



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék

Futópálya túlfutás megakadályozásának eszközei
Tudományos Diákköri Konferencia
2013.

Készítette : Varga Mátyás
Konzulens : Dr. Kővári Botond

Budapest, 2013.

Tartalom

Bevezetés

1. A futópálya biztonság
 - 1.1 A futópálya elhagyás
 - 1.2 Futópálya elhagyások világszerte
 - 1.3 Futópálya elhagyást előidéző tényezők csoportosítása
 - 1.4 Leszállás közbeni futópálya elhagyás kiváltó okai és kockázati tényezői
 - 1.5 A leszállásra veszélyes körülmények
 - 1.5.1 Futópálya állapota
 - 1.5.2 Késői földetérés
 - 1.5.3 Túl nagy sebesség
 - 1.5.4 Hibás döntés a leszállás mellett
 - 1.5.5 Gumiabroncs felúszása
 - 1.5.6 Hátszél
 - 1.5.7 Fékek és sugárfordító
 - 1.6 A felszállásra veszélyes körülmények
 - 1.6.1 Felszállás megszakítás v1 sebesség felett
 - 1.6.2 Helytelen felszálló tömeg
2. Futópálya elhagyás megakadályozásának módszerei
 - 2.1 Futópálya végbiztonsági terület (RESA) – Runway End Safety Area
 - 2.2 EMAS – Engineered Material Arresting System
 - 2.2.1 EMAS működési elve
 - 2.2.2 Az EMAS biztonsági rendszer telepítése, kialakítása
 - 2.2.3 Működő rendszerek és az EMAS sikerei
 - 2.3 Akadályháló
 - 2.3.1 Működési elv
 - 2.3.2 Kialakítás, telepítés
 - 2.4 Akasztó kampó – fékező kábel
 - 2.4.1 Működési elv
 - 2.4.2 Kialakítás, telepítés

3. Módszerek multikritériumos módszerrel való összehasonlítása
 - 3.1 A döntési feladat felépítése
 - 3.1.1 Összehasonlítás célja
 - 3.1.2 Alternatívák kiválasztása
 - 3.1.3 Szempontok meghatározása
 - 3.2 Döntési feladat megoldása
 - 3.2.1 Súlyok meghatározása
 - 3.2.2 Az alternatívák kiértékelése a szempontok szerint
- Összefoglalás, további lehetőségek

Bevezetés:

A 2013-as Tanulmányi Diákköri Konferenciára elkészített dolgozatom a légiközlekedés egyik legfőbb céljával, a biztonság növelésével foglalkozik. Az évről évre dinamikusan fejlődő légiközlekedés forgalma az elmúlt évtizedekben jelentősen nőtt. Ez a tendencia valószínűleg a következő évtizedekre is jellemző lesz. A biztonság folyamatos csökkentése folyamatosan növekvő forgalom mellett komoly kihívás a szakemberek számára.

Dolgozatom a légiközlekedés biztonságán belül a futópálya biztonság kérdésével foglalkozik, különös figyelem fordítva a futópálya elhagyás – túlfutás problémájára.

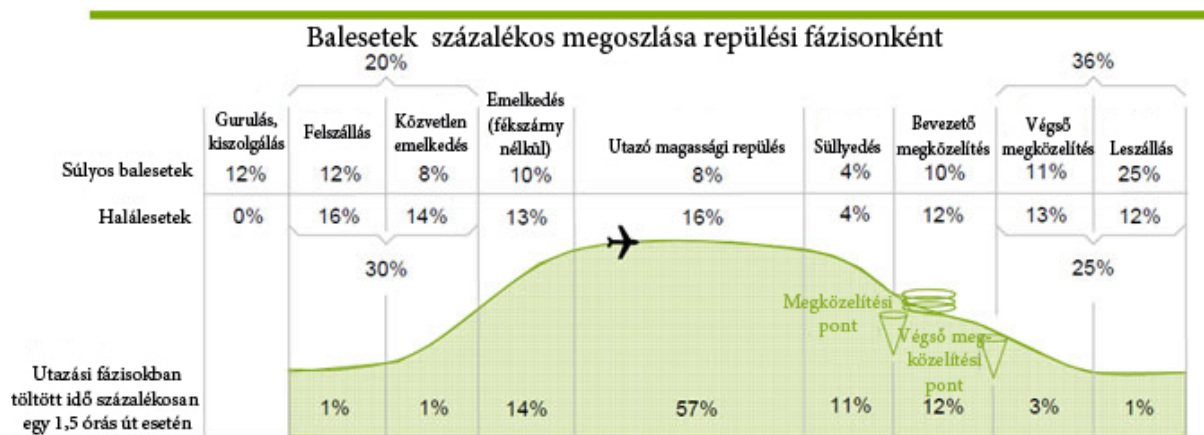
Az első fejezetben ismertetésre kerül a futópálya biztonság jelentősége és az elmúlt évek statisztikáin keresztül az előidéző tényezők és körülmények is részletesen bemutatásra kerülnek.

A második fejezetben ismertetem a légiközlekedés iparában jelen pillanatban legelterjedtebb futópálya túlfutás megakadályozásának eszközeit. Részletesen kifejtve a legjelentősebbeket.

Végül dolgozatom utolsó fejezetében a polgári repülésben alkalmazott módszerek összehasonlítását végzem el egy többszemponútú döntési problémák megoldására 30 éve kifejlesztett és jól bevált PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) multikritériumos összehasonlító, elemző módszer alapján. Az összehasonlításban Visual PROMETHEE 1.4 MCDA szoftvert alkalmazom, melyet kifejezetten az ilyen döntési problémák megoldására fejlesztettek ki. Az összehasonlításhoz konkrét körülményekre támaszkodom melyeket az elmúlt év tizedek statisztikái alapján választottam meg. Több szempont alapján mérlegelem a kérdést, melyeket különböző súlyozással veszek figyelembe az összehasonlítás során.

1. A futópálya biztonság

A közlekedés alapvető követelménye ágazattól függetlenül a biztonság. Kiemelten igaz ez a légiközlekedésre. A biztonsági előírások, szabályzások és a műszaki dokumentáció erős jelenléte megpróbálja a lehető legkisebb mértékig csökkenteni a repülés kockázatát. A polgári repülés minden részletére kitérni törekvő szabályzási rendszert az ICAO (Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet, International Civil Aviation Organisation), hozta létre és fejleszti folyamatosan u.n. annexek formájában. Az annexek előírásokat és javaslatokat tartalmaznak melyek betartása a szervezet tagjainak (államoknak) a feladata a repülés biztonságossá tételének érdekében. Az előírások és szabályzások ellenére történnek repülő események melyek súlyosság alapján kerülnek besorolásra (Annex 13.). Egy repülőgép a felszállástól az emelkedésen túl, az utazómagasságon keresztül ki van téve a baleset kockázatának egészen a süllyedés és leszállás befejeztéig. A balesetek bekövetkezésének valószínűségét az elmúlt évek statisztikája alapján szemlélteti a következő ábra.

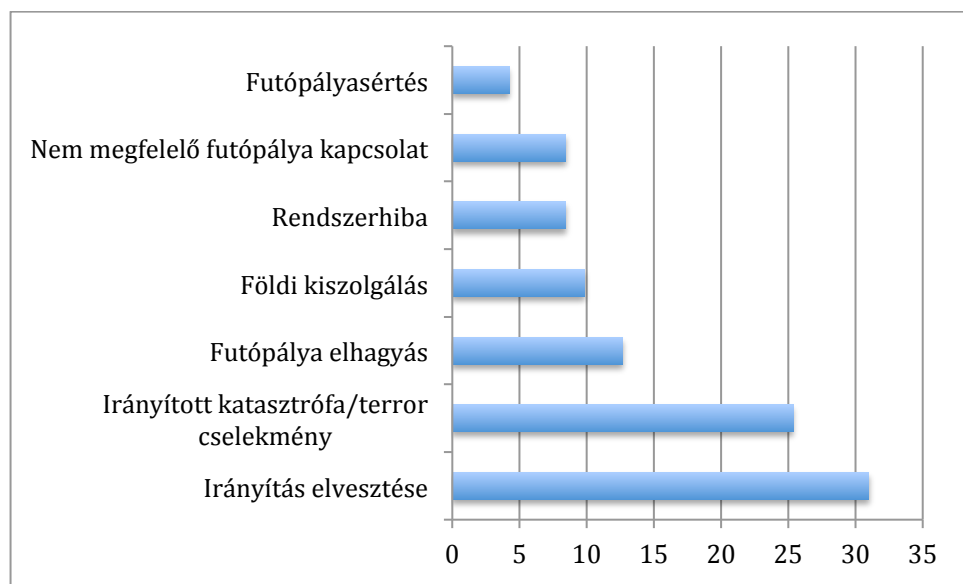


1 ábra: Események %-os eloszlása a repülés egyes szakaszait tekintve [8]

Ahogy az ábrán láthatjuk egy másfél órás repülésre kivetítve a legnagyobb kockázatot a fel- és leszállás jelenti egy repülés során. Ha megfigyeljük az út során az idő nagyrészt a repülőgép utazó magasságon tölti, ahol a legcsekélyebb a baleset vagy esemény bekövetkezésének a valószínűsége. A repülés idejéből mindössze

pár százalékot kitevő le- és felszállás közben azonban a legnagyobb a kockázat, különösen a megközelítés és leszállás szakaszaiban.

A halálos áldozatot követelő balesetek egy jelentős része is a futópálya elhagyással kapcsolatos. A 2. ábra megmutatja, hogy az 1998 és 2007 év közötti periódusban a halálos balesetek legnagyobb része a repülőgép irányításának elvesztése illetve a repülőgép eltérítések következtében épületekbe vagy tereptárgyakba vezetett gépek követelték a legtöbb áldozatot és fordultak elő a leggyakrabban. Láthatjuk hogy a végzetes kimenetelű események tekintetében a futópálya elhagyás a harmadik legnagyobb veszélyt jelentő eseménytípus helyére sorolható. Majd ezután megfigyelhető, hogy a futópálya biztonsággal kapcsolatos események együttesen jelentős hányadát teszik ki a halálos áldozattal illetve komoly anyagi kárral járó eseményeknek.



2. ábra: Balesetek okai százalékos eloszlásban. [3]

A 2. ábráról láthatjuk hogy az események egy jelentős része, mintegy harmada futópálya biztonsággal kapcsolatos.

A futópálya biztonságot veszélyeztető eseményeket három csoportba soroljuk: futópályasértés, futópálya tévesztés és (nem szándékolt) futópálya elhagyás. A 3. ábrán lévő táblázatban láthatjuk a három csoportra osztott futópálya biztonsággal kapcsolatos

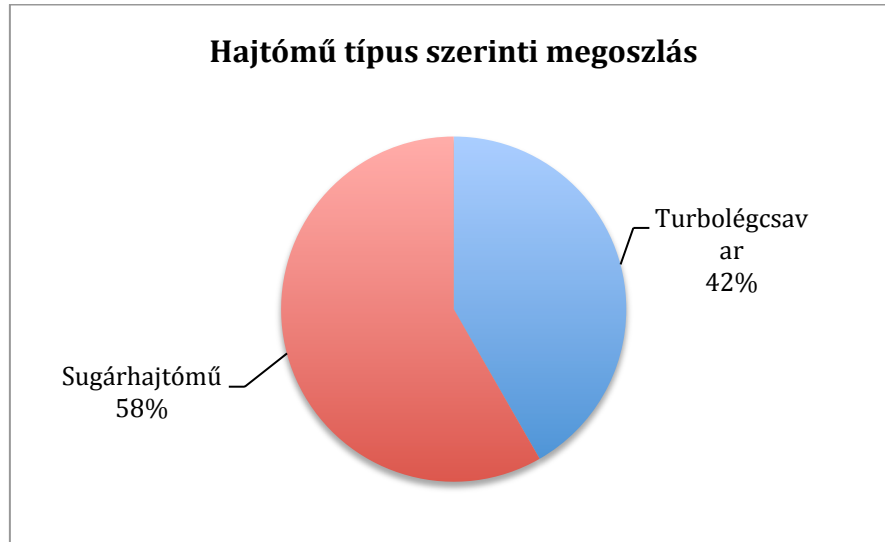
esemény százalékos megoszlását. A futópálya tévesztés a legritkábban előforduló ilyen esemény, mely több futópályával rendelkező reptereken fordulhat elő, a pilóta egyszerűen nem a megfelelő, kijelölt pályán hajtja végre a leszállást, melynek komoly súlyos következményei lehetnek abban az esetben, ha a pálya foglalt vagy éppen üzemben kívül van. Előfordulhat és elő is fordult már hogy, felszálláskor rossz futópályára gurul ki a légitársaság és így idézi elő a veszélyhelyzetet. A futópályasértés esetén a foglalt futópályára, melyen éppen gurulást, keresztezést, le- vagy felszállást hajtának végre, egy másik jármű hajt fel, lehet ez másik repülőgép vagy egyéb a reptéri szolgálatokat ellátó jármű is. A legjelentősebb arányszámmal a futópálya elhagyás bír, mely később kerül a többinél részletesebb bemutatásra.

