

Rohács József¹ – Horváth Zsolt Csaba²

A REPÜLÉSBIZTONSÁG PROBLÉMÁJA ÉS FEJLESZTÉSI ELVEI³

A repülésbiztonság a modern repülés egyik legfontosabb jellemzője. Manapság egy komoly probléma jelent meg, a repülési kockázat csökkentése közelít a műszaki lehetőségek elfogadható költség-ráfordíthatóságának határához. A repülésbiztonság további fejlesztésének új elveit kell felfedezni és alkalmazni. Ez a cikk az általános repülésbiztonság leírásával és meghatározásával, a repülésbiztonság jövőbeni fejlesztése új elveinek, a fizikai, technikai és nem technikai módszereinek az azonosításával foglalkozik.

PRINCIPLES OF THE FLIGHT SAFETY DEVELOPMENT

Flight safety is one of the most important feature of the modern aviation. Nowadays, there is a serious problem has appeared, reaching the limit of decreasing the flight risk with use of technical possibilities within the accepted cost level. New principles of future development of the flight safety must be discovered and applied. This paper deals with general description and definition of the flight safety generally, identification of the new principles of future flight safety development including the physical, technical and non-technical methods.

BEVEZETŐ

A biztonság, mint a biztonságos szálláshely megszerzése, a terület megvédése már az állatvilágban is ismert és komplex cselekvésfolyamat eredményét jelenteti, melynek értelmezése, értékelése az emberiség egyik legősibb ismeretanyaga. Ennek ellenére, a katonai biztonságon túlmutatóan, e fogalom általánosan, csak az ipari forradalom során kezdett kialakulni. A tényleges tudományos és technológiai forradalom, amely alapvetően megváltoztatta az ember és a természet, valamint az emberek közötti kapcsolatokat a XX. századik váratott magára. Ez vezetett egy új tudomány, a biztonságtudomány létrejöttéhez [1][2][3]. Biztonságnak nevezik a kockázatok, az emberi életre veszélyes helyzetek hiányát.

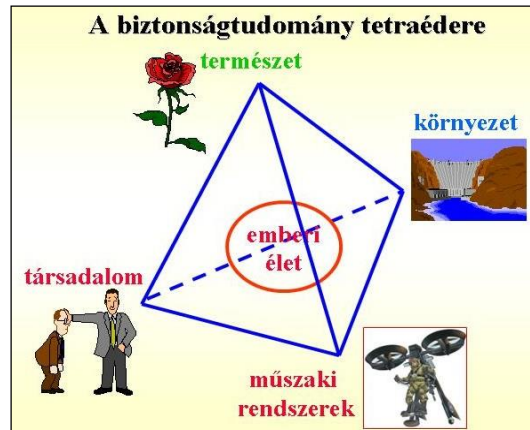
A biztonságtudomány annyira fiatal, hogy még nem alakultak ki az axiómái, nincs egységes fogalmi rendszere, még nem határozták meg az alapvető törvényszerűségeit, vizsgálati módszereit. Miközben a veszélyhelyzetek kezelésére, vagy a kockázatok elemzésére (alapvetően a szabványoknak, követelményeknek való megfelelés vizsgálatára) egy sor eljárás, útmutató létezik [4][5][6][7] még a repüléstudományok terén is. Talán a legáltalánosabb és legegyszerűbb megfogalmazás szerint a biztonságtudomány célja az emberi élet védelme [8][9], melyre kockázatot jelent a természet, az épített környezet, a műszaki rendszerek és a társadalom, azaz a társadalmi, politikai viszonyok (1. ábra). Valójában az igazi kockázatok – részben még a természeti katasztrófák esetében is – az emberi tevékenység generálja. Alapvetően a tudomány és technológia hihetetlenül felgyorsult fejlődése okozza a problémát. Egyfelől az új technológiák,

¹ egyetemi tanár, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, jrohacs@vrht.bme.hu

² egyetemi adjunktus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, zshorvath@vrht.bme.hu

³ Lektorálta: Prof. Dr. Óvári Gyula okl. repülőmérnök, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülőtanszék, ovari.gyula@uni-nke.hu

termékek bevezetésekor nincs elég idő a jelentkező kockázatok teljes körű felmérésére, értékelésére. Másfelől az emberek nem tudnak lépést tartani a tudomány és a technológia fejlődésével. A működtető, karbantartó személyzet nem képes átlátni, megérteni, milyen mértékben veszélyesek az egyre bonyolultabb termelő rendszerek, problémát jelent, hogy a társadalom vélt, vagy valós vitás kérdéseit is a technológiai lehetőségeket maximálisan kihasználva próbálják egyesek megoldani. Ezért az új technológiákat gyakran kellő és eléggé alapos előzetes vizsgálat nélkül alkalmazzák. Végül nagy kérdés, a veszélyhelyzet keletkezése, felderítése, elhárítása mennyire csak műszaki, technológiai probléma.



1. ábra A biztonságtudomány tetraédere

Ez a tanulmány részben a jelenlegi problémák főbb okait, részben a repülésbiztonság fejlesztési elveit próbálja összefoglalni.

I. A REPÜLÉSBIZTONSÁG ÉRTELMEZÉSE

A biztonságtudomány feladata:

- a biztonsági kockázatok feltárása (kockázatbecslési eljárások kifejlesztésével és alkalmazásával);
- a kockázati tényezők, hatások csökkentése (követelmények, ajánlások és szabványok kidolgozásával, biztonságosabb szerkezetek és rendszer-struktúrák kialakításával);
- a kialakult veszélyes helyzetek, katasztrófák következményeinek a mérséklése (mentési, kárelhárítási munkákkal).

Mindhárom feladat sikeres megoldásához új elméleti és gyakorlati módszereket kell kifejleszteni. Ehhez a biztonságtudomány tetraédereként definiált teljes rendszert szükséges vizsgálni, felhasználva a tudomány és a technológia legújabb eredményeit.

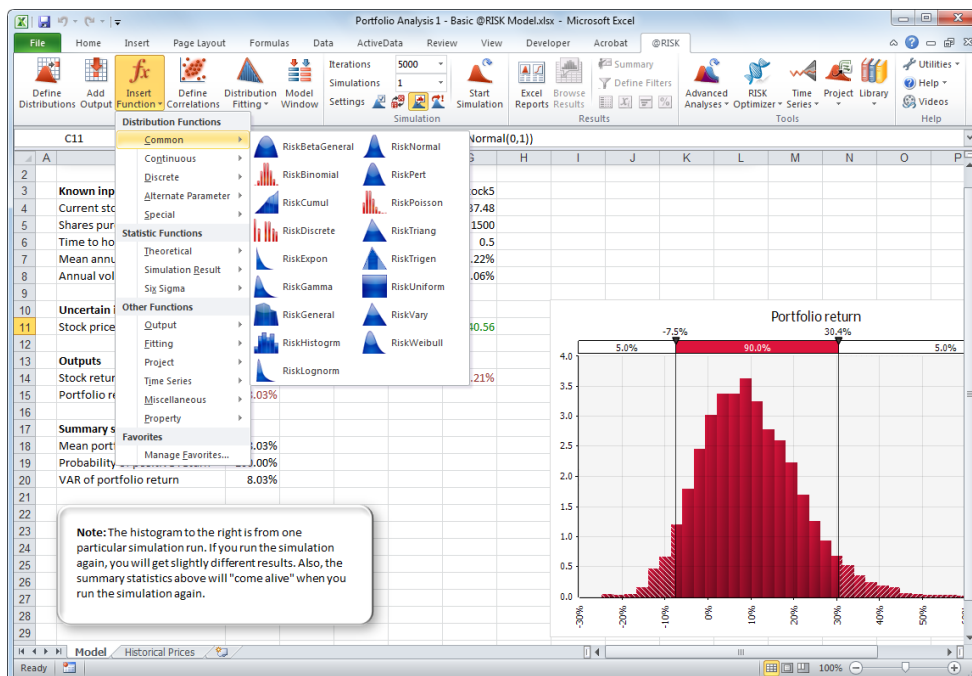
A biztonságtudomány terminológia rendszerével, alkalmazott modelljeivel, vizsgálati módszereivel, mint a tudomány jellegzetességeivel alapvető problémák vannak. Lényegében az egyes alkalmazási területek – így például a repülésbiztonság – kifejlesztették a saját terminológiájukat, vizsgálati módszereiket, számítási modelljeiket, szabályozták a kockázatelemzési eljárásokat, a biztonságos fejlesztés, gyártás és használat feltételeit stb. A biztonságtudománynak, mint szintetizáló, általános tudománynak azonban még nincsenek egységesen alkalmazható elvei, tételei, alapösszefüggései. A legfejlettebbnek a kockázat-elemzési eljárásokat lehet tekinteni.

