

Beller Balázs

A repülésbiztonsági kockázatelemzési eljárások evolúciója I.

Mint sok veszélyes üzem, a légi közlekedés is csak elfogadott és elfogadhatatlan, azaz kezelendő kockázatok mentén valósítható meg. A cikksorozat megírásának célja, hogy bemutassa és sorra vegye az 1960-as évektől megjelenő kockázatelemzési eljárásokat, azok esetleges egymásra épülését, használhatóságát. A cikksorozat első része alapvetően a kezdeti lépésekkel, illetve a lineáris kockázatelemzési eljárásokkal foglalkozik. Ismerteti azon kockázatelemzési és szemléltetési eljárásokat, amelyek nem feltétlenül a légi közlekedésben keletkeztek, de azokat a repülésbiztonság területére átemelve és alkalmazva hozzájárulnak a légi közlekedés biztonságának növeléséhez. A választott kutatási módszer alapvetően a hazai és a külföldi szakirodalom feldolgozásán alapult.

Kulcsszavak: repülésbiztonság, kockázatelemzés, kockázatok kezelése, hibafa, eseményfa, Ishikawa-diagram, lineáris kudarcsemény/hibaesemény modell

1. Bevezetés

A légi közlekedés mint tevékenység biztonságos végzése, fenntartása érdekében a repülésbiztonsági szakemberek kezében az egyik legfontosabb eszköz a kockázatok azonosítása, feltárása, megfelelő preventív vagy kockázatcsökkentő eljárás, intézkedés kiválasztása és bevezetése. Az alkalmazott eljárások jelentős részét nem a légi közlekedés területén dolgozták ki, hanem más, olyan nagy kockázatokat rejtő iparágakban, termelési folyamatokban, amelyek magas fokú kockázatot, jelentős mennyiségű veszélyforrást hordozhatnak magukban. A repülés is veszélyes üzem, így a kockázatok csökkentésére irányuló, már bevált jógyakorlatok átvehetők a veszélyeknek hasonlóan kitett területekről.

2. A repülésbiztonság

A repülésbiztonság a repülés biztonságos végrehajtása érdekében létrehozott rendszer, amely alapvetően a korábbi légi közlekedési események tapasztalatai alapján, a hasonló körülmények között bekövetkező események valószínűségének vagy a bekövetkezett események negatív hatásainak csökkentésére fókuszál.

Maga a biztonság fogalom „valamely tevékenység, vagy folyamat ártalmas, káros következményeinek elfogadhatatlan kockázatától való mentességeként” [5, p. 1] fogható meg.

Rohács–Horváth elgondolása alapján: „Repülésbiztonságnak nevezik a levegőben történő mozgás során, a komplex emberi és műszaki tevékenység eredményeként létrejött, az adott körülmények között optimális működőképességet, illetve e működőképesség megtartásának valószínűségét.” [16, p. 43]

A két meghatározás alapján látható, hogy a repülés mint tevékenység elfogadható és elfogadhatatlan, azaz kezelendő kockázatok közötti mezsgyén végezhető. Emellett leszögezhető, hogy a légi közlekedésben tökéletes biztonság, illetve kockázatcsökkentés nem létezik, csak a káros következmény bekövetkezési valószínűsége csökkenthető olyan mértékig, amely már elfogadható a döntéshozók számára. Egyértelmű tehát, hogy a repülést mint tevékenységet mindig valamely elfogadott kockázat mellett hajtják végre, amely igaz az állami célú légi közlekedésre is, így különösen a katonai repülésre.

A katonai repülésbiztonság célja, hogy növelje a légi erő eszközeinek műveleti hatékonyságát azzal, hogy a légi közlekedési eseményeket kiváltó veszélyforrások biztonsági kockázatát a praktikus megvalósítható mértékig minimálisra¹ csökkenti, valamint törekszik arra, hogy minimalizálja a légi közlekedési események következményeinek súlyosságát. E tevékenység megfelelően hatékony felhasználása esetén a repülésbiztonság a légi műveletek során egy úgynevezett erőttöbbszörözővé válik, mivel igyekszik minimalizálni az erőforrások elvesztését azzal, hogy azonosítja a potenciális kockázatokat és javaslatot tesz azok csökkentésére, megoldására, mielőtt az esetlegesen bekövetkező légi közlekedési események negatívan befolyásolnák a műveletek végrehajtásának hatékonyságát [13, pp. 1–2].

3. Kockázatok kezelése

A kockázatok kezelése, elemzése egy idősebb emberiséggel. Minden emberi tevékenységet megelőző valamely szintű elemzés a potenciális veszélyforrások, a felmerülő kockázatok azonosításával, a várható negatív következmények és a cselekvésből származó haszon szembeállításával összefüggésben. Nincs ez másképp a repülés területén sem. A kockázatok kezelése, a kockázatelemzések elkészítése, az azok alapján kialakított kockázatcsökkentő eljárások bevezetése, alkalmazása, nyomon követése és felülvizsgálata az egyik legfontosabb területe a légiközlekedés-biztonság szavatolását célzó szervezetekben folyó tevékenységnek.

Dudás tanulmányában úgy fogalmaz, hogy „a kockázatkezelés mindenkori célja egy adott szervezet működőképességének optimális szinten tartása, a működést károsan befolyásoló veszélyektől, illetve azok következményeitől, való megóvása útján. Ez a szervezet működését biztosító személyek egészségének, valamint a működéshez elengedhetetlen erőforrások megóvását jelenti” [5, p. 1]. Úgy látja, hogy akár a hétköznapi élet, akár a repülési tevékenység számtalan kockázatot rejthet, ahol a fókuszpontot a kockázatkezelés első lépéseként a valódi, azaz nem felesleges kockázati tényezők felderítésére kell helyezni, a figyelmet azok azonosítására és értékelésére kell fordítani. A kockázatkezelés végső soron a tevékenység hordozta kockázat, vagyis valószínű káros következmény és a tevékenység szolgáltatta haszon egyensúlyának megtalálásáról szól [4, p. 2].

De mi is az a veszély, és mi is az a kockázat? A veszély vagy veszélyforrás és a kockázat kéz a kézben jár, de nem keverhető össze, nem ugyanazt jelenti. A veszély általánosan elfogadottan

¹ As low as reasonably practicable (ALARP).

egy olyan esemény, helyzet vagy történet, amely magában hordozza a sérülés okozásának, baleset bekövetkezésének lehetőségét.