Repülő esemény típusa, Accident Type	Események száma	Évenkénti előfordulás	%-os érték az összes eseményhez
Futópályasértés, Incursion	10	0,7	0,6%
Futópálya tévesztés, Confusion	4	0,3	0,3%
Futópálya elhagyás, Excursion	417	29,8	29%

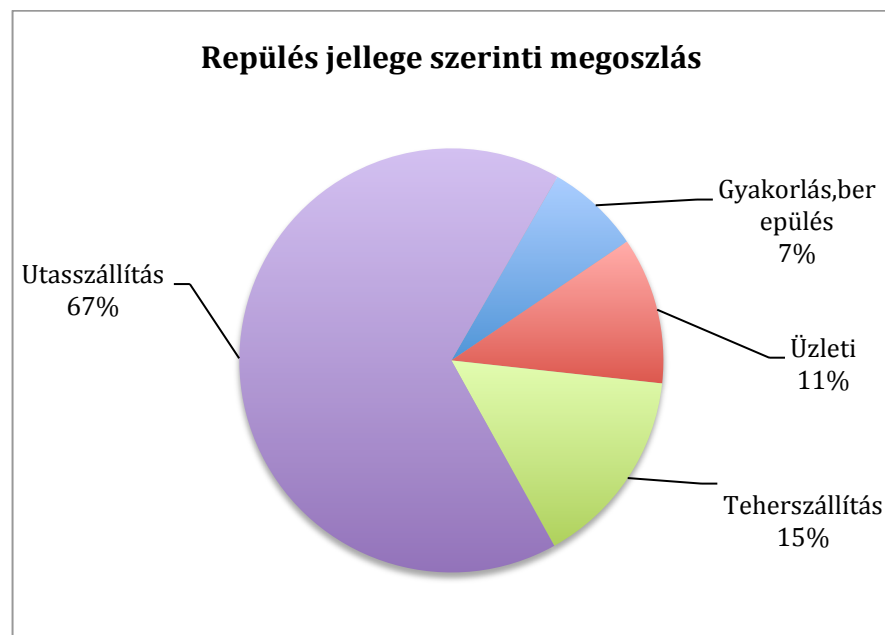
1. táblázat: Futópálya biztonsággal kapcsolatos balesetek.[saját készítés]

Összevetve a két legelterjedtebb hajtómű típust azt látjuk hogy az összes eset 41,7 %-ában a futópályát elhagyó gépek turbólégcsavaros hajtóművel rendelkeztek míg a maradék 58,3 %-ban hagyományos sugárhajtóművel voltak ellátva. Itt megjegyezném hogy a polgári forgalomba állított repülőgépek közelítőleg 32 %-a turbólégcsavaros, ez az arány reflektál valamelyest a futópálya elhagyások eloszlására is a két típus között. Egy másik megközelítésben azt láthatjuk, hogy az esetek nagyrésztében, 66,4 %-ban utasszállító repülőgépekkel fordul elő a futópálya elhagyás, 15,2 %-ban cargo, 11,2 % üzleti járatokkal és 7,2 % oktató és gyakorló tevékenység közben. Ugyanakkor hozzátenném, hogy ez az eloszlás is részben magyarázható azzal a ténnyel, hogy a

repülési tevékenységek általános eloszlását tekintve az utasszállítás és oktatás, gyakorlás 84 %, az üzleti 10 %, míg a teherszállítás mindössze 6 %, ha ezen kategóriákat vetjük össze kizárólag.



3. ábra: Futópálya elhagyás megoszlása utazási kategória és repülőgép típusok alapján
[1,saját készítés]



4. ábra: Futópálya elhagyás megoszlása repülés jellege alapján [1,saját készítés]

1.1 A futópálya elhagyás

Leggyakoribbak tehát a futópálya biztonsággal kapcsolatos események közül a futópálya elhagyásos balesetek, események, melyek két további csoportra bonthatóak: lesodródás (veer-off) és túlfutás (overrun). A fő különbség, hogy a lesodródás a pálya tengelyére merőleges irányban történik jellemzően a futópálya mentén, míg túlfutás esetén a légi jármű a futópálya végén, annak hosszanti tengelye mentén hagyja el a pályát.

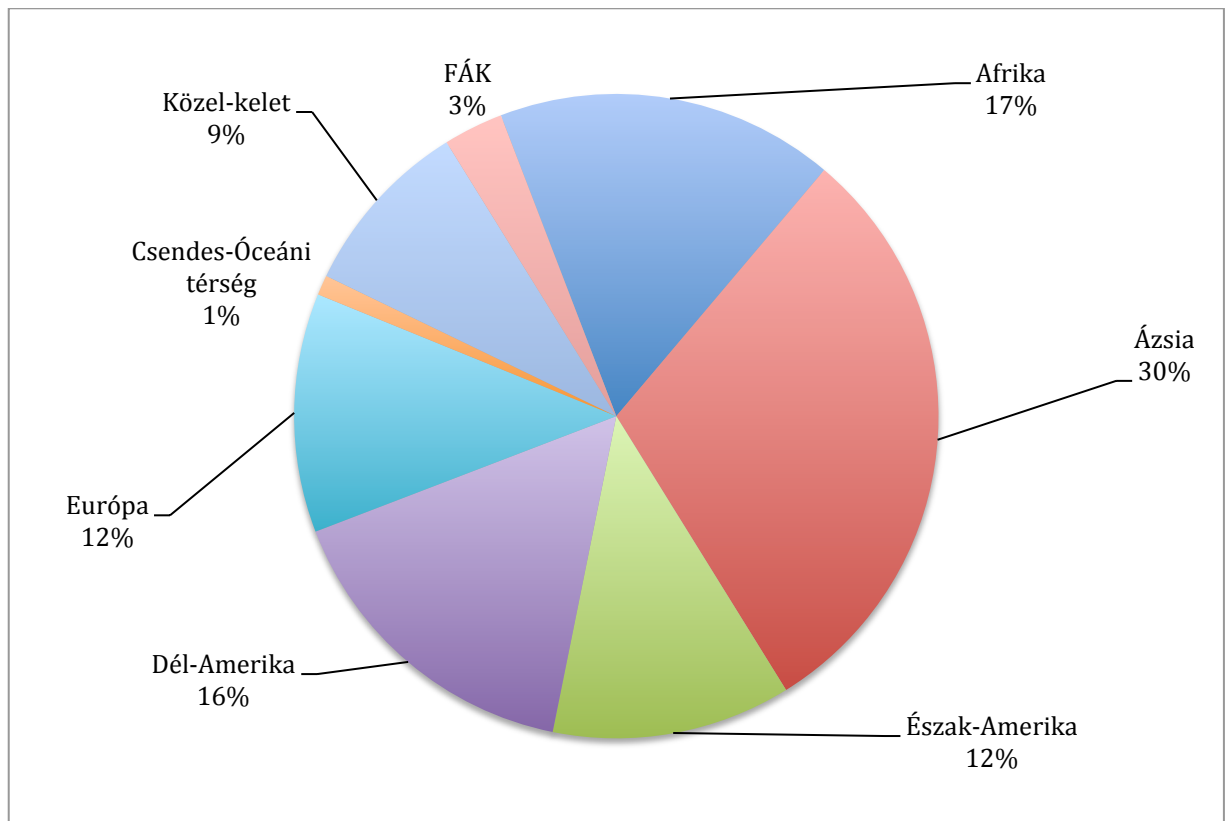
Az elmúlt években a futópálya elhagyások számát tekintve kicsit mélyebben vizsgálva az adatokat többféle tendenciát figyelhetünk meg. Egyértelműen csökkenés nem mutatható ki az események számából az évenkénti eloszlást figyelve, azonban tekintettel a forgalom dinamikus fejlődésére egészen más eredményeket kaphatunk. Hiszen a növekvő forgalomra való tekintettel az események bekövetkezési számának évenkénti közel hasonló értéke, egyértelműen biztonsági javulást és a kockázati mutatók csökkenését jelenti. Nem csak az események bekövetkezési számára igaz ez, hanem a halálos veszteséggel járó futópálya elhagyások tekintetében is igaz.

1.2 Futópálya elhagyások világszerte

Ahogy a statisztikák is mutatják a futópálya elhagyás éves szinten a leggyakrabban jelentett repülő esemény Európán belül és kívül egyaránt. Átlagosan hetente két túlfutás történik világszerte. Kimenetelét tekintve gyakran végződnek az ilyen balesetek a repülőgépek tekintetében komoly szerkezeti kárral, de számos alaklommal súlyos sérülést illetve haláleset is előfordul az ilyen eseményeknél. Mindezen tények komoly okot szolgáltatnak a futópálya elhagyás megelőzésére tett intézkedések és technológiák kidolgozásának fontosságára.

A futópálya elhagyások száma igen jelentős, tehát világszerte mindenhol létező probléma a túlfutás illetve lesodródás. Százalékos eloszlását tekintve az eseményeknek elmondható hogy Ázsiában történik a legtöbb ilyen esemény, amely az összes esemény közel egy harmadát teszi ki, Európában is, és Észak-Amerikában is 12 % , Dél-

Amerikában 16 %, Afrikában 17 %, a Közel-Keleti térségben pedig az esetek közelítőleg 9 %-a történik.



5.ábra: A futópálya elhagyások eloszlása világszerte [3]

A futópálya elhagyás eseményének körülményei egymástól eltérőek lehetnek. A repülés különböző fázisaiban különböző tényezők különböző mértékben jelentenek kockázatot a repülés lefolyására. Egy légi jármű elhagyhatja a futópályát indulást követően a felszállás közben, abban az esetben, ha nem sikerül elemelni a földtől a repülőgépet, illetve ha megszakított felszállás után nem képes megállítani a sebességet nyert járművet. Fenn állhat a túlfutás veszélye leszálló gépek esetén is abban az esetben, ha nem sikerül megállítani a repülőgépet a futópálya végéig. Ritkábban, de előfordul az is hogy a repülőgép a sikeres leszállás után vagy felszállás előtt a pálya elhagyása vagy éppen rágurulása közben hagyja el a futópályát.

A futópálya elhagyásos esetek megelőzésének érdekében minden körülmény és adat feltárása jelentőséggel bírhat, így az előfordulások helye is.

	Futópálya elhagyás típusa	Repülési fázis	Százalékos eloszlás
Világszerte, kivétel Európa	Túlfutás	Leszállás	37,10%
	Túlfutás	Felszállás	10,70%
	Lesodródás	Leszállás	39,80%
	Lesodródás	Felszállás	12,40%
Európa	Túlfutás	Leszállás	41,80%
	Túlfutás	Felszállás	12,60%
	Lesodródás	Leszállás	35,80%
	Lesodródás	Felszállás	9,80%

2. táblázat: Futópálya elhagyások típusai különböző fázisokban Európában és világszerte [4, saját készítés]

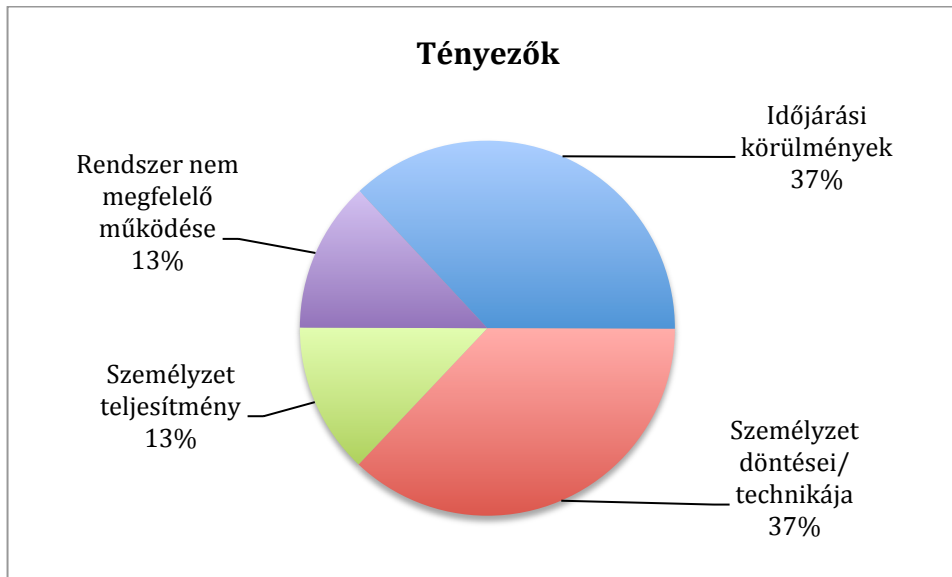
A táblázat megmutatja a különböző típusú futópálya elhagyások gyakoriságát lebontva az előfordulás helyére illetve kitérve a bekövetkezéskor aktuális repülési fázisra. Európában és a világ többi részén egyaránt a futópálya elhagyás eseteinek leggyakoribb előfordulása a leszállást közbeni túlfutás illetve lesodródás. Az adatok alapján mind Európában, mind globálisan az előfordulási arányok többé-kevésbé megegyeznek.

Az esetek folyamatos elmezése során fény derült több mint 450 kiváltó körülményre, melyek legtöbbször ok-okozati összefüggésként esemény láncolatá kapcsolódva vezetnek az esemény bekövetkezéséhez. A leggyakrabban előforduló tényezők különös odafigyelésre adnak okot, előfordulásuk kockázatának csökkentése a cél, ezáltal elérve a futópálya biztonság növelését.

1.3 Futópálya elhagyást előidéző tényezők csoportosítása

Számos szervezet által végzett analízis foglalkozott és foglalkozik folyamatosan a futópálya biztonság kérdésével ezen belül is az elhagyást előidéző tényezők pontos megismerésével és felderítésével. Mint már említettem a különböző tényezők, körülmények kombinálva nem kívánt esemény láncolatá változtathatják az események lefolyását befolyásoló jelenségeket. A futópálya elhagyást előidéző tényezőket négy

nagy csoportba sorolhatjuk. Ez a négy kategória : időjárási körülmények, személyzet repülési technikája és döntései, személyzet teljesítménye, és a rendszerek működése.



6. Ábra: A futópálya elhagyást előidéző négy fő tényező és megoszlásuk az eseményekben. [3, saját készítés]

Az **időjárási körülmények** a repülési tevékenységek kezdetétől fogva kritikus tényezői a repülés biztonságos lefolyásának tekintetében. Számos fedélzeti és földi telepített rendszer segíti a légiközlekedés lebonyolítását kiküszöbölve az időjárásnak való kiszolgáltatottságot. Az előrejelzéssel és a körülmények vizsgálatával a repülésmeteorológia tudománya foglalkozik, a hajózók a légiforgalmi szolgálatoktól kapnak naprakész információkat, előrejelzéseket a megjósolt és a fennálló időjárási körülményekről. A futópálya biztonság tekintetében az adott repülőtéren uralkodó időjárási körülmények ismerete rendkívül fontos, hiszen a repülés legkritikusabb fázisai történnek a futópályán és annak közelében. A le- és felszállást veszélyeztető időjárási körülmények a következők lehetnek:

- vizes, nedves futópálya felület,
- keresztszél,
- hátszél,
- nem megfelelő információk a körülményekről,
- leáramlások,

- szélnyírások,
- ezen körülmények befolyása a fékekre,
- nem megfelelő vizuális körülmények.

A **személyzet teljesítménye** a kockázati körülmények emberi tényezőjeként van jelen. Az elmúlt évtizedek eseményeinek 37 %-ban a vizsgálatok megállapításai szerint kulcsszerepet játszott az efféle emberi tényező. Az ilyen esetek előfordulását a megfelelő képzésekkel, gyakorlatokkal szimulátoros kurzusokkal hatékonyan lehet csökkenteni. Ezen tényező előidézéséhez vezető leggyakoribb momentumok:

- előírt általános eljárások figyelmen kívül hagyása,
- a minimális biztonsági állapot figyelmen kívül hagyása,
- fáradtság,
- látási zavarok, illúziók,
- stressz, pszichés nyomás,
- hibás számítások.