A repülésben a biztonságtudomány két fontos ága, a repülésbiztonság és a repülésvédelem (azaz a *flight safety* és a *security*) fejlődött ki [10]. Mindkettőt a kockázat megjelenésének a valószínűségével jellemzik. Az első esetben a kockázat olyan váratlan, nem tervezett, és véletlenszerűen megjelenő esemény amely repülőeseményhez, illetve légikatasztrófához vezet. Itt a repülőesemény minden a tervezett és névleges repülési módtól való eltérést, míg a légikatasztrófa a repülőgép megsemmisülését, vagy/és az eseménnyel összefüggő módon minimálisan egy ember elhalálását jelenti. A repülésvédelem olyan - szintén nem tervezett, váratlan és véletlenszerű - kockázatok megjelenésével foglalkozik, melyek jogellenes (pl. gépeltérítés, terrorizmus) cselekmények hatására alakulnak ki, illetve/vagy jogosulatlan, adott tevékenységre fel nem hatalmazott, arra jogosultsággal nem rendelkező személyek okoznak.

Mind a biztonság, mind a védelem terén a kockázatok három sajátos terület szinergiájaként jelenik meg, azaz megkülönböztetnek [10]:

- *fizikai biztonságot* (amely az alkalmazott anyagok fiziko-kémiai tulajdonságaitól, a választott szerkezeti megoldásoktól és a rendszer hierarchiájától, integritástól függ);
- *technikai (vagy műszaki, technológiai) biztonságot* (amit az alkalmazott passzív és érzékelőket, beavatkozó elemeket, szituáció elemzést, meghibásodás detektálást tartalmazó aktív rendszerek biztosítanak);
- *nem-technikai (nem-technológiai) biztonságot* (melyet az alkalmazott előírásrendszer, szabályok, módszerek határoznak meg).

A biztonságtudomány a kockázatok megjelenésének a valószínűségeivel és a bekövetkezett események gyakorisági jellemzőivel írja le a folyamatokat.



2. ábra Kockázatelemző szoftver által alkalmazott sűrűségfüggvények [11]

A kockázatelemzések során egyszerűbb esetekben a kockázat, vagy az esemény megjelenésének valószínűségét exponenciális sűrűségfüggvényt alkalmazva határozzák meg. Teljesebb vizsgálatok során minden eseménytérhez megfelelő eloszlásfüggvényt társítanak (2. ábra) és szimulációs számításokat végeznek.

A kockázatok elemzése alapján határozzák meg a biztonsági követelményeket, melyeket ún. légialkalmassági előírásokban foglalnak össze. Az előírások kiterjednek a tervezésétől kezdve a gyártáson, használaton, karbantartáson keresztül mindenre, ami a repülőgéppel annak létezése során történhet. Az előírások alkalmazása kötelező, az ezeknek megfelelő légi jármű ún. típus és egyedi légialkalmassági tanúsítványokkal rendelkezik, amelynek fizikai és jogi feltételei vannak. Fizikai feltétel, hogy a repülőeszköz jó legyen és alkalmas a biztonságos repülésre, a jogi pedig akkor teljesül, ha a megfelelő típus és légialkalmassági tanúsítványokkal rendelkezik.

A repülőgép-vezetőknek, karbantartóknak, javítóknak is megfelelő alkalmassági bizonyítványokkal, ún. szakszolgálati engedélyekkel kell rendelkezniük. Az is elő van írva, mit tanuljanak, hogyan vizsgázzanak. Ugyanígy a repülőgépeket használó, üzemeltető, a repülőtereket működtető, a légi forgalmat irányító cégek és személyek is megfelelő engedélyek birtokában folytathatják tevékenységüket.

A teljes folyamatot a nemzeti és nemzetközi szervezetek felügyelik, irányítják. Magyarországon az európai szervezetek előírásait és ajánlásait (EASA, EUROCONTROL), kell követni.

Általános érvénnyel igaz, hogy a repülésbiztonság elemi kockázatnak tekinti annak a valószínűségét, hogy 1 millió repült óra alatt egy katasztrófa következik be. Lényegében erre épül az egész légialkalmassági előírásrendszer és a repülés teljes rendszerének a megszervezése, működtetése, ide értve a repülőgépek használatát, kiszolgálását, karbantartását, a légi forgalom irányítását, a repülőterek működtetését, az utasok, csomagok, szállítandó teher, veszélyes áru kezelését, a személyzet kiképzését, a repülőgépek és az üzemeltetési rendszerek fejlesztését stb.

A repülőgépet úgy készítik és üzemeltetik, hogy célfeladatát (utasok szállítását) minél hosszabb ideig, minél kisebb költséggel, az előírt biztonsági szinten ellássa. Itt a minél kisebb költség a hatékonyság, profitabilitás feltétele és – a legújabb szemléletek lapján – magába foglalja a biztonsággal, repülésvédelemmel és a környezetterheléssel kapcsolatos aktuális és hosszabb távú (a fenntarthatóság igényeit kielégítő) követelmények és előírások miatti ráfordításokat is. Az előírt biztonsági szint az elemi kockázat.

Az elemi kockázat abból a tényből indul ki, hogy az emberek „elfogadják” azt a kockázatot, ha 100 000 emberből 1 elhalálozik egy adott esemény során. (Ha ez nem így lenne, akkor senki se vállalkozna arra, hogy meleg nyári hétvégén személygépkocsival menjen le Budapestről a Balatonra.) Ebből, a katasztrófák gyakoriságát, annak bekövetkeztekor a túlélés valószínűségét figyelembe véve származtatható a repülési kockázat. Az elemi kockázat azt is jelenti, hogy erre kell méretezni a repülőgépet. A sárkányszerkezet esetében pl. azt a maximális terhelést kiváltó széllokkést kell számításba venni, mellyel a repülőgép – előírásos feltételek mellett végrehajtott repülés során - egy millió repült óra alatt maximum egyszer találkozhat. A légialkalmassági előírások rögzítik azokat az általános elveket, szabályokat, gyakorlati megfontolásokat, melyeket alkalmazva a repülőgép biztonságosan fog repülni. Természetesen a repülőgép egyes elemeire ennél nagyobb kockázat is elfogadható, de akkor ezeket párhuzamosan kötve kell biztosítani, hogy a katasztrófa kockázata ne haladja meg a légialkalmassági előírásokban megkövetelt értékeket.

A gyakorlatban a repülőgépet tervező és használó technikusok, mérnökök „túteljesítik” a feladataikat. A repülés kockázata a repülőgép típusától és az üzemeltető vállalat sajátosságaitól

függően nem haladja meg a 10^{-7} – 10^{-9} értéket. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy egy Budapest – Párizs repülőút kockázata 20–40-szer kisebb, mint a – forgalomtól függően – kijutni a városközpontból a repülőtérre.

A sport, vagy a kedvtelési repüléskor a repülőgépvezetők az elemi kockázatnál magasabb értéket is elfogadnak. Ugyanakkor az általános repülés (menetrendszerű kisgépes repülés, légitaxi, repülőgépbérlés) során az utasok ugyanazt a repülésbiztonságot elvárják, mintha nagyobb repülőgépeket használnának.

2. A REPÜLÉSBIZTONSÁG JELLEMZÉSE ÉS ELEMZÉSE

Repülésbiztonságnak nevezik a levegőben történő mozgás során, a komplex emberi és műszaki tevékenység eredményeként létrejött, az adott körülmények között optimális működőképességet, illetve e működőképesség megtartásának valószínűségét.

