

drohacs_112_23

Magyar Tudományos Akadémia
Műszaki Tudományok Osztálya (VI.)
Közlekedéstudományi és Járműtudományi Bizottságában

Deskriptív és fenntartható technológiák, konceptiók fejlesztése a repülésben

Development of Disruptive and Sustainable Technologies, Concepts for Aviation

MTA doktori értekezés tézislevele

Dr. Rohács Dániel

a Magyar Tudományos Akadémia doktora címére pályázó, tanszékvezető egyetemi docens

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

Budapest, 2023

Tartalom

1. Aktualitás - motiváció – célkitűzés	2
1.1. A témakör aktualitása	2
1.2. Személyes motiváció	2
1.3. Az értekezés célja	4
2. Módszertan.....	5
2.1. Általános megközelítés és újdonságtartalom.....	5
2.2. Az értekezés tartalma – feladatok, eredmények	6
3. Tudományos eredmények	10
4. Irodalom	16

1. Aktualitás - motiváció – célkitűzés

1.1. A témakör aktualitása

A légiközlekedés technológiai fejlődése eddig két szakaszon, ún. piaci penetrációs „S” görbén jutott túl: az első a belsőégésű motorok, míg a másodikat a gázturbinás hajtás bevezetése és alkalmazása jellemezte [1, 2, 3]. Jelenleg, a második görbe végénél, az aktuális technológiák továbbfejlesztése már csak marginális hozzáadott értéket képes adni, így az iparági stratégiai célok elérése érdekében a fejlesztések fókuszja a fenntartó innováció irányából eltolódott a **radikálisan új, ún. diszruptív technológiák** felé. Ezek - a gázturbina megjelenéséhez hasonlóan – „lebontják” a jelenleg alkalmazott megközelítéseket, koncepciókat, és új, jelentősen magasabb szintű, hatékonyabb rendszerek kialakulását célozzák. Iparági előrejelzések, stratégiai dokumentumok és roadmap-ek alapján [4, 5, 6], a következő 30 – 50 évet például az elektromos, hibrid hajtás, az alternatív tüzelőanyagok, a radikálisan új (úgy nevezett nem hagyományos formájú) repülőgépek, a légtérhasználat radikális és egységes átalakítása, az igény szerinti repülés működtetése, vagy a repülés közben változó formájú (morphing) szárnyak, gépek megjelenése határozhatja meg. A célok elérését számos kutatás-fejlesztési program támogatja [5, 6, 7], melyek **legnagyobb része a radikálisan új technológiák**, megoldások kutatására, fejlesztésére, alkalmazására és demonstrációjára van fordítva, mint például a Clean Sky és a SESAR [8, 9, 10] megaprojektek.

1.2. Személyes motiváció

Már hallgató koromban is a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem egyik kutatás-fejlesztési projektjében új mérési adatfeldolgozási módszerekkel foglalkoztam a Visteon vállalat számára. A francia nyelven, az INSA de Lyon egyetemen elkészült diplomamunkámban [RT1] a kisrepülőgépek fejlesztésével tevékenykedtem. Részben ennek köszönhetően, a EUROCONTROL PhD kutató-mérnöki pozíciót ajánlott a kisrepülőgépek forgalmának előrejelzése és integrálása témakörben. Ekkor bekapcsolódtam a SORBONNE (Párizs) EPHE Doktori Iskola munkájába, és több hónapot a PRINCETON Egyetemen voltam mint vendég PhD hallgató. Az angol nyelvű PhD disszertációt - a EUROCONTROL elvárásai

szerint - a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar, Kandó Kálmán Multidiszciplináris Tudományok Doktori Iskolában védtem meg summa cum laude [RT2] fokozattal. AZ EUROCONTROL munkatársaként kapcsolódtam be először egy EU által támogatott kutatási projektbe, az European Personal Air Transportation System"-be [RP2].

2007-től dolgozom a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, jelenleg a Repüléstudományi és Hajózási tanszék vezetőjeként. Közben széles körű szakmai vállalati tapasztalatokat is szereztem rövidebb, hosszabb időt eltöltve, mint az RDS-X ügyvezető igazgatója, a HungaroControl szakmai fejlesztési osztályvezetője, a Közlekedéstudományi Intézet tudományos ügyvezető-helyettese, a Magyarországi Drón Koalíció elnöke, illetve egy sor vállalat, szervezet tanácsadójaként.

A tudományos **munkám alapvetően a radikálisan új technológiák fejlesztése, és / vagy kiválasztása és alkalmazása témakörben teljesedett ki.** Közel 20 nemzetközi (EU által támogatott) és több jelentős hazai kutatás-fejlesztési projektben a kisrepülőgépek fejlesztésével foglalkoztam, többször munkacsoport vagy a magyar részvétel vezetőjeként. A radikálisan új technológiát, a mágneses levitációt alkalmazó GABRIEL - Integrated Ground and on-Board system for Support of the Aircraft Safe Take-off and Landing [RP12] esetében a projekt technikai menedzsereként. Munkáim közül a legfontosabbak: (i) az új légiforgalmi informatikai rendszer (SPACECOM) fejlesztése [RP1], (ii) a kisrepülőgép előrejelzését célzó EPATS projekt [RP2], (iii) a repülőgép leszállásokat biztonságosabbá tévő, a kisméretű UAV-dekétálásával foglalkozó SINBAD projekt [RP3, RP4, RP5], (iv) egy új kompozit kisrepülőgéphez köthető, a közlekedés-biztonsági innovációk előkészítésével és megvalósításával foglalkozó SafeFly projekt [RP6], (v) a kisrepülőgépek tervezésével, fejlesztésével a Corvus Racer 540 akrobatikus repülőgép formájában [11, RP7], (vi) a személyes repülés fejlesztését célzó PPLANE projekt [RP8], (vii) a UAV-k konfliktus detektálását elemző CDR, U [RP9] UAV conflict detection and resolution system development - preliminary investigation, LC-CDR projekt [RP10], (viii) a propulziós rendszer fejlesztésével foglalkozó ESPOSA projekt [RP11], (ix) a mágneses levitáció alkalmazását célzó Gabriel projekt [RP12 – RP16], (x) a kisrepülőgépek roadmapjét meghatározó SAT-Rdmp projekt [RP17, RP18], (xi) a SESAR megaprojekt keretében fejlesztett új légtér dinamikus szektorizáció validációs szimulációval foglalkozó INNOVATE projekt [RP19], (xii) a drón légiforgalomba integrálására alkalmas USIS projekt [RP20], (xiv) a sugárhajtású business repülőgépek, kisrepülőgépek előrejelzését célzó FORJET2035 [RP21], FORROT2035 [RP22], FORSAT2035 [RP23] projektek, (xv) a diszruptív technológiák kutatás-fejlesztésével foglalkozó IDEA-E projekt [RP24], (xvi) az emberi tényezők figyelembe vételével foglalkozó SafeMODE projekt [RP25], (xvii) a fenntartható, zöldebb légiközlekedés fejlesztését célzó GREAT projekt [RP26], valamint (xviii) az okos, multidiszciplináris, energiahasznosítási térkép fejlesztése projekt [RP27].

A hivatkozott projektek mindegyike teljesen új technológiák fejlesztésével, validálásával, potenciális gyakorlati alkalmazásával foglalkozott, ezért komplex elméleti kutatásokat és fejlesztéseket is végre kellett hajtani.

A nemzetközi projektekben összességében közel 100 külföldi intézménnyel, egyetemmel, kutatóhellyel, vállalkozással, és közvetlen mintegy 400 kutató-fejlesztővel dolgoztam együtt (csak az ESPOSA projektben 52 szervezet vett részt).

Nemzetközi szinten is a **legmagasabb szintű ágazati szervezetben az International Forum for Aviation Research (IFAR)** (irodalom) keretében is a jövő repülésének alapvető céljaival és fejlesztési lehetőségek összehangolásával, gyorsításával foglalkozom.

Hazai szinten számos fontos **iparági és vállalati fejlesztési stratégia elkészítésében** vettem részt, mint például a Magyarországi Légiközlekedési stratégia (2022), Magyarországi Drón Stratégia (2023), Nemzeti Hulladékgazdálkodási Stratégia (2020), a KTI tudományos stratégia (2022), számos további stratégiai munkacsoport mellett (pl. ITM Légiközlekedési és Repülőgépipari munkacsoport, ITM ultralight munkacsoport).

A projektek kutatás-fejlesztési eredmények összefoglalásaként állítottam össze a **habilitációm** 2021-ben [RT3]. Az anyagot továbbfejlesztve és a későbbi kutatásokat is figyelembe véve, végül a tevékenységemet ebben a tézisben foglaltam egységesnek tekinthető keretbe. A hivatkozott eljárások, modellek, megoldások mind olyanok, melyek kidolgozásában meghatározó szerepem volt.

A publikációs tevékenységem az MTMT adatbázisból levont értékelés alapján (2022.08.01.), többszörösen teljesíti a minimum követelményeket. Az adatbázisban a nevem alatt összesen 140, közlemény szerepel. Közülük 26 impakt faktoros folyóiratban megjelent cikk, közöttük kettő egyszerzős (miközben eddig négy doktoranduszom védte meg a PhD disszertációját). Publikációs tevékenység Q pontszáma: 48,315, (teljes impakt faktor: 103,514, relatív impakt faktor: 39,994. Az ismert hivatkozások száma, I szám: 469, összes idézés 678. A WOS szintű független idézések száma 205, H index 14.

1.3. Az értekezés célja

*A **tézis általános célja** a diszruptív és fenntartható repülés fejlesztési folyamatainak támogatása adekvát modellezési technikákkal, gyakorlatokkal és filozófiával, ezen belül*

- (i) a diszruptív technológia fejlesztésnek és az általános innovációs folyamatnak a modellezése (a jövő repülésének fejlesztésének általános modellje, fejlett igény modellezéssel),
- (ii) a jövő technológiájának a fejlesztése és alkalmazása (benne a fejlett és radikálisan új technológiák azonosításával és kiválasztásával), és
- (iii) komplex értékelési, elemzési módszertan és az azt támogató filozófiai keret kifejlesztése (benne pl. a teljes hatásanalízissel, energetikai értékeléssel, fejlett biztonsági és védelmi filozófiával).

*A **tézis és a kutatások hipotézise**, hogy a fejlett modellezési eljárásokkal, folyamatokkal, filozófiával, keretrendszerrel **támogatható a diszruptív technológiafejlesztés**, ami jelentős mértékben hozzájárul ahhoz, hogy a légiközlekedési ipar elérje az ágazati stratégiai dokumentumokban kijelölt kihívó célokat, társadalmi igényeket.*

*A **szerző eredményei** hozzájárulnak a jövő repülési ágazát fejlesztését támogató diszruptív technológiáinak és megoldásainak a létrehozásához, vizsgálatához, teszteléséhez és implementálásához. Ezen vizsgálatok együttesen elvezettek a diszruptív technológiák fejlesztését meghatározó alábbi elvek megfogalmazásához:*

- a jövő repülésének a fejlesztéséhez szükséges a radikálisan új, megjelenő és jövő technológiáinak a bevezetését leíró *precízebb modellezés*,
- a hosszabb távú előrejelzések hatékonyságát növelheti az *innováció diffúziós elmélet* alkalmazása,
- a diszruptív technológiák fejlesztéséhez un. *out-of-the-box koncepció alkotás*, és a *komplex technológia kiválasztás, elemzés, értékelés* szükséges,
- az új diszruptív technológiák és megoldások (mint a drónok) integrálása a jövő közlekedési, szállítási rendszerébe *új megközelítést igényel* (az üzleti modelltől a kapcsolt más közlekedési eszközökkel való interoperabilitásig),
- a diszruptív technológiák fejlesztése *új támogatási keretet (biztonsági és védelmi) filozófiát és új hatásértékelési módszereket igényelnek* a műszaki, nem-technológiai,

finanszírozási és szabályozási sajátosságok alapján (és teljes élettartamciklusra vonatkoztatva).

A kidolgozott módszerek, eljárások *validáltak és demonstrálva* lettek számos hazai és nemzetközi kutatás-fejlesztési projektben. Az eredmények egyértelműen bizonyítják, hogy a kidolgozott módszerek a szakirodalomban megjelenő eljárásokhoz *képest magasabb hozzáadott értéket generálnak, és jelentős támogatást adnak* a diszruptív technológiafejlesztés területén.

