

Futópálya-baleset hibafa elemzése a polgári légitözlekedésben

Meyer D.*, Tarnai G.**

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésautomatikai Tanszék Budapest, Bertalan Lajos u. 2., Magyarország, H-1111 (Tel.: +36-1-463-10-44, meyer.dora@mail.bme.hu)

** Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésautomatikai Tanszék Budapest, Bertalan Lajos u. 2., Magyarország, H-1111 (Tel.: +36-1-463-10-13, tarnai.geza@mail.bme.hu)

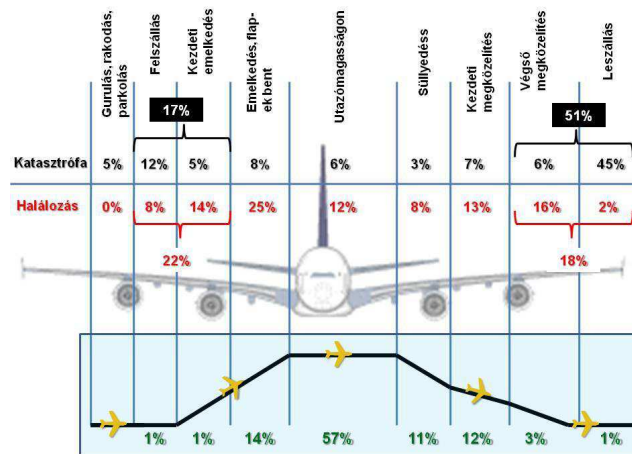
Absztrakt: Az írás a polgári légitözlekedés futópályát illető repülésbiztonságának integrált, pre-online, járat-specifikus megközelítésén alapul. A repülésbiztonság egzakt, számszerű értékének meghatározását is eredményező modellt készíti elő, illetve annak egyik modulját, a hibafa elemzést ismerteti. Tartalmazza a tervezett alkalmazási terület bemutatását, valamint áttekintést ad a szimuláció alapjául szolgáló modellről, amely hibafa elemzéssel kombinált eljárás-befolyásoló rendszer.

1. BEVEZETŐ

A polgári légitözlekedés forgalmának növekedésére a gazdasági válsághelyzet okozta visszaesések ellenére is hiteles prognózisok figyelmeztetnek. [EUC] Az ezzel összefüggésben keletkező többlet feladatok a polgári légitözlekedés több szegmensében fejlesztési igényeket támasztanak, így az informatikai háttérbázis vonatkozásában is. A repülésbiztonság növelését célzó, informatikai alapú új eljárások kidolgozása, hatásvizsgálata európai szinten és a hazai viszonyok között is kiemelten fontos eleme a légitözlekedési ágazat aktuális fejlesztési irányának, azon belül is a polgári légitözlekedés irányításának. A fejlesztések hátterében a megfelelő szakmai és folyamatinformatikai alapok nélkülözhetetlenek. Ezt igazolja például az Egységes Európai Égbolt légitözlekedési kutatási programjának létrejötte és működése, a SESAR (Single European Sky ATM Research), vagy a 2009-ben Maastrichtban bemutatott új légitözlekedési irányítási rendszer is [SES].

A polgári légitözlekedés repülésbiztonsága (aviation safety), annak elméleti háttere az 1950-es évektől kezdve napjainkig rendkívüli mértékű fejlődést mutat. A légitözlekedési baleset¹ okozóinak megkeresése és felelősségre vonása helyett közvetlenül a légitözlekedési eseményre, annak megelőzésére fókuszál. Ezen belül is az ICAO a 2009 januárjától hatályos Biztonságmenedzsment Kézikönyvében (SMM, Safety Management Manual) alátámasztja, hogy a kezdetekben reaktív biztonságigazolási filozófiát felváltó proaktív elméletet napjainkban a prediktív megközelítésnek kell követnie. Más megközelítéssel pedig hangsúlyozza, hogy amíg az 1950-es években a biztonságigazolási kultúra a technikai elemek vizsgálatára szorítkozott, addig az 1970-es években az emberi tényezőt is magában foglaló biztonságigazolási rendszerek születtek, napjainkban pedig a szervezeti szintű, folyamatorientált kezelés válik szükségessé. [SMM] A polgári légitözlekedés

szakaszai közül a futópálya és környezetének eseményei kiemelkedően kritikusak. Ahogyan az 1. ábráról leolvasható, a légitözlekedési katasztrófák 17%-a a felszállás és a kezdeti emelkedés fázisában történik, a végső megközelítés és a leszállás során további 51% a bekövetkezési arány. A rendkívül magas értékeket némileg enyhíti, hogy a halálózással végződő katasztrófák aránya ugyanezen fázisoknál sorrendben 22 és 18%. Mindemellett látványos, hogy az átlagosnak mondható, 1,5 órás utakat alapul véve ezen fázisok sorrendben a légitözlekedési cselekmény mindössze 2 és 4 %-át teszik ki. [MUD09]