A repülőeszközök repülésük során a következő helyzetek valamelyikében vannak [12]:

- *normál repülés*, amikor a repülőgép és annak minden eleme az előírt, azaz normatív – a dokumentációkban, üzemeltetési utasításokban előre rögzített – állapotban van, képes teljesíteni célfeladatát (pl. biztonságosan szállít utasokat A-ból B-be);
- *anomália*, a rendszer-jellemzők a gyártási és üzemeltetési dokumentációkban előírt névleges értékektől oly mértékben térnek el, melyek még az előírt tűrési mezőben vannak ugyan, de a hagyományos értelemben vett irányítástechnikai módszerekkel már nem kezelhetők;
- *üzemzavar* esetén a repülőgép berendezései, elemei, rendszerei közül egy, vagy több elvesztette előírt állapotát, de a repülési célfeladat biztonsággal teljesíthető (pl. párhuzamos rendszer egyik ága, vagy a tartalék rendszer üzemel);
- *veszélyes állapot* (vészhelyzet), a légi eszköz olyan eleme, berendezése, vagy rendszere, esetleg ebből egyszerre több is meghibásodott, amely hiányában a célfeladat – az eredetileg tervezett formában – biztonságosan nem teljesíthető, vészhelyzeti megoldásokhoz kell folyamodni (pl. a hermetikus utastér dehermatizációjakor vészsüllyedéssel, igen rövid idő alatt kell áttérni az utasok számára biztonságos repülési magasságra);
- *baleseti helyzet*, a légi eszköz oly mértékű károsodása (pl. hajtóműtűz), hogy a katasztrófa csak – a repülőgépvezetők számára rendkívüli fizikai és pszichikai megterhelést jelentő – ún. vészleszállással kerülhető el;
- *katasztrófa helyzet*, elkerülhetetlenül olyan repülési esemény következik be, mely során a gép javíthatatlanná válik vagy/és – legalább – egy embernek az eseménnyel összefüggő halálához vezet az esemény utáni 10 napon (más előírások szerint egy hónapon) belül.

Az előzőekben felsoroltak egymástól jól elkülöníthető, diszkrét állapotokat határoznak meg, bár a használt elnevezések némileg eltérnek a nemzetközi és a leggyakrabban hivatkozott amerikai előírásoktól, melyek a *major* (több halálos áldozat, vagy minimum egy haláleset és a gép súlyos sérülése), *serious* (minimum egy halálos áldozat, vagy minimum egy súlyos sérült és a gép alapvető sérülése), *injure* (nincs halálos áldozat, de minimum egy fő súlyosan sérült, míg a repülőgép sérülése nem súlyos), *damage* (nincs haláleset, nincs súlyos személyi sérülés, de a

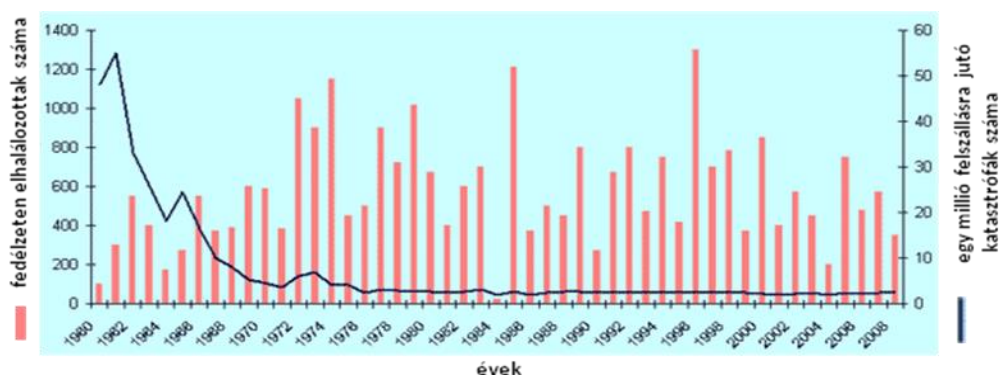
repülőgép alapvetően károsodott) megnevezéseket használják. A másik gyakran alkalmazott megkülönböztetés szerint a baleset lehet *fatal accident* (minimum egy halálos áldozat van az esemény következtében) és *accident* (amikor nincs haláleset).

Általánosan fogalmazva repülésbiztonságnak nevezik a légi eszköz azon tulajdonságát, hogy előírásos repülése közben nem következik be katasztrófahelyzet. A repülésbiztonságot egy valószínűségi mutatóval jellemzik, mely szűkebb értelemben annak a valószínűsége, hogy a repülés közben nem áll elő a katasztrófahelyzet feltéve, hogy:

- a repülőgép adottságai megfelelnek az adott célfeladat végrehajtására;
- a repülőgépen minden előírt karbantartási, javítási és utómunkát elvégeztek,
- a repülőgép minden eleme, berendezése, rendszere 100%-osan az előírásos állapotú;
- a repülőgépet a repülésre megfelelően előkészítették;
- a repülést végrehajtó személyek megfelelően kiképzettek, részükre a repülés engedélyezett;
- a repülési körülmények (repülőtér, légirányítás, légköri viszonyok) megfelelnek a repülőgépre és a repülőgép személyzetére előírtaknak, engedélyezettnek.

Tágabb értelemben nem vizsgálják a felsorolt feltételek meglétét, nem tesznek különbséget abban, milyen ok váltja ki a katasztrófát. Ilyenkor a repülésbiztonsági mutató lényegében nem a repülőgépet, hanem a repülés teljes végrehajtását jellemzi.

A repülésbiztonságot szokás még a 100 ezer repült órára, vagy a 100 ezer, esetleg egy millió felszállásra jutó katasztrófák számával, az egy millió teljesített utaskilométerre jutó halálesettel stb. jellemezni. Fizikai és gazdasági szempontból a légitársaságok használják még az 1000 repült órára jutó meghibásodások számát (többnyire a repülőgép egyes rendszereire és a meghibásodás kiváltó okokra szétbontva) és a 100 felszállásra jutó 15 percnél nagyobb késéssel induló felszállások relatív gyakoriságát.



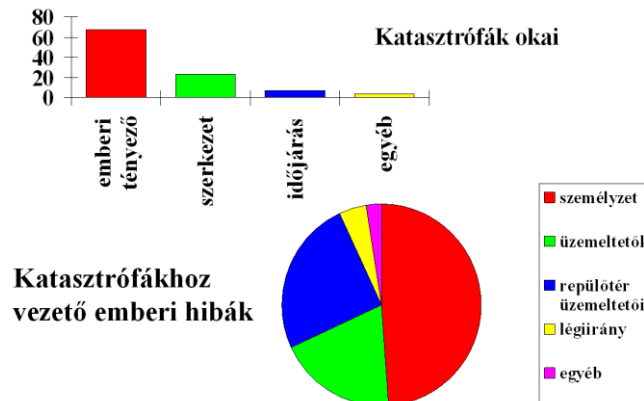
3. ábra Repülésbiztonsági kockázatok [13]

A 3. ábra megmutatja, hogy a repülési kockázat (azaz az egy millió felszállásra jutó katasztrófák száma) az 1980-as évekre – igaz eléggé alacsony értéken, de – stabilizálódott. Elfogadható költségszinten nincsenek olyan műszaki, technológiai megoldások, melyek tovább csökkentenék a repülési kockázatot.

A repülésbiztonságot előzetesen kockázatelemzéssel, hibafa-analízissel, modellvizsgálattal stb., illetve a tényleges üzemeltetési adatok alapján határozzák meg.

A repülésbiztonság 100%-os nem lehet. A bonyolult ergatikus rendszer (ember-gép-környezet) minden esetben tartalmaz hibát, meghibásodást. A katasztrófahelyzet kialakulásának valószínűsége ugyan kicsi, de – sajnos – annak valószínűsége, hogy nem lesz üzemzavar-állapot, szintén nem túlságosan nagy (egy két órás repülőúton mindössze 15–20%).

A tudományos kutatás (repülőgépek mozgásának elemzése a kormányzás elvesztése után, törésvizsgálatok) és fejlesztés (energiaelnyelő szerkezetek, éghetetlen anyagok stb. beépítése) eredménye, hogy a katasztrófahelyzetbe kerülő repülőgépen utazók un. túlélési valószínűsége az utóbbi 25 évben a kezdeti 25–30%-ról, a rendkívül kedvező 75–90%-ra nőtt.