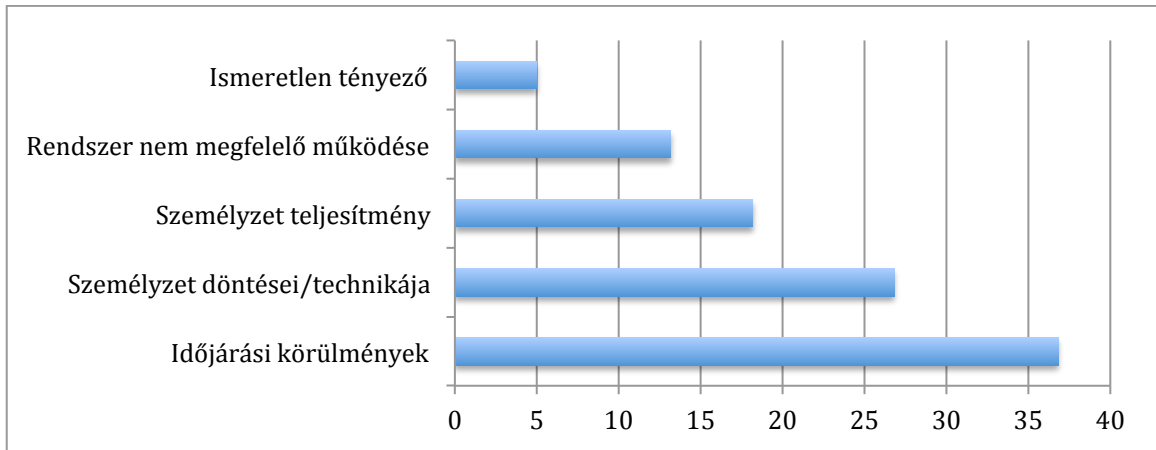
A **személyzet technikájának és döntéseinek** tényezője sokban függ a hajózók tapasztalatától és képzettségétől is. Igen fontos szerepet játszanak a döntések meghozatalában a légiforgalmi szolgálatoktól kapott információk illetve ezek befolyásolhatják az adott pilóta technikáját a repülés közben. Ide sorolják a pilóták esetében tapasztalat „get-home-itis” vagy máshol „press-on-itis” szindróma jelenségét is, mely erőteljesen befolyásolhatja a döntésben a hajózókat. A nem megfelelő döntés és repülési technikák következményei leggyakrabban a következő jelenségek:

- késői földetérés, hosszú leszállás,
- túl nagy sebesség,
- nem megfelelő süllyedési szög,
- nem megfelelő megközelítési pálya,
- kemény földetérés, elpattanás,
- fékek nem megfelelő használata,
- felszállás megszakítás v1 sebesség felett.

A **rendszerek nem megfelelő működésének** jelentősége is igen nagy. A repülés biztonságára való tekintettel a gyártókkal szemben támasztott komoly követelményekkel igyekeznek kizorítani a rendszerek meghibásodásának, nem megfelelően való működésének a kockázatát. Egy repülőgép rendszereinek meghibásodása végzetes lehet, ezért kialakításukban is tartalmazniuk kell biztonsági elemeket, redundanciákat. Ide tartozik egy légi jármű futóművének nem megfelelő szerkezeti kialakítása melynek a földetéréskor komoly jelentősége lehet, a fékező és sugár fordító rendszerek megfelelő működése is elengedhetetlen. Kiemelkedően fontos egy repülőgép hajtóművei által leadott teljesítmény mértéke egyenletessége, megfelelősége is komoly jelentőséggel bír a biztonság szempontjából. Egy légi jármű akkor irányítható, ha a megfelelő áramlások kialakulnak a sárkányszerkezet körül, mely áramlásoknak a létrejötte a szükséges sebesség elérésének köszönhető. Amennyiben a hajtóművek teljesítménye nem elegendő ahhoz, hogy a megfelelő üzemeltetési sebességet biztosítsák a repülőgép számára, abban az esetben jármű irányíthatósága megváltozik, nehezedik, esetenként teljesen megszűnik. Előfordulhat a tényező fennállása amennyiben a következő problémák állnak fenn:

- aquaplanning,
- asszimetrikus hajtómű teljesítmény,
- fedélzeti berendezések meghibásodása repülés közben,
- asszimetrikus fékezés,
- fék meghibásodás, kerékfék meghibásodás,
- áramlásrontó lapok meghibásodása,
- sugárfordító meghibásodása.

A négy fő tényezőn kívül természetesen mint a tudomány minden egyéb területén a repülésben is jelen vannak az ismeretlen okok és tényezők, melyek vizsgálatát a felelős, megbízott, független szervezetek folyamatosan végzik.

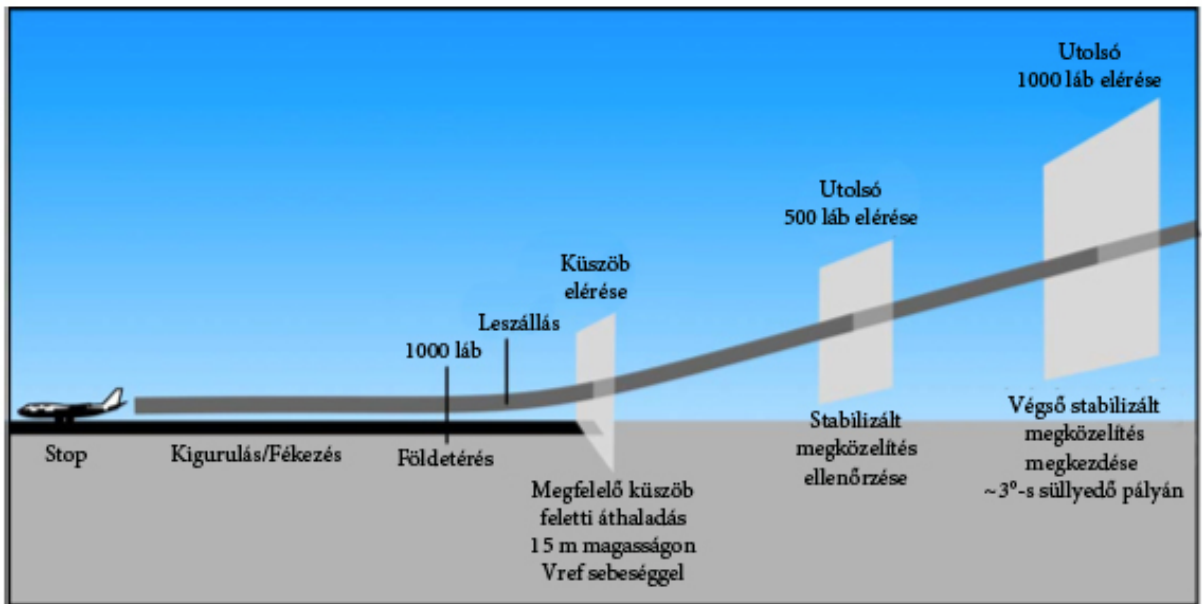


7. ábra: A futópálya elhagyást előidéző négy fő tényező szerepének %-os eloszlása. [4, saját készítés]

1.4 Leszállás közbeni futópálya elhagyás kiváltó okai és kockázati tényezői

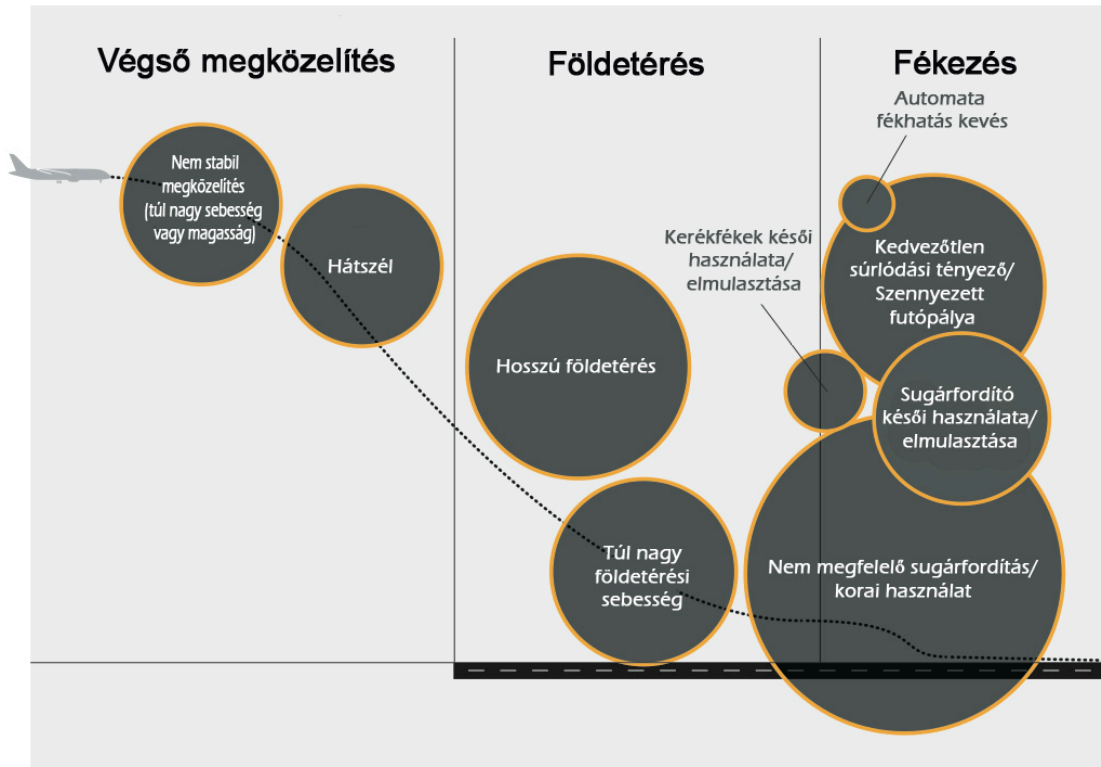
Ahogy a 2. táblázat adataiból megállapítható, a legnagyobb valószínűsége a futópálya elhagyásnak, mind a lesodródás, mind a túlfutás tekintetében a leszállási fázis végre hajtása közben van. A repülőtér légegyetemre érkező, landolni készülő repülőgép normális esetben stabilizált megközelítést hajt végre. A nem stabilizált megközelítés egy igen komoly potenciális veszéllyel rendelkező repülésbiztonsági szituáció. Nem stabilizált megközelítésnek nevezzük, ha az alábbi feltételek közül bármelyik nem teljesül:

- a repülőgép a megfelelő megközelítési pályán van, amin a gép rajta tartása csak enyhe kormánymozdulatokkal történik,
- egyenletesen nagyjából állandó szögben érkezik a repülőgép a futópályára a földetérés pontjáig,
- a légijármű berendezései rendszerei a megfelelő értékre vannak állítva a leszálláshoz, mint a hajtóművek, fékszárnyak, futóművek,
- a repülőgép a végső megközelítési sebességgel kell, hogy érkezzon a küszöb fölé, mely az átesési sebesség minimum 1,3 szorososa,
- 300 méter / perc –nél kisebb mértékű süllyedés.



8. ábra: Stabilizált megközelítés vázlata [1, saját készítés]

Egy repülőgép landolási fázisát három kisebb fázisra bonthatjuk. A megközelítés fázisa mikor a légi jármű rááll a megközelítési pályára és stabilizáltan közeledik a küszöbhez. Stabilizált megközelítés esetén a küszöböt végső megközelítési sebességgel megfelelő magasságon átrepülő repülőgép beér a leszállás fázisába, mely a küszöb átrepülésétől a földetérés pillanatáig tart. Ezt követően a fékberendezések megfelelő működtetése mellett a jármű lelassít és az utolsó fázisban kigurul a pályán, majd elhagyja azt, az arra kijelölt guruló úton.



9. Ábra: A megközelítés, leszállás és kigurulás kockázati tényezői [2, saját készítés]

1.5 A leszállásra veszélyes körülmények

1.5.1. A futópálya állapota

A legfontosabb tényező a futópálya állapota, hiszen a legnagyobb kockázatot jelentő körülmény nedves illetve a folyadékkal, csapadékkal, hóval vagy latyakkal esetleg ezek keverékével részben vagy teljesen (minimum 3mm vastagságban) fedett futópálya felület. Ilyen esetekben a repülőgép futóműveinek gumiabroncsai és a futópálya betonja között csökken, esetenként szinte megszűnik a súrlódás, tapadás, aminek következtében a fékező berendezések megfelelő működtetése mellett is jóval hosszabb távolságra van szüksége a földetérő gépnek a megálláshoz. A futópálya nedvesség azonban nem felétlenül ok-okozati tényező, hiszen egy megfelelő burkolat mikro- és makroszintű kialakítása viszonylag magas nedvesség és szennyezés esetén is jó tapadási, súrlódási tulajdonságokkal rendelkezik. A statisztikák szerint a landolások mindössze 10 %-a történik nedves vagy csapadékkal fedett futópályán, ami azt jelenti,

hogy a kockázati mutatója a futópálya elhagyásnak ilyen körülmények között 13, vagyis 13-szor nagyobb a valószínűsége a pálya nem szándékolt elhagyásának nedves felületre történő leszálláskor, mint száraz körülmények között történő földetéréskor.