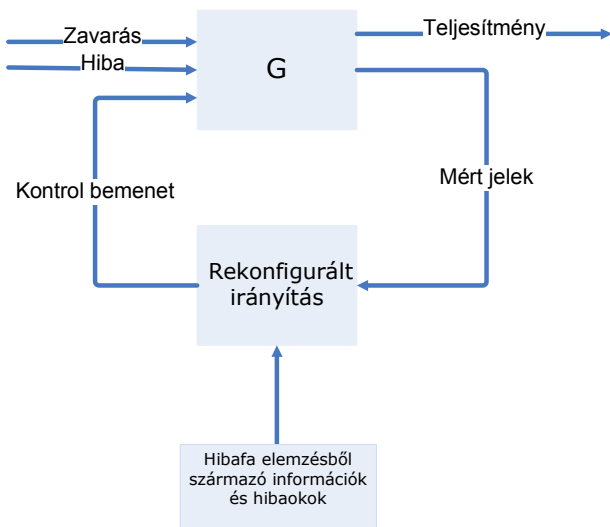


1. ábra: A repülés fázisaira vonatkozó statisztikai összesítés a sugárhajtású kereskedelmi légitözlekedési járművek katasztrófái alapján

Látható tehát, hogy a futópálya és környezete kiemelten fontos területét kell, hogy képezze a repülésbiztonsági fejlesztéseknek.

Egy, a futópálya események megelőzésére felépített szimulációs egységgel is rendelkező modell adaptálásával olyan megoldáshoz juthatunk, amely a kockázati értékek pre-online megbecsülésével, eljárás-befolyásolással avatkozik be úgy, hogy a biztonságosnak tekinthető kockázati szintet permanensen fenntartja. A modell felépítése a 2. ábrán látható.

¹ A légitözlekedésben – kisebb különbség az általános értelmezéshez képest, súlyosságuktól függően – a majdnem baleseteket eseményeknek, repüléseseményeknek, valamint rendellenességeknek nevezik. A légitözlekedési esemény gyűjtőfogalom, amelybe a baleset is beletartozik.



2. ábra: Veszély- és kockázatelemzés alapú eljárás-befolyásoló rendszer elvi felépítése

A megfelelően működő modell elengedhetetlen egysége a rendszerbiztonság numerikus definiálására szolgáló modul és a biztonságkritikus rendszer gyenge pontjainak, valamint azok rendszer-összefüggéseinek identifikálása és elemzése, amely adatokat egy, a biztonságkritikus rendszerek esetében használatos analízissel állítjuk elő.

Az elemzés eszköze a valószínűségi biztonságelemzés (PSA - Probabilistic Safety Analysis), amelyet a tanulmányban a Risc Spectrum PSA Professional - Version 2.10.04 – FTA moduljának segítségével, hibafa elemzéssel végeztünk el. A hibafa elemzés deduktív szemléletű módszer, a nem kívánt eseményből vagy állapotból visszafelé indulva keresi a hiba lehetséges közvetlen okait, s e közvetlen okokat lépcsőről-lépcsőre tovább bontva visszavezeti a rendszer elemeinek szintjéig. Grafikus megjelenésében a hibafa csúcán a nem kívánt esemény, az ún. “csúcsesemény” szerepel, melyhez a digitális technikából ismeretes “ÉS”, ill. “VAGY” kapuk csatlakoznak. [Damj10]

A hibafa elemzésének több célja lehet:

