

Az elektromos meghajtású légi járművek repülésbiztonsági kihívásai

2020. május 18-án az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség (EASA) kiadta a Pipistrel Velis Electro elektromos meghajtású repülőgép típusbizonyítványát. Ez a világ első teljesen elektromos meghajtású repülőgépe, amelynek tanúsítása most megtörtént. A kétülékes pilótaképzésre szánt repülőgép piacra lépése mérföldkövet jelent mind a légi közlekedés, mind a tanúsító hatóságok számára, hiszen az új repülőgép úttörő módon készíti elő az utat a jövőbeli elektromos repülés számára, ahol a környezeti fenntarthatóság és az alacsony károsanyag-kibocsátás mellett a biztonság is döntő szerephez jut.¹

A repülőgép engedélyezése illeszkedik az Európai Bizottság 2050-ig szóló jövőképehez, a „Tiszta ég” koncepcióhoz. A cél a tiszta, innovatív és versenyképes technológiák fejlesztésének elősegítése, amelyek jelentős mértékben járulnak hozzá a légi közlekedés környezeti hatásainak csökkentéséhez. Kezdetben rövidebb hatótávolságú légi járművek megjelenésére lehet számítani, de az elektromos meghajtáshoz szükséges energia tárolására és leadására szolgáló technológiák fejlődésével mind hatótávolságban, mind az alkalmazási módok számában növekedés várható. Az előrejelzések optimisták. 2050-re a 40 és 100 fő szállítására alkalmas regionális utasszállító légi járművek megjelenése látszik reálisnak. A repülőtéri mozgáskor (guruláskor), felszálláskor és emelkedéskor tapasztalható nagy zaj és károsanyag-kibocsátás csökkentése érdekében hibrid rendszerek fejlesztése folyik, de a drónok alkalmazási körének kiszélesedése is reális iránynak látszik.² A közeli és távolabbi jövő várhatóan bővelkedik majd a technológiát érintő újításokban.

A repülésbiztonság elméleti megközelítése az új hajtásmóddal összefüggésben

A kockázat a repülés természetes velejárója, és nincs ez másként az elektromos meghajtású légi járművek esetén sem. A kockázat szintje a légi közlekedés állapotát mutatja, a veszélyforrások valószínűségének, illetve súlyosságának meghatározása útján, amely a repülésbiztonsági megelőzési tevékenység alapját a képezi. A kockázatkezelés célja, a tevékenység optimumának biztosítása a veszélyforrások azonosítása, értékelése és kezelése útján. Maga kockázatkezelés egy bizonyos valószínűséggel bekövetkező esemény káros következményének mérsékléséről szól, a kockázati elemek befolyásolásán

¹ Florian Richert: EASA grants Pipistrel the first type certification for an electric aircraft. *Intelligent Mobility Xperience*, 2020. 06. 11.

² *Safran and Aviation's Electric Future*. Paris Air Show Press Kit, 2019. 3–4.

keresztül. A dilemma a légi közlekedésben általában – új technológiák alkalmazásakor különösen – a repülés szolgáltatta haszon (anyagi vagy más jellegű) és a felmerülő kockázat egyensúlyának megtalálásáról szól. A kockázat elemeinek: az expozíciónak, a valószínűségnek, a súlyosságnak befolyásolására irányuló tevékenységek nem csak az olyan, nagy kockázatú rendszerekben van jelentősége, mint amilyen a légi közlekedés. Egyes ilyen elemek a hétköznapi életben is felbukkannak, egyszerű, a legtöbbször nem is tudatosított formában. Ezzel ellentétben a légi közlekedés, így az elektromos repülés területén, ahol a tevékenység biztonsága elsődleges tényező, világosan és határozottan jelenik meg az elvárás a tudatos, következetes megelőzési folyamatok működtetésére. A veszélyforrások minden tényezőcsoportból eredhetnek (humán, technikai, környezeti), de az elektromos meghajtás esetében leginkább az újfajta technológia, valamint az újfajta légi közlekedési eljárások és szabályok jelenthetnek kihívást. A kockázatkezelés itt is, akár a hagyományos meghajtású légijárművek esetében, a veszélyforrások felderítésével kezdődik.

