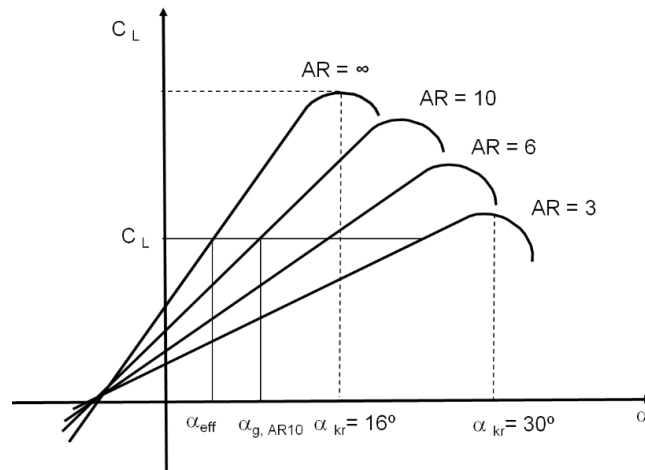
21. ábra Indukált ellenállás, D_i [38]

Itt: α_{eff} – a hatásos állásszög;

α_g – a geometriai állásszög;

α_i – az indukált sebesség miatti állásszög csökkenés.

Adott C_L létrehozásához $\Delta\alpha_i$ – vel nagyobb geometriai állásszög szükséges [18].



22. ábra Felhajtóerő tényező változása az állásszög függvényében különböző szárnykarcsúságok (AR) esetén [38]

Véges szárny ellenállási erőtényezője:

$$C_{D_{\text{szárny}}} = C_{D_{pr}} + C_{D_i} = C_{D_{pr}} + \frac{C_L^2}{\pi AR} \quad (15)$$