1. Meghatározhatóak a csúcsesemény bekövetkezéséért felelős eseménykombinációk (minimális vágatok elemzése).
2. Meghatározható a csúcsesemény bekövetkezésének gyakorisága vagy valószínűsége (valószínűségi alapú elemzés).
3. Meghatározható a csúcsesemény bekövetkezési gyakoriságának vagy valószínűségének időfüggése (időfüggő elemzés).
4. Meghatározható a csúcsesemény bekövetkezési gyakoriságának vagy valószínűségének függése az egyes alapesemények értékeinek változásától (érzékenységi vizsgálat). [Szabó08]

A hibafa analízist az általunk előre definiált csúcseseményre vonatkoztatva végeztük el. A hibafa a

rendszer tulajdonságokhoz illeszkedően átfogóan az alábbi négy fő részből áll:

1. emberi hibák
2. rendszer elemek hibái
3. környezeti befolyásoló tényezők, beleértve a fizikai kondíciókat, meteorológiai hatásokat is
4. információ csatornák hibái

A csúcseseményből kiinduló deduktív elemzés során a hibakok megkeresésében, a hatásmechanizmusok lefektetésében és értékelésében, egyaránt döntő szerepet játszott a vonatkozó és rendelkezésre álló historikus, illetve statisztikai adatok feldolgozása, a hatályos előírások feltételezett betartásán alapuló következtetések, mindamellett, hogy a hibafa végleges szerkezetének felállításához az érintett szakmák képviselőinek bevonásával hibamód- és hatáselemzés jellegű eljárással jutottunk el, így az aktuális gyakorlati információkat is beépítettük munkánkba.

Az általunk meghatározott csúcsesemény, köztes események és elemi események halmaza tehát egyaránt tartalmazza

- a jelenleg hatályos nemzetközi és hazai előírásokban foglaltakat [CD94][DEC03][16/2000]
- historikus adatokat [EAP03]
- empirikus adatokat,

ugyanakkor a hibafa felállításának szempontjából felülvizsgálja és kiegészíti azokat.

A hibafa elemzésének céljai:

1. Valószínűségi alapú elemzés a csúcsesemény bekövetkezésének hipotetikus számszerűsítésére
 2. A csúcsesemény bekövetkezésében közrejátszó eseménykombinációk megtalálása - minimális vágatok elemzése
 3. A csúcsesemény valószínűségének függése az egyes elemi események értékeinek változásától - fontossági és érzékenységi vizsgálat, valamint mindezek alapján következtetések levonása, amely eredményeket az integrált, járatspecifikus, dinamikus modell elkészítésekor figyelembe veszünk.
- A hibafa tehát önmagában nem tekinthető mennyiségi modellnek. A rendszerbiztonság egzakt numerikus definiálásához további modellezési, szimulációs eljárások szükségesek. Olyan minőségi modell, amelyet célunk elérése érdekében számszerűen is kiértékelünk. A hibafával előállított minőségi eredmények egyrészt a minimális vágatok, másrészt azok a minőségi ismeretek, amelyekre a minimális vágatok kiértékelésével tehetünk szert.

A teljes hibafát és elemzését jelen cikkben részletesen nem tudjuk bemutatni, de a főbb elemeket az érthetőség megtartása mellett kiemeltük.

2. RENDSZERISMERTETÉS

A folyamat alapú, járat-specifikus, integrált rendszer alapelve, hogy a teljes folyamatot a maga komplexitásában kezeli, amelynek középpontjában a vélhetően minden egyes esetben különböző tulajdonsággal rendelkező *járat* áll.

A folyamat – amely biztonságkritikus tulajdonságú – szereplőit tekintve a fentieknek is megfelelően három nagy egységre bontható: *légiforgalmi irányítás, repülőtér és légi jármű*.

Mindezen egységek, mint nagybiztonságú rendszerek biztonságigazolását az illetékes szervezetek elvégzik, ugyanakkor egyelőre csak elvi megközelítése lépett életbe annak, hogy a teljes folyamatot együttesen kezelve történjen a biztonságigazolás, azon belül a veszély- és kockázatelemzés. Mindemellert az SMM integráció a légi járművet nem vonja be a vizsgált rendszerbe. Jelen tanulmány a futópálya biztonságigazolásán belül a hibafa elemzéshez figyelembe veszi mindazon fizikai, műszaki és humán kondíciókat, információáramlásokat, emberi és gépi beavatkozásokat, környezeti hatásokat, amelyek a járat előkészítésében vizsgálat alá kell, hogy essenek. [IA106], [IA601], [IA1101], [IA1404], [IATA09], [SMM] [EUC03a], [EUC03b], [DEC03], [CD93], [EC05], [MUD08], [ICA01], [JAR07], [SAE94], [SAE95], [DO178],[DO254]