A kockázat ellenben a sérülés bekövetkezésének valószínűsége szerint határozható meg. A kockázat alapelemei: a veszélyeztetettség, tehát a veszélynek való kitettség; a következmény, azaz a veszélynek való kitettségből következő esemény súlyossága; valamint a káros esemény bekövetkezésének valószínűsége [5, p. 2].

A fentiek alapján látható, hogy a veszély nem feltétlenül jelentkezik kockázatként, amennyiben a bekövetkezés valószínűsége nem határozható meg, vagy a vizsgált potenciális sérülést elszenvedő személy kitettsége az adott veszélynek nulla.

Az ICAO² által elfogadottan a kockázatkezelés azon intézkedések sorozata, amelyek a repülésbiztonság szolgálatában magukba foglalják a veszélyforrások azonosítását, a kockázatok értékelését, a kockázatok csökkentését és a kockázat elfogadását. Ez folyamatosan végzett tevékenységet jelent, mivel a repülés, az azokra ható befolyásoló tényezők állandóan változnak, új veszélyforrásokat azonosíthatnak, illetve egyes veszélyforrások és a hozzájuk kapcsolódó repülésbiztonsági kockázatok idővel változhatnak, növekedhetnek, vagy éppen csökkenhetnek. A kockázatkezelésnek mindamellett figyelemmel kell kísérnie a végrehajtott kockázatcsökkentő stratégiák hatékonyságát, annak érdekében, hogy az esetleges további intézkedések szükségességéről dönteni lehessen [7, pp. 2-10].

Megvizsgálva a polgári és katonai (ICAO – NATO³) szabványokat [13, pp. 8-1 – 8-7], forrásokat [7, pp. 2-1 – 2-20], az ott található előírások szintézisével a repülésbiztonság területén a kockázatkezelés folyamata, rendszere az alábbiak szerint építhető fel [5, p. 2-3]:

1. *Veszélyforrások azonosítása* [13, p. 8-4]: Olyan releváns veszélyforrások azonosítását jelenti, amelyek kockázatot jelenthetnek a repülések végrehajtására. Ezek a veszélyforrások többfélék lehetnek: műszaki hibák, emberi hibázás, működési rendszerhibák vagy éppen környezeti tényezők.
2. *Kockázat értékelése* [13, p. 8-4]: A veszélyforrások azonosítását követően értékelni kell a velük kapcsolatos biztonsági kockázatokat. Ez magába foglalja a lehetséges balesetek vagy események bekövetkezési valószínűségének (relatív gyakoriságának) és a következmények súlyosságának értékelését. Ehhez különféle kockázatértékelési eszközöket és módszereket alkalmaznak, amelyek minőségi és mennyiségi mérőszámok meghatározásával lehetővé teszik azok valószínűségének és súlyosságának meghatározását.
3. *Kockázatok csökkentése, szabályozása* [13, p. 8-4]: A kockázatok értékelése után intézkedéseket kell kialakítani a kockázatok enyhítésére vagy csökkentésére. A hatékony kockázatcsökkentő intézkedések a kockázat három komponensének, azaz a valószínűség, a súlyosság és a veszélyforrásnak való kitettség – egységes vagy részenként történő – csökkentését célozza meg. Ez lehet új technológiák bevezetése, eljárások módosítása, ugyanakkor az általános rendszertervezésben további képzéseket vagy változtatásokat is jelenthet.
4. *Kockázatok elfogadása/döntéshozatal* [13, p. 8-4]: A repülési tevékenység során bizonyos kockázati szint elkerülhetetlen lehet, így különösen a katonai repülési feladatok végrehajtása során. A döntési helyzetben lévő felelős vezetőnek minden esetben

² Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (International Civil Aviation Organization).

³ Észak-atlanti Szerződés Szervezete (North Atlantic Treaty Organization).

meg kell határozni azt a kockázati szintet, amely az elfogadható, tehát kezelést nem igénylő, és a valamilyen intézkedést igénylő kockázatokot elválasztja egymástól. A repülési feladatok fontossága és sürgőssége függvényében döntést kell hoznia a kockázatok elfogadásáról vagy azok kikerüléséről, áthárításáról vagy kiterjesztéséről [5, p. 2]. A kockázat elfogadása azt jelenti, hogy a megállapított kockázat mellett végrehajtott feladat eredményeként várt hasznot összevetik az esetleges káros esemény bekövetkezésének súlyosságával, a veszteség mértékével, és ennek megfelelően hajtják végre a feladatot, igyekezve a kockázati szintet a megfelelő szinten tartani. A kockázatok kikerülése azt jelenti, hogy adott repülési feladatot nem hajtják végre, elkerülik a vele járó kockázatokat, ami a műveleti repülésben nem feltétlenül jelent opcionális megoldást. A kockázatok áthárítása esetén a lehetséges veszteséget, illetve kitettséget a rendszer más, az adott veszélyre vagy következményre kevésbé érzékeny tényezőire terhelik át, az adott repülési feladatot más eszközzel hajtják végre. A kockázat kiterjesztése esetén az adott feladat során a veszélyforrásnak való kitettség intenzitását, idejét próbálják meg csökkenteni [5, p. 2]. A döntéshozatal során figyelembe kell venni és értékelni kell a fennmaradó kockázatokat, amelyek esetleges magasabb szintje esetén további döntések meghozatala is szükséges lehet a kockázati szint megállapítása tekintetében.

5. *Kockázatcsökkentő eljárások alkalmazása* [13, p. 8-4]: A kockázatkezelési eljárás következő lépése a kiválasztott kockázatkezelési eljárás implementálása a feladat végrehajtásának menetébe. A kiválasztott kockázatcsökkentő eljárás a veszélyforrásnak való kitettség csökkentésével, a bekövetkezési valószínűség csökkentésével vagy a bekövetkezés esemény negatív hatásainak minimalizálásával operál.
6. *Nyomon követés, felülvizsgálat* [13, p. 8-4]: A repülési rendszer dinamikus, állandóan változik a technológia, a szabályozás, az üzemeltetési környezet, és módosulnak a végrehajtási eljárások is. A folyamatos monitorozás elengedhetetlen annak biztosításához, hogy a bevezetett kockázatcsökkentő eljárások idővel hatékonyak maradjanak. Ha a nyomon követés során az tapasztalható, hogy az alkalmazott kockázatcsökkentő eljárások nem hatékonyak, vagy ha új veszélyek merülnek fel, akkor a repülésbiztonság-irányítási rendszernek alkalmazkodnia kell. Ezt többek között a meglévő stratégiák felülvizsgálatával, új eljárások kidolgozásával vagy képzési programok továbbfejlesztésével lehet elérni.