Új technológiák bevezetésekor újfajta veszélyforrások jelennek meg, ezért a kockázat magasabb szintjével kell számolnunk. A kockázat szintjének megítélése egyszersmind megkívánja annak eldöntését is, hogy mit tartunk elfogadható és nem elfogadható, azaz nem kezelendő és kezelendő kockázatnak. A kockázat értékelésének alapja a fennálló és várható veszélyforrások felismerése és azonosítása. A veszélyforrások vizsgálata a teljes a légijármű-rendszer működéséhez, várható felhasználásához és feladataihoz kapcsolódva, az ok-okozati összefüggések feltárásával történik meg, figyelembe véve az okcsoportok közti kölcsönhatásokat és cirkularitást. A veszélyforrás ismeretében a repülésbiztonsági kockázat alapelemeinek, a kitettségnak (veszélyeztetettség, a súlyosság), valamint a veszélyforrás aktiválódási, vagyis bekövetkezési valószínűségének meghatározására van lehetőség. A kitettség idő és térbeli jellemzőkkel és erősséggel, a súlyosság pedig személyek, tárgyak sérülésének mértékével írató le. Ugyanezen logika érhető tetten a légi közlekedési események kategóriákba sorolásában. A kategóriákat a tárgyakban keletkező károsodás vagy az ember számára okozott sérülés mértéke határozza meg, míg a valószínűség (gyakoriság) a lehetséges kedvezőtlen kimenetekre utal. A kockázat mértékének megállapítása leggyakrabban ezen két elem kiszámításával valósul meg. A kockázatkezelési lépések végigvitele már a légi jármű tervezésének időszakában is célszerű, amikor a fedélzeti rendszereinek áttekintése integrált módon lehetséges. Az újfajta technológia felhasználásával kapcsolatos repülésbiztonsági elemzések párhuzamosan futtathatók a tervezés során, így az egyéb célkitűzésekkel való összhang biztosítható. A kockázatkezelés által megvalósuló biztonsági színvonal működtetési a hatékonyságban és a biztonságban mutatkozik meg.³

A légi közlekedésben kockázatbecslési módszerek segítik a pontos kockázat megítélését. A valószínűség meghatározása gyakorisági kategóriák, a súlyosság pedig súlyossági kategóriák alapján történik, lehetővé téve a veszélyforrás jelentette kockázat tényleges

³ Dudás Zoltán: Repülésbiztonsági kockázat, repülésbiztonsági felelősség. *Repüléstudományi Közlemények*, 21. (2009), 2. 209–216.

szintjének meghatározását. A kockázati szinteket a kockázatbecslési mátrix mutatja meg (1. táblázat).

1. táblázat: ICAO kockázatbecslési mátrix

Valószínűség 5–1 (gyakori–ritka)	Súlyosság A–E (katasztrofális–elhanyagolható)				
	A	B	C	D	E
5	<u>5A</u>	<u>5B</u>	<u>5C</u>	5D	5E
4	<u>4A</u>	<u>4B</u>	4C	4D	4E
3	<u>3A</u>	3B	3C	3D	3E
2	2A	2B	2C	2D	2E
1	1A	1B	1C	1D	1E

Forrás: Safety Management Manual ICAO. Doc 9859.

A mátrix színekkel jelöli meg a kockázat szintjét, egyszersmind utal a kockázatkezelési intézkedések szükségszerűségére és azok sürgősségére is. A kockázat mértéke vagy elfogadható, beavatkozást nem igényel, vagy a kezelendő, így valamilyen kockázatcsökkentési eljárás elindítása indokolt. A kockázat csökkentésekor annak 3 összetevőjét vagyunk képesek befolyásolni. A kitettséget, a valószínűséget vagy a súlyosságot tudjuk mérsékelni, a veszélyforrás minőségének megfelelően.