2. Módszertan

2.1. Általános megközelítés és újdonságtartalom

A tézis alapvetően a *diszruptív technológiafejlesztés teljes folyamatával foglalkozik*, magába foglalva (i) az általános innovációs folyamatnak és az adott technológia iránti felhasználói igény előrejelzést, (ii) a diszruptív technológiák azonosítását, fejlesztését és alkalmazását, valamint (iii) a komplex értékelési, elemzési módszertant és a technológiát támogató keretrendszer kifejlesztését.

Nemzetközi szintű újdonság a *diszruptív technológiák előrejelzésére* alkotott eljárás, ami az egyszerű társadalmi-gazdasági metodikák helyett egy Markov folyamattal approximálja az iparági stratégiai elképzeléseket, valós piaci penetrációt leíró S-görbe használata mellett.

Úttörő a tézisben ismertetett *technológia azonosítás, elemzés, kiválasztás és alkalmazás* célra kifejlesztett többkritériumos döntéshozatali módszertan, ami az általánosan használt műszaki, gazdasági elemzéseket kiegészítve, hatékonyabban képes azonosítani a legideálisabb alternatívát, a komplex teljes-élettartam alapú hatásvizsgálat, a szabályozói keretrendszer elemzés, valamint az iparági szereplők véleménye és a társadalmi elvárások alapján. A módszertant több k+f projektben alkalmaztam, pl. a GABRIEL EU-s projektben a világon elsőként fejlesztettem, és kisméretű modellen validáltam a polgári repülőgépek mágneses levitációval támogatott fel – és leszállási folyamatát. Beintegráltam a repülőgépek tömeg egyensúlyon alapuló koncepcionális tervezési módszertanába egy energiaegyensúly eljárást a diszruptív új (elektromos, hibrid) meghajtások hatékony és fizikailag realizálható alkalmazása érdekében. Mindemellett számos *diszruptív technológiafejlesztést* hajtottam végre a drónok területén, például a forgalmi integrációhoz szükséges konfliktus management rendszer vonatkozásában, ami világszinten is új megközelítésben a légi és földi járművek konfliktusait egyszerre képes kezelni. Az eredményeket számos alkalommal demonstráltam a ZalaZone próbapályán valós drón és személygépjármű vonatkozásában.

A diszruptív technológiák valós *hatásvizsgálatához* teljes élettartam alapú megközelítést alkalmaztam, és több nívónak számító - komplex externáliákat is figyelembe vevő (pl. alapanyag rendelkezésre állása, társadalmi elvárások) - új indexet vezettem be. Bevezettem a *támogató keretrendszer szemléletet*, mely alkalmazásához egy új modellt alkottam a felhasználók, operátorok, pilóták, légiforgalmi irányítók szubjektív döntéshozatalára, a biztonságos működési, operátori környezet kifejlesztésére. Ez utóbbi a szakirodalomban használt egyéb eljárásokhoz képest jelentősen több információ alapján modellezi az emberi tényezőket, és döntési folyamatokat, melyek így realisztikusabb képet adnak arról, hogyan és mivel érdemes a diszruptív technológiai fejlesztéseket támogatni.

2.2. Az értekezés tartalma – feladatok, eredmények

A tézis a bevezetés és az összefoglaló mellett 3 fejezetet tartalmaz. Az alfejezetek egységesen formában foglalkoznak a vizsgált feladatokkal: probléma, alapvető elvek, megoldás, alkalmazhatóság, példák, következtetések.

Az első lényegi fejezet a jövő repülését meghatározó diszruptív technológiák fejlesztési körülményeit vizsgálja. Az első alapeladat egy általános modell kidolgozása a jövő repülés fejlesztési folyamatának vizsgálatára. A feladatot a stratégiai fejlesztési célok függvényében [5, 7, 12], többnyire azok teljesítéseként elemzik, scenáriókat meghatározva és az igények fejlett előrejelzési modelljeit alkalmazva [13, 14, 15]. Többnyire kevésbé számolnak a radikálisan új technológiák megjelenésével, mint pl. a biomimicry [16], a morphing [17], mikro-elektromechanikai rendszerek [18] alkalmazásával. Feltárva, hogy a folyamat függ az elérhető természeti erőforrásoktól, a tudományos és technológiai előrehaladástól, a gazdaság és a társadalom igényeitől és az alkalmazott szabályozási stratégiától, a fejlesztési / fejlődési folyamat egy irányított sztochasztikus folyamatként fogható fel. A javasolt megoldás egy olyan Markov modell alkalmazása, mely egy erre a célra kialakított index-el (általánosított indikátorral, azok kombinációjával) és az átmeneti mátrix elemeinek rendszeres időközönkénti becslésével közelíti a jövő repülés fejlesztési folyamatát. A javasolt megoldás alkalmazhatóságát a Gabriel projekt [RI2, RP12] alkalmazási előrejelzése [19], valamint a Covid kereskedelmi repülésre gyakorolt hatásának leírásával bizonyítottam.

A fejezet másik feladata az igények előrejelzésére alkalmas modellek fejlesztése és alkalmazása. A probléma elvileg megoldható különböző regressziós modellekkel, vagy az utazási módok közötti igények elosztásával [RP18], gravitációs modellek alkalmazásával [20], azonban a diszruptív technológiák vonatkozásában ezen általános eljárások nem használhatóak, mert a legfontosabb befolyásoló tényezőkről nincs múltban megfigyelt adat [21]. Az első igénymodelleket a EUROCONTROL-nál dolgoztam ki [RT2], és később jó néhány projektben, mint a Sinbad [RP3] Esposa [RP11], SAT-Rdmp [RP17, RP18] alkalmaztam. Végül a Clean Sky 2 megaprojekt keretében kidolgozott Forsat, Forrot, Forjet projekteben [RP21, RP22, RP23] kifejlesztettem egy ötlépéses, előrejelzési modellt. A modell legfontosabb újdonságai: (i) indirekt alkalmazása az elérhető szociális, gazdasági szabályozási, indikátoroknak, (ii) technológiai dummik és a gazdasági ciklusok felhasználása, (iii) az adatforrásokban (EU NUTS-2 -ben) hiányzó adatok analóg pótlása, javítása, (iv) hosszútávú előrejelzésekben S - görbére alapozott modell (Gömpertz) alkalmazása [RC18, RC19]. A kidolgozott eljárást doktori értekezésben, ahhoz kapcsolódó cikkben [RI11], és a jelenleg futó megújuló energia projekt [RP27] keretében is felhasználtuk.

A második tartalmi fejezet (a tézisben a 3. fejezet) a diszruptív és fenttartható technológiák fejlesztését és alkalmazását tárgyalja. Az első feladat: a diszruptív technológiák és koncepciók azonosítása, kiválasztása, elemzése. A szakirodalomban számos cikk, tanulmány [22, 23] foglalkozik a kérdéskörrel, bár többnyire csak a teljes témakör egyes részeivel. Talán a legjobb módszertant Kirby [24, 25] adta meg, szintetizálva a legtöbb hasznos eljárást, mint a technológiai impact, a technológia readiness, a technológia kompaktibilitás, morfológiai mátrix, multi-fizikai modellezés, Monte-Carlo szimuláció, többszemponútú döntések, döntési mátrix, repülés optimalás, repülőgép teljes élettartam ciklus analízis. Ezen eljárások azonban a mágneses levitáció alkalmazási koncepciójának kifejlesztéséhez (a repülőgépek le és felszállási folyamatának támogatására [RI2, RP12]) nem voltak elégségesek, alapvetően a diszruptív technológiákat leíró információk hiánya miatt. Ezért kidolgoztam és alkalmaztunk egy új

eljárást ezen technológiák kiválasztására, mely a többkritériumos döntésekre épül, de a kritériumok közt az általános, az adott feladatban specifikus és a lehetséges összehasonlító kritériumok is megjelennek kombinálva egy széleskörű multi-diszciplináris szimulációs eljárással. A kidolgozott módszert elsőként a Gabriel projektben 15 alternatív koncepció és 7 mágneses levitáció alkalmazási lehetőségének elemzésére használtam [RI2, RP14, RP15], majd később az IDEA-E [RP24] projektben a repülőgépek koncepcionális tervezési módszertanának a továbbfejlesztésekor [RI10, RF6], valamint egy, a megújuló energiaforrásokhoz köthető összehasonlító vizsgálatban [RP27]. Általánosabban, széles körben foglalkoztam a diszruptív megoldások, technológiák fejlesztésével, alkalmazva azokat pl. a mérés technikában [RI25] vagy a fejlesztési folyamatokban megfigyelhető változások feltárására [RC9].

Az adott fejezet második feladatában az un. out-of-the-box koncepció alkalmazási lehetőségeit mutattam be a Gabriel project fejlesztése alapján. Az EU FP7 L1 Gabriel projekt [26, RF3, RI1, RI2, RP12, RP13, RP14] a világon elsőként elemezte a mágneses levitáció alkalmazhatóságát a polgári repüléshez köthető légijárművek fel – és leszállási folyamatainak támogatására. A projekt kidolgozásakor tucatnyi radikálisan új megoldást kellett kialakítani, kifejleszteni kidolgozni és alkalmazni, például az alábbiak vonatkozásában: (i) az utasok által elviselt maximális gyorsulást alkalmazó felszállási eljárást, (ii) a nem hagyományos felszállási megoldást, (iii) a maglev pályára történő precíziós leszállási rendszert, vagy (iv) a meghibásodásakor végrehajtandó vészleszállási eljárást. A kifejlesztett rendszereket laboratóriumi tesztpadon és kisméretű valós repülőmodellekkel is validáltam [RF4].

További diszruptív technológiafejlesztés a tézis 3.3. pontjában taglalt elektromos és hibrid repülőgépek koncepcionális tervezése. Ezen területen a legfontosabb problémák, hogy (i) az elektromos akkumulátorok fajlagos energiája (kWh/kg) alacsony, 1 kg kerozinból hasznosított energiamennyiséggel egyenértékűen felhasználható energiamennyiség csak 10 – 12 kg elektromos akkumulátorcsomagban tárolható [RI10, RF6, RC15, RC16], (ii) a tüzelőanyaggal szemben az energiahordozó üzemeltetés közben nem ég el, folyamatos terhet jelent, ami összességében vagy a hasznos terhet csökkenti, vagy a légijármű újratervezését jelenti (pl. nagyobb szárnyfelület, vagy hajtómű teljesítmény). Másik sajátosság, hogy a repülőgépek koncepcionális tervezése, mely során kialakul a gép formája, alapvető aerodinamikai és repülési tulajdonságai, mintegy 50 éve szinte változatlan elvekre, a tömegegyensúlyra épül [27 - 30]. Ezt használják a legújabb kutatás-fejlesztések is [31 – 38] feltételezve, hogy az elektromos akkumulátorok fajlagos energia értéke pár éven belül 2 -3 szorosára növekszik. A radikálisan új technológiák fejlesztésében és az eredeti (out-of-the-box) gondolkodásmód alkalmazásában szerzett tapasztalatainknak megfelelően elemeztük [RP24] a koncepcionális tervezési eljárásokat, lehetőségeket. Ezek alapján kidolgoztam egy olyan tervezési módszertant, mely a tömegegyensúly mellett az energia egyensúlyt is bevezeti a koncepcionális tervezésbe [RI10, RF6]. Az energia egyensúly az egyes repülési fázisok (gurulás, felszállás, emelkedés, utazó üzemmód, siklás, megközelítés, leszállás) során felhasznált relatív energiamennyiségek összegére épül. A tervezés továbbá új korlátozó feltételek bevezetésével – mint az akkumulátor tömegarányának maximálása – is javítani kell. Az eljárást kisrepülőgép és pilóta nélküli kisméretű repülőgép koncepcionális tervezésére alkalmaztam. A tervezési eredmények azt mutatják, hogy az új koncepcionális tervezési eljárás alkalmazásával a mai akkumulátor technológia felhasználásával is megfelelő repülési tulajdonságú gépek készíthetők [RI10, RF6, RC15, RC16].