A hajózókat tájékoztatják az aktuális időjárási és futópálya körülményekről, így ők fel tudnak készülni a leszálláshoz oly módon, hogy elvégzik a leszálláshoz szükséges minimális futópályahossz meghatározására alkalmas számításokat és ezen adatok alapján döntenek a leszállás végrehajtásának kérdéséről. Ezeket a számításokat a



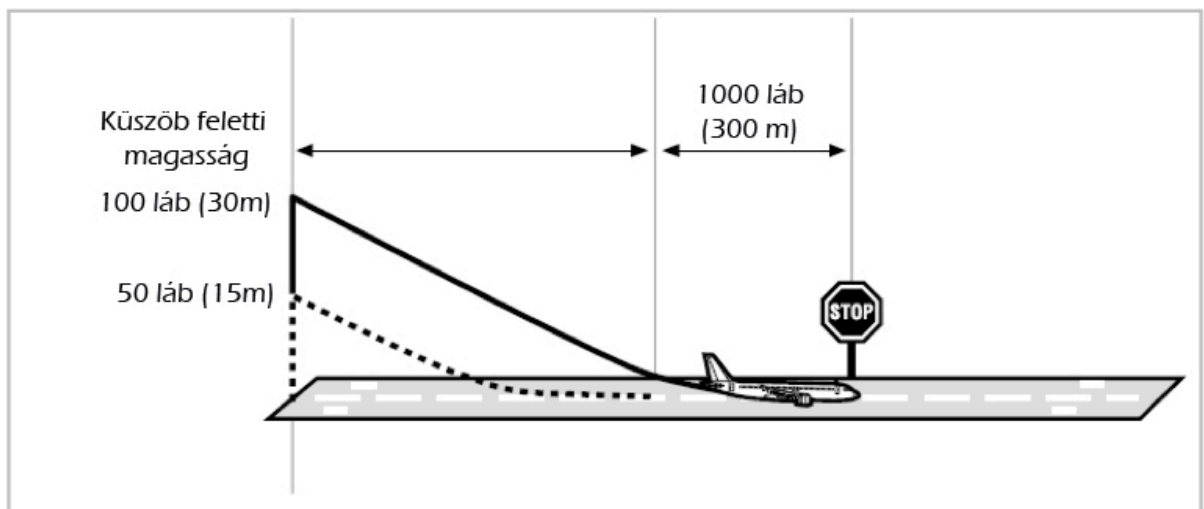
10.ábra: Sukhoi SuperJet 100 –as típusú repülőgép leszállás utáni fékezése nedves futópálya felületen[13]

végző megközelítés elkezdése előtt kell elvégezni. Pillanatnyilag csak azokra az üzemeltetőkre vonatkozik ez az előírás akik az EU-OPS Európai Parlament által lefektetett rendelet vonatkozik és ez alapján repülnek. A tájékoztatás természetesen nem mindig teljesen pontos és friss, ezért a számítások során adott biztonsági tényezőkkel ráhagyással történik a szükséges pályahossz kiszámítása. Az ezekhez szükséges módszereket és eljárásokat az üzemeltetési kézikönyvek (operators manual) tartalmazzák. Továbbá a futópálya állapotának meghatározása sem egyszerű feladat. Számos erre a célra tervezett és alkalmazott mérőberendezés létezik, melyekkel különböző mérések folyamán megállapítják a felület súrlódási jellemzőit, melyeket jelentenek a megfelelő szolgálatokon keresztül a pilótáknak. Ezek az adatok azonban számos alkalommal eltérnek a leszálláskor ténylegesen tapasztalt súrlódási körülményektől. A körülmények gyors változásával minden jellemző változik így nehéz időről, időre pontos információkat nyújtani a pálya állapotáról. A mérések sűrűsége is korlátozott, hiszen akadályozhatja a forgalom hatékony lebonyolítását és folytonosságát. Így bevett szokás a pilóták jelentéseit az úgy nevezett PIREPS-eket (pilot reports) is figyelembe venni az előzetes jelentések kiadásakor. Habár ezek nagyrabecsült információk, célszerű ezeket a jelentéseket is kis fenntartással kezelni hiszen a pilóták által tapasztalt körülmények is befolyásolva lehetnek a repülőgépek

típusa, fékezési hatékonysága, súlya által, így nem minden esetben vehető kész ténynek egy leírt körülmény.

1.5.2. Késői földetérés

Egy másik potenciális veszélyt jelentő tényező a leszálló repülőgép a futópálya küszöb után ér jóval földet. Arra, hogy mi számít késői, hosszú földetérésnek kimondott szabály vagy egyezmény nincs. Általában 600 – 700 méterrel a küszöb utáni földetérést már ebbe a kategóriába sorolják, de természetesen a kritikus földetérési távolság a küszöbtől a futópálya hosszúságának a függvénye is. Ezt figyelembe véve kritikus távolságnak tekintik azt a pontot, amely a küszöbtől a futópálya teljes hosszának a 25-33 %-ával megegyező távolságra helyezkedik el. A repülőgépek általában a küszöbtől 300 – 400 méterre érnek földet. Természetesen rengeteg tényező van ami előidézheti a késői vagy éppen korai talajfogást. Ilyen például a küszöb fölötti áthaladási magasság, sebesség, a megközelítést végző repülőgép süllyedési szöge, a szél nagysága és iránya, a „vitorlázás” - lebegtetés mértéke, a sebesség csökkenés nagysága, a küszöb feletti átrepülés és a földetérés pillanata között, a szárny geometria és a futópálya geometriai tulajdonsága, emelkedése vagy éppen lejtése is. A legfontosabb, hogy a repülőgép a megfelelő megközelítési szögben haladjon át a küszöb felett. Ha többlet magasság van a küszöb feletti áthaladás pillanatában akkor nagyobb leszállási futópálya hosszra van szükség, ugyan ez igaz arra az esetre is, mikor a megközelítés szöge sekélyebb az ideális meredekségnél.



11. ábra: Késői földetérés vázlata, túl nagy küszöb feletti sebesség esetén. [1, saját készítés]

A leszállási technika is komoly jelentőséggel bír a szükséges leszállási pályahossz tekintetében. Az adott értékek megválasztása eltérő lehet. A megközelítési paramétereket befolyásolja a repülőgép súlya, szárny geometriája és egyéb tulajdonságai. Nem utolsósorban a leszállás közben uralkodó időjárási viszonyok figyelembe vétele sem. A megközelítés után a küszöb átlépése környékén a pilóták sekélyebb közelítési szöget választanak a földetérési manőver közben változtatják ennek a szögnek a mértékét, annak érdekében hogy elkerüljék a túl kemény földetérést és ennek következtében a gép esetleges elpattanását. A leszállási manőver végrehajtása a pilóta feladata. Ennek a lefolyása esetenként és pilótánként különböző lehet mert a magassági kormány szögének irányítása és a földetérés menete a kormányon ülő belátása alapján történik. Az elemzett statisztikák azt mutatják, hogy a késői földetérés következtében történt futópálya elhagyások 29 %-ban a küszöb feletti áthaladáskor a javasoltnál jóval nagyobb sebességet mértek, 14 %-ban volt felelős az erős hátszél, és az esetek 9 %-ban túl magasan haladt el a jármű a küszöb felett. Nem hivatalos adatok szerint a leszállások 1-2 %-ában a gépek későn érnek földet. A túlfutások körülbelül 39 %-ára igaz, hogy késői földetérés után következnek be. Ehhez az arányhoz viszonyítva a későn földet érés kockázati mutatója 31 és 63 közé esik. Ha más tényezőkkel egy időben áll fenn a késői leszállás, mondjuk nedves burkolatú futópálya esetén ez a mutató jóval nagyobbra változik, tekintettel arra, hogy a túlfutások 10 %-ban történnek nedves futópálya körülmények között, és 39 %-ban késői landolás jelensége áll fenn, ezt a két körülményt együtt tekintve a kockázati mutató 89 és 178 közé eshet.

1.5.3. Túl nagy sebesség

A leszállás közbeni túlfutások esetén a földetérési sebesség az esetek közel 20 %-ban nagyobb volt az ideálisnál. Amint azt már a késői földetérés problémájánál említettem a küszöb feletti átrepülés sebessége meghatározó a szükséges futópálya hossz tekintetében. A küszöb után levegőben töltött időt és a gurulási távolságot is jelentősen megnöveli, ha a repülőgép az ideálisnál nagyobb sebességgel ér a futópálya

föle. Ha az előzetes számításoknál nagyobb sebességgel érkezik a légi jármű és kezdi meg a leszállási manővert, a számítottnál korábbi földetérési ponton kell letenni a repülőgépet, ugyanis a fékezési úthossz megnő, így hosszabb pályára van szükség a megálláshoz.

1.5.4. Hibás döntés a leszállás mellett

Abban az esetben, ha a körülmények és előrejelzés ellenére a pilóta úgy dönt, hogy mégis megkísérli a leszállást, megnő a futópálya elhagyás kockázata. Az ilyen döntések meghozatalával kapcsolatban is fontos a kockázat és a korábbi események pontos ismerete, hiszen az ilyenféle tájékozottság segítheti a pilótát a helyes döntés meghozásában. A rossz döntés meghozatalában szerepet játszhat a fáradtság, a helyzet téves megítélése és a „get-home-itis” szindróma is, mely a pilótáknak célbaérési akaratához köthető. A kutatások szerint azonban ezek a faktorok nem játszanak közvetlenül szerepet a pálya elhagyás jelenségében.

1.5.5. Gumiabroncs felúszása

Láthatatlan mégis nagyon valóságos veszély a futómű gumiabroncsának vízrétegen történő felúszása más szóval aquaplaning. Abban az esetben, mikor a futópálya burkolatán lévő víztócsa vagy átfolyás miatt a futópályán guruló, gyorsuló vagy lassuló légi jármű futóművének gumiabroncsa és a pálya burkolata között megszűnik a fizikai kapcsolat, vízréteg kerül a kerék és a beton közé, amelyen megúszik, megcsúszik a jármű. A jelenség úgy következik be, hogy a burkolaton guruló gumiabroncs kiszorítja a vízréteget önmaga és a burkolat közül, ezáltal tolja maga előtt a kiszorított víz egy részét. Abban a pillanatban, hogy a kiszorított víz nyomása eléri, majd meghaladja a kerék gumiabroncsának nyomását, a kerék és a futópálya felülete közé vízréteg kerül. Így elveszik az adhézió a két felület között, emiatt a kerekek csúsznak a jármű kevésbé képes reagálni a kormányzásra, gyorsításra, lassításra. Leszálláskor a súrlódás fennállásának másik fontos szerepe, hogy segítségével a futómű gumiabroncsai felvegyék a szükséges fordulatszámot, ami a megúszás jelenségével késve történik, így késleltetve a fékhatást és a lassulást. Ugyanígy a csúszásgátló

hatására is negatívan hat az aquaplanning. A kerekek blokkolása is könnyen megtörténik a jelenség fennállásakor. Mikor a pilóta működésbe hozza a kerékféket, a megúszott abroncs ellenállás hiányában sokkal könnyebben blokkol. A modern repülőgépeken lévő újabb tervezésű radiális gumiabroncsok sokkal hatékonyabbak a jelenség kiküszöbölésében a régebben alkalmazott diagonális abroncsoknál. Esős, nedves körülmények között bevált szokás landoláskor keményebben érkezni a repülőgéppel, a pilóta erősebben vágja oda a futóműveket az aszfalthoz, segítve ezzel a megúszás jelenségének kiküszöbölését.

1.5.6. Hátszél

A hátszél olyan tényező, mely növeli a szükséges leszállási úthosszt, a levegőben töltött illetve a gurulás hosszát egyaránt. Így jelentős veszélyt, kockázatot jelent ha az előzetes megközelítési számításokban figyelembe vett hátszél értékénél nagyobb a ténylegesen jelenlévő hátszél nagysága, mert ebben az esetben a szükséges felhajtóerő nagyságának eléréséhez a pályához viszonyított megközelítési sebesség értéke nagyobb, mint szélszél vagy szembeszél esetén. A túlfutások 53 %-ban tényezőként a hátszél jelen van, kombinálva a nedves, vízes körülményekkel. Sok helyen korlátozzák vagy egyszerűen nem teszik lehetővé egy futópálya használatát hátszélben tekintettel a biztonságra.

1.5.7. Fékek és a sugár fordító

A fékek és a sugárfordító nem megfelelő használata az leszállás közbeni futópálya elhagyások 22,4 %-ában bizonyult ok-okozati tényezőnek. A földetérés után mikor a kerekek pillanatnyi megcsúszás után felvették a megfelelő fordulatszámot akkor használhatóak a fék berendezések. A korai illetve a késői fékezés is a szükséges leszállási úthosszt kedvezőtlenül befolyásolja. Nem minden légi jármű rendelkezik a sugárfordítóval. A futópálya körülményektől függetlenül a megfelelően alkalmazott sugárfordítás igen hatékony fékezési eljárás.

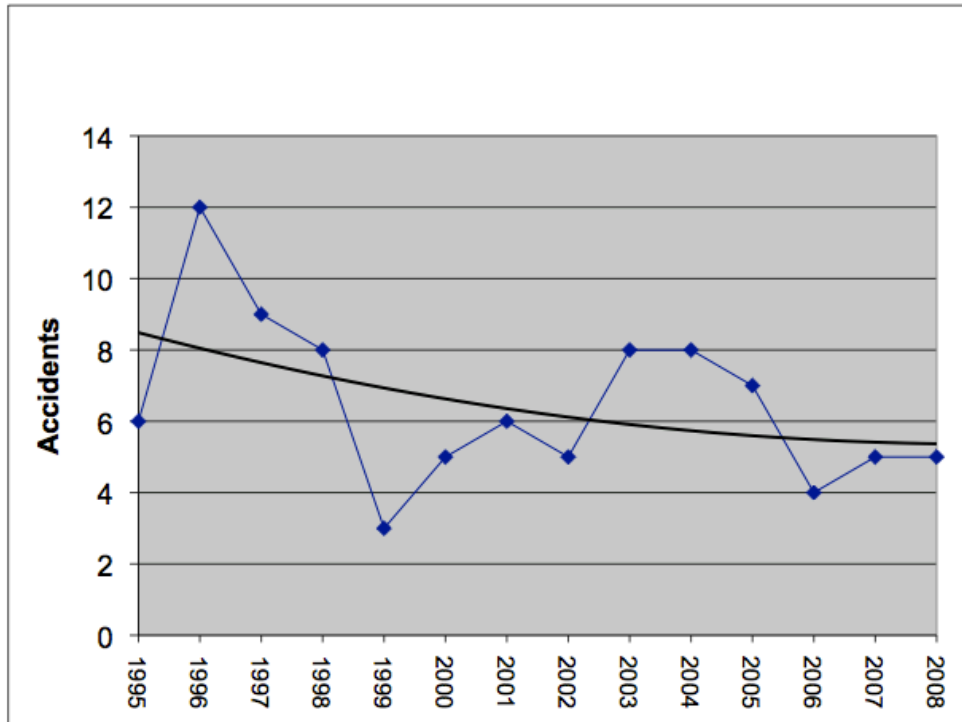
Túlfutás leszállásközben	
Tényező	%
Nedves/Szennyezett futópálya	58,8
Hosszú leszállás	38,9
Túl nagy földterési sebesség	19,9
Rossz döntés a leszállás mellett	16,3
Aquaplaning	13,8
Hátszél	13,6
Késői/Nem megfelelő fékezés	11,3
Késői/Nem megfelelő sugárfordító használat	11,1
Túl magas küszöbfeletti áthaladás	6,1

3. táblázat: A leszállás közbeni túlfutások kiváltó okok, és eloszlásuk. [3, saját készítés]

A 3. táblázatból jól látszik, hogy a legnagyobb kockázata a nedves futópályának és a késői földterés körülményének van a futópálya túlfutás tekintetében. Természetesen a „svájci sajtmodell” jelenségének fennállása esetén, több tényező kombinációjával a kockázati mutatók jelentősen megnőhetnek.