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben áttekintésre kerültek azok a fontos repüléselméleti alapismeretek, amelyek alapján a pilóta nélküli légi járművek működése jobban megérthető. Az UAV-k fejlődésében nagyrészt a katonai szektor által mutatott érdeklődés játszott elsődleges szerepet. A pilóta nélküli légi jármű rendszerek széles körű feladatellátásra alkalmasak. Napjaink katonai UAV-s alkalmazásainak egy része a merevszárnyas robotrepülőket részesíti előnyben. Egyre nagyobb törekvés mutatkozik a többfunkciós alkalmazásra.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Heimer György: Magyarok is próbálkoztak: új, halálos fegyver, a drón. (online), url: http://hvg.hu/vilag/20111202_dron_repulo (2016.10.12.)
- [2] Szegedi P.: A pilóta nélküli repüléshez kapcsolódva...: Tanulmány a pilóta nélküli légi járművek működésével és üzemeltetésével kapcsolatban. (Békési Bertold, Szegedi Péter szerk.) Szerzői kiadás, Szolnok, 2016. 80 p. (ISBN: 978-963-12-5224-8), (online), url: https://ludita.uni-nke.hu/repository/bitstream/handle/11410/10148/Tanulmany_Szegedi_P%C3%A9ter.pdf?sequence=2&isAllowed=y (2016.10.14)
- [3] Óvári Gy., Kovács J., Szegedi P.: Preliminary Design of Controller for the Lateral Motion of an Unmanned Aerial Vehicle, Proceedings of the 10th International Conference: Transport Means 2006. Kaunas, Litvánia, 2006. pp. 328-331.
- [4] Békési B., Szegedi P.: Preliminary Design of Controller of Longitudinal Motion of the Unmanned Aerial Vehicle Using LQR Design Method, Proceedings of the 10th International Conference: Transport Means 2006, Kaunas, Litvánia, 2006. pp. 324-327.
- [5] Szegedi P.: Szojka–III pilóta nélküli repülőgép repülésszabályozójának tervezése LQR módszerrel, Repülés-tudományi Közlemények, Szolnok, 2005/1. pp. 87-102.
- [6] Békési Bertold, Szegedi Péter: A nanotechnológia lehetséges katonai alkalmazásai, Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban, Miskolc, 2016. 05. 25., Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2016. pp. 592-601. ISBN: 978-963-7064-33-3
- [7] Dr. Békési László, dr. Békési Bertold: Merevszárnyú pilóta nélküli légi járművek (UAV-k), Szolnoki Tudományos Közlemények XVII: 2013. pp. 7-34.
- [8] Anderson, John David, Jr. Fundamentals of Aerodynamics 1986. ISBN 0-07-Y66164-2
- [9] Dr. Tóth Anikó: Bevezetés az áramlásban, Miskolci Egyetem 2012, (online), url: <http://www.gas.uni-miskolc.hu/publics/Toth%20Aniko%20Bevezetes%20az%20aramlastanba%202013.pdf> (2016.10.14)
- [10] Dr. Pokorádi László Aerodinamika I. Ideális közeg általános aerodinamikája, Szolnoki Repülőtiszt Főiskola 1992.
- [11] Д. М. Прицкер, Г. И. Сахаров Аэродинамика. Машиностроение, Москва, 1968.
- [12] В. Г. Микеладзе, В. М. Титов Основные геометрические и аэродинамические характеристики самолетов и крылатых ракет. Машиностроение, Москва, 1974.
- [13] Békési Bertold, Papp István, Szegedi Péter: UAV-k légi és földi üzemeltetése, *Economica* (Szolnok), 2013/2. pp. 99–117.
- [14] Szelestey Gyula: Repüléselmélet. Kézirat.
- [15] Dr. Pokorádi László Aerodinamika II. Sűrűlódásos és az összenyomható közeg áramlása, Szolnoki Repülőtiszt Főiskola 1992.
- [16] Dr. Pokorádi László Aerodinamika III. Ideális közeg két- és háromméretű áramlása, Szolnoki Repülőtiszt Főiskola 1992.
- [17] L. M. Milne-Tomson Theoretical aerodynamics, Dover Publication Inc. 1996. ISBN 0-486-61980-X
- [18] Dr. Rácz Elemér Repülőgépek. Tankönyvkiadó, Budapest, 1969.
- [19] Dr. Békési Bertold, dr. Szegedi Péter: Pilóta nélküli légi járművek - biztonság vagy fenyegetés, XV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely, 2017. pp. 130-141. (ISBN:978-963-9871-61-8)
- [20] Szegedi Péter: Pilóta nélküli repülő eszközök, Repülés-tudományi Közlemények (1997-től), Szolnok, 2004/1. pp. 63-77.