A tézis diszruptív technológiafejlesztési fejezete külön foglalkozik a drónok integrálásával a városi forgalomba. Az előrejelzések szerint [39], Magyarországon 2025-re a drón repülések száma el fogja érni a napi 27 ezret, ami 72 milliárd forintot jelenthet. A nemzetközi folyamatokat követve tehát foglalkozni érdemes a drónok repülésének a szabályozásával, a légiközlekedésbe és különösen a városi közlekedésbe integrálásával. Nemzetközi szinten a

konfliktus detektálás és menedzsment, valamint a városi forgalmi rend kialakítása áll a kutatások fókuszában [40 – 42]. A biztonságos megoldási lehetőségeket Szingapúrban demonstrációs projektben bizonyították a Szingapúri Nemzeti Egyetem és az Airbus irányításával [41]. A kérdéskörrel 2004 óta foglalkozom, elsőként a drónrepülések okozta veszélyek felmérésével a SINBAD [RP3 RP5] projekt keretében. Később számos módszertant és rendszert dolgoztam ki a drónok konfliktus detektálás és management területén [RP1, RC4, RC6, RP20]. Eredményeim egy része beépült az általam vezetett DroneMotive drón kompetencia központ és a Magyarországi Drón Stratégia dokumentumaiba. Kutatásaim alapvetően három irányban érték el jelentős eredményeket: (i) konfliktus detektálás és menedzsment [RC4, RC6, RP9, RP10]: unikális módon nemcsak a drónok, de a drónok és földi járművek vonatkozásában (a ZalaZone próbapályán demonstrálva) [RI14], (ii) Markov modellre épülő drón forgalom szervezési, követés modell [RI13, RC17, RC 21], és (iii) drónok városi környezetbe integrálásához szükséges koncepciók, rendszerek kidolgozása [RI7, RC21] (pl. új légtér tervezési eljárások [RI7, RI13]). A vizsgálatok, a kutatás-fejlesztések természetesen kapcsolódnak az okos város, okos közlekedés fejlesztéshez [RK6, RK7], drónok, pilóta nélküli eszközök működtetéséhez [RI26]. A drón üzemeltetés minőségének a javítása érdekében speciális vizsgálatokat is végeztem, pl. kommunikáció szerepének az értékelésére [RI15].

A diszruptív technológiák jellegüknél fogva kimagasló hozzáadott értéket képesek generálni, azonban fejlesztésük jelentős pénzügyi, technológiai, társadalmi kockázattal is jár. Ennek okán, a tézis külön fejezetben taglalja a diszruptív technológiák értékelését, és a bevezetésük facilitását szolgáló támogató keretrendszer legfontosabb aspektusait. A fejezet első alpontjában a teljes hatás elemzésére és értékelésére bevezetett indexeket határoztam meg. A teljes élettartam ciklus hatáselemzésekre már korábban is kidolgoztak jól alkalmazható eljárásokat az emisszió [43, 44], a költség számítására [45 – 48], az externáliák figyelembevételére [49, 50], a közlekedés externáliái és a gazdaság, környezetterhelés kapcsolatára [51 – 53]. Ugyanakkor ezek az aggregált értékelő eljárások mégsem adtak meg egy általánosan alkalmazható jellemző indexet. A fenntarthatóság elvének [54], fejlesztési folyamatok előrehaladásának értékelésére alkalmazható indikátorok és indexek [55 – 58] és a technológiai vezérelt megoldásokat [59 – 61] tanulmányozva határoztam meg egyfajta bővített értelmezésű és teljes körű fenntarthatósági jellemző indexet a fajlagos (egységnyi meghatározó jellemzőre, a repülésben az egy repült órára jutó) teljes élettartamköltség, vagy emisszió formájában [RI9, RF5, RF7]. Az indexek újdonságtartalma a gazdasági és a társadalmi hatások és a jövő generációjának az érdekeit értékelő egyfajta “büntető” hatás figyelembevétele. Az indexek az elektromos – és elektromos – hibrid repülőgépek tervezésekor [RI10, RF6, RP24], szélesebb körben az emissziós határok és költségek elemzésénél [RI16, RI17], valamint általános energiahasználat értékelésére [RI23] is felhasználtam. Az emissziós hatások általános elemzése mellett [RF2], egy jelenleg futó lokálisan elérhető megújuló energia háztartási felhasználását támogató projektben (MATE) is alkalmaztam a bevezetett indexeket. A projekt keretében az eljárást verifikáltam és validáltam [RF9, RC24].

Eredményesen foglalkoztam az új repülőgépek energetikai összehasonlító értékelésével, megfelelő energetikai tényezők körének meghatározásával, illetve új tényezők bevezetésével. A probléma a radikálisan új elektromos, hibrid repülőgépek tervezésével jelent meg, mint az energetikai sajátosságok, tulajdonságok, összehasonlítása iránti igény a hatékonyabb propulziós rendszer kifejlesztése és alkalmazása érdekében. A korábban már tárgyalt repülőgép koncepcionális tervezésekor a propulziós rendszerek esetében is a tömegegyensúly biztosítása volt a feladat. Az energiafelhasználást egyfelől a repülőgépekre és általában a légiközlekedésre is alkalmazható energia (vagy tüzelőanyagfogyasztás) per repült óra, vagy utaskilométerre,

tonnakm teherszállításra vizsgálták [61 – 63]. A repülőgépek esetében az energiafelhasználást alapvetően a Breguet féle hatótávolság formájában értelmezték és értékelték [27]. Az új elektromos és hibrid hajtású repülőgépek esetében ezzel kezdődött az értékelés: a Breguet formulát kiterjesztették az új propulziós rendszereket alkalmazó repülőgépekre [31, 35, 38, 64, 65]. A hivatkozott szakirodalmat elemezve megfigyelhető, hogy a jelenleg rendelkezésre álló alacsony fajlagos energiájú elektromos akkumulátor csomagok repülőgép tömeget növelő hatásaival nem számoltak. Ebből kiindulva külön foglalkoztam a repülőgépek energetikai hatékonyságának az értékelhetőségével. Több energetikai tényező bevezetését és alkalmazását javasoltam: Breguet formula a hibrid repülőgépekre általánosítva, az utazó üzemmódra vonatkozó energia intenzitás, a teljes (tervezett) repülésre felhasznált energia, a repülőgép fajlagos teljes élettartam ciklusra felhasznált energia formájában. A javasolt energetikai tényezőket több létező és áttevezett repülőgép vonatkozásában is meghatároztam és összehasonlító vizsgálatokat végeztem [RI8, RP24]. A javasolt energetikai tényezőkre korlátozó feltételeket bevezetve nemcsak növelni lehet a radikálisan új propulziós rendszerek alkalmazását a jövő repülőgépeinek és légiközlekedésének a kifejlesztésében, de értelmezhető azok realizálhatósága is.

Végül a diszruptív technológiákat támogató keretrendszer kialakítását minden új technológiai fejlesztés központi témáján [1, 7, 73, 74], a biztonság és a védelem területén vizsgáltam. Tevékenységeim három jelentős területre fókuszáltak: (i) az operátorok (repülőgépvezetők, légiforgalmi irányítók) munkaterhelése, és tevékenységük biztonságorientált támogatása, (ii) az operátorok szubjektív döntéshozatali folyamatainak modellezése, és (iii) az új technológiák, megoldások alkalmazása miatt változó biztonsági, védelmi szint értékelése, növelése.

Az operátorok tevékenységével, a munkaterheléssel, a monotómiai miatti fáradással, a szituáció értékelés, elemzés, döntés folyamatával, az automatizálás, egy pilótás repülőgép vezetés alkalmazásával, a kis- és személyes repülés fejlesztésével, az operátorok jövőbeli munkakörülményeivel igen sok szakcikk, tanulmány foglalkozik és szerves részét képezik a nagy NASA, és EU projekteknek [66 – 72]. Mégis a terület még számos kihívással rendelkezik, leginkább a munkaterhelés területén, különös tekintettel a diszruptív és új rendszerek, eljárások vonatkozásában. A problémakörrel és új támogató biztonságfilozófiával már a diplomamunkámban is foglalkoztam, új támogató rendszerek fejlesztésével az un. személyes kisrepülőgépek számára [RT1]. Szimulációs vizsgálatban bizonyítottam, hogy a személyes kisrepülőgép vezetését a személygépkocsik vezetéséhez hasonlóan is meg lehet oldani [RC5, RT1]. A koncepciót Matlab szimulációban verifikáltam, melyet később megvalósítottak a mycopter projektben [75]. A kisrepülőgépekre kidolgozott, a működési minőség véletlen eltéréseire épülő biztonságfilozófiát továbbfejlesztettem a SafeFly [RP6] projektben és alkalmaztam a Corvus Racer 540 akrobatikus repülőgép fejlesztésekor [RP7]. Ez utóbbi repülőgép a Red Bull Racer versenyre készült és sikeresen, eredményesen repült tucatnyi versenyen.

A tevékenység fontos és egyedülálló része volt az operátorok szubjektív döntési folyamatainak leírására kidolgozott matematikai modell, és Endsley ismert elvének [67] jelentős továbbfejlesztésével kialakított általános szituáció detektálás – elemzés – döntés - végrehajtás modell. Ez alapján határoztuk meg a kisrepülőgépek megengedett maximális leszállási sebességét [RP8], a kevésbé gyakorlott repülőgép vezetők támogatási keretét [RI4, RI5]], a légiforgalmi irányítók munkakörülményeinek továbbfejlesztését [RI3, RI22, RC10, RC11, RC22].

A diszruptív megoldások a védelmi területen is egy sor problémát jelenthetnek, mivel azok nagyobb figyelmet generálhatnak, eltérő kialakításuk más sebezhetőséggel, potenciális veszélyforrásokkal járhat, így új elemzési eljárások kifejlesztését teszik szükségessé. A Gabriel projekt vonatkozásában olyan kockázatértékelőt vezettem be, melyszakértői vélemények

alapján több sajátosságot (mint az infrastruktúra, objektum értéke, sebezhetősége, a támadás következményei, fenyegetés, a támadás erőssége, a „sikeresség”) a jelenleg működő hasonló jellegű létesítmények, objektumok, rendszerek védelmi sajátosságaihoz viszonyítva értékel [RP16]. A biztonsági és védelmi szinteket értékelő, azokon javító módszereket, eljárásokat szertifikációs és validációs tesztekben értékeltem, illetve közülük többet meg is valósítottam pl. a Corvus Racer 540 tervezésekor, a tanszéki repülésszimulátorban a pilótképzésünk részeként.

Összességében számos eredendően új tudományos és gyakorlati módszertant dolgoztam ki, validáltam, demonstráltam és alkalmaztam, mellyel kimagasló mértékben hozzájárultam a hazai tudományos élet, közösség fejlesztéséhez.

3. Tudományos eredmények

A tézisfüzet előző pontjában ismertetett, elemzett problémák, feladatok mind egy témakör, a radikálisan új technológiák fejlesztése, azonosítása, elemzése, kiválasztása, felhasználása köré csoportosítható a jövő hatékonyabb, biztonságosabb, kevésbé környezetterhelő repülésének stratégiai szintű támogatására. Az egyes problémakörökben ismertettem a problémát, a jelenlegi általános helyzetet, az általam kidolgozott, kifejlesztett javaslatokat, módszereket, és azok újdonságtartalmát. Egy tézisfüzet terjedelméhez igazodva röviden bemutattam az eredményeket és azok validálását, gyakorlati alkalmazását.

Megjegyzés: A tézisek megfogalmazása után a hivatkozásokat három csoportba soroltam be. Az első a tézishoz kapcsolódó legfontosabb publikációk melyeket RI kezdőbetűk jelölnek, és az impakt faktoros (WoS) folyóiratokban megjelölt folyóirat cikkeket tartalmaz. A második csoport a további publikációkat foglalja össze, a kevésbé fontosnak tartott impakt faktoros folyóirat cikkek (RF), konferenciakiadvány (RC), és a könyvrészlet (RK). A harmadik csoport a gyakorlati tevékenység megjelölését tartalmazza, így az RP a legfontosabb hazai és nemzetközi projekteket jelöli, melyekben az adott hivatkozott részekben, területeken n meghatározó tevékenységet folytattam.

Az eredmények összefoglaló értékelése a következő tézisek megfogalmazásához vezettek:

Tézis I.

Továbbfejlesztettem az általánosan használt **előrejelző modelleket** egy új módszertannal, az alábbi legfontosabb újdonságtartalommal: (i) piaci folyamatokat realisztikusan leíró S-görbe használata, (ii) komplex társadalmi-gazdasági tényezők figyelembe vétele (pl. utazási hajlandóság, elérhetőség, utazásra fordított keret), és (iii) a technológiai és iparági stratégiai dokumentumok, roadmap-ek integrálása, a diszruptív technológiákhoz köthető bizonytalanság feloldása érdekében.