4. ábra Légikatasztrófák kiváltó okai [14]

A repülésbiztonsági sajátosságok tanulmányozását segíti a légi katasztrófákhoz vezető okok megismerése [12][14]. A statisztikai adatok elemzése (4. ábra) azt mutatja, hogy:

- csak minden ötödik katasztrófa okolható a repülőgépek szerkezeti meghibásodásaival, törésével;
- rossz, vagy hirtelen megváltozott meteorológiai viszonyok, sajátos légköri jelenségek (villámlások, szélnyírás stb.) mindössze minden huszadik katasztrófánál jelentkeznek ki-váltó okként;
- esetenként a katasztrófa okaként egyéb, többnyire ki nem derített okot jelölnek meg;
- a katasztrófák több, mint hetven százaléka az emberi hibák, mulasztások következménye;
- az emberi tényezők miatti katasztrófák majd felét a repülőgépek személyzete okozza;
- az emberi mulasztások terén második helyen, az esetek negyedével a repülőter-i szolgálato-k találhatók;
- a repülőgépeket kiszolgáló műszaki személyzet csak a katasztrófák ötödéért okolható;
- a kiemelten kezelt repülésirányítás során elkövetett emberi hibák a légi katasztrófák 4–5%-ánál vélelmezhetők kiváltó okként;
- a katasztrófák döntő hányada a repülés utolsó fázisában, a leszállást közvetlen megelőző bevezetés és földetérés során, illetve az ezt követő kigurulást tartalmazó 3–5 perc alatt következik be;
- minden katasztrófát minimum 4–5 hiba előz meg, melyekben az első többnyire komolyabb következményekkel nem jár, de az elkövetése utáni helytelen cselekedetek, hibák már döntő szerepet játszanak.

Ezen megállapítások rámutatnak, hogy a technológiai fejlesztések mellett egyre fontosabbá válik egyfajta biztonsági filozófia kialakítása és a biztonság menedzselése.

3. A REPÜLÉSBIZTONSÁG ÉRTÉKELÉSI SAJÁTOSÁGAI

A repülésbiztonság és védelem az európai repüléstudományi kutatás - fejlesztés kiemelt területe [15], melynek vizsgálatával, fejlesztésével több magyar kutató is eredményesen foglalkozik, ide értve a terület kockázatelemzését [16][17], egyes specifikus kérdéseit, mint a madárral ütközés veszélyét [18][19], általában a mentőfelszerelésekkel [20], vagy a légiközlekedés sajátos, jellemző problémáival, mint a repülőgépvezetők repülésbiztonság szempontjából kritikus paramétereinek meghatározása [21], a kisépű repülések esetleges konfliktus helyzeteinek detektálása [22]. Többen foglalkoznak természetesen az előírásokkal és azok betartásához szükséges tevékenységek szervezésével [23][24] is.

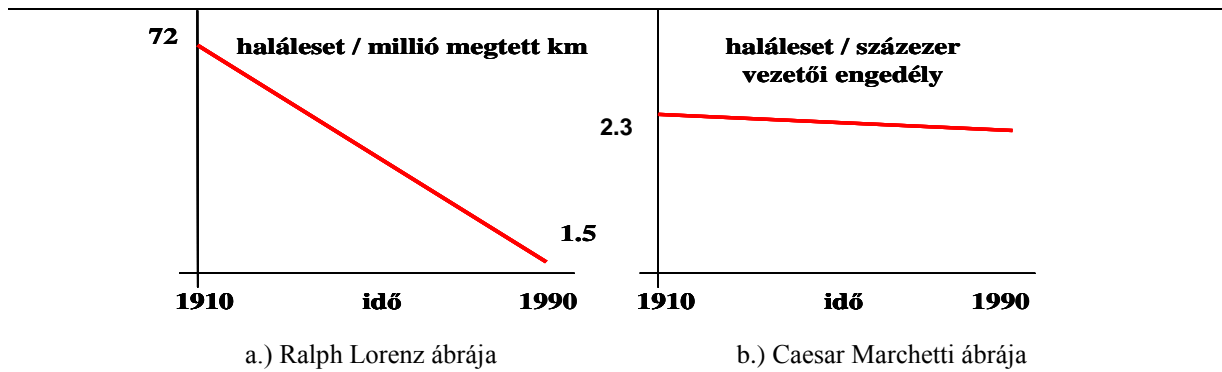
A mai felgyorsult fejlődés során, a légiközlekedésben, a repülésben egy sor sajátos probléma jelent meg. Ezek többsége közvetlen hatással van a repülések biztonságára is, közülük legalább az alábbi hármat célszerű kiemelni:

- a repülésbiztonság értékelési sajátosságai;
- a kockázat-elemzés hibái;
- a repülésbiztonság alapvető problémája.

A közlekedési eszközök biztonságának sajátossága, hogy speciális adatfeldolgozással, általában a futásteljesítményhez, vagy a repülésben, a felszállások számához viszonyított baleseteket, halálos baleseteket, katasztrófák számával jellemzik. A 3. ábrán is látható módon, ilyenkor ugyanis a biztonság a fejlődéssel együtt szépen javul, de legalábbis stagnál.

John Vanston, a Technology Future Inc. elnöke az előrejelzési modellel foglalkozva [25] érdekes tényre hívja fel a figyelmet. Ralph Lorenz, a technológiai előrejelzés egyik úttörője, 1993-ban, a személygépkocsi balesetek során elhunytak számának a drasztikus csökkenését, a közlekedés biztonságának a növekedését az 5.a. ábrán bemutatott grafikonnal jellemezte [25]. Ezek szerint 1910 és 1990 közt az 1 millió megtett km-re jutó halálesetek száma alapján, állandóan javult a (személygépkocsit használók esetében) a közlekedés-biztonság és a jövőben is ez a trend marad. Ezzel szemben Caesar Marchetti, az Institute of Applied Systems Analysis neves kutatója, az 5.b. ábra szerint egy teljesen más grafikonnal írta le a személygépkocsit használók halálos balesetbe kerülésének a kockázatát. Ez az ábra azt mutatja, hogy a 100 ezer vezetői engedéllyel rendelkező személyre vonatkoztatva a személygépkocsi balesetekben évente elhalálozottak száma ugyanazon 80 év alatt lényegében változatlan.

Az 5. ábrát tanulmányozva belátható, hogy az új tudományos és technológiai eredmények alkalmazásával a személygépkocsik sebessége, biztonságos vezetése, futásteljesítménye nagymértékben nőtt. Ennek tudható be, hogy ma a megtett útra vonatkoztatva jóval kevesebb haláleset jut, mint a korábbi időkben. Ugyanakkor a vezetői engedéllyel rendelkezők számához viszonyítva a baleseti statisztika alig változott.



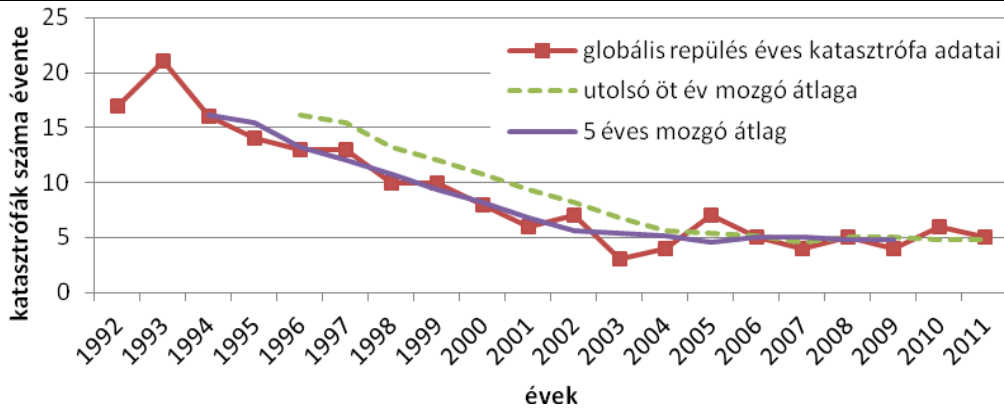
5. ábra A személyautó közlekedés elfogadott biztonsági szintje az éves baleseti statisztikák alapján [24]

Ennek az érdekes statisztikai adatsor-változásnak a legfőbb okát abban lehet keresni, hogy az emberek elfogadják azt a baleseti szintet, amikor éves szinten tízezer személygépkocsi vezetői engedélyre vonatkoztatva 2–3 fő közúti balesetben halálozik el. Amennyiben a technológiai szint gyors javulása miatt ez az érték jelentősen csökken, akkor a közvélemény „kiköveteli” pl. a megengedett maximális sebesség növelését, a fiatalabb korosztálynak a jogosítvány megszerzését, vagy éppenséggel tolerálja a „diszko-baleseteket”, eltűri, hogy a közutakon ilyen mértékű legyen a tehergépjármű forgalom, miközben az EU-ban a halálos közlekedési balesetek 30%-át teherautó vezetők okozzák, és így tovább.