1.6 A felszállásra veszélyes körülmények

A felszállás fázisában is fenn áll a futópálya elhagyás, túlfutás veszélye. A leginkább kritikus faktor ebben a fázisban az elhatározási sebesség utáni felszállás megszakítás és a nem megfelelő felszálló tömeg kiszámítása. Amint azt a 12. ábra is mutatja az elmúlt évtizedekben a felszállás fázisában történő túlfutások csökkenő tendenciát mutatnak, köszönhető ez részben az egyre fejlettebb felszállósúly számító technikáknak is.



12. ábra: A felszállás közbeni túl futások száma az elmúlt években. [4]

A felszállás közbeni túlfutás veszélyei közé tartozik a más leszállás fázisában kifejtett nem megfelelő futópályaállapot, valamint a gumiabroncsok meghibásodása, defektje. Említésre méltó a megszakítást követő fékezés is, mely sok esetben későn történik.

1.6.1 Felszállás megszakítás v_1 sebesség felett

V_1 sebesség az a sebesség amely alatt a felszállás megszakítható, ezen sebesség elérése után a repülőgépnél el kell hagynia a futópályát, fel kell szállnia. A megszakított felszállás irtózatosan nagy fékezéssel jár, nagyobb repülőgépeken a sugárfordító működtetése is szükséges. A spoilerok, féklapok automatikusan azonnal nyílnak, leválasztva a felhajtó erőt tápláló áramlást a szárnyról, a kerékfékek is automatikusan bekapcsolnak. A pilóta döntésén múlik a felszállás megszakítása és v_1 felett csak akkor szakíthatja meg, ha úgy véli, hogy az elemelkedés, felszállás nem biztonságos. A felszállás megszakítások 81,6 %-a v_1 sebesség után történik. Utólagos vizsgálatok alapján a megszakított felszállások 50 %-a indokolatlan, mely azt jelenti,

hogyan hibás döntés alapján fékeztek vissza a járművet, tehát a felszállást folytatni kellett volna.

1.6.2. Helytelen felszálló tömeg

Minden repülőgépnek van maximális felszálló tömege, ezen belül is van az a gazdaságossági és üzemeltetési korlát, amely meghatározza a légi jármű terhelhetésének a mértékét. Természetesen mindent figyelembe kell venni, az utasok számától kezdve a poggyászokon, a cargo súlyán túl, a tankolt üzemanyag mennyiségéig. Ennek elsősorban a v_R meghatározásában van jelentősége. A v_R 'rotation' az a sebesség mellynél a légi jármű orrfutója elemelkedik a futópályától. Ha a v_R sebesség túl alacsony a felszálló tömeghez képest az adott sebességnél egyszerűen nem kezd el elemelkedni a repülőgép a pályától. Ennek következtében a pilóta dönthet a felszállás megszakításáról. A megfelelő felszállósúly kiszámítása kevesebb figyelmet és energiát emészt fel, mióta számítógépekkel végzik, de ugyanúgy csúszik hiba a számításokba. Alapvető beviteli adathibák miatt számos alkalommal történt már ilyen esemény, ezért a felelős szervezetek különös odafigyelést fordítanak az ellenőrzésekre. Az elmúlt 4 évben a IATA (International Air Transportation Association – Nemzetközi Légi Szállítási Szövetség) is különös figyelmet fordít a számítási, illetve adatbeviteli hibák felderítésére. A problémák kezelésében a légi járművek gyártói is közreműködnek. A hibásan megállapított, figyelembe vett felszálló tömeg egyéb balesetekhez is vezethet, pl.: „tailstrike”-ot is okozhat, amely a felszállni készülő repülőgép farokrészének felszállásközbeni talajra érésének a jelensége, amely komoly kárt tehet a repülőgép szerkezetében.

Túlfutás felszállásközben	
Tényező	%
Megszakítás v_1 sebesség felett	40,8
Nedves/Szennyezett futópálya	14,2
Defekt	12,5
Nem megfelelő felszállósúly	10,8
Késői/Nem megfelelő fékezés	4,2

4. Táblázat: Felszállás közbeni túlfutások okai és eloszlásuk. [3]

A felszállás közbeni túlfutás jelenségének fő okozó tényezőinek százalékos megoszlását mutatja a 4. táblázat az elmúlt évtizedek statisztikái alapján. Itt is elmondható hogy a tényezők kombinációja drasztikusan növeli a futópálya biztonsági kockázatot.

2. Futópálya elhagyás megakadályozásának módszerei

Az előző fejezetben ismertetett probléma megoldására, az események megelőzésére komoly hangsúly fektetnek a nemzetközi szervezetek és szabályzók. A számos vizsgálat folyamán megállapításra került a túlfutás bekövetkezésekor történő sérülések, károk mérséklésének fontossága. Különböző módszerek állnak rendelkezésre a futópálya elhagyásos események súlyos következményeinek megelőzésére. A prevencióban a légiközlekedés résztvevőinek együttes intézkedései csökkenthetik a túlfutás kockázatát a leghatékonyabban. A reptérüzemeltetőkön túl komoly felelőssége van a légi járművek üzemeltetőinek, illetve a repülési személyzet kiképzéséért felelős szervezeteknek egyaránt. A biztonsági beruházások minden résztvevő számára ajánlottak.

Előfordul azonban, hogy nem alkalmaznak semmilyen biztonsági területet vagy módszert a futópálya végén. Ilyenkor a küszöb után közvetlenül a repülőtér füves, murvás vagy egyéb burkolatú felülete következik, a reptéri berendezésekkel, fénysorokkal. Vannak olyan helyek (pl. kísérleti sivatagi futópályák, speciális hegyi repülőterek), ahol felesleges vagy lehetetlen biztonsági terület vagy rendszer kiépítése.

Létezik a túlfutás megakadályozására egy az Airbus Company által kifejlesztett légi járművekre telepíthető műszeres rendszer is. A ROPS (Runway Overrun Prevention System – Futópálya Túlfutás Megelőző Rendszer) működési elve alapján nem sorolható a futópályához telepített földi berendezésekhez, így nem a futópálya passzív részeként hanem a légi jármű aktív rendszerként működik és növeli a biztonságot. Leszállás közben a betáplált időjárási körülmények, a reptéri szolgálatok jelentése alapján adott futópálya adatok (pl.: fékhatás) és a repülőgép pillanatnyi dinamikai adatai (pl.: sebesség, sikló pálya, magasság) alapján számítást végez a szükséges futópálya hossz tekintetében. Ezt az adatot összeveti a kalkulált földterési ponttal és a futópályán rendelkezésre álló távolsággal, ez alapján, ha a rendszer úgy ítéli meg, hogy a túlfutás veszélye fenn áll, a műhorizonton jelzi ezt a pilótának és vizuálisan és mellé hangjelzést is ad.

2.1 Futópálya végbiztonsági terület (RESA – Runway End Safety Area)

A futópálya végbiztonsági terület a futópálya meghosszabbított középvonalára szimmetrikus terület a futópálya sáv végén, amelyet elsősorban a futópálya előtt földetérő, vagy a futópálya küszöbén túlfutó légi jármű sérülési kockázatának csökkentése érdekében alakítottak ki.

A futópálya végbiztonsági területek méretei (Dimensions of Runway End Safety Areas — RESAs):

Az ICAO (International Civil Aviation Organisation) repülőterek, légterekre vonatkozó előírásai alapján (Annex 14, 3.5 Runway and safety areas) a futópálya végbiztonsági területét a futópálya végének sávjától olyan távolsáig kell kiterjeszteni, ameddig az megvalósítható, de kötelezően legalább 60+90 m hosszúsáig. E szabvány mellett az ajánlások azt is javasolják, hogy:

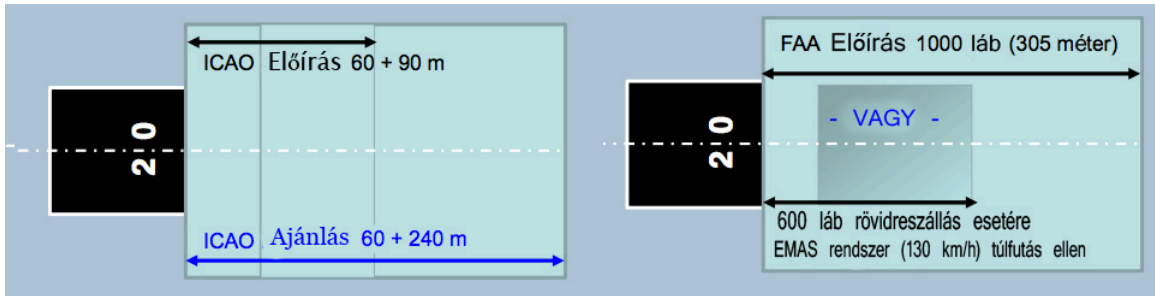
- legalább 240 m legyen a terület, ahol a futópálya hosszabb mint 1200 m (ún.:3,4 kategória),
- és legalább 120 m, ahol a pálya hossza 1200 m alatt van(ún.:1,2 kategória).

Az ICAO nyomán a IATA is 240 méter hosszú biztonsági területet ajánl a repterek biztonságos üzemeléséhez 1200 méteres futópálya hossz felett az ICAO Annex 14-e alapján. Újabban a két szervezet egyetértésben javasolja speciális (EMAS – Engineered Material Arresting System) biztonsági rendszer kiépítését olyan esetekben, ahol az ajánlott végbiztonsági területek nem állnak rendelkezésre, vagy a kiépítésük egyéb okokból nem lehetséges, nem megoldható.

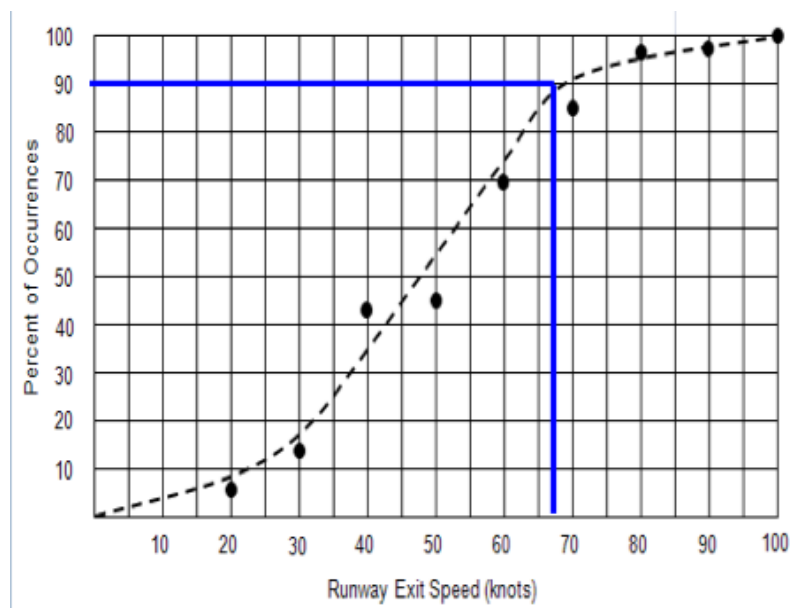
A futópálya végbiztonsági terület szélességének legalább kétszer olyan szélesnek kell lennie, mint annak a futópályának a szélessége, amelyhez kapcsolódik.

Kifejezetten az Egyesült Államok Szövetségi Légügyi Hivatalának (FAA – Federal Aviation Administration, Szövetségi Légügyi Hivatal) statisztikái alapján a túlfutások 90 %-ban a légi jármű 70 csomó, azaz ~130 km/h alatti sebességgel hagyja el a küszöböt (ezen események felénél a sebesség 50 csomó, vagyis a repülőgép ~93 km/h alatti sebességgel tör ki). Ezek alapján az FAA előírásai szerint a futópálya

végbiztonsági területnek 1000 láb azaz ~305 m hosszúnak kell lennie, tekintettel arra hogy, az átlagos túlsúszási sebesség esetén a légi jármű biztonságosan megállítható ilyen távolságon anélkül, hogy elhagyná a RESA területét elkerülve így az esetleges túlfutás miatti személyi sérüléseket és a keletkezendő tetemes anyagi kárt.



13. ábra: Az ICAO és az FAA által előírt (javasolt) RESA méretei szerepelnek. [11]



14. ábra: Az FAA által készített statisztikai kimutatás mely a túlfutási sebességek gyakoriságát illusztrálja [12]

2.2 EMAS – Engineered Material Arresting System

Az ICAO és az FAA által előírt futópálya biztonsági területek megoldásának egy másik alternatívája az EMAS rendszerű túlfutás megakadályozó burkolat rendszer. Az ICAO, az FAA és a IATA is erősen javasolja a biztonsági rendszer kiépítését különösen abban az esetben ha, az előírt, javasolt futópálya végbiztonsági terület teljes hosszában nem áll rendelkezésre.

2.2.1 EMAS működési elve

Az EMAS futópálya biztonsági rendszer alapja egy olyan anyagi összetételű és szilárdsági tulajdonságú celluláris cement tömbökből álló felület, amely a ráfutó légi járművek súlya alatt beszakad, betörik. A nagysebességgel érkező nagy tömegű légi jármű futóműve körül keletkező kráter és törmelék fogja meg az abroncsot és a futómű többi alkatrészét, elnyelve így a repülőgép mozgási energiáját hatékonyan fékezi le és állítja meg a járművet mielőtt az teljesen elhagyná a pályát.

Ez egy olyan passzív biztonsági rendszer, melynek alkalmazása esetén a túlfutott repülőgép súlya alatt megbízhatóan beszakad és kiszámítható egyenletes lassításra késztetve állítja meg légi járművet, megelőzve a repülőgép összetörését így a személyi sérüléseket igen nagy mértékben akár teljesen elkerülhetővé teszi és jelentősen redukálja a sárkányszerkezetben és a repülőgép egyéb részeiben keletkező sérüléseket, megtakarítva ezzel a komolyabb strukturális sérülések költségét.