- Kidolgoztam egy **speciális előrejelzési módszertant** a múltbeli adatokkal nem (vagy csak nagyon részlegesen rendelkező diszruptív technológiák (például személyes kisrepülőgépek) részére, az alábbi 5 lépcsőből álló eljárással: (i) a meghatározó, sajátos un vezető (driver) jellemzők (változók) kiválasztása, (ii) a technológiai, gazdasági és társadalmi hatások előzetes értékelése, (iii) a független változók előrejelzése, (iv) a

drohacs_112_23

potenciálisan hiányzó, vagy hibás adatok harmonizációja, (v) piaci penetrációs folyamat alapú előrejelzés.

- Kiegészítettem az eljárást egy **piaci penetrációs S-görbével**, annak érdekében, hogy az idő függvényében realisztikusabban lehessen modellezni a technológia különböző piaci szegmenseknél (pl. innovátorok, korai és késői felhasználók, lemaradók) bekövetkezett adoptációját, és azok jellegzetességeit (pl. árérzékenység, innovációs nyitottság):

$$VO = S * \exp[-a * \exp(-b * v)]$$

ahol VO a jármű mennyisége (vagy igénye) t szimulációs időben, S a piaci szaturáció, a és b model paraméterek és v a független változó (többnyire ez az idő, t).

- Létrehoztam egy speciális Markov modell alapú előrejelzési módszertant, mely a jövő beli irányított folyamatot molyan Markov láncsal approximálja, ami az iparági stratégiai kutatási agendák, technológiai kitekintések, roadmap-ek alapján egy átmeneti mátrix elemeinek rendszeres időközönkénti (évenkénti) becslésével írja le a jövő repülés fejlesztési folyamatát, és oldja meg a diszruptív fejlesztésekre jellemző adathiányt.

$$m_I(t_{j+1}) = \sum_{i=1}^{N-1} p_{j,i}(t_j, S_i) C_{i,j,j+1}(t_j, F(t_j)) x_{j+1,i}, \quad j = 1, 2, \dots, f,$$

ahol m_I az I index átlagos várható értéke t_{j+1} , $j = 1, 2, \dots, f$ (diszkrétizált) időközönként, $p_{j,i}$ – a valószínűsége, hogy légitökeledés jövőbeli fejlődésének sztochasztikus folyamatát leíró I index S_i állapotában van (S_i , $i = 1, 2, 3, \dots, N$; $S_i \cap S_k = 0$, $i \neq k$), $C_{i,j,j+1}$ az „ i ” oszlopa a 3D átmeneti mátrixnak a $t_j, j+1$ időegységénél, F a jövő légitökeledését befolyásoló tényezők vektora, $x_{j+1,i}$ az S_i részállapotot meghatározó elemek, t_{j+1} időben.

- A kidolgozott S-görbe alapú előrejelző módszer személygépjármű adatokkal került validálásra. Az eredmények egyértelműen visszaigazolták a piaci penetrációs S görbét, és marginális eltérés mutatkozott az előrejelzett és valós adatok között. A módszertan számos nemzetközi kutatás-fejlesztési projektben felhasználásra került, különböző diszruptív technológiák vonatkozásában, mint például a mágneses levitáció, ami demonstrálta a modell gyakorlati felhasználását, és elismertségét.

A tézishez kapcsolódó legfontosabb publikációk: [RC18, RC19, RF1, RF2, RC3, RC2, RK8]

További publikációk: [RI6, RI20, RF1, RC1]

Gyakorlati alkalmazás, kutatási projektek: [RP3, RP5, RP11, RP17, RP18, RP21, RP22, RP23, RP27]

Tézis II.

Adaptáultasm és továbbfejlesztettem a **technológia azonosítás, elemzés, kiválasztás módszertant** (TIES), mely támogatja a kimagasló eredményeket produkáló diszruptív, radikális és un. out-of-the-box technológiák, rendszerek, koncepciók fejlesztésére, ezzel elősegítve a légitökeledési rendszerhez köthető stratégiai kutatási, és un. roadmap dokumentumokban megfogalmazott ambiciózus célokérését.

- **Kidolgoztam egy TIES módszertant**, az alábbiak alapján: (i) a lehetséges megoldásokhoz köthető tervezési mátrix definiálása, (ii) a lehetséges megoldások elemzése, (iii) kritériumok kiválasztása, (iv) döntési mátrix létrehozása, (v) radikális új technológia kiválasztása többkritériumos döntéshozatali eljárással.
- Javasoltam a radikálisan új technológiák, megoldások, termékek, szolgáltatások vonatkozásában egy 5 lépésből álló **konceptiókészítési és validálási eljárást**: (i) ötlet generálás, (ii) koncepció definiálás, (iii) elméleti elemzések, (iv) verifikáció és validáció, (v) hatás elemzés, életciklus alapon, a hatósági keretrendszerrel és az érdekelt felek véleményével összhangban.
- A kidolgozott módszer két szakértői workshop segítségével lett validálva, melyek részletesen elemezték az adott probléma valamennyi megoldását és hatását. Egyéb technológia azonosítási módszerekhez képest, a javasolt eljárás hatékonyabban képes radikális megoldások azonosítására, alapvetően (i) a komplex hatásvizsgálati és (pl. hatósági) keretrendszer eredményeinek visszacsatolása (a technológia kiválasztási folyamatába), (ii) a széleskörű többkritériumos elemzési eljárás, és (iii) a hatósági és érdekelt felek bevonása miatt. A javasolt módszer számos nemzeti és nemzetközi kutatás-fejlesztési projektben lett alkalmazva, például az EU FP7 L1 GABRIEL projektben, ami a *világon elsőként* vizsgálta a mágneses levitáció alkalmazását a polgári kereskedelmi légijárművek fel- és leszállási folyamatának támogatására.

A tézishoz kapcsolódó legfontosabb publikációk: [RI24, RI21, RI6, RC12, RI2, RK5, RI1, RC8]

További publikációk: [RI6, RI16, RI17, RI20, RF3, RF4, RK3, RK4, RC12, RC16, RC20]

Gyakorlati alkalmazás, kutatási projektek: [RP11, RP12, RP13, RP14, RP15, RP27]

Tézis III.

Továbbfejlesztettem a diszruptív megoldások és a repülőgépek koncepcionális tervezési módszertanát, kiegészítve azt az energia egyensúlyra és a teljes hatásindexre optimalálással, és alkalmaztam azt az elektromos, hibrid –elektromos repülőgépek fejlesztésében.

- Egy **új tervezési feltételt javasoltam** az elektromos légijárművek tervezési folyamatához, ami a tömeg egyensúly mellett az **energia egyensúlyt is bevezeti a koncepcionális tervezésbe**, annak érdekében, hogy valós képet kaphassunk a különböző zöld alternatív meghajtás rendszerek vonatkozásában:

$$e_{efm} = e_{TA} + e_{TO} + e_C + e_{CR} + e_{DE} + e_{LO} + e_{AL} = e_{efm} \sum_i \bar{e}_i$$

$$1 = \sum_i \bar{e}_i$$

ahol e az energiát, $\bar{e}_i$ az i egységhez tartozó részenergiát jelöli, efm , TA , TO , C , CR , DE , LO , AL a teljes repülési művelet, a földi mozgás(gurulás), a felszállás, az emelkedés, az utazó mód, a siklás, a megközelítés, a leszállás energiája. (Megjegyzés: a relatív energiamennyiségek összege három lehetőséghez vezet: (i) ha $\sum_i \bar{e}_i > 1$, akkor a légijármű az adott repülési jellemzőkkel nem kivitelezhető, (ii) ha $\sum_i \bar{e}_i < 1$ akkor a kalkulálthoz képest jobb jellemzőkkel bíró légijármű kivitelezhető, míg (iii) $\sum_i \bar{e}_i = 1$ a legjobb légijárművet jelöli.)

- Dedikált új módszereket dolgoztam ki a különböző repülési fázisokhoz szükséges energia meghatározására, mint pl. az utazó módra:

$$e_{CR} = \eta_{fCR} e_{Df} TSFC T_{CR} t_{CR} = TSFC T_{CR} \frac{R_{CR}}{V_{CR}} \left(\text{or } e_{CR} = -\eta_{fCR} e_{Df} k T_{CR} \ln \frac{W_{CR_{initial}}}{W_{CR_{final}}} \right),$$

ahol η_{fCR} a teljes hatékonysági mutató az utazó módra (a felhasznált és tárolt energia függvényében), e_{Df} az üzemanyag fajlagos energiatartalma, $TSFC$ a tolóerő specifikus üzemanyag-fogyasztás, T – a szükséges tolóerő, t az idő, R – a hatótáv, V – a légijármű sebessége, W – a tömeg. A η_{fCR} , e_{Df} , $TSFC$, T_{CR} , W az alkalmazott tervezéstől, gyártástól, üzemeltetési jellegzetességtől, technológiától, módszerektől, megoldásoktól függ, ami tehát az egyéb módszerekhez képest pontosabban képes figyelembe venni a zöld meghajtási rendszerek jellegzetességeit (pl. fajlagos energiaát a hagyományos tüzelőanyagok és a akkumulátorok tömegei alapján).

- A javasolt energia számítási módszer validálása egy speciálisan kutatás-fejlesztési célokra létrehozott elektromos meghajtás rendszer mért adatival történt meg (melynek akkumulátorait egy gázturbina segítségével lehetett feltölteni).
- Az eredmények azt mutatták, hogy az új koncepcionális tervezési eljárás alkalmazásával az elektromos és hibrid-elektromos légijármű rendszerek vonatkozásában a hasznos teher közel 250%-al növelhető, a hagyományos koncepcionális tervezési eljárásokhoz képest (lényegesen lecsökkentve az elektromos akkumulátorok - jelenleg - nagyon alacsony energiasűrűségének a negatív hatásait).

A tézishez kapcsolódó legfontosabb publikációk: [RI18, RI12, RI10, RI8, RF6]

További publikációk: [RI24, RF6, RC7, RC13, RC15, RC16]

Gyakorlati alkalmazás, kutatási projektek: [RP2, RP8, RP11, RP24]

Tézis IV.

Kifejlesztettem több diszruptív módszert, eljárást a **drónok légi és közúti autonóm városi forgalomba történő integrálásának** elősegítése érdekében (pl. konfliktus detektálás és management, drón forgalom szervezési, követési modell).

- Létrehoztam egy Markov modellre épülő **drón forgalom szervezési, követési modellt** (a drónok repülési iránya alapján dinamikusan létrehozott csoportok, vezető és követő drónok kijelölése alapján), a légtér és humán erőforrás gazdálkodás hatékonyságának növelése érdekében

$$a(t) = \dot{v}(t) = f(v, t) + \sigma(v, t)\eta(t),$$

$$a[k + 1] = b_{dv}(v_{n-1}[k] - v_n[k]) + b_{dx}\{(x_{n-1}[k] - x_n[k]) - \Delta x_{pdn}\} + \varepsilon[k],$$

ahol a , v a drónok gyorsulása, sebessége, t az idő, x a drónok közötti távolság, $f(x, t)$ a sztochasztikus folyamat változásának iránya, η a zaj, $\sigma(x, t)$ a random folyamat szórása (pontosabban a η zaj hatásfüggvénye), n a drónok száma a sorban ($n = 1, 2, \dots, n, \dots, m$), k – a számítási lépés, b_{dv} , b_{dx} model paraméterek (konstans), Δx_{pdn} az előre meghatározott távolság n -ik drón számára, ε a zavaró folyamat véletlen értéke.

- Létrehoztam egy **aktív konfliktus management rendszert** az autonóm járművek részére, egy központi földi interface segítségével, ami (i) folyamatosan gyűjti a drónok vagy egyéb járművek pozíció adatait, (ii) detektálja és megoldja a potenciális konfliktusokat, (iii) visszaküldi a járművek részére az új konfliktus mentes útvonalat.