A kockázatkezelés fontos eleme továbbá a kommunikáció, illetve a megfelelő jelentési rendszer kialakítása, amely alapvetően a repülésbiztonság-irányítási rendszer részét képezi. Az azonosított veszélyforrásokról, kockázatértékelésekről és kockázatcsökkentő eljárásokról hatékony kommunikációt kell folytatni, amely létfontosságú a szervezet belső működtetésében. Emellett olyan belső jelentési rendszert kell működtetni, amely ösztönözi a munkavállalókat az esetleges biztonsági problémák, kételyek, események vagy balesetnek nem vezető események bejelentésére, elősegítve ezzel a proaktív megközelítést a biztonság terén.

A fenti kockázatkezelő rendszer a NATO-ban elfogadott Pozitív Repülésbiztonsági Kultúra részét képezi [13, p. 3-1].

A kockázatelemzések, kockázatértékelések elvégzése kvantitatív (mennyiségi), illetve kvalitatív (minőségi) módszereken alapul.

A kvantitatív módszerek a valószínűségszámításra, az adatbázisokban rendelkezésre álló, akár több évtizedet átölelő adatokra támaszkodnak, azaz ezekben az esetekben a kockázatot jellemző valószínűség értékének meghatározására van lehetőség [10, p. 337]. A számítások során a kockázatmátrix használata lehetővé teszi a felhasználónak, hogy kvantitatív formában kifejezze az azonosított veszélyekkel kapcsolatos biztonsági kockázatokat, aminek segítségével közvetlen nagyságrendi összehasonlítást lehet tenni az azonosított biztonsági kockázatok között [7, p. 9–17].

A kockázatértékelések során néha szükséges a pontos számítások elvégzése helyett a minőségi/kvalitatív információk (szakértői vélemények) felhasználása a mennyiségi/kvantitatív adatok hiánya miatt. Így a kvalitatív módszerek alapvetően a korábban meglévő tapasztalatokra alapoznak. Minden olyan azonosított biztonsági kockázathoz, amelynél nem áll rendelkezésre mennyiségi adat, rendelhető egy minőségi biztonsági kockázatértékelési verbális kategória, például az, hogy a negatív hatású esemény bekövetkezése „valószínűsíthető” vagy éppen „valószínűtlen” [7, p. 9–17].

A kockázatértékelések elvégzése (akár kvantitatív vagy akár kvalitatív módszerrel) többnyire ciklusszerű folyamat, amelynek lépéseit többször is el kell végezni egymás után ahhoz, hogy a megfelelő minőségű eredményt kaphassuk.

Ennek megfelelően a kockázatok kezelésére más megközelítésben objektív és szubjektív eljárásrendek állnak rendelkezésre. Így az objektív eljárásrendhez szükség van megfelelő adatbázisra, időre, megfelelő technikai háttérre, illetve valamely, az eljárást biztosító matematikai háttérre – kvantitatív eljárások. A szubjektív kockázatkezeléshez ugyanakkor a döntéshozó személyes tapasztalataira, előzetes ismereteire, intuíciójára, valamint az egyéni preferenciákra – kvalitatív eljárások [6, p. 233].

4. Kockázatelemzési eljárások

Ahogy korábban megállapítottuk, a kockázat a légi közlekedési balesetek és események bekövetkezésének valószínűségével, az esemény súlyosságával, a potenciális veszteségnek vagy ártalomnak kitett személyek és eszközök kitettséggel fejezhető ki. A kockázat általánosan a valószínűség, a súlyosság és a kitettség függvényében vizsgálható és határozható meg [15, p. 69].

A kockázatelemzési eljárások mellett, hogy felhasználhatók egy jövőbeni légi közlekedési esemény kockázatainak meghatározására, egy már bekövetkezett légi közlekedési esemény analizálására is megfelelő eszközt nyújtanak. Így végre lehet hajtani velük baleseti vagy eseményelemzéseket, amelyek egy adott veszteség okának azonosítását teszik lehetővé annak érdekében, hogy a hasonló veszteségek megelőzhetőek legyenek. Emellett elvégezhetőek olyan elemzések, amelyek a még meg nem történt balesetek potenciális veszélyforrásait azonosítják, tárják fel, annak érdekében, hogy megelőzzék azok bekövetkezését, vagy ha ez nem lehetséges, akkor csökkentsék a hasonló kárt okozó esemény bekövetkezési valószínűségét [11, p. 2].

A repülésbiztonság területén a kockázat elemzésére, szemléltetésére számtalan lehetőség kínálkozik. Figyelemmel arra, hogy a biztonság kérdése több tudomány területén jelen van, az alkalmazott kockázatelemzési/-értékelési eljárások nemcsak a repülésbiztonság területéről, hanem többek között az iparbiztonság (például olajipar, veszélyes anyagokat gyártó üzemek,

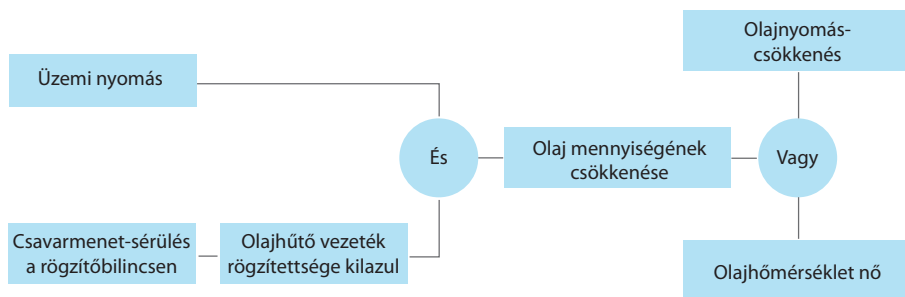
nukleáris üzemek), az információbiztonság, vagy éppen a gazdasági és pénzügyi folyamatok kockázatkezelési eljárásaiból is érkezhetnek.

Kijelenthető ugyanakkor, hogy bármely módszert is tekintjük át, mindegyikben megjelenő közös elem, hogy a felmerülő kockázatokat, illetve annak következményeit, illetve kiváltó okait valamilyen módon megpróbálja rangsorolni [6, p. 232].