Az 5.b ábra grafikonjának a magyarázatához persze az is hozzátartozik, hogy a személygépkocsik éves átlagos futásteljesítménye is növekszik. Az 5. ábra alapján az is belátható, hogy a gépjárművek használati tulajdonságainak (sebességének, dinamizmusának, a fordulóknál válalható nagyobb sebességnek, stabilitásnak) a növelésével járó másik következmény: a biztonsági felszereléseket úgy kell kiépíteni, hogy az új dinamikusabb autók vezetői ne vállaljanak többlet kockázatot. Az új autókban lényegében relatíve csökkenő eladási áron egyre több a biztonsági felszerelés (pl. folyamatosan nő a légzsákok száma).

Az 5. ábra mutatja, hogy a statisztika, a repülésbiztonsági adatok elemzése egy összetett probléma [26]. Egyfelől pontosan kell meghatározni, milyen adatokat, milyen céllal és milyen módszerrel dolgoznak fel. Másfelől meg kell érteni a kapott grafikonokat, az azokból levonható következtetéseket. A 6. ábra például jól mutatja, hogy a helytelenül megválasztott közelítő függvények eléggé eltérő eredményeket jelenítenek meg. Az EASA kiadványában [27] az utolsó 5 év átlagával „simítják” a valós statisztikai adatokat, és ezzel kissé időben is „hátrébb tolják” az esetleges változások hatását. Ezzel szemben az 5 éves mozgó átlag (amikor az utóbbi 5 adat átlagát a számításba vett adatok középső, harmadik értékeként kezelik) gyorsabban jelzi a statisztikai adatok változásait, a statisztikai adatokkal vizsgált folyamatok sajátosságait.

A repülésbiztonsági statisztikai adatokat természetesen az 5. ábrán bemutatott elvhez hasonlóan is meg lehet adni. Széles körben ismert az a tény, hogy az általános (közforgalmon kívüli) repülésben majd hatszor annyian veszítik életüket egy millió repült óra alatt, mint a légitársasági vállalatok menetrendszerű és menetrenden kívüli (charter) járatain [28].

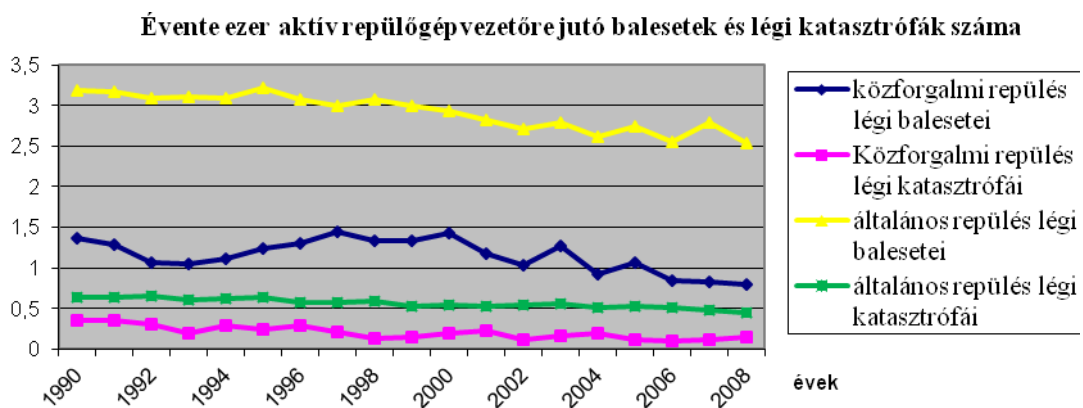


6. ábra A repülésbiztonsági adatok „simítása”

Teljesen más és új megközelítést jelent, ha a repülésbiztonsági adatokat másképp ábrázolják [10][29][30]. A 7. ábra tanúsága szerint, figyelembe véve, hogy:

- az általános (kisgépes) repülésben – többnyire – csak egy, míg a közforgalmi repülésben pedig két fő vezet a repülőgépet;
- a kisgépes repülésben a repülési idő, illetve távolság lényegesen kisebb, ezért a gépek egy millió repült óra alatt lényegesen több felszállást hajtanak végre, és így relatíve sokkal több időt töltenek a veszélyesebb fel- és leszállások végrehajtásával,

már nem olyan egyértelmű az általános repülés kisebb biztonsága.



7. ábra Az aktív (rendszeresen repülő) repülőgépvezetők „szerepe” a légi balesetekben és katasztrófákban

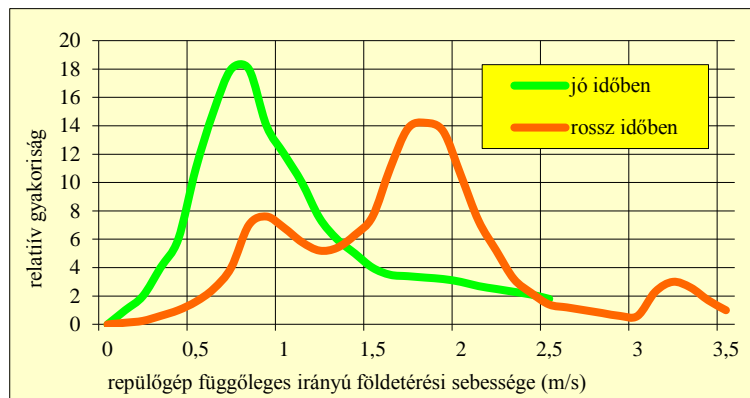
4. A KOCKÁZATELEMZÉS HIBÁI

A repülésbiztonság a teljes légiközlekedési rendszerre jellemző tulajdonság, mely magába foglalja annak elemei – a tervezők, gyártók, minősítők, a repülőgépek, valamint azok vezetői, karbantartói, javítói, a repülőterek, a logisztikai központok, a légiforgalmi irányítás, a légiközlekedési vállalatok, a hatóságok, sőt még az utasokat, az utazás szervezőket stb. – rendkívül nagyméretű, komplex kapcsolatrendszerét. Egy ilyen bonyolult technogén rendszer bármely elemének működési rendellenessége elindíthat egy olyan változássorozatot, mely végül baleset, katasztrófa, vagy halálhoz vezethet. Érthető, a rendszer és elemeinek a tervezésétől, a rendszer integráció biztosításától kezdve a gyártáson, az üzemeltetésen (használaton, karbantartáson, javításon) át

a rendszerelemek közötti együttműködést biztosító kapcsolatig, az *ember – gép – infrastruktúra – infókommunikáció – irányítás* egységes és integrált megvalósításáig mindenre kiterjedő kockázatelemzést kell végrehajtani. Ennek célja, hogy időben felismerhetőek legyenek azok a sajtósságok, esetleges hibák, melyek komoly biztonsági problémákhoz vezethetnek.