- A javasolt drón követési modellt matlab gyorsított idejű szimulációban validáltam. Az eredmények azt mutatták, hogy a szakirodalomban található egyéb eljárásokhoz képest (pl. superhighway koncepció) a kidolgozott módszertan alacsonyabb munkaterhelést jelent, kiemelkedő támogatást képes adni a látótávolságon kívüli drón üzemeltetéshez, mialatt nem igényel új légtér kialakítást. A konfliktus management rendszer számos alakkal lett demonstrálva a ZalaZone innovációs napokon, több drón és közúti jármű között. Más eljárásokhoz képest a javasolt rendszer (i) konfliktus management-et biztosít az összes aktív eszközzel felszerelt statikus (pl. épület), fél-dinamikus (pl. daru), és dinamikus akadály (pl. autonóm földi jármű) objektumok között, (ii) elősegíti az egyéb autonóm rendszerek közötti interoperabilitást a központi kliens segítségével, (iii) elérhetővé teszi a fejlett, komplex, jelentős számítási kapacitást igénylő konfliktus management módszerek alkalmazását a központi földi kliens segítségével (nem szükséges a konfliktus a fedélzeten, kisebb számítási kapacitású egységekkel megoldani).

A tézishez kapcsolódó legfontosabb publikációk: [RI19, RC23, RI14, RI13, RI15, RC21, RI7]

További publikációk: [RC4, RC6, RC8, RC14, RC17, RK10, RK11]

Gyakorlati alkalmazás, kutatási projektek: [RP1, RP4, RP9, RP10, RP20]

Tézis V.

Új **teljes élettartam alapú hatásvizsgálati indexeket** javasoltam, valamint bevezettem **támogató keretrendszer szemléletet** annak érdekében, hogy a közvetett és közvetlen hatásokat is figyelembe véve lehessen összevetni az alternatív megoldásokat, és támogató környezetet alkossak a diszruptív technológiák bevezetésére.

- Bővített értelmezésű és teljeskörű fenntarthatósági jellemző, **teljes élettartam alapú hatásvizsgálati indexet** vezettem be a fajlagos (egységnyi meghatározó jellemzőre, a repülésben az egy repült órára jutó) teljes élettartamköltség, vagy emisszió formájában, több újdonságnak számító gazdasági és társadalmi hatást, valamint a jövő generációjának az érdekeit értékelő komplex externáliát is figyelembe véve.

$$TPI = \frac{TLCC}{TLCW} = \frac{TOLCC}{TLCW} + \frac{TILCC}{TLCW} = TOPI + TIPI$$

ahol *TPI* a teljes teljesítmény index, *TOPI* a teljes üzemeltetési teljesítmény index, *TIPI* a teljes hatásvizsgálati index, *TLCC/TOLCC/TILCC* a teljes / teljes üzemeltetési / teljes hatásvizsgálati *LCC* (élettartam költség) és *TLCW* a teljes élettartam alapú munka. A *TOPI* jól ismert a jármű tulajdonosának, üzemeltetőjének, és meghatározó tényező az adott eszköz választásakor. A *TIPI* komplexebb tényező, ami az externáliákat tartalmazza.

- Komplex externáliákat is figyelembe véve, a javasolt index realisztikusabb képet ad a fenntarthatóság vonatkozásában az egyszerű élettartam alapú elemzésekhez képest, így kifejezetten előnyös a diszruptív megoldásokhoz köthető alternatívák elemzésénél. Az indexeket különböző 4-személyes elektromos – és elektromos – hibrid repülőgépek tervezésekor, szélesebb körben az emissziós határok és költségek elemzésénél, valamint általános energiahasználat értékelésére is felhasználtam.
- Új **biztonságfilozófiát** alkottam a kisrepülőgépek vonatkozásában, és számos **támogató rendszert** fejlesztettem (pl. ride control, fejlett fedélzeti kijelzők) a kisrepülőgépek vonatkozásában, a munkaterhelés csökkentése, és a biztonság növelése érdekében.

drohacs_112_23

- Endsley ismert elvének jelentős továbbfejlesztésével, az operátor (pl. pilóta vagy légiforgalmi irányító) képességének, tudásának, teljesítmények figyelembe vételével létrehoztam egy **komplex szituáció detektálás – elemzés – döntés – végrehajtás modellt** a légiközlekedés vonatkozásában. Egyéb eljárásokhoz képest ez figyelembe veszi az operátor szubjektív tudása, tapasztalata alapján a feladat megértéséhez, elemzéséhez, megoldásához, végrehajtásához szükséges időt, amivel jelentősen több információnk keletkezik az új technológiákhoz köthető emberi tényezők területén, könnyebben azonosítva a potenciális kockázatokat, fejlesztendő biztonsági területeket. A kidolgozott modell repülésszimulátoron lett tesztelve, számos eltérő kompetenciával és tapasztalattal rendelkező kereskedelmi pilóta segítségével.
- Kidolgoztam és bevezettem az alábbi – radikális technológiákhoz köthető – **komplex védelmi kockázatértékelési** eljárást:

$$R(t) = \sum_{i=1}^n R_i \prod_{j=1}^m R_{i,j}(t)$$

ahol R – a teljes kockázat, R_i az $i = 1, 2, \dots, n$ védelmi aspektus alapkockázata (1 millió órára jutó esemény), és $R_{i,j}$ a i -ik kockázat aránya a j -ik fő védelmi kockázathoz képest. Ez utóbbi figyelembe veszi az objektum értékét, sebezhetőségét, a támadás következményeit, a fenyegetést, a támadás erősségét, és a „sikeresség”-et.

A tézishez kapcsolódó legfontosabb publikációk: [RI23, RI22, RI21, RI16, RI17, RI9, RI5, RI4, RI3]

További publikációk: [RI2, RI10, RI12, RI21, RI23, RI24, RF5, RF6, RF7, RF8, RF9, RC5, RC7, RC8, RC10, RC11, RC22, RC24, RK1, RK2, RK9]

Gyakorlati alkalmazás, kutatási projektek: [RP3, RP6, RP7, RP8, RP16, RP24, RP25, RP26]

4. Irodalom

A tézisfüzetben hivatkozott saját irodalom

Könyv, könyvrészlet

- RK1 Rohács, Dániel, Biztonságtudományi alapok, In: Horváth, Zsolt Csaba; Kisgyörgy, Lajos; Rohács, Dániel; Ágoston, György – A közlekedésbiztonság aktuális kérdései az ezredforduló után, Győr, Magyarország : Universitas-Győr Nonprofit Kft., (2015) pp. 11-41., 31 p. ISBN 978-615-5298-15-8
- RK2 Rohács, Dániel, The current state and vision of the national transport safety: Air transportation, In: Horváth, Zsolt Csaba; Kisgyörgy, Lajos; Ágoston, György; Rohács, Dániel Actual questions of transport safety in the new millennium, Győr, Magyarország : Universitas-Győr Nonprofit Kft.(2015)184 p.pp. 64-88. , 25 p. ISBN 978-615-5298-16-5
- RK3 Rohács, Dániel, Maglev applications in air transportation, In: Kisgyörgy, Lajos; Rohács, Dániel; Horváth, Zsolt Csaba - Magnetic levitation - an overview, Győr, Magyarország : Universitas-Győr Nonprofit Kft., (2015)pp. 60-69. , 10 p. ISBN 978-615-5298-28-8
- RK4 Rohács, Dániel, Technical aspects, In: Rohács, Dániel; Kisgyörgy, Lajos; Horváth, Zsolt Csaba - Magnetic levitation and its experimental use in rail and air transportation, Győr, Magyarország : Universitas-Győr Nonprofit Kft., (2015)pp. 33-58. , 26 p. ISBN 978-615-5298-29-5
- RK5 Rohács, Dániel The GABRIEL project, In: Rohács, Dániel; Kisgyörgy, Lajos; Horváth, Zsolt Csaba - Magnetic levitation and its experimental use in rail and air transportation, Győr, Magyarország : Universitas-Győr Nonprofit Kft., (2015)pp. 75-95. , 21p. ISBN 978-615-5298-29-5
- RK6 Rohács, Dániel; Rohács, József, Smart city - Smart Transport, In: Rohács, József (szerk.) Total transport management in smart cities , Budapest, Magyarország : BME (2020) pp. 15-40. Paper: chapter 1 , 24 p. ISBN 978-963-306-805-2
- RK7 Nguyen, Dinh; Rohács, József; Rohács, Dániel Sensing – monitoring supporting the total transport management In: Rohács, József (szerk.) Total transport management in smart cities Budapest, Magyarország : BME (2020) pp. 75-124. Paper: chapter 3 , 49 p. ISBN 978-963-306-805-2
- RK8 Agnes, Wanjiku Wangai; Dinh, Dung Nguyen; József, Rohács; Dániel, Rohács Studies into the future, In: Rohács, József (szerk.) Total transport management in smart cities, Budapest, Magyarország : BME (2020) pp. 127-181. Paper: Chapter 4 , 54 p. ISBN 978-963-306-805-2
- RK9 Wanjiku Wangai, Agnes; Kale, Utku; Kinzhikeyev, Sergey; Rohács, Dániel Total impact evaluation In: Rohács, József (szerk.) Total transport management in smart cities, Budapest, Magyarország : BME (2020) pp. 183-209. Paper: chapter 5 , 26 p. SBN 978-963-306-805-2
- RK10 Rohács, József; Rohács, Dániel Optimisation concept for sustainable developments, In: Rohács, József (szerk.) Total transport management in smart cities Budapest, Magyarország : BME (2020) pp. 211 - 230. Paper: chapter 6 , p. 19. SBN 978-963-306-805-2
- RK11 Nguyen, Dinh; Utku, Kale; Rohács, Dániel Introduction of urban air transport into the total mobility system In: Rohács, József (szerk.) Total transport management in smart cities, Budapest, Magyarország : BME (2020) pp. 233-261. Paper: chapter 7 , 28 p. SBN 978-963-306-805-2

Cikk jelentős (impakt faktossal rendelkező) folyóiratban

- RI1 Rohacs, J., & Rohacs, D. (2014). The potential application method of magnetic levitation technology – as a ground-based power – to assist the aircraft take-off and landing processes. *Journal of Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol 86.(Issue 3.), pp. 188 - 197. doi:doi/10.1108/AEAT-01-2013-0017
- RI2 Rohacs, D., & Rohacs, J. (2016). Magnetic levitation assisted aircraft take-off and landing (feasibility study–GABRIEL concept). *Progress in Aerospace Sciences*, 85, 33–50.
- RI3 Rohacs, J., Rohacs, D., & Jankovics, I. (2016). Conceptual development of an advanced air traffic controller workstation based on objective workload monitoring and augmented reality. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 230(9), 1747–1761.
- RI4 Rohacs, J., Jankovics, I. and Rohacs, D.: “Less-skilled pilot decision support”, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Emerald Publishing Limited, Vol. 91 No. 5, pp. 790–802, 2019. <https://doi.org/10.1108/AEAT-12-2017-0269>