A légi közlekedés veszélyes üzem, ennek megfelelően a nemzetközi szervezetek nagy hangsúlyt fektetnek a légi közlekedés biztonságának szavatolására. Az ICAO DOC 9859 alapján minden olyan légi közlekedéssel foglalkozó üzemeltetői és üzemeltetői szervezetnek, szolgáltatónak feladata egy biztonsági kockázatértékelési modell kidolgozása és kapcsolódó eljárások alkalmazása, amelyek következetesen és szisztematikusan lehetővé teszik a biztonsági kockázatok értékelését. Ennek magában kell foglalnia egy módszert, amely segít meghatározni, hogy mely biztonsági kockázatok elfogadhatók vagy elfogadhatatlanok, és hogy mely (kockázatcsökkentő) intézkedéseket kell prioritásként kezelni [7, p. 9–17].

5. Lineáris kockázatelemzési eljárások

A kockázatelemzések elvégzésének legtöbb módszere a lineáris kudarcesemény/hibaesemény modellen⁴ alapul, amely abból a feltételezésből indul ki, hogy egy fő eseményt/balesetet több hibás esemény által képzett láncolat okozza, azaz minden egyes hiba közvetlen következménye az előzőnek. Ebben az eseményláncolatban beépíthetők logikai „vagy” és/vagy „és” kapuk, azaz az események láncolatába konjunktív, illetve vagylagos feltételek is behozhatók.



1. ábra

Olajhűtő vezeték rögzítőbilincs csavarsérülésének láncolata (a szerző [11] alapján)

A fenti ábrán levezethető, hogy a kenőolaj mennyiségének csökkenése visszavezethető az olajhűtő vezetékrögzítő bilincs csavarjának sérülésére, aminek hatására a vezeték kilazul. Az üzemi nyomás megjelenésével a rendszerben az olaj mennyisége csökken, ami végső soron nyomáscsökkenéshez, illetve hőmérséklet-növekedéshez vezethet.

Leveson tanulmánya szerint az LCFEM-modellek esetében a balesetek megelőzésének legegyszerűbb megoldása, ha megszüntetnénk a láncolatba felfűzött egyik eseményt [11, p. 2]. Azaz, ha megszüntetnénk a vezeték rögzítettségének kilazulását attól függetlenül, hogy a csavar sérült-e vagy sem, például azzal, hogy más rögzítési eljárást alkalmazunk (rugós bilincs).

⁴ Linear Chain of Fault Event Model (LCFEM).

Ugyanakkor szerinte egy másik lehetőség az, ha az események közé akadályokat helyezünk, hogy az egyik esemény következményei ne vezessenek a lánc következő eseményéhez. Akadály lehet például egy új ellenőrzési eljárás bevezetése vagy egy érzékelő szenzor beépítése.

Ez a gyakorlat jellemzően a nukleáris energiatermelésben és más olyan iparágakban érhető tetten, amelyek „többrétegű védekezést” alkalmaznak a balesetek megelőzése érdekében. Ez a „többrétegű védekezés” egy olyan biztosítási rendszer kiépítését jelenti, amelyben minden egyes védekező mechanizmust egy másik védekező mechanizmus biztosít [11, p. 2].

Leveson kiemelte továbbá, hogy az LCFEM modell esetén az események között közvetlen ok-okozati összefüggésnek kell fennállnia, vagyis minden felvázolt esemény a láncban következő eseményhez vezet, amelynek fontos eleme, hogy a láncban az előző esemény mindig szükséges és elégséges feltétele a következő esemény bekövetkezésének.

Egy bekövetkezett veszteség vizsgálatára alkalmazva az LCFEM modellt látható, hogy az elemzés visszafelé halad a veszteséget okozó eseménytől annak érdekében, hogy az ok-okozati láncot azonosítva meghatározza a kezdeti eseményt, amelyet „root cause”-nak, vagy „gyökér oknak”, „fő oknak” neveznek. Fontos kiemelni, hogy a feltárást végző láncban a fő oknak jelölt esemény nem feltétlenül az első dokumentált esemény. A fő ok keresés folyamatának megállapítása nem nélkülözi a szubjektumot, többnyire az analizálást végző dönti el, hogy meddig halad a keresésben. Emiatt a keresés visszafelé halad addig a pontig, amíg valami nem kerül a felszínre, ami könnyen megelőzhető, vagy amíg a keresés már csak nehezen folytatható visszafelé [11, p. 3].

5.1. Hibafa-analízis

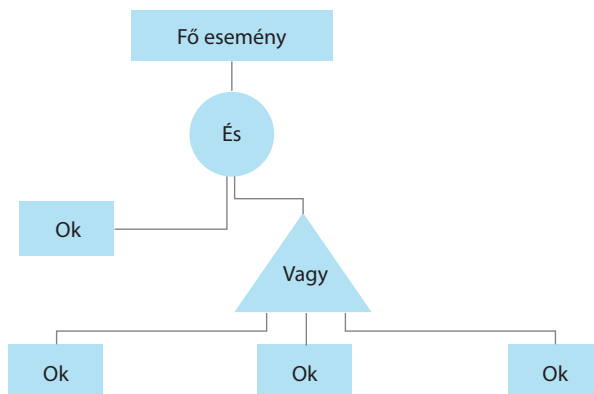
Az LCFEM-modellek közé tartozó hibafa-analízist a nem kívánt események kiváltó okainak feltérképezésére alakították ki, először 1962-ben alkalmazták [3, p. 2] az Egyesült Államokban, amely alapvetően a repülőgépgyártás és az űrkutatás területén terjedt el. A hibafa-módszer a U.S. Air Force Ballistics Systems Division és a Bell Telephone Laboratories közötti szerződés eredménye volt a Minuteman ICBM⁵ nem szándékolt indításának tanulmányozására. Az elkészült tanulmány eredményeit⁶ a Minuteman I. tervezésénél nem tudták már felhasználni, hiszen abban az időben már a gyártási fázisban volt, de a kialakított eljárásrendet és annak eredményeit a Minuteman II. esetében sikeresen alkalmazták [3, p. 6].

A hibafa egy olyan rendszerezett grafikus módszer, amelyet a rendszerhibák okainak és hatásainak elemzésére használnak. Segít azonosítani a potenciális hibamódokat egy rendszerben és értékelni ezeknek a hibáknak a bekövetkezési valószínűségét.