A kockázatelemzésnek nincs egyszerű és egységesen alkalmazható módszere, eljárása. Az elérhetőek gyakorlati alkalmazásakor viszont egy sor hibát lehet elkövetni. Ezek, – az eddigi elemzések szerint [31][32] – alapvetően a következő csoportokba sorolhatók:

- a kockázati tényezők hiányos felmérése (nem releváns kockázati tényezők megállapítása, gyakran fontos tényezők kihagyása a vizsgálatokból);
- a kockázati modellek leegyszerűsítése (a meghibásodások idejének, a paraméterek szórásának az eloszlását leíró sűrűségfüggvények hiányos ismerete miatt gyakran a hibát okozó eltérések, a meghibásodások megjelenési idejét exponenciális eloszlással közelítik);
- nem elemzik az egyes jellemzők eloszlását leíró sűrűségfüggvények végeit (a gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy a sűrűségfüggvények végein – a várttól eltérően - nem egyszerűen nullához tart a függvény, hanem gyakran egy külön „kisfüggvény” jelenik meg (8. ábra), mely közvetlen befolyásolja a veszélyhelyzetek megjelenését. A gyakorlat azt mutatja, hogy az operatorok, gépek, alrendszerek okozzák a veszélyhelyzeteket, melyek jellemzői, a vizsgált mutatókat approximáló sűrűségfüggvény végeire esnek);



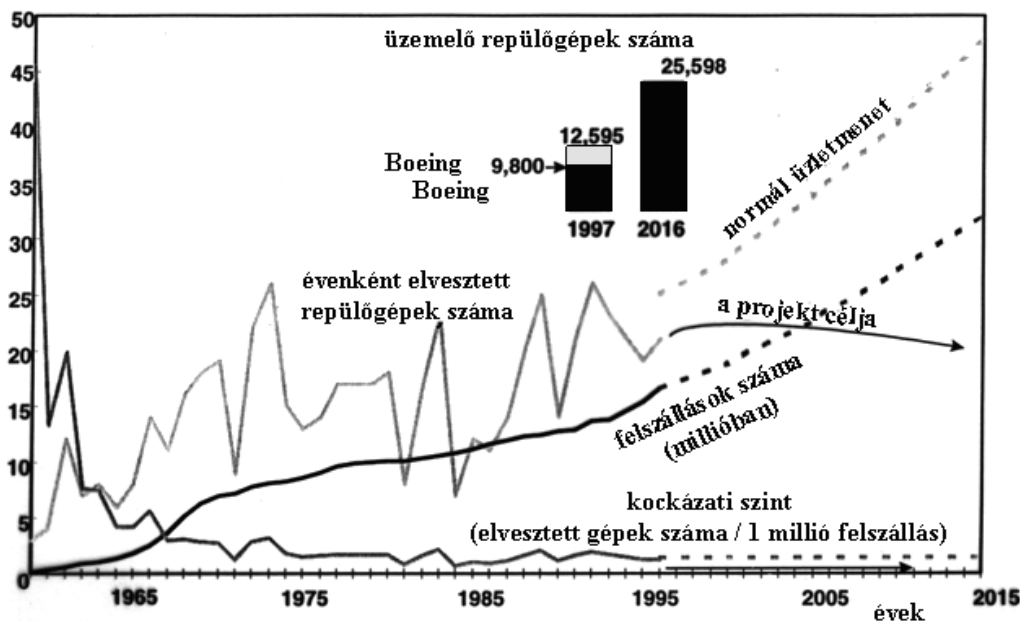
8. ábra: A repülésbiztonsági adatok „simítása”

- nem vizsgálják az anomáliákat, a meghibásodások kezdeti szakaszait (miközben a névleges jellemzőktől való eltérés észlelése után a veszélyhelyzet bekövetkezésének a valószínűsége 20–50-szer, esetenként akár 500-szor nagyobb);
- nem vizsgálják az együttes hibák megjelenését (a kockázat-elemzések során általában csak függetlenek megjelenésével számolnak, miközben a gyakorlat az, hogy az első hiba megjelenése után a második, az elsőtől elvileg független megjelenésének valószínűsége a szokásos érték 40–100-szorosára nő);
- nem számolnak a hibák, meghibásodások számával (pedig egy veszélyhelyzet bekövetkezését 3–5 egymástól elvileg független, de egy időben jelentkező hiba, meghibásodás váltja ki);
- nem számolnak azzal, hogy a veszélyhelyzetek kialakulását 50–70%-ban befolyásolják a fals jelzések, információk;

- nem veszik figyelembe, hogy a veszélyhelyzetek jelentős (60–80%-át) emberi mulasztás is befolyásolja, mégpedig úgy, hogy az ember, az operátor többnyire elkerülheti a hibák elkövetését;
- nem veszik figyelembe a beavatkozás lehetőségét a kezdeti szakaszban.

5. A REPÜLÉSBIZTONSÁG ALAPVETŐ PROBLÉMÁJA

A 3. ábra grafikonjából érdekes következtetést vonható le: a repülési kockázat egy eléggé alacsony szinten stabilizálódik, műszaki megoldásokkal – elfogadható költségszinten – tovább (legalábbis forradalmi új megoldások hiányában) már nem csökkenthető. Ugyanakkor a repülőgépek száma folyamatosan növekszik, ezzel együtt a felszállások száma is emelkedik. Ez, azonos kockázati szint (azaz az egy millió felszállásra jutó katasztrófák száma) esetén a tényleges katasztrófák számának a növekedését eredményezi [33][34][35]. Az előrejelzések szerint hamarosan akár heti egy nagy (széles törzsű nagy utasszállító repülőgép) légi katasztrófájával számolhatunk. Egyben ezt tekintik a repülésbiztonság alapvető problémájának (9. ábra).



9. ábra Repülésbiztonság várható alakulása (a NASA előrejelzése alapján [33])

A probléma megoldása a légi katasztrófák abszolút számának a szinten tartása, esetleges csökkentése. A megoldásra a lehetőségeket

- a katasztrófa-helyzet kialakulásához vezető folyamat korai felismerése;
- új, első sorban menedzsmenti módszerek alkalmazásával a katasztrófahelyzet kialakulásának a megakadályozása, illetve a folyamatok kezelése az esetleges hátrányos következmények csökkentése érdekében, valamint
- ezek alkalmazásához szükséges feltételek kialakítása

teremti meg. Egy lehetséges példa: folyamatosan figyelni (monitorozni) lehetne a légiforgalmi irányítók forgalmi leterheltségét és mentális (pszicho-fiziológiai) állapotát. Amennyiben valamilyen komolyabb légiforgalmi probléma jelentkezne, el lehetne dönteni, hogy a légiforgalmi

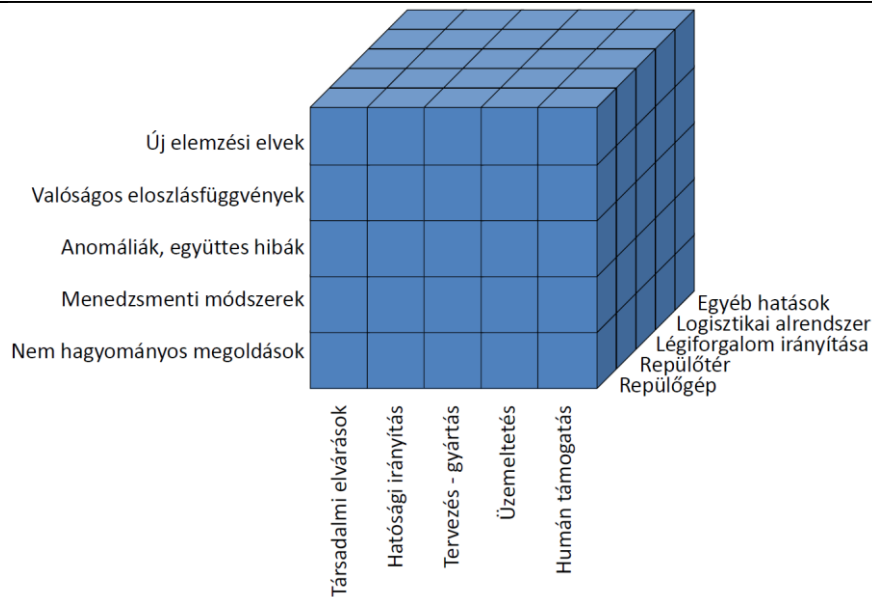
irányítók leterheltsége és mentális állapota lehetővé teszi ennek megfelelő kezelését, vagy célszerű lenne az egyik, esetleg mindkét irányítót „lecserelni” és pihentebbekre, tapasztaltabbakra bízni a rendkívüli helyzet megoldását. További lehetőség, hogy a probléma kezelését egy tapasztalt légiforgalmi irányítóra lehetne bízni, míg a többiek folytatnák valamennyi, ebben nem érintett repülőgép forgalmának az irányítását.