- RI5 Kale, U., Rohács, J. and Rohács, D. (2020), “Operators’ Load Monitoring and Management”, *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Vol. 20 No. 17, p. 4665, 2020.
- RI6 Kinzhikeyev, S.; Rohács, J.; Rohács, D.; Boros, A.: “Sustainable Disaster Response Management Related to Large Technical Systems”. *Sustainability* 12 : 24 pp. 1-25. Paper: 10290 , 25 p., 2020.
- RI7 Nguyen, D.D.; Rohács, J.; Rohács, D.; Boros, A.: “Intelligent Total Transportation Management System for Future Smart Cities”. *Applied Sciences-Basel* 10 : 24 Paper: 8933 , 31 p., 2020.
- RI8 Rohacs, J. ; Rohacs, D.: “Energy coefficients for comparison of aircraft supported by different propulsion systems”. *ENERGY* 191 p. 116391 Paper: 116391, 2020
- RI9 Rohacs, J.; Rohacs, D.: “Total Impact Evaluation of Transportation Systems”. In: *Transport (Vilnius)* 35 : 2 pp. 193-202., 2020.
- RI10 Sziroczak, D., Jankovics, I., Gal, I., & Rohacs, D. (2020). Conceptual design of small aircraft with hybrid-electric propulsion systems. *Energy*, 204, 117937. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117937>
- RI11 Wangai, A. W., Rohacs, D., & Boros, A. (2020). Supporting the Sustainable Development of Railway Transport in Developing Countries. *Sustainability*, 12(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/su12093572>
- RI12 Kale, U.; Jankovics, I.; Nagy, A.; Rohács, D.: “Towards Sustainability in Air Traffic Management”. *Sustainability* 13: 10 Paper: 5451, 2021.
- RI13 Nguyen, D. D.; Rohacs, J.; Rohacs, D.: “Autonomous Flight Trajectory Control System for Drones in Smart City Traffic Management”. In: *ISPRS International Journal of Geo-Information* 10 : 5 p. 338, 2021.
- RI14 Sziroczák, D.; Rohács, D.: “Automated Conflict Management Framework Development for Autonomous Aerial and Ground Vehicles”. *ENERGIES* 14 : 24 Paper: 8344 , 2021., 27 p.
- RI15 Yildiz, M.; Bilgiç, B.; Kale, U.; Rohács, D.: “Experimental Investigation of Communication Performance of Drones Used for Autonomous Car Track Tests”. In: *Sustainability* 13: 10 p. 5602, 2021.
- RI16 Balli, O.; Kale, U.; Rohács, D.; Hikmet, K.T.: “Environmental damage cost and exergoenvironmental evaluations of piston prop aviation engines for the landing and take-off flight phases”. *ENERGY* 261 : Part B Paper: 125356 , 2022.
- RI17 Balli, O.; Kale, U.; Rohács, D.; Karakoc, T. H.: “Exergoenvironmental, environmental impact and damage cost analyses of a micro turbojet engine (m-TJE)”. *Energy Report* 8 pp. 9828-9845. , 18 p., 2022.
- RI18 Rohacs, J. ; Kale, U. ; Rohacs, D.: “Radically new solutions for reducing the energy use by future aircraft and their operations”. *ENERGY* 239 Paper: 122420, 2022.
- RI19 Sziroczak, D.; Rohacs, D.; Rohacs, J.: “Review of using small UAV based meteorological measurements for road weather management”. In: *Progress in Aerospace Sciences* 134, Paper: 100859 , 20 p., 2022.
- RI20 Kinzhikeyev, Sergey; Rohacs, Jozsef ✉; Rohacs, Daniel; Boros, Anita Simulation Model Based Response Management Related to Railway (Earthquake) Disaster PERIODICA POLYTECHNICA-CIVIL ENGINEERING66 : 1pp. 40-49. , 10 p. (2022)
- RI21 Alharasees, O.; Jazzar, A.; Kale, U.; Rohacs, D.: “Aviation communication: the effect of critical factors on the rate of misunderstandings”. *Aircraft engineering and Aerospace Technology* 1748-8842 1758-4213 95 (3) pp. 379-388, 2023
- RI22 Kale, U., Alharasees, O., Rohacs, J. and Rohacs, D.: “Aviation operators (pilots, ATCOs) decision-making process”, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Emerald Publishing Limited, Vol. 95 No. 3, pp. 442–451, doi: 10.1108/AEAT-02-2022-0053, 2023.
- RI23 Rohacs, D.: “Analysis and optimization of potential energy sources for residential building application”. *ENERGY* 275 Paper: 127508, 2023.
- RI24 Rohacs, D.: “Technology and solution-driven trends in sustainable aviation”. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology* 95 : 3 (SI), pp. 415-430., 2023.
- RI25 Rohacs Daniel, Yasar Onur, Kale Utku, Ekici Selcuk, Yalcin Enver, Midilli Adnan, Karakoc T. Hikmet Past and current components-based detailing of particle image velocimetry: A comprehensive review, *HELIYON* 9 : 3 pp. 1-56. , 56 p. (2023)
- RI26 Selcuk Aslan, Daniel Rohacs, Melih Yıldız, Utku Kale A Three-Dimensional UCAV Path Planning Approach Based on Immune Plasma Algorithm INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTATIONAL INTELLIGENCE SYSTEMS 16 : 112 pp. 1-19. , 19 p. (2023)
- Folyóiratcikk
- RF1 Rohacs, D.: “Kisrepülőgépek elérhetőségének nemlineáris hosszútávú előrejelzése: Long-term Prediction of Small Aircraft Accessibility”. *Repüléstudományi Közlemények* 19 Különszám pp. 1-8., 2007

- RF2 Rohacs, D; Voskuijl, M ; Rohacs, J; Schoustra, R-J, Preliminary Evaluation of the Environmental Impact Related to Take-off and Landings Supported with Ground-Based (MAGLEV) Power, JOURNAL OF AEROSPACE OPERATIONS 2 : 3-4 pp. 161-180. , 20 p. (2013)
- RF3 Rohács, D; Rohács, J. Impact of Out-of-the-Box Approach on the Future Air Transportation System, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK (1997-TŐL) 2015 : 3 pp. 189-206. , 18 p. (2015)
- RF4 Rohács, J., Rohács, D. Problems and Barriers Impeding the Implementation of MagLev Assisted Aircraft Take-Off and Landing Concept JOURNAL OF TRANSPORTATION TECHNOLOGIES 8 : 2 pp. 91-118. , 28 p. (2018)
- RF5 Wangai, Agnes ; Kinzhikeyev, Sergey ; Rohacs, Jozsef ; Rohacs, Daniel Comparison of Total Lifecycle Emission of Aircraft with Different Propulsion System REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK (1997-TŐL) pp. 337-348. , 12 p. (2017)
- RF6 Rohacs, J., & Rohacs, D. (2019). Conceptual design method adapted to electric/hybrid aircraft developments. *International Journal of Sustainable Aviation*, 5(3), 175–189. <https://doi.org/10.1504/IJSA.2019.103498>
- RF7 Wangai, A.; Kinzhikeyev, S.; Rohacs, J.; Rohacs, D. Total impact estimation to support sustainability of small hybrid aircraft, INTERNATIONAL JOURNAL OF SUSTAINABLE AVIATION 5 : 4 pp. 263-276. , 14 p. (2019) 51.
- RF8 Venczel, Márk; Peredy, Zoltán; Rohács, Dániel; Rohács, József, Intelligens biztonsági megoldások a nemzetközi repülőterek jövőbeli terrorfenyegetettségének hatékony csökkentése érdekében, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK (1997-TŐL) 31 : 3 pp. 187-204. , 18 p. (2017)
- RF9 Boros Anita, Müller Anett, Szántó Edina Anna, Rohács József, Rohács daniel, Megújuló energiák lakossági célú alkalmazását támogató okos térkép fejlesztéséhez tesztelésének kiválasztása, *Economica* ISSN 25602322, 2023 No. 1 – 2, (Megjelenés alatt)

Konferencia közlemény

- RC1 Rohacs, D; Brochard, M ; Lavallee, I ; Gausz, T. Preliminary Analysis of Small Aircraft Traffic Characteristics and its Interaction on ATM for European Market Attributes In: Proceedings of the 4th Innovative Research Workshop and Exhibition : EUROCONTROL (2005) pp. 143-149. , 7 p.
- RC2 Rohacs, D.: “The Effect of Income and Total Operating Cost on Small Aircraft Accessibility in Europe: a prediction for 2020”. In: *Proceedings of the 5th Innovative Research Workshop and Exhibition : EUROCONTROL*, pp. 9-13., 2006.
- RC3 Rohacs, D.: “Non-linear probabilistic prediction of the Small Aircraft accessibility: A European model for the piston, turboprop and jet Aircraft”. In: *Transport Means 2007 : Proceedings of the 11th International Conference*, Kaunas, Litvánia : Kauno Technologijos Universitetas, 291 p. pp. 43-46., 4 p, 2007
- RC4 Rohacs, D., & Jankovics, I. (2010). Development of an Active Conflict Detection and Resolution Method for General Aviation. *XIV Conference on Mechanics in Aviation. (Mechanika w lotnictwie, ML-XIV 2010)* , Tom I. (redaktorzy J. Maryniak, K. Sibilski) (old.: pp. 61 - 70). Warsaw: Polskie Towarzystwo Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej.
- RC5 Rohacs, J., Rohacs, D., & Jankovics, I. (2010). Safety Aspects and System Improvements for Personal Air Transportation System. *Research and Education in Aircraft Design (READ) 2010 international Conference*, (old.: p. 22). Warsaw.
- RC6 Rohacs, D., & Jankovics, I. (2012). Active Conflict Detection and Resolution Method for General Aviation 12th International Conference on Vehicle system Dynamics, Identification and Anomalies (VSDIA), BME Budapest, 2012 ISBN 978 963 313 058 2, pp. 385 – 392. *12th International Conference on Vehicle system Dynamics, Identification and Anomalies (VSDIA)* (old.: pp. 385 - 392). Budapest: BME.
- RC7 Rohacs, J; Rohacs, D. Ride Control for the Personal Plane In: Anon (szerk.) Proceedings of the 28th International Congress of the Aeronautical Sciences (ICAS), Edinburgh, Egyesült Királyság / Skócia : Optimage Ltd. (2012) pp. 3055-3065. , 11 p.
- RC8 Rohacs, D ; Voskuijl, M ; Siepenkotter, N.: “Evaluation of Landing Characteristics Achieved by Simulations and Flight Tests on a Small-Scaled Model Related to Magnetically Levitated Advanced Take-Off and Landing Operations”. In *Proceedings of the 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS)*, Bonn, Németország : 2014.
- RC9 Bicsák, György; Szirczák, Dávid; Dr. Rohács, Dániel Changes in Aerospace Development Process Trends In: Rolandas, Makaras; Robertas, Keršys; Rasa, Džiaugienė (szerk.) Proceedings of 20th International

drohacs_112_23

- Scientific Conference Transport Means 2016 Kaunas, Litvánia : Kaunas University of Technology(2016)1,159 p.pp. 528-535. , 8 p.
- RC10 Rohacs, D; Jankovics, I; Rohacs, J. Development of an advanced ATCO workstation, In: 30th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, ICAS 2016, International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS) (2016) Paper: 0662 , 10 p.
- RC11 Bos, T ; Zon, R ; Furedi, E ; Dudas, D ; Rohacs, D. A Pilot Study into Bio-Behavioural Measurements on Air Traffic Controllers in Remote Tower Operations In: Yvonne, Desmond (szerk.) H-Workload 2017: The first international symposium on humanmental workload, Dublin, Írország : Dublin Institute of Technology(2017)pp. 1-8. , 8 p.
- RC12 Gal, I ; Jankovics, I ; Rohacs, J ; Rohacs, D.: “Disruptív technológiák fejlesztése, azonosítása, értékelése és kiválasztása – járműfejlesztési sajátosságok” In: Péter, Tamás (szerk.) IFFK 2017 : XI. Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, Budapest, Magyarország : Magyar Mérnökakadémia (MMA) pp. 109-117, 2017.
- RC13 Gál, I., Jankovics, I., Bicsák, G., Veress, Á., Rohács, J., & Rohács, D. (2017). Conceptual design of a small 4-seater aircraft with hybrid propulsion system. *Proceedings of the Innovation and Sustainable Surface Transport, Budapest, 30, 7.*
- RC14 Szullo, A; Seller, R; Rohacs, D; Renner, P. Multilateration based UAV detection and localization, In: Hermann, Rohling (szerk.) 18th International Radar Symposium (IRS) New York, Amerikai Egyesült Államok : IEEE (2017) Paper: 8008235 , 10 p.
- RC15 Gál, István; Rohács, Dániel; Rohács, József. Developing the unmanned unconventional cargo airplanes with hybrid propulsion system In: anon (szerk.) 31st Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS), 2018, Paper: 0697 , 10 p.
- RC16 Kale, U., Jankovics, I., Rohács, J., Rohács, D. Radically New Solutions Reducing the Required Capacity of Mission Energy Battery Mass of Electric Aircraft In: T., Hikmet Karakoc; Evren, Yılmaz Yakın International Symposium on Electric Aviation and Autonomous Systems 2018, (2018) pp. 49-54. , 6 p.
- RC17 Nguyen, Dinh; Rohács, Dániel Integrating air traffic management with a total transport-managing system In: Air traffic management and systems IV : selected papers of the 6th ENRI International Workshop on ATM/CNS (EIWAC2019) (2019) Paper: paper No. EN-A-65
- RC18 Wangai, A. W., Macka, M., de Graaff, A., Travascio, L., Solazzo, M. A., Rohacs, D., & Vozella, A. (2019). *Developing a general methodology for forecasting the demand in small personal aircraft.* 84–91.
- RC19 Wangai, A. W. ; Dung, N. D. ; Rohacs, D.: “Forecast of electric, hybrid-electric aircraft”. *Proceedings of International Symposium on Electric Aviation and Autonomous Systems*, pp. 26-31, 2019
- RC20 Takarics, Bela ; Mocsanyi, Reka Dora ; Vanek, Balint ; Sziroczak, David; Rohacs, Daniel Aerodynamic and LPV Modeling of a Distributed Propulsion Morphing Wing Aircraft, In: 2020 2nd IEEE International Conference on Gridding and Polytope Based Modelling and Control (GPMC), Piscataway (NJ), Amerikai Egyesült Államok : IEEE (2020) pp. 3-8. , 6 p.
- RC21 Nguyen, D.D. ; Rohacs, D.: “Air Traffic Management of Drones Integrated Into the Smart Cities”. In: 32nd Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, ICAS 2021, Paper: 0456, 2021.
- RC22 Utku, Kale; Omar, Alharasees; Fanni, Kling ; Daniel, Rohacs Objective Measurement of Human Factors for Supporting the Operator’s Load Simulation and Management In: International Council of Aeronautical Sciences (ICAS) - International Council of Aeronautical Sciences (ICAS) (szerk.) 32nd Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, ICAS 2021
- RC23 Sziroczák, D.; Rohács, D.: “Conflict Management Algorithms Development Using the Automated Framework for Autonomous Vehicles”. In: *Proceedings of The First Conference on ZalaZONE Related R&I Activities of Budapest University of Technology and Economics*, BME, Budapest, pp. 89-93., 2022.
- RC24 Omar Alharasees, Utku Kale, Jozsef Rohacs, Daniel Rohacs, Adaptation of Smart Energy Map to Transportation Domain: A Case Study to Small Airfield Buildings and Other Infrastructures, International Symposium on Electric Aviation and Autonomous systems, Warsaw, 2023, July 5 - 7 , 2023

Diplomamunka, disszertációk

- RT1 Rohacs, D. (2004). Nouveau systeme de controle automatique pour de petits avions. *Diploma Thesis*, p. 156. NSA de Lyon & BME, .