3. A HIBAFA

3.1 Modell típus

A biztonsági elemzés e fázisában legalkalmasabbnak ítélt, a rendszerösszetevők megbízhatóságának modellezéséhez, a biztonsági elemzés elvégzéséhez választott modell típus a „Fixed failure probability model” (Probability). Ez a modell idő- és - a rendszer elemek szempontjából - környezetfüggetlen. Javíthatósággal, időfüggéssel, periodikusan tesztelt rendszerek leírására szolgáló modell típusokkal, illetve további finomításokat igénylő modell típusokkal a rendszer komplexitása miatt nem lehetséges számolni, a várható eredmények hitelességének megkérdőjelezhetősége okán [RSM09].

3.2 Az elemi események definiálása, parametrizálása és a vonatkozó hipotézisek

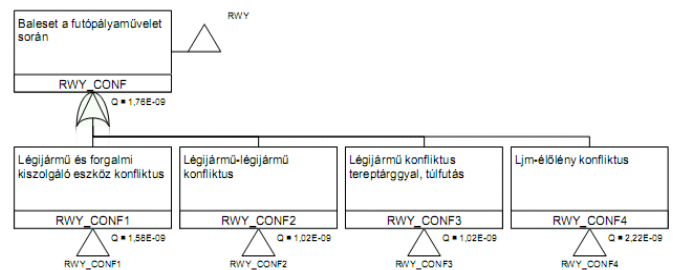
Az elemi események bekövetkezését illető valószínűségi értékek felvételekor a hazai és nemzetközi polgári légiforgalmi szakirodalomban található előírásoknak megfelelő értékek, valamint az emberi hibavalószínűség esetében az általános hibás emberi cselekvés valószínűségének irányadó empirikus középértéke [Tar09] ismeretében az 1. táblázatban foglalt értékekkel (Q, QH, QM, QHT, QHS) 42 elemi eseményig jutottunk el.

1. táblázat: Az elemi eseményekhez rendelt valószínűségi paraméterek

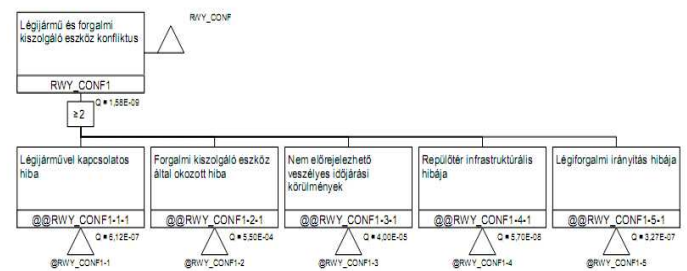
ID	Paraméter érték
Q	5,50E-04
QH	1,55E-08
QM	1,00E-05
QHT	1,00E-09
QHS	1,00E-07

3.3 A hibafa két felső szintje

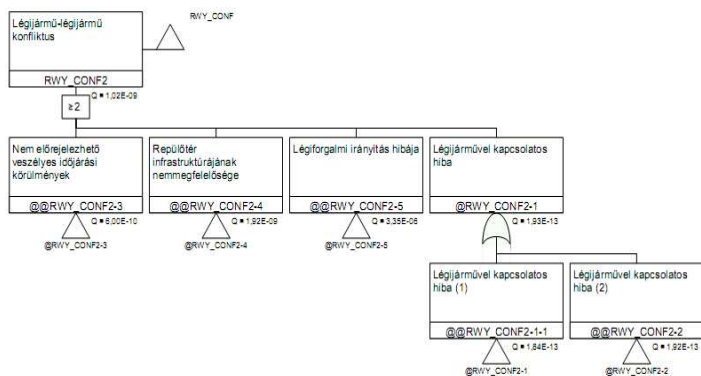
A 3-7 ábrán a hibafa legfelső szintjét, a csúcseseményhez vezető köztes eseményeket és a vonatkozó logikai kapcsolatait, valamint azok alfáit mutatjuk be.