A hibafa-elemzési módszer az eseményeket a súlyos balesetbe vezető berendezésmeghibásodásokra és az emberi tévedésekre bontja fel. Ez a módszer ezért egy fordított gondolkodási technika, azaz az elemző a súlyos balesetből vagy a nem kívánt eseményekből indul ki. Ahhoz, hogy ezek az események elkerülhetők legyenek, meg kell határozni az eseményt közvetlenül kiváltó okokat, amelyeket sorba véve megállapítható az eseményhez vezető alapvető (gyökér) ok(ok).

⁵ Interkontinentális ballisztikus rakéta (Intercontinental Ballistic Missile).

⁶ Launch Control Safety Study.



2. ábra
Hibafa (a szerző [3] alapján)

A hibafa olyan ábra, amely szemlélteti az alapvető okokat, továbbá az okok és a baleset közötti összefüggéseket. A hibafaelemzések során logikai kapcsolat jelölésével mutatják be, hogy bizonyos események együttes előfordulása eredményezhet-e negatív kimenetelt, ami további negatív eredményeket hozhat-e, ami végül a „csúcsesemény” vagy „fő esemény” mint lehető legrosszabb következmény megvalósulásáig vezethet-e [12, p. 207].

A Texas A&M University 1970-ben kiadott kézikönyve alapján látható, hogy már abban az időben is kialakítottak egy (Monte Carlo-eljárással működő) számítógéppel támogatott hibafaeljárást, amely a következő hat alapvető lépésből állt:

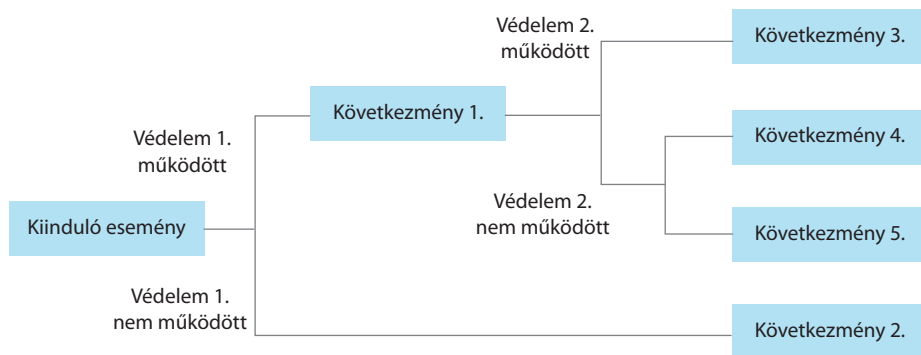
1. meg kell határozni a vizsgálni kívánt, úgynevezett csúcseseményt;
2. meg kell érteni a vizsgált rendszert a működés feltételei alapján;
3. el kell készíteni a hibafa-diagramot, amely magában foglalja az összes lehetséges hibát, amely a csúcseseményhez vezethet;
4. össze kell gyűjteni a kvantitatívhiba-adatokat, azaz meg kell határozni a fa legalsó részén lévő események bekövetkezési valószínűségeit, amelyek a meglévő tapasztalatokból, tesztekől, publikált adatokból vezethetők le;
5. értékelni kell a csúcsesemény bekövetkezési valószínűségét;
6. analizálni kell a számítógép által kiszámított eredményeket [3, p. 9].

A számítógéppel végrehajtott elemzés hátterét a Boolean-algebra leképezése biztosította. Vas értekezése szerint:

„A hibafa elemzés erőssége, hogy beazonosítható és számszerűsíthető a nem független, akár emberi hibából fakadó meghibásodás valószínűsége és oka. A hibafa modell fentről lefelé haladva követi végig a meghibásodáshoz vezető útvonalat és elemeket. A rendszer gyenge pontjainak meghatározásához, azoknak az eseményeknek a halmaza kerül beazonosításra, melyek együttes bekövetkezésekor a csúcsesemény is bekövetkezik, illetve azon események halmaza is melyek közül, ha egyik sem következik be, akkor a csúcsesemény sem. A hibafa elemzése előnye, hogy lehetővé teszi kombinált hibák bekövetkezésének felderítését komplex rendszereken” [17, p. 96].

5.2. Eseményfamodell

1967-ben elkezdtek az amerikai nukleáris erőművek biztonsági elemzéseikhez alkalmazni a hibafaeljárást. Amikor a hibafaeljárással elkészített elemzések mérete a rendszerek komplexitása miatt kezelhetetlenné vált, a fordított keresési technika helyett az előre haladó lineáris keresési technika alkalmazásával kialakították az eseményfamodellt. Itt a kiinduló esemény egy lehetséges veszélyforrás, és a modell kialakítása során az ebből eredeztethető következményeket veszik sorba. Az eseményfa az összes lehetséges kimenetelt megmutatja, amelyek a veszélyből és a védelmi eszközök hibáiból következhetnek be. Az eseményfa kialakítása során beilleszthetők az egyes eseményágak bekövetkezésének valószínűségi adatai is [11, p. 12].



3. ábra
Eseményfa (a szerző [11] alapján)

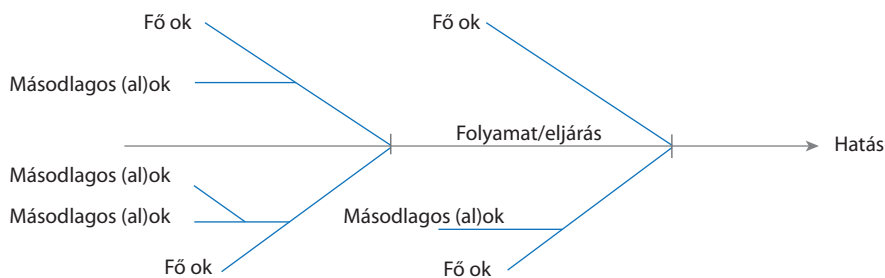
Leveson szerint ebben a kontextusban csak a veszélyes esemény bekövetkezése utáni eseménylánc bemutatása értelmezhető, a veszélyek megelőzése ugyanakkor nem, mivel az eseményfa alkalmazása során egyes folyamatok, rendszerek tervezése, illetve biztonságértékelése áll a fókuszpontban, amelynél a hangsúly egy veszélyes esemény bekövetkezése utáni helyreállításon van, nem pedig a veszély megelőzésén [11].