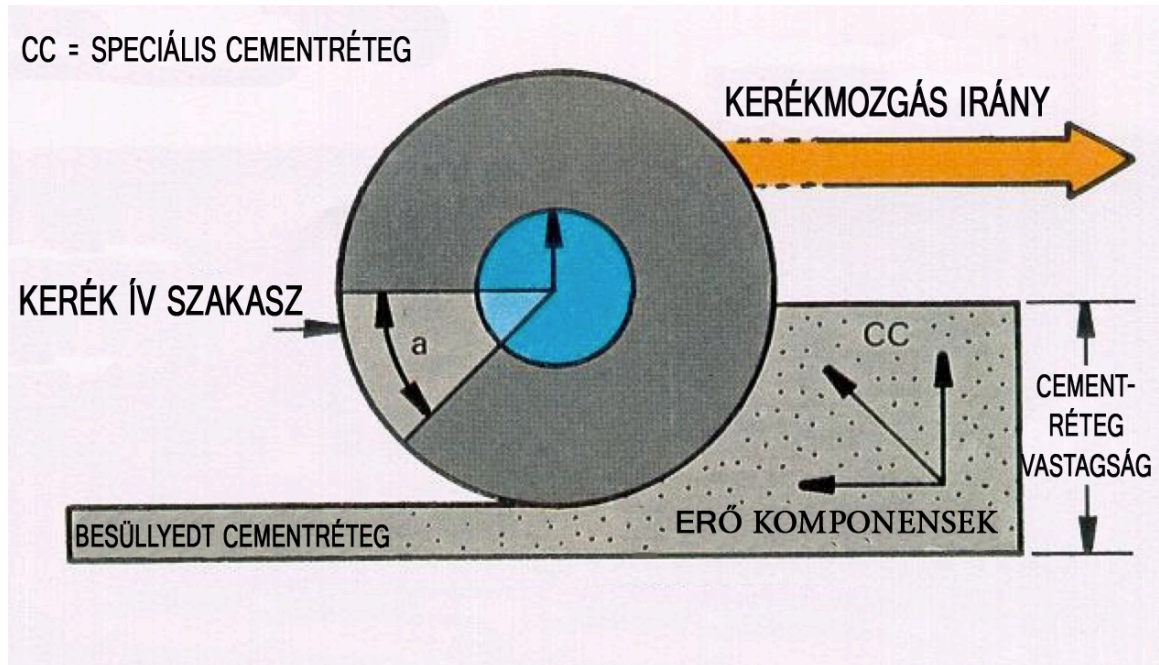
A rendszerrel szemben állított igen fontos biztonsági követelmény és előírás a bajba került repülőgép megközelíthetőségének biztosítása. Az EMAS felülete oly módon van tervezve, hogy a teherviselő réteg adott szilárdsági tulajdonságokkal bírjon, amelyek lehetőséget biztosítanak a mentő-tűzoltó szolgálatok járműveinek a helyszínen



15.ábra: EMAS biztonsági rendszer által megfékezett légijármű futóműve a biztonsági felületbe süllyedve.

Forrás:[14]

való mozgására. Ez azt jelenti, hogy úgy van tervezve a felület, hogy csak és kizárólag az igen nagy tömegű bajba jutott légi jármű súlya alatt szakad be, míg az egyéb (mentő, tűzoltó, stb.) járművek gond és akadály nélkül közlekedhetnek rajta.



16. ábra : Az EMAS rendszer felületének működési vázlatja egy ráguruló légi jármű esetén.[11]

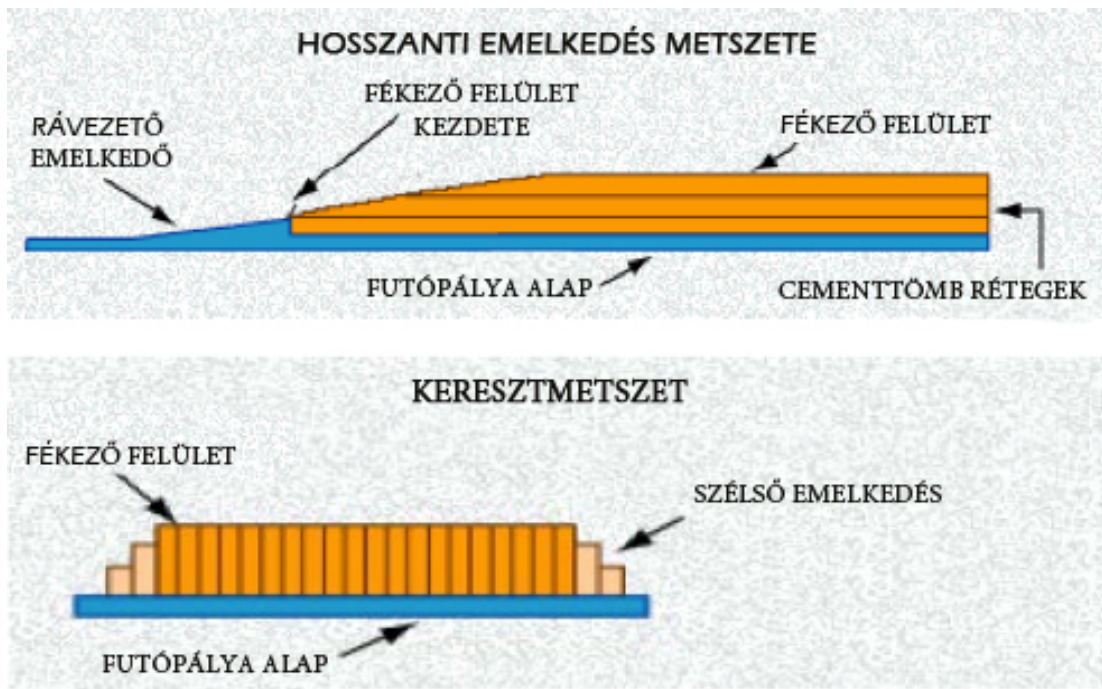
2.2.2 Az EMAS biztonsági rendszer telepítése, kialakítása

A futópálya végbiztonsági területre vagy esetleg a közvetlenül utána eső területre történik a rendszer kiépítése. Minden ilyen terület egyedi kiépítésű és a pálya felől meghatározott szintű emelkedése van. Minden rendszer struktúrája és felépítése hasonló, azonban különböző alapterületű szilárdságú vagy mélységű.

A kialakítást befolyásoló tényezők lehetnek:

- a futópályát használó repülőgépek típusa, mérete,
- a futópálya hosszúsága,
- a futópálya szélessége,
- a futópálya emelkedése, meredeksége,
- a rendelkezésre álló futópálya végbiztonsági terület (RESA),
- a futópálya lejtése.

Figyelembe kell venni a pályát igénybevevő alkalmi, ritka, úgynevezett kritikus repülőgépeket is, melyeknél meghatározó adat a maximális felszállósúly (MTOW – maximum take off weight) és a maximális leszállósúly (MLW – maximum landing weight). Ilyen repülőgép típus például az An-225-ös ukrán Mriya teherszállító repülőgép melynek maximális felszállótömege 600 tonna. Alapvetően 70 csomós azaz 130 km/h–ás túlfutási sebességre tervezik ezeket a rendszereket. Egyáltalán nem elhanyagolható a túlfutó légi jármű súlya.



17. ábra : EMAS telepítési vázlata, hosszanti és keresztmetszetben, [15]



18. ábra : EMAS telepítési vázlata, [15]

Az EMAS futópálya végbiztonsági rendszer sematikus vázlatát a 17. és 18. ábra illusztrálja. A fékező felület kezdővonalának helye a küszöbtől meghatározott távolsággal el van tolva. A küszöb és a fékező felület közötti területnek a futópályával azonos teherbírási tulajdonságokkal kell rendelkeznie. Ez rendkívül fontos, hiszen fennállhat a futópálya leszállóirányának megváltozása esetén a rövidebbre szállás jelenségének veszélye.

2.2.3 Működő rendszerek és az EMAS sikerei

Az EMAS biztonsági rendszer alkalmazása elsősorban az Egyesült Államok területén terjedt el. Az USA-n kívül először Kínában, Jiuzhai-Huanglong-ban (JZH) telepítették először ezt a fajta futópálya végbiztonsági felületet. Mostmár Európában is bevezetésre került például Spanyolországban (Madrid-Barajas Intl.) és Norvégiában (Kjevik Airport). Világszerte összesen 75 arestor-bed van telepítve, 49 különböző repülőtéren.

Az elmúlt évtizedekben jó párszor bizonyította az EMAS rendszer a hasznosságát, és működésének köszönhetően számos akár halálos áldozatot követelő balesetet előzött meg. Általánosan a követelményeknek megfelelően a bekövetkezett balesetek után elmondható, hogy a rendszer megelőzi a személyi sérüléseket, hatékonyan csökkenti a repülőgépen keletkezett szerkezeti megrongálódásokat, így erőteljesen csökkenti az eseménykor keletkezett anyagi kárt. A repülőtereken az érintett futópályák az esemény után 5 órával ismét megnyithatóak, és a károsodott légi jármű, a futómű állapotának függvényében átlagosan 3 nap után újra üzembe állhat a megfelelő javítások és az előírt karbantartások és átvizsgálások után.

2.2.4 EMAS által megelőzött túlfutásos balesetek:

- 2010. január 19. - Charleston Airport (CRW)
US Air Express – Flight 2495, CRJ - 200 Jet
- 1999. május - New York - JFK 4R
Saab 340 -> 130 km/h
- 2003. május - New York - JFK 4R

MD11 - > 55 km/h

- 2005. január - New York - JFK 4R
B 747-200F ~ 130 km/h
- 2005. július - Greenville SC GMU 01
Falcon 900 - > 55 km/h
- 2008. július - Chicago ORD 22
A321 ~ 65 km/h

Ezentúl az NTSB (National Transportation Safety Board – Nemzeti Közlekedésbiztonsági Ügynökség) számos baleset esetén említette a végső jelentésben, hogy a személyi sérülések és az anyagi kár elkerülhetőek, illetve mérsékelhetőek lettek volna, ha a futópálya rendelkezik EMAS biztonsági rendszerrel kialakított, az ajánlásoknak megfelelő futópálya végbiztonsági területtel. Ilyen balesetek például a 2007. december 12-ei Torontó Nemzetközi Repülőtéren bekövetkezett baleset és a 2008. május 25-ei Brüsszel Repülőtéren történt túlfutás is.

2.3 Akadályháló

Ezek az eszközök a futópálya kellékei, aktív vagy passzív rendszerei. Általában hálók vagy kötelek, melyek alkalmazása a katonai repülésben elterjedt. Bevált és alkalmazott rendszerként működnek a szakma beliek által „majomhálónak” hívott berendezések, a különböző osztályú repülőgép-hordozó úgy nevezett „anyahajókon”. Erre igen ésszerű a magyarázat hiszen az ilyen repülőgépszállító hajókon melyeken különböző típusú harci repülőgépek fel- és leszállási tevékenységet végeznek nincs lehetőség a futópálya elhagyásra, túlfutásra hiszen ez a légijármű azonnali elvesztését jelentené. Ezért fontos biztonsági eleme az ilyen repülőgép-hordozókon lebonyolított repülési tevékenységnek. Alkalmazása a polgári repülésben nem elterjedt tekintettel a kiépítés és alkalmazás bonyolultságára, magas költségére. Továbbá nehezen kivitelezhető olyan könnyűszerkezet kiépítése, mely alkalmas egy átlagos utas- vagy teherszállító repülőgépet megállítani, anélkül hogy komolyabb kárt tegyen a járműben.

Kialakítását tekintve egy nagy teherbírású kötelekből álló hálószerű kifeszített szerkezeetről van szó, melyhez egyes esetekben a főfutó magasságában egy azt külön megfogó erősített elem társul. Az ilyen kialakítás a régebbi rendszerek körében elterjedt a legújabb technológiák nélkülözik a futómű megragadását.

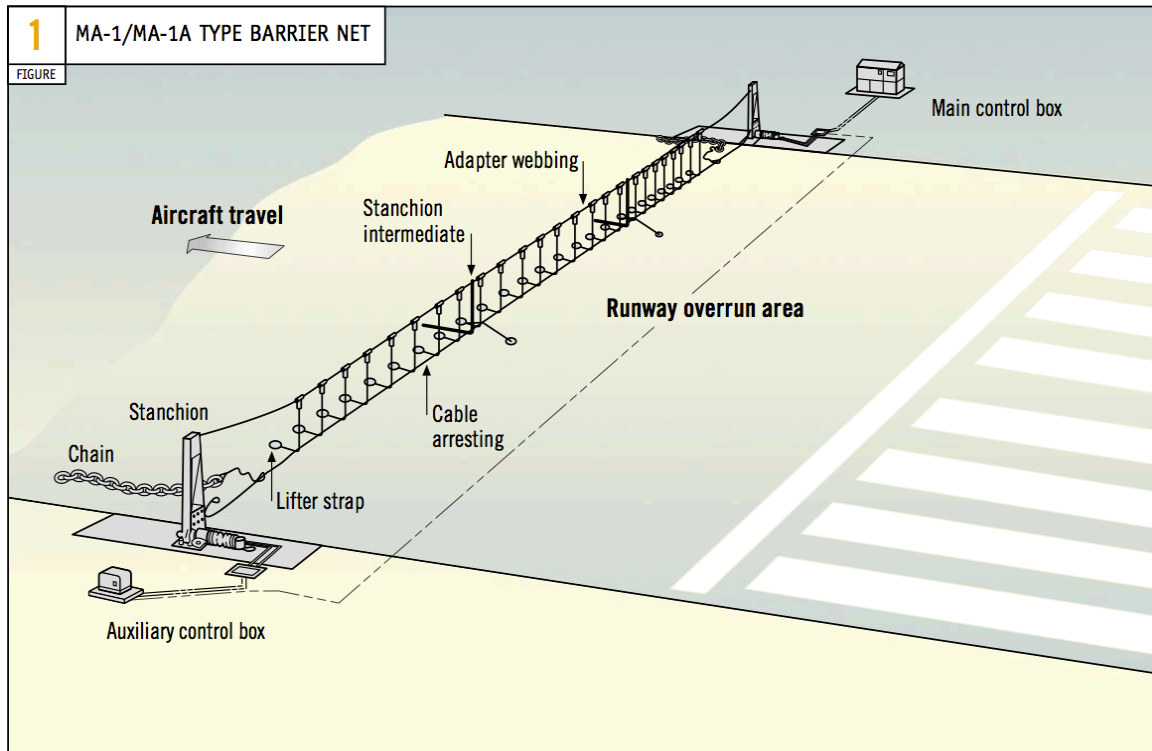
2.3.1 Működési elv

Alapvetően a fékező kötelek, fékező háló összecsukott állapotban van a futópálya végső szakaszán a burkolatba építve. Szükség esetén kézzel vagy nagy teljesítményű mozgó motorokkal rántják fel a hevedert és feszítik ki a futópálya két oldalán elhelyezkedő nagy szilárdságú tartó oszlopokra. Korábban ezt a feladatot az erre kijelölt személyzet látta el. Közel 3 perc alatt tudtak fel húzni egy ilyen akadályhálót. A kifeszített hálóba a nagy sebességgel érkező légi jármű elakad, megfeszítve azt, végül megáll.