A mérséklés eszközeinek meghatározásakor a módszerek olyan kombinációit érdemes kialakítani, hogy minél több, lehetőleg mindhárom összetevő megváltoztatását célozzák meg.⁴ A kockázat meghatározásakor nem hagyható figyelmen kívül az sem, hogy a kockázat teljes egészében nem tüntethető el, mivel a fennálló veszélyforrások között lehetnek ismeretlenek is, amelyek az újfajta technológia bevezetésekor, alkalmazási tapasztalatok hiányában, még nem mutatkoztak meg. Tekintve, hogy a veszélyforrások egymással kombinálódnak, és kölcsönös egymásra hatás útján okoznak légi közlekedési eseményeket, a kockázat meghatározása magában hordoz bizonytalanságokat is. Éppen ezért nem lehetünk tökéletesen biztosak sem a veszélyforrások minőségében, sem azok valószínűségében. Tapasztalatok hiányában nem tudjuk egyértelműen megmondani, mekkora eséllyel aktivizálódnak az új technológiához kapcsolódó újszerű veszélyforrások, így mindenképpen megnövekedett fennmaradó kockázattal érdemes számolnunk.

Az újfajta kockázatok megítélésékor két alapvető hiba jellemző: az alá- és fölébecslés hibája. Az alábecslés az új technológiák, mint az elektromos meghajtás, esetében is jellemző lehet, hiszen a fennmaradó kockázat mértéke az üzemeltetési tapasztalatok hiányában mindenképpen magasabb, mint a hagyományos megoldások esetében. A túlbecslés az alábecslés ellentéte, tehát eltúlzott kockázati érzékenységre vezethet, de a már említett hatások miatt ebben az esetben kevésbé tűnik hibának. Alapvetően mindkét becslési hiba az elfogadható biztonsági szint meghatározásához kapcsolódik, és a veszélyforrás tudatossági szintjére is utal. A két hibamód közti különbség a statisztikai hipotézisvizsgálatokban felmerülő hibatípusokhoz hasonló. A hipotézisvizsgálatban

⁴ Dudás Zoltán: Basics of flight safety risk. *Hadmérnök*, 2. (2007), 1. 144–150.

alapvetően két típusú hiba kizárására törekszünk. Elsősorban azt a felállást szeretnénk elkerülni, amikor valamilyen veszélyforrás meglétét és valószínűségét feltételezzük, tehát kockázatot észlelünk, ám a feltevésünk nem igazolódik be. Ebben az esetben feleslegesen lassítjuk az új technológia bevezetését, tehát „farkast kiáltanánk” olyan helyzetben, amikor kockázati szempontból nem indokolt. Hagyományos technológiák kapcsán a túlbecslés hibája fennakadáshoz, profitkieséshez vezethet. Fontos azonban megjegyezni, hogy a kockázat ekkor pontosan kiszámolt, korrigálható érték, amely magában hordozza a kockázatmegállapítás óvatosságra való törekvését is. A másik esetben, amikor a kockázatot alulbecsüljük, egy új technológiát úgy vezetünk be, hogy közben nem törekszünk a háttérben levő újfajta veszélyforrások teljes körének kielemezésére. Ebben az esetben a veszélyforrásról egyszerűen nem veszünk tudomást, tehát „homokba dugjuk a fejünket”.

Ez a kockázatbecslés folyamatában annyit jelent, hogy egyes veszélyforrásokat egyszerűen nem veszünk figyelembe. Tekintve, hogy az újszerű technológiák – mint az elektromos meghajtás is – fejlesztésekor és bevezetésekor a kockázat megállapítása eleve kisebb gyakorlati tapasztalati bázisra támaszkodik, ami eleve magasabb maradó kockázatot jelent, az alulbecslés hibája súlyosabb következményekkel járhat, mint a túlbecslés hibája. Szakmai szempontból természetesen az a helyes, ha a kockázattal a lehetőségek szerint tisztában vagyunk. Mivel a repülés biztonsága attól függ, hogy a kockázat szintje ismert-e, a kétfajta hiba közül az alulbecslés tűnik komolyabbnak.⁵ A légi közlekedés biztonságának garantálása tehát nem a kockázat- vagy veszélyforrás-nélküliséget jelenti, hanem az üzemeltetési optimum megtalálását. A folyamatos és biztonságos üzemeltetés időről időre nem várt események, balesetek, kisebb súlyú légi közlekedési események zavarják meg. Nem várt okok vezetnek nem várt következményekhez. A megelőzés célja az, hogy a lehetséges legkisebb számban történjenek ilyen nem várt események. Ennek elérése a megelőzés és védelem útján valósul meg. Előbbi a valószínűség mint kockázati elem csökkentésén múlik, míg utóbbi a káros következmény súlyosságának csökkentése által valósul meg.