- RT2 Rohács, D.: "Non-linear prediction model for the European small aircraft accessibility for 2020: (Az európai kisrepülőgépek elérhetőségének nemlineáris előrejelző modellje 2020-ra). *PhD értekezés*, BME, 2007. 105 p.
- RT3 Rohacs, D. (2020). *Development of Disruptive Technologies and Solutions for Future Aviation* [Dr. - Habilitation thesis, Budapest University of Technology and Economics]. [epozitorium.omikk.bme.hu/. https://repozitorium.omikk.bme.hu/bitstream/handle/10890/16353/00018363.pdf?sequence=1](https://repozitorium.omikk.bme.hu/bitstream/handle/10890/16353/00018363.pdf?sequence=1)

Projektek, kutatási jelentések

- RP1 SPACECOM. (2004 - 2005). Új légitörzsi informatikai rendszer (SPACECOM) fejlesztése, Budapest: eR-Group, RDS-X Fejlesztési és Tanácsadó Kft.
- RP2 EPATS. (2007 - 2008). *European Personal Air Transportation System SEU FP/ project*, <https://cordis.europa.eu/project/id/44549/pl>
- RP3 SINBAD (2007 - 2010). *Safety improved with a new concept by better awareness on airport approach domain, EU FP6 project*, <https://cordis.europa.eu/project/id/37164>
- RP4 Balk, A. D., Wever, R., Gati, B., Gausz, Z., Gausz, T., Ludányi, L., Rohacs, D., Rohacs, J. (2007). *Threat identification and scenarios*. Deliverable D2.1. of the EU FP6 supported SINBAD project, Amsterdam, Budapest.
- RP5 Rohacs, D. (2008). *Prediction of the Non-Cooperative Air Targets at the European Airport Vicinities*. (Deliverable, SINBAD project) Budapest: BME.
- RP6 SafeFly. (2007 - 2010). Közlekedés-biztonsági innovációk előkészítése és megvalósítása egy új négy személyes kompozit repülőgép prototípusának előállításában. *nemzeti Projekt: TECH_8_D4-2008-0033 (Projektvezető Corcus Aircraft)*.
- RP7 Corvus. (2008 - 2010). Racer 540 akrobatikus repülőgép fejlesztése. *Megbízó Red Bull (World Air Race)*. Corvus Aircraft Kft. , Ballószög.
- RP8 PPLANE -(2009 - 2012) *The Personal Plane Project*. <https://pplane-project.org/>
- RP9 CDR, U. . (2011). UAV conflict detection and resolution system development - preliminary investigation (partner, Cofano Venture Partners AG, témavezető: M. Oppelt, magyar témavezető: Rohács D.) Rea-Tech Kft. Budapest, 2011. Budapest: Rea-Tech Ltd.
- RP10 LC-CDR, U. (2011 - 2012). Low cost conflict detection and resolution system for the small aircraft. Budapest: Rea-Tech Ltd.
- RP11 ESPOSA (2011 - 2013). *Efficient Systems and Propulsion for Small Aircraft, EU project*, <https://cordis.europa.eu/project/id/284859>
- RP12 GABRIEL (2011 - 2014) *Integrated Ground and on-Board system for Support of the Aircraft Safe Take-off and Landing , EU project*, <https://cordis.europa.eu/project/id/284884>
- RP13 Rohacs, J. ; Rohacs, D. ; Jankovics, I. ; Voskuil, M. ; Sibilski, K.: "Possible Solutions to Take-Off and Land an Aircraft". *Deliverable D2.4. Integrated Ground and On-Board system for Support of the Aircraft Safe Take-Off and Landing – GABRIEL, EU Project Number 284884*, 2012.
- RP14 Schmollgruber, P., Graaff, A. d., Vozella, A., Amato, M., Rogg, D., Schaik, F. v., Rohacs, D., Rohacs, J., Kocsis, A., Pais, A. R. V., Voskuil, M. (2012). *Preliminary definition of the GABRIEL concept*. Deliverable D2.8., Toulouse: The French Aerospace lab - ONERA. P. 49
- RP15 Rogg, D., Rohacs, J., Rohacs, D., Voskuil, M., & Sibilski, K. (2013). *Conceptual Design of the Ground-based System Related to the GABRIEL Concept, Technical report, Deliverable 3.5, GABRIEL project, Grant Agreement n. 284884, 2013*. (D 3.5. Gabriel Project; p. 94). DRogg.
- RP16 Rohacs, J., Rohacs, D., & Jankovics, I. (2014). *Security problems of the GABRIEL concept*. Diósd: Rea-Tech. Ltd.
- RP17 SAT-Rdmp Home page, *Small Aircraft Transport Roadmap, EU supported Project*, 2011 - 2013, <https://sat-rdmp.eu/>
- RP18 Laplace, I., Ghijs, S., & Rohacs, D. (2011). *Small air transport aircraft demand* (D2.1. deliverable, SAT-Rdmp project; p. 55). Institute of Aviation. https://sat-rdmp.eu/Files/Deliverables/SAT-Rdmp-D1_2-Report-V1.pdf
- RP19 INNOVATE - INNOvation through Validation for Air Transportation in Europe, Proposal for lot 5 - Modelling Support to Validation, SESAR (Single European Sky ATM Research) Project, deep Blue, 2011 - 2014.

drohacs_112_23

- RP20 USIS (2017 - 2019). *U-Space Initial Services*, EU H2020 Project, <https://cordis.europa.eu/project/id/783261>
- RP21 FORJET2035 - ATS level Business Jet Forecast, Cleansky2 JTI-CS2-2016-CFP05-TE2-01-03, (Coordinator CRIA), 2017 - 2018
- RP22 FORROT2035 - ATS level Rotorcraft Forecast, Cleansky2 JTI-CS2-2016-CFP05-TE2-01-04, (Coordinator CRIA), 2017 - 2018
- RP23 FORSAT2035 - ATS level Small Aircraft transportation Forecast, Clean Sky 2, JTI-CS2-2016-CFP05-TE2-01-05, (Coordinator CRIA), 2017 - 2018
- RP24 IDEA-E. (2017). *Investigation and development of the disruptive technologies for e-mobility and their integration into the engineering education*. (EFOP-3.6-1-16-2016-00014.). Budapest University of Technology and Economics, John Neumann University, Szeged University.
- RP25 SAFEMODE - *Strengthening synergies between Aviation and maritime in the area of human Factors towards achieving more Efficient and resilient MODE of transportation*, EU H2020 Project, 2019 - 2022, <https://cordis.europa.eu/project/id/814961>
- RP26 GREAT - *Greener Air Traffic Operations*, EU H2020 Project, 2020-2023, <https://cordis.europa.eu/project/id/875154>
- RP27 MATE. (2023). *Project 'Smart Energy Utilisation Map'* (Research and Development ÉZFF/212/2022-TIM-Smart Map; I. Appendix I. Paper Review on Small Resinsential Energy Systems, p. 38). Centre for Circular Economy Analysis and Knowledge at Hungarian University of Agriculture and Life Sciences (MATE).

A téziszüzetben hivatkozott (nem saját) irodalom

- 1 NASA. (2002). *NASA Aeronautics Blueprint: Towards a Bold New Era in Aviation*. Washington D. C.: NASA.
- 2 ACARE. (2001). *European Aeronautics: A vision for 2020*. European Comission.
- 3 ACARE. (2017). *Strategic Research and Innovation Agenda – 2017 update*, (Vol. 1). <https://open4aviation.at/resources/pdf/ACARE-Strategic-Research-Innovation-Volume-1.pdf>
- 4 IATA. (2019). *Aircraft Technology Roadmap to 2050*. IATA - International Air Transport Association.
- 5 IATA. (2021). *Net-Zero Carbon Emissions by 2050*. <https://www.iata.org/en/pressroom/2021-releases/2021-10-04-03/>
- 6 Liu, X., Furrer, D., Kusters, J., & Holmes, J. (2018). *Vision 2040: A Roadmap for Integrated, Multiscale Modeling and Simulation of Materials and Systems* (E-19477). <https://ntrs.nasa.gov/citations/20180002010>
- 7 ACARE. (2011). *FlightPath 2050, Europe's Vision for Aviation*. European Comission. https://www.acare4europe.org/sites/acare4europe.org/files/document/Flightpath2050_Final.pdf
- 8 ASD. (2017, May 22). *Clean Sky & SESAR*. <https://www.asd-europe.org/clean-sky-sesar>
- 9 EU. (2011, 2016). *SESAR Joint Undertaking | European project on innovative air mobility takes off*. <https://www.sesarju.eu/news/european-project-innovative-air-mobility-takes>
- 10 EC. (2018). *Clean Sky 2—The largest research programme for aviation ever launched in Europe | Research and Innovation*. <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/projects/success-stories/all/clean-sky-2-largest-research-programme-aviation-ever-launched-europe>
- 11 Wikipedia. (2022). *Corvus Racer 540*. In *Wikipedia*. 2008 - 2010. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Corvus_Racer_540&oldid=1070320919
- 12 SESAR. (2022). *European ATM Master Plan 2020* (2020 edition, Executive view, 1–176). <https://www.sesarju.eu/masterplan2020>
- 13 Bala, P. (2021). *Predictive Modelling for Future Technology Development* [Chapter]. *Handbook of Research on Future Opportunities for Technology Management Education*; IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-8327-2.ch027>
- 14 Baldwin, R. (2017). *Developing the Future Aviation System*. Routledge.
- 15 Farokhi, S. (2020). *Future Propulsion Systems and Energy Sources in Sustainable Aviation*. John Wiley & Sons.