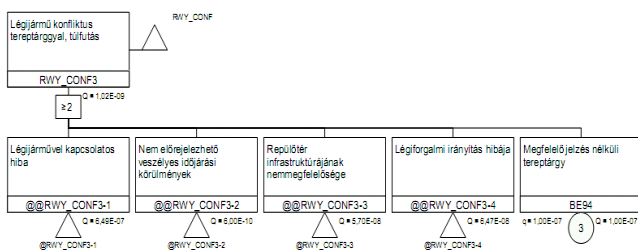
3. ábra: Baleset a futópályaművelet során csúcseseményű hibafa első szintje



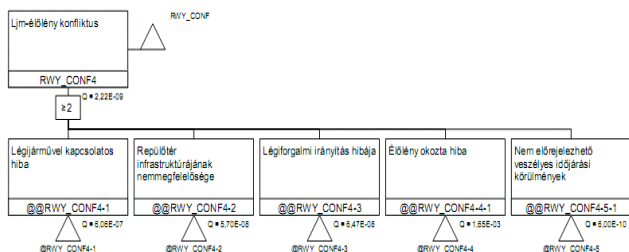
4. ábra: Légi jármű és forgalmi kiszolgáló eszköz konfliktus hibafájának első szintje



5. ábra: Légijármű konfliktus hibafájának első szintje



6. ábra: Légijármű konfliktusa tereptárggyal, túlfutás



7. ábra: Légijármű konfliktusa élőlényvel

4. HIBAFÁ ANÁLÍZIS

Az analízis spektruma a csúcsesemény és a csúcseseményhez vezető alfákra terjed ki, tehát a teljes eseményteret vizsgáljuk. Meghatározzuk

- a csúcsesemény bekövetkezési valószínűségét
- az elemi eseményekből alkotott minimális vágatokat – a rendszer hibatűrésének megadása, annak definiálása, hogy egyszerre hány elemi esemény hiba vezet a rendszerszintű meghibásodáshoz (csúcseseményhez)

- a modifikált minimális vágatokat, amelyek az elemi eseményeket és a köztes eseményeket egyaránt tartalmazzák, így a komplex hibaszekvencia vizsgálható
- érzékenységvizsgálattal elemezzük az elemi események jelentőségét, amely tartalmazza
 - a kockázatnövelési tényező értéket (Risk Increase Factor, RIF), amely azt mutatja be, hogy hányszorosára nő a csúcsesemény bekövetkezési valószínűsége, ha a vizsgált elemi esemény (vagy elemi esemény-típus) bekövetkezési valószínűsége 1-re nő.

$$RIF = \frac{Q_{TOP}(Q_i=1)}{Q_{TOP}}$$

1. egyenlet: kockázatnövelési tényező (Risk Increase Factor, RIF) számítása

ahol a Q_{TOP} a csúcsesemény valószínűsége, $Q_{TOP}(Q_i=1)$ pedig a csúcsesemény valószínűsége, ha hogyha az elemi esemény, vagy elemi esemény típus bekövetkezési valószínűsége 1-es értéket venne fel.

- kockázatsökkentési tényező (Risk Decrease Factor, RDF) értékét, amely azt mutatja meg, hányadrészére csökken a csúcsesemény bekövetkezési valószínűsége, ha a vizsgált elemi esemény, vagy elemi esemény-típus bekövetkezési valószínűsége zérus lenne

$$RDF = \frac{Q_{TOP}}{Q_{TOP}(Q_i=0)}$$

2. egyenlet: kockázatsökkentési tényező (Risk Decrease Factor, RDF) számítása

ahol a Q_{TOP} a csúcsesemény valószínűsége, $Q_{TOP}(Q_i=0)$ pedig a csúcsesemény valószínűsége, ha az elemi esemény bekövetkezési valószínűsége zérus értéket venne fel.

- Fussel-Vessely (FV) faktor az elemi esemény relatív kockázati járulékanak meghatározására. Számítása: meghatározzuk a csúcsesemény valószínűségét azoknak a minimális vágatoknak a figyelembe vételével, ahol a vizsgált elemi esemény szerepel. (Ezekben az esetekben a maradó minimális vágatok nem megbízhatósága zérus értékkel szerepel). A műveletsorozat folyamán azt a relatív értéket kapjuk meg, amely megmutatja, hogy a névleges csúcsesemény bekövetkezési értékhez képest mekkora az egyes elemi események nem megbízhatósága. Relatív magas FV érték esetén az elemi esemény jelentősége relatív magas.
- Fractional Contribution (FC) faktor – esetünkben jellemzően az FV faktorial megegyező érték.