Így a szabályozás, a képzés jelenti a megelőzést, a védelem pedig alapvetően az okosrendszerek bevezetését jelenti.⁶ A csökkentés általában valamilyen korlát (intézkedés) bevezetésével valósul meg. Ezek lehetnek fizikai korlátok, szimbolikus korlátok, funkcionális korlátok, eljárások. Az új technológiák bevezetésekor ezek szinte teljes repertoárja bevetethető, mert az újfajta kihívások komplexitása ezt általában megkívánja.

Repülésbiztonsági veszélyforrások a repülésbiztonságot leíró elméletek alapján

A repülésbiztonsági veszélyforrásokat számtalan leíró elmélet magyarázza. Ezek legtöbbször a repülés rendszerének elemei közt teremtet kapcsolatot, és leginkább

⁵ Dudás Zoltán: Repülésbiztonság emberi hiba nélkül? *Repüléstudományi Közlemények*, 29. (2017), 1. 75–81.

⁶ Erik Hollnagel: Risk + barriers = safety? *Safety Science*, 46. (2008), 2. 221–229.

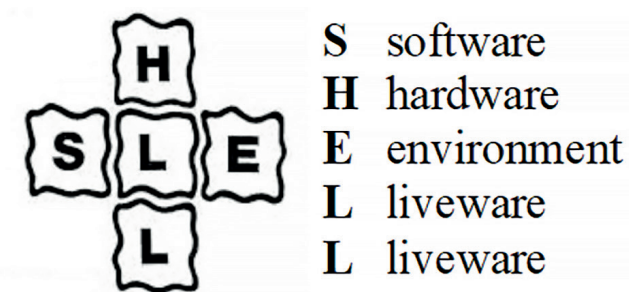
a rendszerelemekben magukban, illetőleg kapcsolódásaikban, hiányosságaikban keresi a légi közlekedési események okát. Tekintettel arra, hogy az emberi a légi közlekedési események kapcsán szinte mindig megjelenik, az elméletek egy része kiemelt figyelmet szentel az emberi hibának, illetőleg az azokat generáló egyéb tényezőknek. Az emberi hibát több elmélet magyarázza, mint például a széles körben ismert Reason-modell, az SRK-modell vagy a SHEL(L)-modell.⁷ A Reason-modell alap gondolata az, hogy egyfajta eseményvizsgálati kronológián keresztül az emberi hiba háttere okait kutatja, mind egyéni, mind a szervezeti jellemzők vonatkozásában. Az elmélet célja olyan mély összefüggések megtalálása, amelyek a hiba kialakulását lépésről lépésre tárják fel. Célja megtalálni azokat a tényezőket, amelyek a szervezeti kultúrában, szabályokban vagy más tényezőkben konzerválva előre kódolják az emberi hiba lehetőségét. A modell kevésbé foglalkozik a technológia kockázati hatásaival, bár a képzés és a szabályok mellett azt mégis védelmi tényezőnek tünteti fel, amennyiben képes az események káros hatásait csökkenteni.

Rasmussen az SRK-modelljében viselkedésalapú megközelítéssel, a kognitív lélektan eszköztárának felhasználásával vizsgálja az emberi hibát mint kockázatot előállító tényezőt. A vizsgálat fókuszában a döntéshozatal áll. Három szintet különböztet meg, a jártasság szintjét, a szabályok szintjét, valamint a tudás szintjét, amelyek mindegyike hibalehetőségeket hordoz. Az említett két elmélet áttételes módon felhasználható az elektromos meghajtás bevezetésével kapcsolatos emberi kockázatok kimutatására, de tekintettel az újfajta meghajtási mód technikai kockázatának súlyára, célszerűbb más elméleteket is megvizsgálnunk, alkalmasak-e ez utóbbi tényező körülírására.