drohacs_112_23

- 16 Shyam, V., Eggermont, M., & Hepp, A. F. (2022). *Biomimicry for Aerospace: Technologies and Applications*. Elsevier.
- 17 Chu, L., Li, Q., Gu, F., Du, X., He, Y., & Deng, Y. (2022). Design, modeling, and control of morphing aircraft: A review. *Chinese Journal of Aeronautics*, 35(5), 220–246. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2021.09.013>
- 18 Osiander, R., Allen, J. J., George, T., Darrin, M. A. G., Champion, J. L., Firebaugh, S. L., Buchner, S. P., Schein, J., Dennehy, C. J., Gerke, R. D., Rebello, K., Swanson, T. D., Boone, B. G., Chen, P. T., Farrar, D., Jamieson, B., Powers, R., Wesolek, D. M., & O'Brien, M. S. (Eds.). (2017). *MEMS and Microstructures in Aerospace Applications*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420027747>
- 19 IATA. (2013). *Technology Roadmap*. IATA - International Air Transport Association. https://aviation.report/Resources/Whitepapers/6e0df8d7-f381-4a56-bef4-3f83fe8f65e1_IATA%20TECHNOLOGY%20ROADMAP%202013.pdf
- 20 Gelhausen, M. C., Grimme, W., Junior, A., Lois, C., & Berster, P. (2022). Clean Sky 2 Technology Evaluator—Results of the First Air Transport System Level Assessments. *Aerospace*, 9(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/aerospace9040204>
- 21 Shetty, K. (2012). *Current and Historical Trends in General Aviation in the United States* (ICAT;2012-6). MIT International Center for Air Transportation (ICAT). <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/72392>, <http://hdl.handle.net/1721.1/72392>
- 22 Dožić, S. (2019). Multi-criteria decision making methods: Application in the aviation industry. *Journal of Air Transport Management*, 79, 101683. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2019.101683>
- 23 Kumar, S., Luthra, S., Haleem, A., Mangla, S. K., & Garg, D. (2015). Identification and evaluation of critical factors to technology transfer using AHP approach. *International Strategic Management Review*, 3(1), 24–42. <https://doi.org/10.1016/j.ism.2015.09.001>
- 24 Kirby, M. R. (2001). *A methodology for technology identification, evaluation, and selection in conceptual and preliminary aircraft design* [Georgia Institute of Technology]. <https://smartech.gatech.edu/handle/1853/12042>
- 25 Mavris, D., & Kirby, M. R. (1999). *Technology Identification, Evaluation, and Selection for Commercial Transport Aircraft*. SAWE Paper No. 2456, 13. <http://hdl.handle.net/1853/6392>
- 26 Truman, T., & Graaff, A. d. (2007). *Out of the box, Ideas about the future of air transport*. Brussels: EC Directorate-general for research, ACARE, .
- 27 Raymer, D. (2012). *Aircraft Design: A Conceptual Approach, Fifth Edition*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. <https://doi.org/10.2514/4.869112>
- 28 Roskam, J. (2015). *Airplane Design Part I: Preliminary Sizing of Airplanes*. Design, Analysis and Research Corporation.
- 29 Roskam, J. (2017). *Airplane Design, Part II: Preliminary Configuration Design and Integration of the Propulsion System*. DARcorporation.
- 30 Torenbeek, E. (2013). *Advanced Aircraft Design: Conceptual Design, Analysis and Optimization of Subsonic Civil Airplanes* (1st edition). John Wiley & Sons.
- 31 Antcliff, K. R., Gynn, M. D., Marien, T., Wells, D. P., Schneider, S. J., & Tong, M. J. (2016). Mission Analysis and Aircraft Sizing of a Hybrid-Electric Regional Aircraft. In *54th AIAA Aerospace Sciences Meeting*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/10.2514/6.2016-1028>
- 32 Brelje, B. J., & Martins, J. R. R. A. (2019). Electric, hybrid, and turboelectric fixed-wing aircraft: A review of concepts, models, and design approaches. *Progress in Aerospace Sciences*, 104, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2018.06.004>
- 33 Finger, D. F., Vries, R. de, Vos, R., Braun, C., & Bil, C. (2020). A Comparison of Hybrid-Electric Aircraft Sizing Methods. In *AIAA Scitech 2020 Forum*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/10.2514/6.2020-1006>
- 34 Hoelzen, J., Liu, Y., Bensmann, B., Winnefeld, C., Elham, A., Friedrichs, J., & Hanke-Rauschenbach, R. (2018). Conceptual Design of Operation Strategies for Hybrid Electric Aircraft. *Energies*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/en11010217>
- 35 Pornet, C., & Isikveren, A. T. (2015). Conceptual design of hybrid-electric transport aircraft. *Progress in Aerospace Sciences*, 79, 114–135. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2015.09.002>

- 36 Pornet, C., Gologan, C., Vratny, P. C., Seitz, A., Schmitz, O., Isikveren, A. T., & Hornung, M. (2015). Methodology for Sizing and Performance Assessment of Hybrid Energy Aircraft. *Journal of Aircraft*, 52(1), 341–352. <https://doi.org/10.2514/1.C032716>
- 37 Stückl, S. (2016). *Methods for the Design and Evaluation of Future Aircraft Concepts Utilizing Electric Propulsion Systems* [Technische Universität München]. <https://mediatum.ub.tum.de/1255732>
- 38 Voskuijl, M., van Bogaert, J., & Rao, A. G. (2018). Analysis and design of hybrid electric regional turboprop aircraft. *CEAS Aeronautical Journal*, 9(1), 15–25. <https://doi.org/10.1007/s13272-017-0272-1>
- 39 SESAR. (2016). *European Drones Outlook Study Unlocking the value for Europe*. Brussels: SESAR.
- 40 DLR. (2017). *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), DLR Blueprint, Concept for Urban Airspace Integration*. Berlin: DLR.
- 41 Low, K. H. (2017). Framework for urban Traffic Management of Unmanned Aircraft System (uTM-UAS), Drone Enable. *ICAO Unmanned Aircraft Systems (UAS) Industry Symposium (UAS2017)* (old.: p. 26). Montreal: ICAO HQ. Forrás: https://www.icao.int/Meetings/UAS2017/Documents/Kim%20Huat%20Lo_Singapore_UTM_%20Day%201.pdf
- 42 Rios, J. (2018). *Strategic Deconfliction: System Requirements*, 31 July 2018. Final Report, UAS Traffic Management (UTM) Project. Forrás: <https://utm.arc.nasa.gov/docs/2018-UTM-Strategic-Deconfliction-Final-Report.pdf>
- 43 Chester, M. V., & Horvath, A. (2009). Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains. *Environmental Research Letters*, Vol. 4.(No. 2). doi:DOI: 10.1088/1748-9326/4/2/024008
- 44 Messagie, M., Lebeau, K., Coosemans, T., Macharis, C., & van Mierlo, J. (2013). Environmental and Financial Evaluation of Passenger Vehicle Technologies in Belgium 2013, 5, pp. 5020 - 5033, doi:10.3390/su5125020. *Sustainability*, pp. 5020 - 5033. doi:doi:10.3390/su5125020
- 45 Asiedu, Y., & Gu, P. (1998). Product life-cycle cost analysis: state of the art review. *International Journal of Production Research*, Vol. 36.(No. 4.), pp. 883 - 908.
- 46 Furch, J. (2018). A model for predicting motor vehicles life-cycle cost and its verification. *Transaction of Famena XL-1*, pp. 15 - 26.
- 47 Hellgren, J. (2007). Life-cycle cost analysis of a car, a city bus and an intercity bus powertrain for year 2005 and 2020. *Energy Policy*, Vol. 35.(Issue. 1.), pp. 39 - 49.
- 48 Jun, H. K., & Kim, J. H. (2007). Life-cycle cost modelling for railway vehicle. *Proceedings of International Conference on Electrical Machines and Systems*, (old.: pp. 588 - 593).
- 49 Buchanan, J. M., & Stubblebine, W. C. (1962). Externality. *Economica, New series* 29(No. 116), pp. 371 - 384. doi: doi:10.2307/2551386.
- 50 van Essen, H., Scroten, A., Otten, M., Sutter, D., Schreyer, C., Zandonella, R., . . . Doll, C. (2008). *External costs of transport in Europe*. Delft.
- 51 Anas, A., & Lindsey, R. (2011). Reducing Urban Road Transportation Externalities: Road Pricing in Theory and in Practice. *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 5.(No. 1.), pp. 66 - 88.
- 52 Norris, G. A. (2001). Integrating Life-cycle Cost Analysis and LCA . *International Journal of Life-cycle Assessment*, pp. 118 - 120.
- 53 Profillidis, V. A., Botzoris, G. N., & Galanis, A. T. (2014). Environmental Effects and Externalities from the Transport Sector and Sustainable Transportation Planning – A Review. *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 4., 2014, No. 4., pp. 647, Vol. 4. (No. 4.), pp. 647 - 661.
- 54 WCED. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development Our Common Future* (p. 247). UN WCED - World Commission on Environment and Development. <https://digitallibrary.un.org/record/139811>
- 55 Bugayko, D., & Shevchenko, O. (2020). Indicators of air transport sustainable development. *Intellectualization of logistics and supply chains management*, 1(4), 6–18.
- 56 Koç, S., & Durmaz, V. (2015). Airport Corporate Sustainability: An Analysis of Indicators Reported in the Sustainability Practices. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 181, 158–170. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.877>

- 57 Litman, T. (2021). *Developing Indicators for Sustainable and Livable Transport Planning* (p. 117). Victoria Transport Policy Institute. <https://www.vtpi.org/wellmeas.pdf>
- 58 Zieba, M., & Johansson, E. (2022). Sustainability reporting in the airline industry: Current literature and future research avenues. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 102, 103133. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103133>
- 59 Scholz, A. E., Trifonov, D., & Hornung, M. (2022). Environmental life cycle assessment and operating cost analysis of a conceptual battery hybrid-electric transport aircraft. *CEAS Aeronautical Journal*, 13(1), 215–235. <https://doi.org/10.1007/s13272-021-00556-0>
- 60 Ther Air Current. (2021, September 14). *Electric is the future of regional aviation, just not yet*. The Air Current. <https://theaircurrent.com/analysis/electric-future-of-regional-aviation-not-yet/>
- 61 Baharozu, E., Soykan, G., & Ozerdem, M. B. (2017). Future aircraft concept in terms of energy efficiency and environmental factors. *Energy*, 140, 1368–1377. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.007>
- 61 Timmis, A. J., Hodzic, A., Koh, L., Bonner, M., Soutis, C., Schäfer, A. W., & Dray, L. (2015). Environmental impact assessment of aviation emission reduction through the implementation of composite materials. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(2), 233–243. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0824-0>
- 63 Skowron, A., Lee, D. S., De León, R. R., Lim, L. L., & Owen, B. (2021). Greater fuel efficiency is potentially preferable to reducing NOx emissions for aviation’s climate impacts. *Nature Communications*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20771-3>
- 64 Jansen, R., Bowman, C., Jankovsky, A., Dyson, R., & Felder, J. (2017). Overview of NASA Electrified Aircraft Propulsion (EAP) Research for Large Subsonic Transports. In *53rd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/10.2514/6.2017-4701>
- 65 Schäfer, A. W., Barrett, S. R. H., Doyme, K., Dray, L. M., Gnadt, A. R., Self, R., O’Sullivan, A., Synodinos, A. P., & Torija, A. J. (2019). Technological, economic and environmental prospects of all-electric aircraft. *Nature Energy*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0294-x>
- 66 ALPA. (2019). *The dangers of single-pilot operations, ALPA White paper*. ALPA - Air Line Pilots Association.
- 67 Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, 37(1), 32–64. <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>
- 68 FAA. (2004). *Next Generation Air Transport System Integrated Plan*. US Department of Transport FAA - Federal Aviation Authority. http://tg.hfes.org/astg/papers/Natl_Plan_NGATS_v5.pdf
- 69 Li, W.-C., Zhang, J., Court, S., Kearney, P., & Braithwaite, G. (2022). The influence of augmented reality interaction design on Pilot’s perceived workload and situation awareness. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 92, 103382. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2022.103382>
- 70 Moore, M. D. (2003). Personal Air Vehicles: A Rural/Regional and Intra-Urban on-Demand Transportation System. *Journal of the American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)*, 2003–2646.
- 71 Tang, L., Si, J., Sun, L., Mao, G., & Yu, S. (2022). Assessment of the mental workload of trainee pilots of remotely operated aircraft using functional near-infrared spectroscopy. *BMC Neurology*, 22(1), 160. <https://doi.org/10.1186/s12883-022-02683-5>
- 72 Bravo-Mosquera, P. D., Catalano, F. M., & Zingg, D. W. (2022). Unconventional aircraft for civil aviation: A review of concepts and design methodologies. *Progress in Aerospace Sciences*, 131, 100813. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2022.100813>
- 73 Johnson, W., & Silva, C. (2022). NASA concept vehicles and the engineering of advanced air mobility aircraft. *The Aeronautical Journal*, 126(1295), 59–91. <https://doi.org/10.1017/aer.2021.92>
- 74 mycopter. (2011 - 2015). Enabling Technologies for Personal Aerial Transportation Systems. (Consortia leader: Max Planck Institute for Biological Cybernetics). Forrás: <http://www.mycopter.eu/>