$$\text{Számítása: } FC = 1 - \frac{1}{RDF}$$

3. egyenlet: FC faktor számítása

▪ **Érzékenység**

Az érzékenységi tényező két csúcsesemény bekövetkezési valószínűség hányadosa. Jelen számításokban a szakmai protokollnak megfelelően az első a vizsgált elemi esemény vagy paraméter bekövetkezési valószínűségének tízszeres értékénél kerül számításra ($Q_{top,U}$), míg a másik a vizsgált elemi esemény vagy paraméter bekövetkezési valószínűségének tizedénél ($Q_{top,L}$). A tényező azt mutatja meg, mennyire érdemes egy rendszerkomponenst jobbra cserélni, illetve a rendszer-megbízhatóság növelése érdekében melyik komponenseket érdemes javítani.

$$\text{Számítása: } S = \frac{Q_{top,U}}{Q_{top,L}}$$

4. egyenlet: Érzékenységi faktor számítása

[Szabó08],[RSM09],[OAH00], [Fus75]

Az analízis eredményei

Csúcsesemény hipotetikus valószínűsége: $Q = 1,764E-09$

A csúcsesemény valószínűsége nem tekinthető definitív értéknek, hiszen az elemi eseményekhez rendelt értékek hipotetikusak.

A 2. táblázat a számos (összesen 2476) minimális vágat közül az első tíz elemsorozatot tartalmazza a csúcseseményre vonatkozóan. Elengedhetetlen a csúcseseményhez vezető négy köztes esemény (alfák) kiértékelése is, hiszen mint a 4. ábra is mutatja, a csúcseseményhez vezető köztes események logikailag „kizáró vagy” relációban vannak - a logikai kapu XOR jellegű -, tehát - a hibafában egyébként itt egyedi módon - egyidejűleg egy meghibásodást feltételezünk a négy közül.

A rendszer csak másod-, illetve magasabb rendű minimális vágatokat tartalmaz. Kijelenthető tehát, hogy az egyszeres hibatűrés mindenképpen teljesül, tehát egy, a rendszerben fellépő meghibásodás nem vezethet a csúcsesemény bekövetkezéséhez.

A 3. táblázat az első 10 elemi esemény fontossági elemzését mutatja be, míg az elemi események paramétereinek fontossági elemzését a 4. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: az első 10 minimális vágat a csúcseseményre vonatkozóan

Nr	Valószínűség	%	Elemi esemény		
1	1,66E-10	9,43	BE10	BE5	BE65
2	1,66E-10	9,43	BE23	BE24	BE52
3	1,66E-10	9,43	BE10	BE5	BE52
4	1,66E-10	9,43	BE23	BE53	BE64
5	1,66E-10	9,43	BE23	BE24	BE95
6	1,66E-10	9,43	BE23	BE24	BE53
7	1,66E-10	9,43	BE10	BE5	BE53
8	1,66E-10	9,43	BE23	BE24	BE65
9	1,66E-10	9,43	BE10	BE5	BE95
10	8,53E-12	0,48	BE52	BE75	

3. táblázat: az első 10 elemi esemény fontossági elemzése

ID	Nom. Val.	FV	FC	RDF
BE23	5,50E-04	4,72E-01	4,72E-01	1,89E+00
BE24	5,50E-04	3,77E-01	3,77E-01	1,61E+00
BE5	5,50E-04	3,77E-01	3,77E-01	1,61E+00
BE10	5,50E-04	3,77E-01	3,77E-01	1,61E+00
BE53	5,50E-04	3,21E-01	3,21E-01	1,47E+00
BE65	5,50E-04	2,26E-01	2,26E-01	1,29E+00
BE52	5,50E-04	2,26E-01	2,26E-01	1,29E+00
BE95	5,50E-04	2,26E-01	2,26E-01	1,29E+00
BE64	5,50E-04	9,43E-02	9,43E-02	1,10E+00
BE98	5,50E-04	6,87E-02	6,87E-02	1,07E+00

3. táblázat folyt.