6. A REPÜLÉSI BIZTONSÁG FEJLESZTÉSÉNEK ELVEI

A repülésbiztonság fejlesztésének elveit pontosan az itt feltárt sajátosságok és a biztonság alapvető problémája határozzák meg. Röviden, a repülésbiztonság fejlesztésének elvei célszerűen egy három dimenziós mátrix (kocka) elemeiként adhatóak meg (10. ábra). Ennek elein az egyes elemek elnevezése a következőket jelenti:

Függőleges él – elvek:

- *új elemzési elvek* - a repülésbiztonság értékelésére (a statisztikai adatok elemzésére) alkalmazott eljárások átértékelése, új elvek, mint az aktív repülőgépvezetők számához viszonyított katasztrófák száma (lásd 7. ábra), vagy a különböző repülőgéptípusok szerkezeti integrációjának összehasonlítására is bizonyos információt szolgáltató, a légi balesetek és légi katasztrófák (accident/fatal accident) viszonyát bemutató koeficiens bevezetése;
- *valóságos eloszlásfüggvények alkalmazása* – a kockázatelemzésben használatos többféle approximációs és valóságos eloszlásfüggvényeken túl, a paraméterek eloszlását leíró sűrűségfüggvények határainál megjelenő eloszlások (lásd 8. ábra) figyelembe vétele;
- *anomáliák, együttes hibák* – mivel a paraméter bizonytalanságok értelmezésekor figyelembe vetnél nagyobb, de meghibásodást nem okozó eltérések jelentősen növelik a további meghibásodások és balesetek kockázatát, valamint a légi katasztrófákhoz egyszerre több egymástól látszólag független meghibásodás, eltérés vezet, ezért ezek lehetőségeit már a kockázat-elemzéskor is szükséges figyelembe venni;
- *menedzsmenti módszerek* – alkalmazását a 9. ábrához fűzött magyarázat indokolja, azaz a repülésbiztonság alapvető problémájára a választ használatos eljárásoktól eltérő, gyorsan kifejlesztendő új, első sorban menedzsmenti alkalmazások adják meg;
- *nem hagyományos megoldások* – ide értve a fizikai, a műszaki és a nem műszaki fejlesztéseket, eljárásokat, mint például a repülőgép minden utas üléséhez alkalmazott légzások, mentő ejtőernyő alkalmazása a több száz fős utasszállító repülőgépek esetén, a szubjektív analízis módszerének alkalmazása a repülési szituációk elemzésében és a döntések előkészítésében, a szabályozás továbbfejlesztése, a repülőtéri közelkörzetben a repülési eljárások tervezésének, irányításának a fejlesztése stb.



10. ábra Repülésbiztonsági fejlesztési kockája

Vízszintes él – feladatok:

- *társadalmi elvárások* – a társadalom és a gazdaság által minimálisan elvárt biztonsági szint (elfogadott maximális kockázat) meghatározásának felülvizsgálata, a társadalmi mobilitással az utazási szokásokkal és kulturális változásokkal a globális kutatás – oktatás - gazdaság generálta változásokkal kapcsolatos sajátos elvárások meghatározása;
- *hatósági irányítás* – továbbfejlesztése – alapvetően a társadalmi, gazdasági elvárások és a függőleges élen adott új elemek alkalmazási eredményeinek a függvényében - egy folyamatos és minden területre kiterjedő feladat;
- *tervezés és gyártás* – a tervezésben és különösen a gyártmányfejlesztésben, a gyártástechnológiában tapasztalható gyors fejlődés, az elérhető számítási, méretezési, tervezési, elemzési szoftverek és eljárások rohamos terjedése kikényszeríti a tervezés gyártás módszereinek, azoknak a repülésbiztonságra gyakorolt hatásainak az állandó vizsgálatát;
- *üzemeltetés* – azaz a használat - karbantartás – javítás módszereinek, eljárásainak a tervezés – gyártás területhez hasonló gyors változása (új anyagok, szerkezeti megoldások alkalmazása, azok használatának, állapotának felügyelete, diagnosztizálása, a kiszolgálás, karbantartási, javítási technológiák fejlődése) szintén közvetlen hatással van a repülésbiztonságra, ezért folyamatosan kutandó, fejlesztendő;
- *humán támogatás* – azaz az oktatás – képzés az utóbbi 20 évben lassan az első számú problémává kezd válni, miközben a humán oldal szerepe a katasztrófákban, a fejlesztések ellenére nem csökken.

Végül a **kereszt tengely szerinti él** (rendszer elemek) azt mutatja, hogy az előzőekben vázolt fejlesztési elveket következetesen a légiközlekedési rendszer minden elemére alkalmazni kell. Itt a logisztikai rendszer megjelölés nemcsak egyfajta légiszállítási logisztikát jelent, hanem a rendszer interoperabilitásának, fenntarthatóságának, intermodalitásának stb. biztosításával összefüggő repülésbiztonsági és általában biztonsági feladatokat takarja. Az egyéb hatások alatt pedig az összes további elem, mint meteorológia hatások (ide értve az összes légtérít, pl. a klí-



maváltozást, vulkáni tevékenységet stb.), környezetvédelmi, gazdasági stb. sajátosságok elemzését, a repülésbiztonságra gyakorolt hatásának a vizsgálatát, a problémák beazonosítását és megoldását.

A 10. ábra alapján az is belátható, hogy a repülésbiztonság fejlesztésének nincsenek egyszerű, két-három pontban összefoglalható általános elvei. Pontosabban ez utóbbiakat, a rendszer szemléletű, a légitözlekedés integrált rendszere valamennyi elemére kiterjedő folyamatos vizsgálatok, fejlesztések jelentik. Ezek együttesét a légitözlekedés biztonsági kockája jól illusztrálja.

ÖSSZEFOGLALÁS

A légitözlekedés ma, a modern gazdaság, a globalizálódó társadalom jelenlegi és különösen a jövőbeni fejlődésének meghatározó technogén nagyrendszere. Ennek biztonsága szempontjából néhány új, az utóbbi időkben a figyelem központjába került sajátossága (mint a statisztikai elemzések helyessége, a paraméterbizonytalanságok mellett az anomáliák, a paraméterek szóródását leíró eloszlások sűrűségfüggvényeinek a végein megjelenő másodlagos eloszlások, az együttes hibák, a rendszerintegráció stb.) mellett, a repülés-biztonság alapvető problémája határozzák meg, milyen elvek mentén dolgozva lehet továbbfejleszteni a rendszer biztonságát.

Az alapvető problémát itt az jelenti, hogy csak a műszaki módszerek fejlesztésével a rendszer biztonsága tovább már csak elfogadhatatlan nagy költségekkel javítható. Helyette menedzsmenti, nem hagyományos és nem műszaki megoldásokat célszerű fejleszteni. A repülésbiztonság az általában használt mutatók (egy millió repült órára, vagy felszállásra eső katasztrófák száma) ugyanis egy elfogadhatóan alacsony értéken stabilizálódtak, de a rendszer folyamatos növekedése, azaz a repülőgépek és a felszállások számának emelkedése miatt a katasztrófák abszolút száma elfogadhatatlanul növekszik.