Erre a feladatra az Edwards-féle SHEL(L)-modell tűnik alkalmazhatónak. Az elmélet több egyenrangú dimenzióban értelmeződik, ennél fogva a hagyományos EGK- (ember, gép, környezet) modell ikertestvére (1. ábra). Elemei: az emberi tényező (liveware), a szabályok és tudományos ismeretek (software), a földi és légi technikai rendszerek (hardware), valamint a fizikai és társadalmi környezet (*environment*). Az elmélet alapja az a gondolat, hogy a 4 elem kapcsolódásának és illeszkedésének minősége a teljes rendszer működési értékét és biztonságát meghatározza.⁸ Ez utóbbi oldaláról tekintve minden elem összes kapcsolódása elősegíti a rendszer egészének biztonságát. A modell az elemeket közt meghatározott kapcsolódási pontokat mutat be, de ezeken felül a célszerűen lehetséges kapcsolódásokat nemcsak az elemek között, hanem saját dimenziójukban, az elemek belső alrendszeri viszonyai szerint is értelmezi.

⁷ Dudás Zoltán: Repülésbiztonsági veszélyek és kockázatok. *Repüléstudományi Közlemények*, 15. (2003), sz. 185–194.

⁸ Elwyn Edwards: *Human factors in aviation. Introductory overview*. London, Academic Press Inc., 1988.



1. ábra: A SHEL(L)-modell

Forrás: Safety Management Manual ICAO. Doc 9859.

Így lehetséges például az L-L (ember-ember) és a L-E (ember-környezet) kapcsolódásokat vizsgálni, amelyek az emberi interakciók oldaláról is értelmet nyernek, a fedélzeti együttműködés vagy a szervezeten belüli szervezeti kulturális tényezőkkel összefüggésében. Bár a modell középpontjában az emberi elem áll, és a többi tényező is ezen keresztül nyer értelmezést, a többdimenziós szemléletben⁹ az emberen kívüli tényezők kapcsolódásai is értelmezhetők. Ezen a lehetőségen haladva az elektromos meghajtás biztonságra hatást gyakorló kapcsolódásai is megvizsgálhatók. Az itt értelmezhető dimenziók leginkább a H-E és H-S oda- és visszaható kapcsolataiban nyernek értelmet. Természetesen ebben az értelemben az E dimenzió, tehát a környezet mint természeti környezet jelenik meg, az S dimenziót pedig a legtágabb értelmezésben jeleníthetjük meg.

Az elektromos meghajtású repülést érintő repülésbiztonsági kihívások

Az elektromos repülés számos előnnyel kecsegtet. A bemutatott jövőkép 75%-kal csökkenő szén-dioxid-kibocsátást, 90%-kal csökkenő nitrogén-oxid-kibocsátást, valamint 65%-kal csökkenő zajkibocsátást ígérnek (SHEL[L]modell E dimenziója). Azonban nem gondolhatjuk, hogy ezek a kétségekívül pozitív változások az új hajtásmód terjedésével nem fogják megváltoztatni a repülés egészét, a repülésről való gondolkodásunkat vagy a repülési szabályokat és eljárásokat (SHEL[L]-modell S dimenziója). Az előnyök közé sorolhatjuk a csökkenő kibocsátás kedvező hatásait, de érdemes belegondolni abba is, milyen újfajta kockázatok teremődnek meg. Bizonyára senkinek sem lenne ellenvetése a repülőterek környezetében az elektromos vagy hibrid meghajtás használatával kapcsolatban. A zajcsökkentés érdekében alkalmazott meredek emelkedési profil elhagyásának valószínűleg a pilóták is örülnének. Ám gondolunk-e arra, hogy a madárütkezések száma megnőhetne-e ezeknek az előnynek a következményeként? A csendes és tiszta üzem

⁹ Dudás Zoltán: *A repülési biztonságkultúra fejlesztésének lehetőségei a Magyar Honvédség légierijénél, különös tekintettel az emberi tényező formálására*. PhD-értekezés. Budapest, ZMNE, 2007.

előnyei mellett gondolunk-e az akkumulátorok meghibásodásának drámai következményeire? Az energiatárolás és -kinyerés bizonytalansága esetén, vagy teljes rendszerleálláskor, lehetséges lesz-e siklásban biztonságosan leszállni az elektromos meghajtású repülőgépekkel? A kockázatkezelés alapszabálya, hogy nem csupán a fennmaradó kockázattal, de a kockázatcsökkentés után felmerülő újabb kockázattal és az új technológia jelentette kockázatokkal is érdemes számolni. Ha így teszünk, bizonyára nem esünk az alulbecslés hibájába.