Ez alapján az eseményfák csak olyan rendszerek esetében használhatók jó eredménnyel, ahol a védelmi rendszereket beépítették, azaz van arra lehetőség, hogy a rendszer működése biztonságos állapotba át-, illetve visszatérhessen. Ez a repülés területén nem minden esetben elérhető [11].

5.3. Ishikawa-diagram

Az LCFEM-modellekhez kapcsolható Ishikawa-diagramot vagy ismertebb nevén a „halszálla diagramot” Kaoru Ishikawa, japán minőségbiztosítási szakember fejlesztette ki az 1960-as években. Az Ishikawa-diagram segítségével egy probléma összetevőit vagy okait lehet azonosítani és vizualizálni, így segítve a döntéshozatalt azzal, hogy segítségével a döntés-előkészítő megkeresheti, azonosíthatja a problémákhoz vezető okokat, és a döntés meghozatalához a megfelelő megoldást találhatja meg.

Az Ishikawa-diagramot széles körben alkalmazzák különböző iparágakban, az egészségügyben, a minőségirányításban, a problémamegoldásban, az egyes gyártási/termelési folyamatok javításában, valamint a projektek tervezésében és végrehajtásában.



4. ábra
4 fő okra vezethető halszájka- vagy Ishikawa-diagram (a szerző [14] alapján)

A módszer szemlélteti egy adott folyamathoz kapcsolódó hatások fő és másodlagos okait, valamint a következmény és az előfordulásához vezető tényezők közötti kapcsolatot, azokat az okokat feltárva és azonosítva, amelyeknél elégtelen mennyiségű információ áll rendelkezésre, vagy az egyéb indokok miatt a folyamat nem halad előre a tervezett módon. Egy bonyolultabb folyamat vizsgálata során az elemzést minden fázisra és szakaszra el kell végezni [14, p. 42].

A módszer gyakorlatilag pillanatképet készít egy adott folyamatról, áttekintést nyújtva és kiemelve az ok-okozati összefüggéseket a folyamatokat befolyásoló tényezők részleteinek megállapításával, valamint azoknak a területeknek a feltárásával, amelyek további információkat igényelnek, így jelezve, hogy hol helyezkednek el azok a pontok, ahol változtatás szükséges [14, p. 43].

A légi közlekedésre lebontott Ishikawa-diagram öt fő okot vizsgálhat:

- ember: pszichofizikai jellemzők, készségek, stressztűrés, személyiségi vonások;
- környezet: védelem hiánya a természeti jelenségekkel szemben, időjárási körülmények, üzemeltetési területek, munkakörülmények, repülőtéri infrastruktúra;
- gép: (repülőgép megbízhatósága, teljesítménye és ergonómiája), műszaki eszközök rendelkezésre állása (idő, eszközök, alkatrészek elérhetősége), logisztika (fogyóeszközök ellátása, karbantartási költségek), műszaki dokumentáció (értelmezhető, egyértelmű eljárások, dokumentáció elérhetősége);
- küldetés: (egyértelmű, meghatározott, megvalósítható) feladat célja, feladat teljesítése a modell elemeinek kölcsönös hatása révén;
- szervezeti irányítás: a légi közlekedési szervezet hatékony irányítási és vezetési rendszere, megfelelő személyzet kiválasztása, világos előléptetési szabályok, hangsúly a megfelelő eljárások megtanulására, amelyek érvényben vannak az adott légi közlekedési szervezetben [9, p. 132].

Ahogy korábban már említettem, a halszájkamodellt mint szemléltetőeszközt a minőségbiztosítás és minőségirányítás területén használták először, ugyanakkor az alkalmazása értelmezési problémákat okozott, mert hibafaként próbálták kezelni, úgy akarták használni, mint egy faelemzést. Ez azonban helytelen megközelítés volt, mivel a faelemzés egy nem

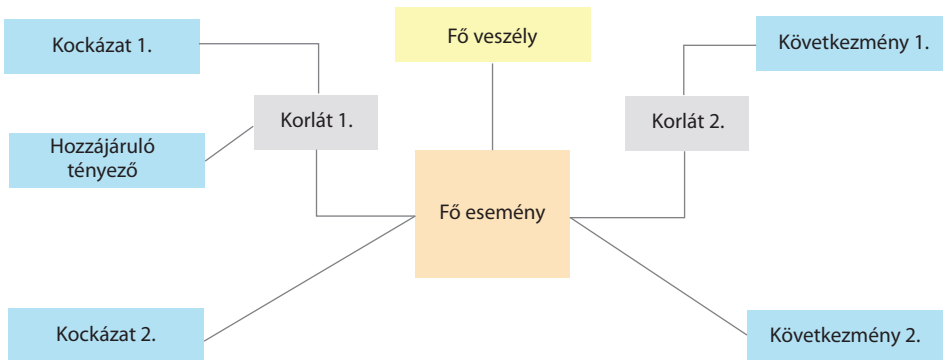
kívánt esemény elemzésére formális logikai szimbólumokat használ, és így az ok-okozati összefüggések kutatására alkalmas. Az Ishikawa-diagram ettől eltérően egy eszköz a nem kívánt esemény körülményeinek felvázolására, a lehetséges okok felsorolására; de anélkül, hogy figyelembe venné az egyes szakaszokat vagy okokat. Ezt a lényeges különbséget a két módszer között ki kell emelni, mivel az Ishikawa-diagram (mint grafikus ábrázolás) egyetlen szerepe az, hogy felfedezze és vázolja a folyamat struktúráját és összetevőit, amelyek felhasználhatók a kockázat azonosításában [14, p. 43].

5.4. „Bow-tie” vagy csokornyakkendő-modell

A kockázatok áttekintésére, elemzésére, szemléltetésére használható további módszer a „bow-tie” vagy csokornyakkendő-módszer, amelyet végleges formájában az 1990-es években az olajiparban alakítottak ki annak érdekében, hogy a kockázatokat szemléletesebben meg tudják jeleníteni. Ez az eljárásrendszer alapvetően angolszász területen terjedt el a polgári és katonai légi közlekedésben egyaránt [2]. Alapját az ok-következmény elemzés adta, felhasználva a hibafa-, eseményfa- és a halszálkadiagram elemzési módszereit egyaránt.