A repülésbiztonság további fejlesztéséhez általánosan és néhány pontban összefoglalható elveket nehéz megadni. A repülésbiztonságot ugyanis a teljes rendszer és annak minden elemére kiterjedő folyamatos, komplex fejlesztéssel lehet növelni, illetve legalább szinten tartani. A fejlesztési elvek rendszerét egy a légitözlekedési biztonsági kocka formában adható meg. Ebben a háromdimenziós mátrixban a koordinátákat az elvek, a feladatok és a rendszer-elemek határozzák meg. A kocka minden eleme külön-külön és együttesen, egymással valamint a környezettel kapcsolatos kölcsönhatásokkal együtt vizsgálandó, fejlesztendő.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben” c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához, melyet a TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0009 programja támogat. Köszönet érte.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] VASVÁRI F.: Biztonságtudományi ismeretek, egyetemi jegyzet, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2004.
- [2] WU, C.: Methodology of safety science, China Labor and Social Security Publishing House, 2011, ISBN 978-7-5045-9018-3

-
- [3] LEDERER, J. (1991): Safety Sciences in Aviation , 1. Weltkongress für Sicherheitswissenschaft Köln, 1990, Köln Teil 2. 28-59.
- [4] KRAUSE, S. Aircraft Safety : Accident Investigations, Analyses, & Applications, Second Edition, Mcgraw-Hill, 2003
- [5] AIR FORCE SYSTEM SAFETY HANDBOOK, Air Force Safety, Agency Kirtland AFB NM 87117-5670, 2000
- [6] DEPARTMENT OF DEFENCE, MIL-STD-882, System Safety Program Requirements / Standard Practice for System Safety military standard, 200-02-010,
- [7] XFMEA, Expert support for all types of FMEA and FMECA,
http://www.reliasoft.com/pubs/xfmea_flyer.pdf
- [8] ROHÁCS J. EMT Veszélyhelyzet menedzsment technológia, HM Elektronikai Logisztikai és Vagyonkezelő Rt. Budapest, 2003, 110 o. ISBN 963 214 084 2,
- [9] ROHÁCS, J.: Revolution in Safety Sciences -- Application of the Micro Devices „Progress in Safety Sciences and Technology” (Edited by Zeng Quingxuan, Wang Liqiong, Xie Xianping, Qian Xinming) Science Press Beijing / New York, 1998, pp. 969 – 973.
- [10] ROHACS, J., ROHACS, D., JANKOVICS, I., ROZENTAL, S., STROLI, D., HLINKA, J., KATRNAK, T., TREFILOVA, H., MASTRAPOSTOLIS, T., MICHAELIDES, P., FASSOIS, S., The Personal Plane Project. Report on aircraft system improvements, Deliverable D2.2. Rea-Tech Ltd., Budapest, 2011, p 194.
- [11] NEW VERSION @RISK 6, Risk Analysis Using Monte Carlo Simulation, Palisade,
<http://www.palisade.com/risk/?gclid=CPS9-8GQzbQCFUmN3godxy4AGw> (2013)
- [12] ROHÁCS, J.: Repülőgépek biztonsága (Safety of Aircraft) Bólyai János Katonai Műszaki Katonai Főiskola, 1995. 54 o.
- [13] LESSONS LEARNT FOR AVIATION SAFETY, 1001crasf.com, <http://www.1001crash.com/index-page-statistique-1g-2-numpage-2.html> (2013)
- [14] ROHÁCS, J., NÉMETH, M.: Effects of Aircraft Anomalies on Flight Safety „Aviation Safety (Editor: Hans M. Soekkha) VSP, Utrecht, The Netherland, Tokyo, Japan, 1997, pp. 203 – 211.
- [15] STRATEGIC (2012) RESEARCH AND INNOVATION AGENDA (SRIA) ACARE, www.acare4europe.org
- [16] POKORADI, L.: Fuzzy Logic-Based Risk Assessment, AARMS, Academic and Applied Research in Military Science, Volume 1, Issue 1 (2002) p. 63–73. <http://www.zmne.hu/aarms/index.htm>
- [17] POKORADI, L.: Application of Fuzzy Set Theory for Risk Assessment, Journal of KONBiN (ISSN 1895-8281), No 2,3 (14,15) 2010, Warsaw, p. 195-204.
- [18] POKORÁDI L.: A vadvilág kockázata a repülésben, Közlekedéstudományi Szemle, Budapest, 2005. augusztus, LV. évfolyam, p. 294–305.
- [19] MAKKAY I., POKORÁDI L., VÁNYA L.: Repülőtéri madárütkezés-veszélyt csökkentő rendszer, Repüléstudományi Közlemények, XXI:(2) pp. 7. (2009)
- [20] ÓVÁRI Gy.: Szállító légi járművek utas- és személyzetmentő biztonságtechnikai berendezése és rendszerei, *Repüléstudományi Közlemények*, ISSN 1789-770, 2007 No. 1.
- [21] SZABOLCSI R.: A repülőgép-vezető repülésbiztonság szempontjából kritikus paramétereinek meghatározása, Debreceni Műszaki Közlemények, V. évf., 2006/3. szám, ISSN 1587-9801, (13-24) o., Debreceni Egyetem, Műszaki Főiskolai Kar, 2006
- [22] ROHACS, D., JANKOVICS, I.: Active conflict detection and resolution method for the personal aircraft transportation system, Proceedings of the 12th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, 8 - 10 November, 2010, Budapest, Hungary, (edited by Zobory, I.), BME Budapest 2012, ISBN 978 963 313 058 2, pp. 385 - 391.
- [23] SIKLÓSI Z.: A NATO előírásokhoz illeszkedő repülésbiztonság alapelveinek rendszerszemléleti vizsgálata és integrálása a magyar szabályozók rendszerébe, PhD értekezés, nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2008.
- [24] HALÁSZNÉ, DR. TÓTH A., SOMOSI V.: Az Európai Unió és a hazai légiforgalmi irányítói szakszolgálati engedélyezési szabályozás összehasonlítása az állami célú légiközlekedésben, *Repüléstudományi Közlemények*, ISSN 1789-770, 2012 No. 2.
- [25] Vanston, J. H.: Better forecasts, better plans, better results, Research Technology Management, January-february, 2003, pp. 47 – 59, http://www.tfi.com/pubs/w/pdf/better_forecasts.pdf (2012)
- [26] AVEN, T., RENIERS, G.: How to define and interpret a probability in a risk and safety setting, Safety Science, Elsevier Volume 51, Issue 1, January 2013, Pages 223–231

-
- [27] EASA Annual safety review 2008,
http://www.easa.eu.int/essi/documents/AnnualSafetyReview2008_en.pdf (2012)
- [28] ACCIDENT STATISTICS - Plane Crash Info.com, <http://www.planecrashinfo.com/cause.htm> (2012)
- [29] JANKOVICS R. I., HATFALUDY L., ROHÁCS D., ROHÁCS J.: Some comments on the aircraft accident statistics, Repüléstudományi Konferencia 2010, 60 Éves a Szolnoki Reülötisztképzés, 2010. április 16., Repüléstudományi Közlemények (HU ISSN 1789-770X), különszáma, 2010 No. 2., 11p.
- [30] REPORT OF THE AVIATION SECURITY ADVISORY COMMITTEE WORKING GROUP ON GENERAL AVIATION AIRPORTS SECURITY, Transport Security Administration,
http://www.tsa.gov/assets/pdf/ASAC_Working_Group_11-2003.pdf (2012)
- [31] ROHACS, J.: Risk Analysis of Systems with System Anomalies and Common Failures „Progress in Safety Sciences and Technology” Vol. II. Part. A. (edited by Li Shengcai, Jing Guoxun, Qian Xinming), Chemical Industry Press, Beijing, 2000, 550 – 560.
- [32] ROHÁCS J.: Új szemléletmód, új elvek a kockázatelemzésben (New Point of View, New Principles in Risk Analysis), Veszélyhelyzet Menedzsment Technológiai Konferencia, Balatonfüred, 2004 november 25 – 26. CD-ROM (szerk.: Rohács, J., Kórody, E.), eR-Group, Budapest, 2004. pp. 16. o. ISBN 963 217 288 4
- [33] WHITE, J.: Aviation safety program, NASA
http://www.aeronautics.nasa.gov/reno_presentations/avsp_reno_011206.pdf, (2012)
- [34] SHIN, J.: The NASA Aviation Safety Program: Overview, Nasa, 2000, NASA/TM—2000-209810,
<http://gltrs.grc.nasa.gov/reports/2000/TM-2000-209810.pdf>, (2012)
- [35] COMMERCIAL AVIATION SAFETY TEAM (CAST), Process Overview,
<http://www.icao.int/fsix/cast/CAST%20Process%20Overview%209-29-03.ppt> (2009)