2.3.2 Kialakítás, telepítés

Az akadály háló alapvető elemei, a már említett két negyszilárdságú tartóoszlop melyek között két igen nagy teherbírású horizontálisan kifeszített heveder feszül. A két heveder között függőleges összekötő hevederek helyezkednek el egyenletes elosztásban, melyek között több igen nagy teherbírású heveder van 6 méterenként. Általában 6 méter magasra emelik a felső hevedert, az alsót a földhöz közel tartják. A megfékezendő légi jármű törzsének a két heveder közé kell esni oly módon hogy a függőleges hevederek a szárnyba beleakadva egyenletes terhelés adva arra, átvegyék a repülőgép mozgási energiáját. Ez a megoldás olykor ötvözve van a később ismertetett kampós-akasztás megoldással.

Az alábbi ábrán láthatjuk a futópálya küszöbén túl elhelyezett biztonsági akadály háló vázlatos felépítését a horizontális főhevederekkel, a kereszt hevederekkel. Megfigyelhetőek a lecsukahtó tartó oszlopok a pálya két szélén, melyek közvetlenül az irányító egységekhez vannak kapcsolva.



19. ábra : Akadályháló felépítésének vázlatja, [18]

A harci légi jármű sikeres megállítása után, a repülőgépről eltávolítják az akadályhálót, melyet vissza tudnak süllyeszteni a futópálya burkolatába. Ezután a repülő alkalmas azonnali bevetésre is akár, természetesen a megfelelő biztonsági ellenőrzések után, hiszen az akadályháló nem tesz kárt a légi járműben.

2.4 Akasztó kampó – fékező kábel

Az akadályháléhoz hasonlóan az akasztó kampós megoldás is kizárólag katonai repülésben került alkalmazásra, akadályhálóval kombinálva vagy nélküle. Ez egy olyan mechanikus szerkezet mely a repülőgép gyors rövid távon történő megállításával előzi meg a futópálya elhagyást, csökkentve ezzel a túlfutás kockázatát. Telepítése repülőgép-hordozókon és szárazföldön egyaránt lehetséges. A katonai hordozó hajókon a repülőgép megállító rendszerek kiépítése általános módszer, hiszen a futópálya hossz hiányában így állítják meg a leszálló légi járműveket. Szárazföldi kialakítással számos katonai reptéren találkozhatunk, ezeknek célja általában a biztonság növelése, de nem

használják minden leszálláshoz. Ezen kívül a szárazföldön kiépített rendszereket oktatásra és gyakorlásra is szokták használni.

2.4.1 Működési elv

A futópálya tengelyére merőleges irányban a pálya burkolatán keresztben elhelyezett acél kábelt fektetnek le. Az érkező repülőgépnél mely használni kívánja a megállító rendszert rendelkeznie kell az előzetesen felszerelt kampóval, melyet megközelítéskor a futóművekkel



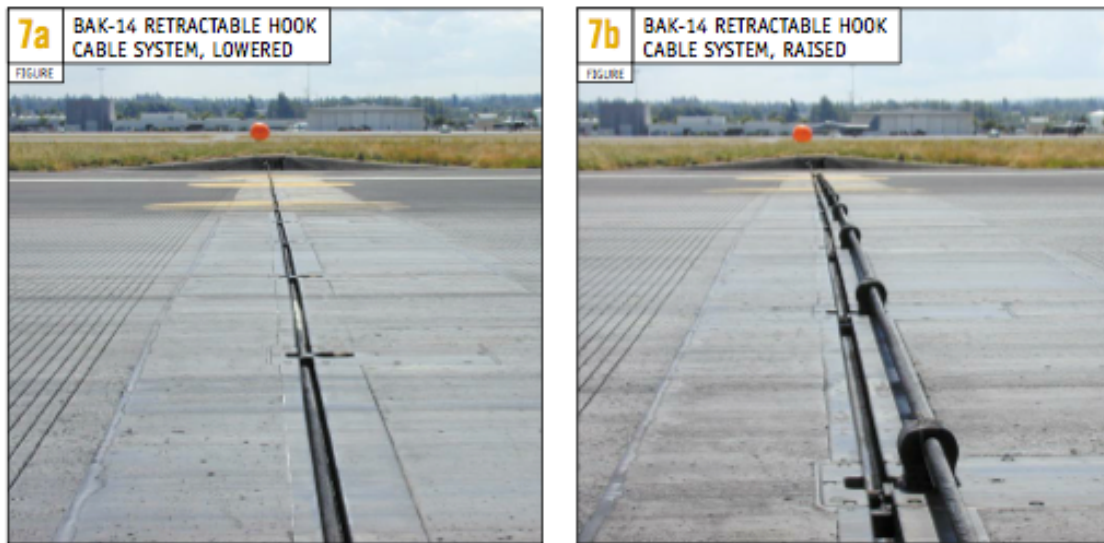
együtt kienged. Általában ez a kampó a jármű hátsó részén a főfutók után helyezkedik el nagyszilárdságú illesztéssel kerül rögzítésre a géptörzs szerkezetéhez. A repülőgép földetéréskor a kampót is végig húzza a futópályán. A kampó a kihelyezett acélsodronyba belekapaszkodik és megrántja azt. A futópálya szélén a sodrony két vége fékező motorokhoz van csatlakoztatva, melyek a jármű által a kötélnél átadott kinetikus energiát nagy löktérfogatú munkahengerek segítségével hidraulikus energiává alakítják át.

20. ábra: Földi alkalmazású telepített fékező kábel. [18]

2.4.2 Kialakítás, kiépítés

Két alapvető fajtája van a fékező kábelek kiépítésének. Egyik megoldás mikor a kábel a burkolaton helyezkedik el, az acél sodrony végeit a motorokból kioldva tudják eltávolítani a futópályáról, így helyet adva azon járműveknek melyek nem használják ezt a rendszert. A másik megoldás az akadályhálózathoz hasonlóan a pálya burkolatába süllyeszthető kialakítás. A hidraulikus motorokat a futópálya két oldalán helyezik el, általában a földbe süllyesztve. A hordozó-hajókon történő kialakításkor különböző megoldások léteznek. Van, hogy a fedélzet alá helyezik ezeket a motorokat, de olyan is

van, hogy a motortérben találjuk ezeket a berendezéseket.



21. ábra :Földi kialakítású burkolatba relythető fékező kábel rendszer zárt illetve nyitott helyzetben, [18]

3. Módszerek multikritériumos módszerrel való összehasonlítása

A harmadik fejezet célja, a futópálya túlfutás megakadályozásának módszereinek összehasonlítása. A második fejezetben ismertetett módszerek közül pár megoldás alkalmazása nem elterjedt a polgári repülés terén. Az említett akadály háló és akasztókampó például kizárólag katonai repülésben került alkalmazásra.

Az összehasonlításhoz PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) multikritériumos módszert alkalmazom, melyet többszemponútú döntési problémák megoldására fejlesztettek ki. Bevezetése Brans nevéhez fűződik 1982-ben. A több szemponútú döntési problémák alaplépései a következők:

1. A döntési feladat felépítése
 - a. a cél megfogalmazása,
 - b. az alternatívák kiválasztása,
 - c. a szempontok meghatározása.
2. A döntési feladat megoldása
 - a. a szempontok súlyainak meghatározása,
 - b. minden alternatíva kiértékelése minden szempont szerint,
 - c. az értékelések és a súlyozás összegzése.

A több mint 30 éve sikeresen működő PROMETHEE eljárás alkalmazásában a Visual PROMETHEE Academic szoftvert használtam. A módszer az alternatívák közötti előnyt és hátrányt konkrét értékek különbsége alapján határozza meg. Vizsgálatom során nem állt módomban konkrét adatokat összegyűjteni a folyamatok és a költségek összetettsége miatt. Ezért minden egyes alternatívánál a szempontok alapján választottam egy számot 1-től 5-ig terjedő skálán, mely a többi alternatívához képesti viszonyát fejezi ki adott szempont esetén. A számok kiválasztását korábbi kutatásaim alapján tettem meg, rendelkezésemre álló információk, és a meglévő ismereteim alapján.[17]

3.1 A döntési feladat felépítése

A feladatot a PROMETHEE módszer alapján építem fel a korábban ismertetett módon.

3.1.1 Összehasonlítás célja

A döntési modell alapján történő összehasonlítás célja, az optimális megoldás kiválasztása a polgári repülésben elterjedt módszerek közül egy folyamatos üzemű nemzetközi repülőtér esetén. Az értékeket úgy választottam hogy, a korábbi statisztikáknak megfelelő módon, a futópálya elhagyások tekintetében a leggyakoribb túlfutási sebességet vettem figyelembe.

3.1.2 Alternatívák kiválasztása

A második fejezetben bemutatott megoldások nem mindegyike terjedt el vagy került alkalmazásra a polgári légitársaságok nemzetközi repülőterein. Az összehasonlítandó alternatívák közé a következőket választottam:

- Biztonsági terület és biztonsági rendszer nélküli futópálya vég
- Az ICAO Annex 14-ben ajánlott méretű futópálya végbiztonsági terület
- EMAS kiépített biztonsági rendszer alkalmazása

3.1.3 Szempontok meghatározása

Összehasonlítási szempontok közül a beruházás szempontjából legérdekesebb szempontokat választottam ki:

- **biztonság**: a legfontosabb szempont, súlyozásban is a legnagyobb jelentőséggel bír
- **kiépítési költség** : a beruházó szempontjából a futópályavégi beruházások költsége

- **helyreállítási költség:** esetleges túlfutás esetén a kiépített biztonsági rendszer illetve a pálya környezetének (terep tárgyak, berendezések) helyreállítási költsége
- **okozott kár:** okozott kár alatt a légi járműben keletkezett kárt értem, ide tartozik az esetleges baleseti kártérítés is
- **üzemzavarás:** az esemény, baleset következtében bekövetkezett forgalom felfüggesztés mértéke, mely szintén komoly anyagi következményekkel jár
- **fenntartás költsége:** a megoldás folyamatos karbantartásának fenntartásának költsége

Minden szempont esetén V-alakú szempont függvény használatát választottam. Preferencia számnak $p=1$ -et választottam az 1-től 5-ig tartó skála alapján, ami a V-alakú függvény meredekségét határozza meg.

A V-alakú szempont függvény a következő képpen írható fel:

$$P(d) = \begin{cases} 0 & \text{ha } d \leq 0; \\ d/p & \text{ha } 0 \leq d \leq p; \\ 1 & \text{ha } d > p. \end{cases}$$

3.2 Döntési feladat megoldása

3.2.1 Súlyok meghatározása

A kiválasztott szempontok szerint a biztonságot választottam a súlyozás szerint a legfontosabbnak. Igen fontosnak véltem az okozott kár nagyságát is, harmadik legfontosabb szempontként a kiépítési költséget és a futópálya üzemének megzavarását vettem. Majd helyre állítási költséget és végül de nem utolsó sorban a fenntartás költségeit találtam mérvadó szempontnak.

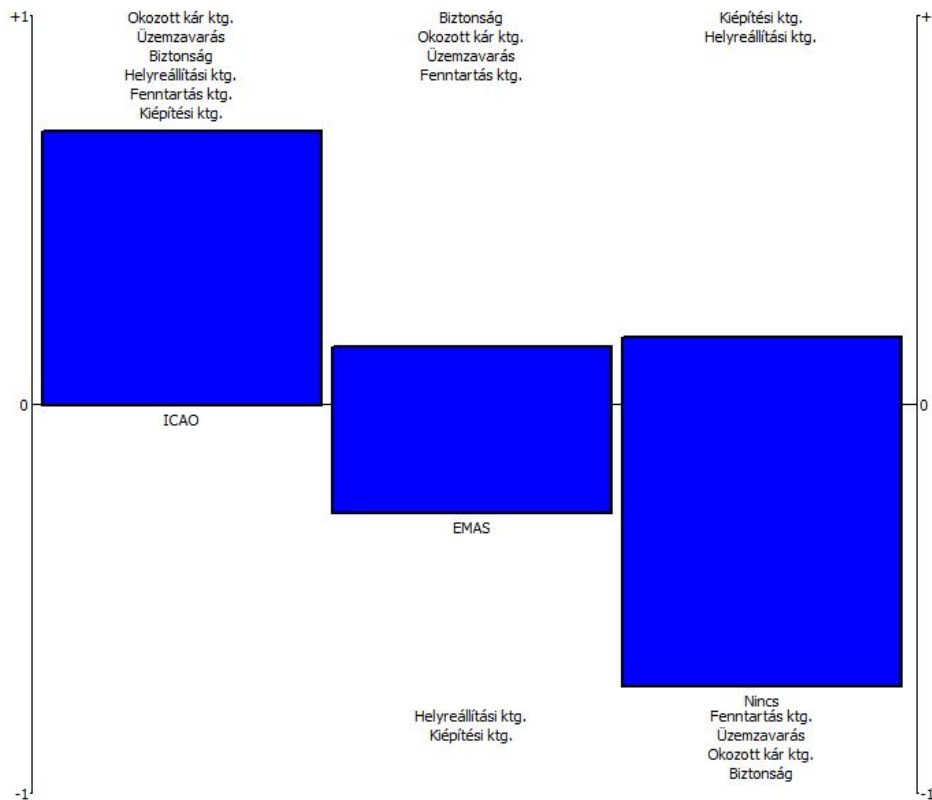
Szempont	Biztonság	Okozott kár	Kiépítési költség	Üzemzavarás	Helyreállítási költség	Fenntartás költsége	Σ
Súlyozás	5	4	3	3	2	1	18
%	27,778	22,222	16,667	16,667	11,111	5,556	100

5. táblázat : Szempontonkénti súlyok eloszlása %-osan, [saját készítés]

Az 5. táblázatban láthatóak a választott szempontok és súlyozásuk, százalékos eloszlásban is.