Az elektromos energiaellátó rendszerek meghibásodása

Az elektromos rendszer mint fedélzeti kockázat vizsgálata nem új jelenség, már az 1980-as évek közepén folytak kutatások, amelyek a teljesen elektromos fedélzeti rendszerek meghibásodásának következményire figyelmeztettek, olyanokra, mint a teljes információvesztés vagy téves repülési adatok kijelzése. A térbeli helyzet, a repülési magasság és sebesség adatainak elvesztése vagy téves kijelzése kritikus helyzeteket állíthat elő, ezért a kutatók ezen rendszerek megtöbbszörözést és a hajózó személyzet együttműködésének átalakítását javasolták, mivel ezen paraméterek bármelyikének vagy mindegyikének elvesztése megakadályozná a repülőgép biztonságos repülését és leszállását.¹⁰ Hasonló problémát vetnek fel mai kutatások, például a *Fly-by-Wire* rendszerek üzemképtelenné válásával kapcsolatban. A rendszer bonyolultsága a jármű sajátos felépítésétől függ. Egyes légi járművek több motorjuk és légcsonkuk lévén összetettebb energiagazdálkodási rendszert igényelnek. Ezek bármely konfigurációja esetén a rendszer meghibásodása körülbelül egyenértékű az áramellátó rendszer meghibásodásának súlyosságával.¹¹

Az *International Center for Air Transportation* (ICAT) által publikált kutatás szerint¹² a repülőgépek és forgószárnyas járművek esetében a villamosenergia-rendszer meghibásodása nem feltétlenül jár katasztrofális következményekkel. A motor vagy a táplálás teljes meghibásodása esetén a járművek működőképesek maradhatnak, és átvihetők siklásba vagy autorotációba, ami lehetővé teszi a sikeres és biztonságos leszállást. Ez természetesen számos egyéb tényezőtől függ, például a légi jármű sebességétől, magasságától, tömegétől, szárnyjellemzőitől, a terep adottságaitól. A vészhelyzet megoldásának esélye e tényezőktől függ, vagyis attól, hogy az adott légi jármű olyan magasságon tartózkodik-e, ahol még biztonsággal siklásba vagy autorotációba vihető át. Siklásra vagy autorotációra alkalmatlan járművek esetében a légi jármű mentőernyőrendszer beépítését javasolják.

¹⁰ James J. Treacy: Flight Safety Issues of an All-Electric Aircraft. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, AES-20. (1984), 3. 227–233.

¹¹ Christofer Courtin – John R. Hansman: *Safety Considerations In Emerging Electric Aircraft Architectures*. Report No. ICAT-2018-07. 2018. 4–10.

¹² Courtin–Hansman (2018) i. m. 13.

Ebben az esetben a mentőernyőrendszer minimális kioldási magassága jelent választóvonalat a kényszerleszállás megvalósíthatósága vagy megvalósíthatatlansága között. Helikopterek esetében a fel- és leszállási eljárásokat úgy alakítják ki, hogy az autorotációba történő áttérés lehetséges legyen. Ezt az adott légjármű magasság-sebesség diagramja mutatja meg.

A multirotoros konfigurációk esetén a villamos energia ellátó rendszer meghibásodása bármilyen repülési magasságban katasztrofális következményekkel járhat. Merevszárnyú repülőgépeknél a kialakítás általában biztosítja a meghajtás nélküli siklás képességét, ezért az ilyen meghibásodás következményei kevésbé drámaiak.

Általánosságban elmondható, hogy a merevszárnyú légi járművek képesek gyorsan áttérni a siklásba, amennyiben ezt a magasság és a sebesség lehetővé teszi. Alacsonyabb magasságokhoz és nagyobb repülési magasságokhoz ennél fogva eltérő repülési profilok tartoznak, amelyek kockázati szintje is eltérő lehet. Ez felveti azt az érdekes kérdést, hogy egyes, magasabb kockázatú repülési profilok megengedhetők-e a kereskedelmi célú üzemeltetés során, ahol egyébként a meghajtásmódból fakadó csökkenetett kibocsátás előnyöket nyújthat.