Az eredeti bow-tie mint ok-következmény diagram Bob Taylor munkája volt az 1970-es években, aki kombinálta a hibafát és az eseményfát, közéjük helyezve a veszélyforrást mint kritikus/fő eseményt [11, p. 15].

A lenti ábrán egy bow-tie modell látható, amely a Taylor-modellnek megfelelően a szervezetre leselkedő veszélyforrás (fő veszély) következtében bekövetkező fő eseményt jeleníti meg középen, amelytől balra a reaktív – hibafa – oldalon a különböző fenyegetettségek/kockázatok, jobbra a proaktív – eseményfa – oldalon pedig a következmények helyezkednek el.



5. ábra
Leegyszerűsített „csokornyakkendő-modell” (a szerző [8] alapján)

A bow-tie diagramon a kockázatok és a fő esemény között a proaktív biztonsági akadályok/korlátok jeleníthetők meg, amelyek csökkentik az esemény bekövetkezési valószínűségét. A reaktív oldalon a bekövetkezett esemény és a következmények között reaktív biztonsági akadályok/korlátok vannak, amelyek csökkentik a bekövetkezett esemény hatásait, illetve azok súlyosságát.

A fentiek alapján tehát, a bow-tie diagram elkészítésénél első lépésben azonosítani kell a veszélyforrást, amely alapvetően meghatározza a kockázatértékelés körét és összefüggéseit. A következő lépés a fő esemény meghatározása, amely annak következménye, ha a veszély fölött meglévő irányítás vagy ellenőrzés elvész, azaz a beépített akadályok/korlátok nem működnek. Az így kialakított ábrán a bow-tie diagram középpontját ez a fő esemény képezi, és összekapcsolja a hibafa- és eseményfa-elemzéseket.

A fő eseményt így egy vagy több fenyegetés/veszély okozhatja, amelyek olyan okokban eredeztethetők, amelyek a fő esemény kiváltásához vezethetnek, ha a fenyegetés ágán lévő összes megelőző akadály/korlát működése kudarcot vall.

A fő esemény bekövetkezése ugyanakkor egy vagy több következményhez vezethet. Ezek a következményágak a fő esemény jobb oldalán vannak ábrázolva. A következmények lehetséges események vagy eseménysorok, amelyek negatív hatással lehetnek a folyamatra, ilyen például az irányításvetés, a kár vagy sérülés okozása. A károk minimalizálására korlátok/akadályok, más néven „vezérlők” vagy „védelmi rétegek” alkalmazhatók [1, p. 3].

A fenti diagramot egyes légi közlekedési események vizsgálata során alkalmazva, a lényeges információk megjelenítésével lehet kiértékelni az események ok-okozati összefüggéseit, illetve kockázatelemzés elkészítése során megfelelő vizualizációval lehet elősegíteni a megfelelő döntések meghozatalát.

Ugyanakkor Leveson szerint a repülés területén az utóbbi időben egyszerűsíteni próbálják a bow-tie alkalmazását azzal, hogy kihagyják az elemzési lépéseket, és az elemzést a csokornyakkendők rajzolásával kezdik meg. Ez azonban nehezé teszi a csokornyakkendőbe felvitt információk megértését, nehezen azonosítható, hogy miként jöttek létre ezek az információk, és ez csak nagyon ad hoc, strukturálatlan és emiatt némileg megbízhatatlan megközelítést tesz lehetővé, amely sokkal inkább a szubjektum felé mutat [11, p. 17].

Emellett a bow-tie és az egyéb LCFEM-alapú elemző módszer egyik legnagyobb hátránya, hogy komplex rendszereknél óriási méretűre nőnek, nehezen kezelhetők. Ennek megfelelően arra sarkallják a készítőket, hogy egyszerűsítsenek, adott esetben a hibafa oldalon elhagyják az „ÉS” kapcsolattal szereplő okokat, és minden hozzárendelt helyreállító intézkedést elhagyjanak a jobb (eseményfa) oldalon. Ez ebben a formában eliminálja a hibafák és az eseményfák minden olyan pozitív és részletekbe menő tulajdonságát, amely a részletes hibás események ok-okozati láncainak bemutatására irányul. A lineáris modellek ugyanakkor nem képesek előállítani vagy bemutatni a mai balesetekben fontos nem lineáris ok-okozati összefüggéseket. A mai összetett rendszerek vonatkozásában a lineáris ok-okozati feltételezéseken alapuló elemzési technikák által előállított alapvető táblázatok és adatbázisok vélelmezhetően hiányosak, függetlenül attól, hogy milyen módszerrel vannak megjelenítve [11, pp. 18–19].

6. Összegzés

A repülés mint tevékenység végzése nem mentes a rá leselkedő veszélyforrásoktól és az azok által megjelenő kockázatoktól. Ahhoz, hogy a repülésbiztonság szavatolható legyen, a kockázatok azonosítani, értékelni kell, illetve a kockázatoknak való kitettséget, a bekövetkezési valószínűséget vagy a bekövetkezett események súlyosságát kezelni szükséges. A kockázatok elemzésére kvalitatív és kvantitatív eljárásokat alkalmaznak, a meglévő tapasztalatok, illetve a rendelkezésre álló adatok számításával igyekeznek elérni a kívánt eredményt, a kockázatok

felmérését, kezelését, vagy éppen a légi közlekedési események okainak elemzését, meghatározását. A cikk első részében rövid áttekintést kívántam adni a lineáris, ok-okozati kockázatelemzési eljárások 1960-as évektől kezdődő fejlődéséről, illetve az alkalmazásuk pozitívumairól és esetleges hátrányairól. Azt látni kell, hogy a repülés, vele együtt a kockázatok értékelése, elemzése, kezelése is folyamatosan fejlődik. A légi járművek fejlesztése egyre komplexebb rendszereket hoz létre, amelyek már nemcsak mechanikai tulajdonságaik szerint lesznek egyre bonyolultabbak, hanem az alkalmazott és azokat működtető szoftverek integráltsági fokát tekintve is egyre nagyobb kihívásokat jelentenek. A lineáris modellek korlátai miatt e rendszerek analízise csak egyszerűsítve dolgozható fel, és szükség van az összetett rendszerek elemzését is lehetővé tevő technikák megismerésére.