ID	RIF	S	$Q_{top,U}$	$Q_{top,L}$
BE23	8,58E+02	9,11E+00	9,25E-09	1,02E-09
BE24	6,87E+02	6,65E+00	7,75E-09	1,16E-09
BE5	6,87E+02	6,65E+00	7,75E-09	1,16E-09
BE10	6,87E+02	6,65E+00	7,75E-09	1,16E-09
BE53	5,84E+02	5,47E+00	6,86E-09	1,25E-09
BE65	4,12E+02	3,81E+00	5,35E-09	1,40E-09
BE52	4,12E+02	3,81E+00	5,35E-09	1,40E-09
BE95	4,12E+02	3,81E+00	5,35E-09	1,40E-09
BE64	1,72E+02	2,02E+00	3,26E-09	1,61E-09
BE98	1,26E+02	1,72E+00	2,85E-09	1,65E-09

ahol

ID	Elemi esemény leírása
BE23	Elsőtiszt (first officer) hiba
BE24	Légijármű parancsnokának (Capt) hibája
BE5	Ramp officer hibája
BE10	Cargo bázis személyzeti hiba
BE53	Forgalmi kiszolgáló eszköz vezetőjének hibája
BE65	Gyalogos hibája
BE52	Madárriasztási hiányosság
BE95	Vadvédelmi hiba
BE64	Startszerelői hiba
BE98	Apron guide személyi hibája

4. táblázat: az elemi események paramétereinek fontossági elemzése

ID	Nom. val.	FC	RDF
Q	5,50E-04	1,00E+00	2,73E+05
QH	1,55E-08	7,73E-02	1,08E+00
QM	1,00E-05	7,05E-02	1,08E+00
QHT	1,00E-09	1,25E-03	1,00E+00
QHS	1,00E-07	1,11E-04	1,00E+00

4. táblázat folyt.

ID	RIF	S	Q _{top, U}	Q _{top, L}
Q	5,67E+08	9,12E+04	1,54E-06	1,69E-11
QH	2,49E+06	1,82E+00	2,99E-09	1,64E-09
QM	1,11E+07	1,92E+00	3,18E-09	1,65E-09
QHT	1,25E+06	1,01E+00	1,78E-09	1,76E-09
QHS	5,67E+08	1,00E+00	1,77E-09	1,76E-09

5. KÖVETKEZTETÉSEK, KITEKINTÉS

A futópálya és környezetének kalkulált biztonsági szintje az ismert paraméterekkel felépített hibafa alapján a nagybiztonságú rendszerek osztályozásának megfelelő kategóriákhoz illetve a legmagasabb biztonságintegritási osztályba sorolható.

A futópálya-baleset valószínűségét befolyásoló tényezők közül az emberi hibás cselekvés abszolút szignifikáns.

Az emberi hibás cselekvések közül kiemelkedő a légijármű parancsnok és az elsőtiszt hibarelevanciája. A ramp officer (járatkiszolgálási felügyelő) és a forgalmi kiszolgáló eszközök vezetőinek hibajelentősége megközelíti a légijármű parancsnok és az elsőtiszt hibarelevanciáját. Alsóbbrendűek, de továbbra is kiemelt jelentőségűek a repülőtér folyamataiban azok a hibák, ahol az emberi cselekvés tetten érhető. Ez utóbbi eredmények alapján kijelenthető, hogy az indirekt vagy látens hibák különösen kiemelt jelentőségűek.

A légiforgalmi irányítás emberi hibájának befolyását megelőzi a légiforgalmi irányítás döntését segítő eszközök meghibásodása.

A légijármű vezetőinek hibás döntésének jelentőségét megközelíti, de nem éri el a repülőtéri infrastruktúra meghibásodásának jelentősége.

A futópálya-baleset valószínűségét befolyásoló tényezők közül az emberi döntést segítő eszközök – beleértve a repülőtér infrastruktúráját és annak állapotát is – szignifikáns.

A futópálya-baleset bekövetkezési valószínűségét befolyásoló tényezők alapján a légijármű meghibásodása kisebb jelentőségű, mint a légijármű vezetőinek vagy a légiforgalmi irányításnak döntését segítő eszközök meghibásodása.

Mindezen eredményeket a rendelkezésre álló szakirodalmi és gyakorlati ismeretekkel kiegészítve az integrált, járatspecifikus, dinamikus modell megalapozásához használjuk a kutatás folytatásaként.