- [21] Békési Bertold, Szegedi Péter: Gondolatok a jövőbeni fegyverek alkalmazási lehetőségeiről, XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Szombathely: Nyugat-magyarországi Egyetem, 2015. pp. 183-188. (ISBN:978-963-359-053-9)
- [22] Békési Bertold, Szegedi Péter: A megbízhatóság gyakorlati alkalmazása, leggyakrabban alkalmazott mérőszámok a repülőgépek fedélzeti rendszerei meghibásodásának becslésére, Repülőműszaki üzembentartó szervezetek működésével, fejlesztésével kapcsolatban Tanulmánykötet a BSc, MSc hallgatók számára. Szeged: Magánkiadás, 2016. pp. 18-48. (ISBN:978-963-12-5621-5)
- [23] Tóth József: A repülő műszaki tisztek szakmai kompetenciáinak kutatása, Hadmérnök XI:(2), 2016. pp. 11-22.
- [24] Rozovicsné Fehér Krisztina, Óvári Gyula, Kavas László: Üzemanyagcella alkalmazása a repülésben, Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban, Miskolc, Magyarország, 2016.05.25 Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2016. pp. 182-195. (ISBN: 978-963-7064-33-3)
- [25] Óvári Gyula, Kavas László, Rozovicsné Fehér Krisztina: Solar Impulse, Repüléstudományi Közlemények (1997-től), Szolnok, 2015/1. pp. 30-40.
- [26] Rozovicsné Fehér Krisztina, Békési László, Óvári Gyula: A napenergia és a repülőgépek, Szolnoki Tudományos Közlemények XVIII.: 2014. pp. 69-78.
- [27] Szegedi Péter, Óvári Gyula: Hagyományos repülőgép-üzemanyagok kiváltásának lehetőségei és korlátai, Hadmérnök V:(4) 2010. pp. 16-37.
- [28] Békési Bertold, Juhász Márta: Pilóta nélküli légi járművek energia forrásai, *Economica* (Szolnok) VII:(1), 2014. pp. 92-100.
- [29] Szegedi Péter, Békési Bertold: Sensors on Board of the Unmanned Aerial Vehicles, Proceedings of 19th International Scientific Conference Transport Means, Kaunas, Litvánia, 2015. pp. 219-222.
- [30] Békési Bertold, Szegedi Péter: Napjainkban fejlesztett fegyverrendszerek megjelenése a jövő hadszínterein, tudás alkalmazás és fejlesztés szempontjából, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2015/3: pp. 105–116. (online), url: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_3/2015-3-08-0223_Bekesi_B-Szegedi_P.pdf (2016.10.12)
- [31] Békési Bertold: Redundancy on Board of UAVs – Energy Systems, In: Donatas Markšaitis, Rolandas Makaras, Ovidijus Putnynas (szerk.). Proceedings of the 16th International Conference: Transport Means 2012. Kaunas, Technogija, 2012. pp. 158-161.
- [32] Békési Bertold: Pilóta nélküli légi jármű típusok sárkányszerkezeti megoldásai. In: Pokorádi László (szerk.), Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2013. 518 p. Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, Elektronikus Műszaki Füzetek 13, 2013. pp. 122-132. (ISBN:978-963-7064-30-2)
- [33] Palik Mátyás: Pilóta nélküli légi jármű rendszerek légi felderítésre történő alkalmazásának lehetőségei a légierő haderőnem repülőcsapatai katonai műveleteiben PhD értekezés, Budapest. 2007.
- [34] Békési Bertold: UAV-k sárkányszerkezeti megoldásai Szolnoki Tudományos Közlemények XV. Szolnok, 2011. pp. 1-11. (online), url: http://www.szolnok.mtesz.hu/sztk/kulonszamok/2011/cikkek/Bekesi_Bertold.pdf (2016.10.14)
- [35] AVIAdron Беспилотные летательные аппараты: Reapter, (online), url: <http://aviadron.ru/wp-content/uploads/2015/03/aviadron-reapter.jpg> (2016.10.12)
- [36] AVIAdron Беспилотные летательные аппараты: Hummingbird, (online), url: <http://aviadron.ru/wp-content/uploads/2015/03/aviadron-hummingbird.jpg> (2016.10.12)
- [37] IEEE Specrum, Robo Raven, (online), url: <https://i.ytimg.com/vi/K7ICOCfPI8/hqdefault.jpg> (2016.10.12)
- [38] Szerkesztette: Dr. Békési László (MS PowerPoint)
- [39] Dr. Békési László felvétele, Tucson Aviation Museum, Arizona

BASICS FOR THE THEORY OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

Unmanned aerial vehicles are a significant type of military equipment in recent warfare. Their structure and functions are almost the same as those of manned airplanes and helicopters. The first part of the article deals with the main categories of aircraft types and the main features of unmanned devices. The author sums up the basics of the theory of flight in the second part of the article, namely the fundamental laws of the dynamics of flows, aerodynamic forces and characteristics, and the theory of finite wings.

Keywords: *theory of flight, flow, aerodynamic forces, finite wing, aircraft systems, drones.*

Dr. BÉKÉSI László, PhD
Nyugalmazott főiskolai tanár
ldrbksi@gmail.com
orcid.org/0000-0002-4794-2092

Dr. László BÉKÉSI, PhD
Retired college professor
ldrbksi@gmail.com
orcid.org/0000-0002-4794-2092



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016_3/2016-3-11-0354_Bekesi_Laszlo.pdf