A jelen cikk folytatásában (*A repülésbiztonsági kockázatelemzési eljárások evolúciója II.*) többek között bemutatjuk a lineáris folyamatelemzési eljárások mellett megjelenő, a bonyolult, többszörösen összetett rendszereket leíró rendszerelméleti baleseti modell és folyamatokra épülő⁷ folyamatelemzés⁸ és ezen alapuló okelemzési⁹ eljárások alkalmazásának lehetőségeit, illetve a szintén ezen rendszerek folyamatait vizsgáló Erik Hollnagel-féle funkcionális rezonancia baleseti modell¹⁰ repülésbiztonsági alkalmazásának vizsgálatát.

Felhasznált irodalom

- [1] J. Aust, D. Pons, „A Systematic Methodology for Developing Bowtie in Risk Assessment: Application to Borescope Inspection,” *Aerospace*, 7. évf. 7. sz. 2020. Online: <https://doi.org/10.3390/aerospace7070086>
- [2] Civil Aviation Authority (CAA), *Bowtie Risk Assessment Models*. [é. n.]. Online: www.caa.co.uk/Safety-Initiatives-and-Resources/Working-with-industry/Bowtie/
- [3] T. W. DeLong, *A Fault Tree Manual*. Texas A&M University, 1970. Online: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD0739001.pdf>
- [4] Dudás Z., „Az információ fontossága a repülésbiztonságban,” *Repüléstudományi Közlemények*, 17. évf. 2. sz. pp. 1–10. 2005. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2005_cikkek/dudas_zoltan.pdf
- [5] Dudás Z., „Repülésbiztonsági kockázat, repülésbiztonsági felelősség,” *Repüléstudományi Közlemények*, 21. évf. 2. sz. pp. 1–8. 2009. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2009_cikkek/Dudas_Zoltan.pdf
- [6] Fenyvesi Cs., Pokorádi L., „Üzemeltetési folyamat kockázatát befolyásoló tényezők elemzése,” *Repüléstudományi Közlemények*, 26. évf. 2. sz., pp. 232–246. 2014. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2014_cikkek/2014-2-20-0124_Fenyvesi-Cs-Pokoradi_L.pdf
- [7] International Civil Aviation Organization (ICAO), *DOC 9859, Safety Management System*. Fourth Edition, Montreal, 2018.

⁷ System-Theory Accident Model and Process (STAMP).

⁸ System-Theory Process Analysis (STPA).

⁹ Causal Analysis based on System-Theory (CAST).

¹⁰ Functional Resonance Accident Model ~ FRAM.

- [8] Jackovics P., „Kötéltechnikai mentés során bekövetkezett baleset elemzése Csokornyakkendő analízissel”, in *Proceedings of 8th International Engineering Symposium at Bánki*, Budapest, Óbudai Egyetem, pp. 1–13. 2016. Online: <http://real.mtak.hu/42378/1/35.pdf>
- [9] M. Jemielniak, „A Study of Aviation Incidents Involving Military Aircraft”, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 21. évf. 1. sz. pp. 127–136. 2014. Online: <https://doi.org/10.5604/12314005.1133886>
- [10] Leskó Gy., „A civil kockázat-elemzési módszerek lehetőségei a katonai műveletek környezeti hatásértékelése során”, *Hadmérnök*, 14. évf. 2. sz. pp. 335–346. 2019. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.2.28>
- [11] N. G. Leveson, *Shortcomings of the Bow Tie and Other Safety Tools Based on Linear Causality*. Nancy's white papers, MIT Partnership for System Approaches to Safety and Security (PSASS), Massachusetts Institute of Technology, 2019. Online: <http://sunnyday.mit.edu/Bow-tie-final.pdf>
- [12] Megyer L., Farkas T., „Kockázatkezelés, tudomány vagy kuruzslás?” *Hadmérnök*, 12. évf. 3. sz. pp. 198–209. 2017. Online: http://hadmernok.hu/173_18_megyeri.pdf
- [13] NATO, *NATO Standard AFSP-01 Aviation Safety Ed. C, Ver. 1*. (STANAG 7160 Ed. 5.), Bruxelles, NATO Standardization Office (NSO), 2023.
- [14] C. V. Pietreanu, V. M. Iordache, „Qualitative and Quantitative Assessment of Risks Associated to HELIOS HP 03-2 Unmanned Aerial Vehicle Developed by NASA”, *Scientific Bulletin*, Series D: Mechanical Engineering, 80. évf. 2. sz. pp. 39–50. Online: www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/reza7f_822664.pdf
- [15] Pokorádi L., „Kockázatkezelés a repülésben”, *Repüléstudományi Közlemények*, 11. évf. 26. sz. pp. 65–77. 1999. Online: www.epa.hu/02600/02694/00023/pdf/EPA02694_rtk_1999_01_065-077.pdf
- [16] Rohács J., Horváth Zs. Cs., „A repülésbiztonság problémája és fejlesztési elvei”, *Repüléstudományi Közlemények*, 25. évf. 3. sz. pp. 39–55. 2013. Online: www.repules-tudomany.hu/folyoirat/2013_3/2013-3-05-Rohacs_J-Horvath_Zs-Cs.pdf
- [17] Vas T., *A Magyar Honvédség mobil légiforgalom szervezési komponens kialakításának és alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata*. Doktori (PhD-) értekezés. Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, 2019. Online: <https://doi.org/10.17625/NKE.2019.032>

The Evolution of Risk Analysis in Aviation Safety I.

As many hazardous operations, aviation also can be carried out along acceptable and unacceptable (would be manageable) risks. The purpose of writing this series of articles is to introduce and review the risk analysis procedures that have emerged since the 1960s, their possible interdependence and their usefulness. The first part of the article series deals basically with the initial steps and linear risk analysis procedures. Describes the risk analysis and visualisation procedures that did not necessarily originate in aviation, but which, when transferred and applied to the field of aviation safety, contribute to enhancing aviation safety. The chosen research method primarily relied on processing domestic and foreign literature from the field of safety and risk assessment.

Keywords: *aviation, safety, risk assessment, risk management, fault tree, event tree, Ishikawa diagram, linear chain of fault event model*

Beller Balázs
vezető kiemelt főtiszt
HM Állami Légügyi Főosztály
Repülésbiztonsági és Repülőtérfelügyeleti
Osztály
balub77@gmail.com
orcid.org/0009-0009-6117-1026

Balázs Beller
Senior Executive Staff Officer
MoD State Aviation Department
Flight Safety and Airport Operations
Supervisory Division
balub77@gmail.com
orcid.org/0009-0009-6117-1026