2. táblázat: Kockázati kategóriák légi jármű konfiguráció és repülési magasság szerint

Vészhelyzet/ kockázat	Multirotoros légi- jármű	Többlégesavaros repülőgép	Helikopter (hagyomá- nyos elrendezés)	Merevszárnyú repü- lőgép (hagyományos elrendezés)
Akkumulátor túlmele- dése/	<u>magas</u>	<u>magas</u>	<u>magas</u>	<u>magas</u>
Meghajtás meghibásodása (kis/nagy magasságon)	<u>magas</u> / <u>magas</u>	<u>magas</u> /közepes	közepes/közepes	közepes/ közepes
Fly by wire meghibásodás	<u>magas</u>	<u>magas</u>	alacsony	alacsony
Teljes rendszerhiba	<u>magas</u>	<u>magas</u>	<u>magas</u>	<u>magas</u>
Madárütkezés	közepes	közepes	közepes	közepes

Forrás: Flavio Mendonca – Julius Keller – Yu Wang: Managing the risks: An analysis of bird strike reporting at Part 139 Airports in Indiana 2001–2014. *Journal of Air Transport Management*, 7. (2017), 1. 43–50.

Akkumulátor túlmelegedése

A légi járművekben a nagymértékű energia tárolására alkalmas akkumulátorok alkalmazása két kulcsfontosságú veszélyt hordoz: a túlmelegedést és a tárolt energia visszanyerhetőségének bizonytalanságát. Ezt rövidzárlat okozhatja, ami az akkumulátor hőmérsékletének gyors és ellenőrizetlen emelkedéséhez, az akkumulátorcellák felrobbanásához, végső soron fedélzeti tűz kialakulásához vezethet. Ez a veszély az összes járműcsoportot érinti (2. táblázat). A repülés közben kialakuló tűz vagy robbanás következményei drámaiak. A folyamat mérséklése a cellák fizikai kialakításával, egymástól való elszigetelésével lehetséges. Ez természetesen növeli az akkumulátorok – és így

a légi jármű – súlyát, illetve a súlypontot is megváltoztathatják. Éppen ezért, és az utasok védelmében is, célszerű a telepek olyan elhelyezése, amely kellő távolságot biztosít a cellák között, hogy túlmelegedésük esetén ne károsíthassák egymást, a repülőgép szerkezetét vagy az utasokat. A túlmelegedés jelentette kockázat csökkentésére hűtő-, illetve tűzoltó berendezések kifejlesztése is megoldást jelenthet.

Madárral való ütközés

A madárral való ütközés az egyetlen a bemutatott kockázatok közül, amely elfogadható kockázati szintet mutat. A jelenség jellege miatt a valószínűség alacsony szintű, tehát ritkán fordul elő, de következményei ennek ellenére súlyosak lehetnek. A madárral való ütközés károsíthatja a repülőgép szerkezetét, megrongálhatja a légsavarakat és kormányfelületeket, betörheti a fülke üvegezését. A Dolbeer-szabály¹³ szerint a madárral való találkozások 95%-a 4500 láb alatti magasságon történik, ezen belül pedig a földfelszíntől 500 lábig terjedő tartományban a leggyakoribb. Tekintve, hogy az elektromos meghajtású légi járművek leginkább ezt a magasságtartományt használják, és a kisebb zajkibocsátás miatt nem indokolt a meredek felszállási profil alkalmazása, a madárütközések valószínűsége várhatóan magasabb lesz, mint a hagyományos eszközök esetében.

A modern légi járművek többrotoros vagy több légsavaros kialakítása e veszélyforrás szempontjából előny és hátrány is lehet.

Egyfelől nagyobb károsítási felületet biztosít a madár becsapódásakor, ugyanakkor a meghajtórendszer többszörözött elemei képesek lehetnek egymás feladatait átvenni egy-egy rotor vagy légsavar meghibásodása esetén, feltéve, hogy a légi jármű stabilitása a fedélzeti támogató rendszerek segítségével fenntartható marad.