FORRÁSJEGYZÉK

- [16/2000] A légi forgalom irányításának szabályairól szóló 16/2000. (XI. 22.) KöViM rendelet
- [CD94] Council Directive 94/56/EC of 21 November 1994 establishing the fundamental principles governing the investigation of civil aviation accidents and incidents Official Journal L 319 , 12/12/1994 P. 0014 - 0019
- [Damj10] Damjanovich I.,: A biztonságvizsgálatok-ban alkalmazott kockázatértékelési és veszélyelemzési módszerek áttekintése <http://www.inventor.hu/>; 2010.08.10.(KÖZÉP- ÉS KELET-EURÓPAI KÖRNYEZETFEJLESZTÉSI INTÉZET tanulmánya)
- [DEC03] DIRECTIVE 2003/42/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 13 June 2003 on occurrence reporting in civil aviation

- [DES96] Desmond, P. A., T. W. Hoyes: Workload Variation, Intrinsic Risk and Utility in a Simulated Air Traffic Control Task: Evidence for Compensatory Effects Safety Science (96) 22/1996 pp. 87-101
- [DO178] RTCA, INC., DOCUMENT RTCA/DO-178, SOFTWARE CONSIDERATIONS IN AIRBORNE SYSTEMS AND EQUIPMENT CERTIFICATION, 1982.
- [DO254] RTCA, INC., DOCUMENT RTCA/DO-254, DESIGN ASSURANCE GUIDANCE FOR AIRBORNE ELECTRONIC HARDWARE, 2005
- [EAP03] European Action Plan for Runway Incursion, EUROCONTROL, Group of Aerodrome Safety Regulators, IATA, ACI, BAA, NATS, DFS, 2003
- [EC05] COMMISSION REGULATION (EC) No 2096/2005 of 20 December 2005 laying down common requirements for the provision of air navigation services
- [EUC03a] Validation of the Human Error in ATM (HERA-JANUS) Technique Edition, EUROCONTROL, 2003
- [EUC03b] The Human Error in ATM Technique (HERA-JANUS), EUROCONTROL, 2003
- [EUC] <http://www.eurocontrol.int/>
- [Fus75] Fussell, J.B. 1975. How to calculate system reliability and safety characteristics. IEEE Transactions on Reliability 24(3): 169–174.
- [IA106] ICAO Annex1, Personnel Licensing 10 ed.-2006
- [IA1101] ICAO Annex11, Air Traffic Services 13 ed.-2001
- [IA1404] ICAO Annex 14, Aerodromes 4 ed. – 2004
- [IA601] ICAO Annex6, Operation of Aircraft : International Commercial Air Transport 8 ed.-2001
- [IA805] ICAO Annex8, Airworthiness of Aircraft 10. ed. 2005
- [IATA09] IATA Airport Handling Manual 29th Edition International Air Transport Association (IATA), ISBN-13: 9789292331085, 2008
- [ICA01] ICAO DOC 9774 AN/969, Manual on Certification of Aerodromes 2001.
- [JAR07] JAA, JAR-OPS 1: Commercial Air Transportation (Aeroplanes), 2007.
- [MUD09] Mudra I.,: A futópálya-biztonság, runway safety, jegyzet, Repülésoktatási és Dokumentációs Osztály Budapest, 2009
- [OAH00] Átalakítások biztonsági hatásának elemzése; a NUKLEÁRIS BIZTONSÁGI SZABÁLYZATOK 3. sz. kötetéhez tartozó 3.10. sz. Irányelv, Országos Atomenergia Hivatal, 2000.
- [RSM09] RiskSpectrum Analysis Tools - Theory Manual 2009.
- [SAE94] ARP4754: Certification Considerations for Highly-Integrated or Complex Aircraft Systems; SAE Systems Integration Requirements Task Group AS-1C, ASD.Society of Automotive Engineers, Inc., December 1994
- [SAE95] ARP4761: Guidelines and methods for conducting the safety assessment process on civil airborne systems and equipment SAE Committee S-18 Society of Automotive Engineers, Inc., August 1995
- [SES] <http://ec.europa.eu/transport/air/sesar/>
- [SMM] ICAO Doc 9859, Safety Management Manual (SMM)
- [Szabó08] Szabó G.: Nagy megbízhatóságú elektronikus közlekedési alrendszerek RAMS paramétereinek kezelése Ph.D Értekezés 2008.
- [TAR09] Tarnai G.: Közlekedési automatika előadási vázlat 2009; <http://www.kka.bme.hu>