3.2.2 Az alternatívák kiértékelése a szempontok szerint

Az alternatívák jellemző értékeinek megadása előtt sor kerül az adott szempontból vett értékek vizsgálati szempontjából arra is hogy az alternatívák esetén vett érték tekintetében a megadott értékek intervallumának maximális vagy minimális értékéhez való tartása az optimális. Ez alapján ábrázolhatjuk az alternatívákat a PROMETHEE úgy nevezett szivárvány diagramját, melyet a 22. ábrán láthatunk.














22. ábra : PROMETHEE szivárvány ábra az adott összehasonlítás esetén, [VP]

3.2.3 Az értékelések és a súlyozás összegzése

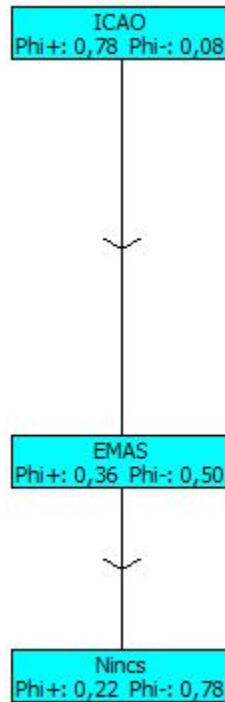
Az egyes szempontok súlyozottság szerinti kiértékelése után kapott szempontonkénti döntési folyamatot kapunk. Ezek összevetésével jutunk el többszempontú döntési folyamatokhoz, melyeket előny és hátrány mutatók jellemeznek. Minden megoldási alternatívához tartozik tehát egy előnymutató (Phi+) és egy hátránymutató (Phi-). Ezek együtt jellemzik az adott alternatívát, és különbségük alapján tudjuk rangsorolni a megoldási lehetőségeket.

$$(Phi+) - (Phi-) = Phi$$

Ezek alapján a szempontok, megoldások és megadott értékek együttes táblázata a következőképpen alakul:

	TDK_2013_VM	Biztonság	Kiépítési ktg.	Helyreállítási...	Okozott kár ...	Üzemzavarás	Fenntartás k...	
Egység							unit	
Klaszter/Csoport								
Preferenciák								
Min/Max	max	min	min	min	min	min	min	
Súly	5,00	3,00	2,00	4,00	3,00	1,00		
Preferencia függvény	V alakú	V alakú	V alakú	V alakú	V alakú	V alakú	V alakú	
Küszöbértékek	abszolút	abszolút	abszolút	abszolút	abszolút	abszolút	abszolút	
- Q: Indifferencia	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
- P: Preferencia	1,00	1,0	1,0	1,00	1,0	1,00	1,00	
- S: Gauss	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Statisztika								
Minimum	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00	
Maximum	5,00	5,0	5,0	5,00	5,0	5,00	5,00	
Átlag	3,33	2,7	2,7	2,33	2,0	2,00	2,00	
Szórás	2,36	2,1	2,1	2,05	2,2	2,16		
Értékelések								
<input checked="" type="checkbox"/>	Nincs		0,00	0,0	3,0	5,00	5,0	5,00
<input checked="" type="checkbox"/>	ICAO		5,00	3,0	0,0	0,00	0,0	0,00
<input checked="" type="checkbox"/>	EMAS		5,00	5,0	5,0	2,00	1,0	1,00

6. táblázat: Meghatározott szempontok és kiválasztott alternatívák jellemzőit és értékeit tartalmazó táblázat, Visual PROMETHEE

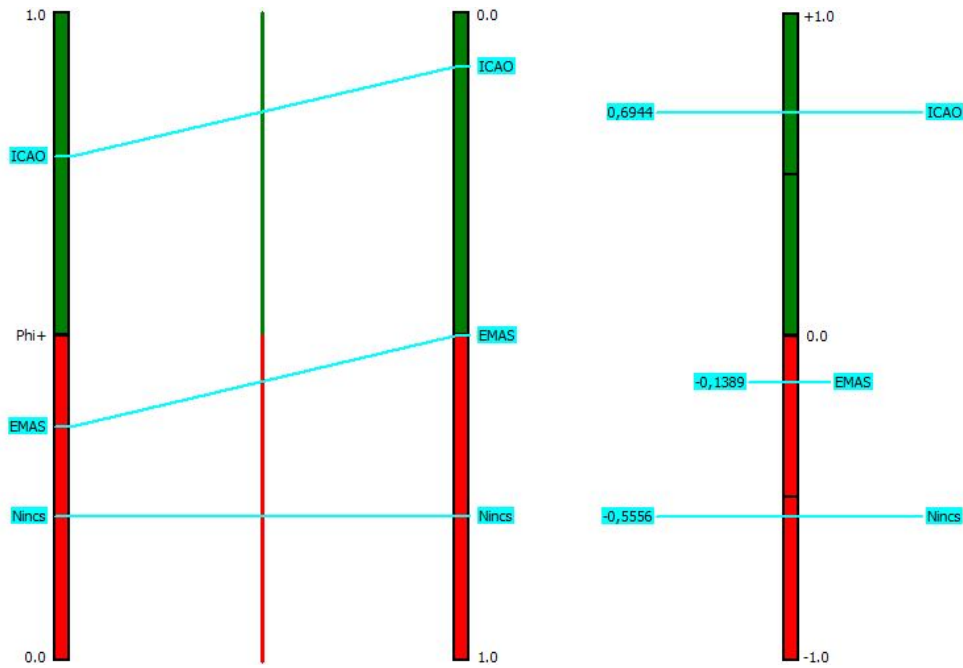


23. ábra : PROMETHEE szivárvány ábra az adott összehasonlítás esetén, [VP]
A többszemponútú döntési folyam táblázatosan:

	Phi+	Phi-	Phi
Nincs	0,2222	0,7778	-0,5556
ICAO	0,7778	0,0833	0,6944
EMAS	0,3611	0,5	-0,1389

7. táblázat : Negatív és pozitív döntési folyamatok és különbségük, [saját készítés]

A döntési folyam előny és hátrány mutatóinak különbsége alapján (Phi) felrajzolható a PROMETHEE hálózat. A felrajzolt hálózatot a 23.ábra illusztrálja. A kapott értékek segítségével a PROMETHEE I és PROMETHEE II rangsorok is ábrázolhatóak. A PROMETHEE rangsorok ábrázolását a 24. és 25. ábra mutatja be.



24. és 25. ábra :PROMETHEE I és II rangsorok grafikus ábrázolása, Visual PROMETHEE

Az összehasonlítás után megállapítható hogy a választott szempontok, szempontokhoz tartozó súlyok alapján a három vizsgált alternatíva közül az ICAO ajánlása szerinti biztonsági terület alkalmazása a legcélravezetőbb egy a meghatározott körülményekkel rendelkező túlfutásos esemény bekövetkezése esetén.

Összefoglalás, további lehetőségek

Dolgozatomban ismertettem a légiközlekedés biztonságának jelentőségét, részletesen kitérve a futópálya biztonság kérdésére azon belül is a futópálya elhagyás – túlfutás problémájára.

Ismertettem az aktuálisan alkalmazott biztonsági megoldásokat és rendszereket. Ezek alapján összehasonlító elemzést végeztem három kiválasztott alternatíva közül a PROMETHEE multikritériumos döntéshozó módszert alkalmazva Visual PROMETHEE szoftvert alkalmazva.

A módszer alkalmazása után a kapott eredmények alapján megállapítottam, hogy olyan túlfutásos események bekövetkezése esetén, ahol a túlfutás sebessége nem haladja meg 70 csomót azaz kb. 130 km/h-t az összehasonlított alternatívák közül az ICAO Annex 14 által előírt végbiztonsági terület a legcélravezetőbb a figyelembe vett szempontok alapján. Természetesen a súlyozás másképp történő kiválasztásával vagy egyéb szempontok figyelembevételével más eredményt kaphatunk a módszer alkalmazásánál. Felhívnom a figyelmet arra, hogy ha nem a statisztikáknak megfelelően leggyakoribb túlfutási sebességgel történik a futópálya elhagyása, hanem annál jóval nagyobb sebességgel az ICAO által előírt futópálya végbiztonsági terület hossza nem feltétlenül lesz elegendő a légi jármű megállítására. Ebben az esetben a repülőgép elhagyva a RESA-t lefut a teherbíró burkolt felületről, így a biztonsági szempontból vett érték drasztikusan változik. Ilyen esetekben a legmegfelelőbb módszer az EMAS rendszer alkalmazása. A bemutatott és meglévő módszerek közül a legbiztonságosabb megoldás az EMAS biztonsági rendszer kiépítése, tekintettel azonban a túlfutásos balesetek gyakoriságára a beruházók számára nem feltétlenül optimális megoldás a költségeit tekintve hiszen több évtized elteltével sem térül meg a beruházás költsége.

A PROMETHEE módszer alkalmazásával további elemzések és összehasonlítások végezhetőek el, melyek végrehajtása után komplexebben láthatóak át a futópálya túlfutás megakadályozásának alternatíváinak multikritériumos összehasonlításának eredményei.

Irodalomjegyzék:

- [1] Runway excursion: A world wide review of commercial jet aircraft runway excursion – Australian Safety Bureau (2008)
- [2] Reducing Runway Landing Overruns – Boeing, by Marisa Jenkins and Capt. Robert F. Aaron Jr.
- [3] Study of Runway Excursion from European Perspective – NLR, G.W.H Van Es (2010)
- [4] Reducing the Risk of Runway Excursion – FSF (2009)
- [5] Running out of way – NLR, 2005
- [6] Amit a repülésről tudni kell – Házy György, 2006
- [7] Repülési ismeretek alapfokon – MHAV
- [8] <http://planecrashinfo.com/>
- [9] <http://aviation-safety.net/index.php>
- [10] <http://www.bea-fr.org/etudes/gethomeitis/gethomeitis.htm>
- [11] Zodiac Aerospace ICAO konferencia Montréal, 2011 kiadvány
- [12] FAA report “ Soft Ground Arresting Systems for Airports” (DOT/FAA/CT-93/80)
- [13] www.airliners.net
- [14] Engineered Arresting System Corporation, EMASMAX Aircraft Arresting System for Runway Overrun Protection – 2011
- [15] Use of Technology to Mitigate Overrun Aftermath – IATA Regional Workshop
- [16] Manual on the Prevention of Runway Incursions – ICAO, 2007
- [17] Több szempontú döntési problémák – Rapcsák Tamás, MTA, SZTAKI, 2007
- [18] Minimizing the Impact of Runway Arresting Systems On Commercial Airport Operations – Brad Bachtel, Boeing Commercial Airplanes Group
- [19] Runway Excursion – EUROCONTROL, 2006
- [20] European Action Plan for the Prevention of Runway Excursions – EUROCONTROL, 2013
- [21] Air Traffic Control Training Series Equipment Arresting Systems – Airforce Flight Standard Agency, 1994
- [22] Gazdaságmodellezési Szakértői Konferencia – Előadás kivonatok, Balatonfüred 2002
- [23] PROMETHEE Methods - Visual PROMETHEE 1.4 Manual, 2013

- [24] Runway Overrun Prevention System, Focused on end of Runway Excursion – Harry Nelson, AIRBUS 2013
- [25] Airbus Aircraft Development for Ground Operations – Frank Chapman A350 Pilot
- [26] Annex 14 – Aerodrome Standards , ICAO

Ábrajegyzék:

- 1 ábra: Események %-os eloszlása a repülés egyes szakaszait tekintve [8]
2. ábra: Balesetek okai százalékos eloszlásban,[3]
3. ábra: Futópálya elhagyás megoszlása utazási kategória és repülőgép típusok alapján. [1,saját készítés]
4. ábra: Futópálya elhagyás megoszlása repülés jellege alapján.[1,saját készítés]
- 5.ábra: A futópálya elhagyások eloszlása világszerte.[3]
6. Ábra: A futópálya elhagyást előidéző négy fő tényező és megoszlásuk az eseményekben.[3, saját készítés]
7. ábra: A futópálya elhagyást előidéző négy fő tényező szerepének %-os eloszlása. [4, saját készítés]
8. ábra: Stabilizált megközelítés vázlata. [1, saját készítés]
9. Ábra: A megközelítés, leszállás és kigurulás kockázati tényezői. [2, saját készítés]
- 10.ábra: Sukhoi SuperJet 100 –as típusú repülőgép leszállás utáni fékezése nedves futópálya felületen. [13]
11. ábra: Késői földetérés vázlata, túl nagy küszöb feletti sebesség esetén. [1, saját készítés]
12. ábra: A felszállás közbeni túl futások száma az elmúlt években. [4]
- 13.ábra: Az ICAO és az FAA által előírt (javasolt) RESA méretei szerepelnek. [11]
14. ábra: Az FAA által készített statisztikai kimutatás mely a túlfutási sebességek gyakoriságát illusztrálja [12]
- 15.ábra: EMAS biztonsági rendszer által megfékezett légi jármű futóműve a biztonsági felületbe süllyedve. [13]
16. ábra : Az EMAS rendszer felületének működési vázlata egy ráguruló légi jármű esetén.[11]
17. ábra : EMAS telepítési vázlata, hosszanti és keresztmetszetben, [15]
18. ábra : EMAS telepítési vázlata, [15]
19. ábra : Akadályháló felépítésének vázlata, [18]
- 20.ábra: Földi alkalmazású telepített fékező kábel. [18]
21. ábra :Földi kialakítású burkolatba relythető fékező kábel rendszer zárt illetve nyitott helyzetben, [18]

22. ábra : PROMETHEE szivárvány ábra az adott összehasonlítás esetén, [VP]

23. ábra : PROMETHEE szivárvány ábra az adott összehasonlítás esetén, [VP]

24. és 25. ábra :PROMETHEE I és II rangsorok grafikus ábrázolása, Visual PROMETHEE

Táblázatjegyzék:

1. táblázat: Futópálya biztonsággal kapcsolatos balesetek.[saját készítés]
2. táblázat: Futópálya elhagyások típusai különböző fázisokban Európában és világszerte.[4, saját készítés]
3. táblázat: A leszállás közbeni túlfutások kiváltó okok, és eloszlásuk. [3, saját készítés]
4. Táblázat: Felszállás közbeni túlfutások okai és eloszlásuk. [3]
5. táblázat : Szempontonkénti súlyok eloszlása %-osan, [saját készítés]
6. táblázat: Meghatározott szempontok és kiválasztott alternatívák jellemzőit és értékeit tartalmazó táblázat, Visual PROMETHEE
7. táblázat : Negatív és pozitív döntési folyamatok és különbségük, [saját készítés]