Összegzés

Az elektromos meghajtású légi jármű konfigurációk jelentős előnyöket szolgáltatnak a csökkenett zaj- és károsanyag-kibocsátás szempontjából, ugyanakkor üzemeltetésük egy sor kérdést és biztonsági aggályt vet fel. A meghajtási mód mögötti technológia gyorsan és folyamatosan fejlődik, így csupán a közeli jövő kihívásai jósolhatók meg. A repülési rendszert leíró modellek évtizedek óta az emberi tényező szempontjából tekintenek a repülésbiztonságra, de a forradalmian új meghajtási mód terjedésével érdemes újra a technikai oldal felé fordulni. A bemutatott leíró modellek közül csupán egy alkalmas – korlátozott módon – az elektromos repülés rendszerének értelmezésére, így a jövőben új modellekre, elméletekre lesz szükség. A kihívás komoly, mert a tárgyalt meghajtási rendszer alapjaiban változtathatja meg a légi járművek alkalmazását. További kutatást igényel például annak a kérdésnek a megválaszolása, hogy a kis magasságú repülési

¹³ Courtin–Hansman (2018) i. m.

profilok milyen mértékben növelik a kockázatot, és hogy ez a kockázat miként befolyásolhatja a kereskedelmi repülés megbízhatóságát. Előttünk áll az a kérdés is, hogyan lehet megtalálni a tartós és megbízható fedélzeti villamosenergia-tárolás módját a szerkezeti tömeg növelése nélkül. Nem ismert még az sem, mennyire lesznek megbízhatók azok a pilóta vezette és pilótanélküli légi járművek, amelyek már az új hajtásmódnak megfelelő, szokatlan, többrotoros, többlégcsavaros kialakításban épülnek, és így várhatóan összetettebbek és talán a meghibásodásra hajlamosabbak lesznek, mint a hagyományos eszközök. Néhány kihívás azonban már most egyértelmű. Az akkumulátorok biztonsága, a meghajtórendszer megbízhatósága és a madárral ütközés problémája már a vizsgálatok fókuszába került. Az első teljesen elektromos meghajtású repülőgép engedélyezése pedig csupán az első lépés az új szabálykörnyezet megalkotása felé.

Felhasznált irodalom

- Courtin, Christofer – Hansman, R. John: *Safety Considerations In Emerging Electric Aircraft Architectures*. Report No. ICAT-2018-07. 2018.
- Dudás Zoltán: *A repülési biztonságkultúra fejlesztésének lehetőségei a Magyar Honvédség légierijénél, különös tekintettel az emberi tényező formálására*. PhD-értekezés. Budapest, ZMNE, 2007.
- Dudás Zoltán: Basics of flight safety risk. *Hadmérnök*, 2. (2007), 1. 144–150.
- Dudás Zoltán: Repülésbiztonság emberi hiba nélkül? *Repüléstudományi Közlemények*, 29. (2017), 1. 75–81.
- Dudás Zoltán: Repülésbiztonsági kockázat, repülésbiztonsági felelősség. *Repüléstudományi Közlemények*, 21. (2009), 2. 209–216.
- Dudás Zoltán: Repülésbiztonsági veszélyek és kockázatok. *Repüléstudományi Közlemények*, 15. (2003), ksz. 185–194.
- Edwards, Elwyn: *Human factors in aviation. Introductory overview*. London, Academic Press Inc., 1988.
- Hollnagel, Erik: Risk + barriers = safety? *Safety Science*, 46. (2008), 2. 221–229. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.06.028>
- Mendonca, Flavio – Keller, Julius – Wang, Yu: Managing the risks: An analysis of bird strike reporting at Part 139 Airports in Indiana 2001–2014. *Journal of Air Transport Management*, 7. (2017), 1. 43–50.
- Richert, Florian: EASA grants Pipistrel the first type certification for an electric aircraft. *Intelligent Mobility Xperience*, 2020. 06. 11.
- Safety Management Manual ICAO. Doc 9859.
- Safran and Aviation's Electric Future. Paris Air Show Press Kit, 2019. 3–4.
- Treacy, James J.: Flight Safety Issues of an All-Electric Aircraft. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, AES-20. (1984), 3. 227–233. Online: <https://doi.org/10.1109/taes.1984.310504>