



REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

Kiemelt közlemények

**MOHAMMED MUDABBIRUDDIN,
LÁSZLÓ POKORÁDI:**
Simulation of Aeging of Aircraft

MAJOR GÁBOR, TÓTH ZOLTÁN:
*A háborút is megjárt UAV-k pilótáinak mentális
átformálódása*

VAS TÍMEA, FODOR MÁTÉ JÁNOS:
Munkadrónok szerepe az integrált repülőtéren

34. évf. (2022)
2. szám

HU ISSN 1417-0604 (nyomtatott)
HU ISSN 1789-770X (elektronikus)



LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

Repüléstudományi Közlemények

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar tudományos kiadványa

Elektronikus kiadás
HU ISSN 1789-770X

Nyomtatott kiadás
HU ISSN 1417-0604

A szerkesztőbizottság elnöke

Prof. Dr. Óvári Gyula (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

A szerkesztőbizottság tagjai

Dr. Bottyán Zsolt (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Dunai Pál (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Kavás László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Makkay Imre (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Palik Mátyás (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Pokorádi László (Óbudai Egyetem)
Dr.h.c. doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD., MBA, LL.M. (Kassai Műszaki Egyetem, Szlovákia)
Prof. Dr. Szabolcsi Róbert (Óbudai Egyetem)
Dr. Szilvássy László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Vas Tímea (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)


Szerkesztőség

Dr. Békési Bertold (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) főszerkesztő
Dr. Szilvássy László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) szerkesztő
Törőcsik Tímea (Nemzeti Közszolgálati Egyetem) szerkesztőségi titkár
Szerkesztőség címe: 5008 Szolnok, Kilián út 1.
Levelezési címe: 5008 Szolnok, Pf. 1.
e-mail: RepTudKozl@uni-nke.hu

Kiadó

Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Ludovika Egyetemi Kiadó
1083 Budapest, Ludovika tér 2.
kiadvanyok@uni-nke.hu • +36 1 432 9000

A kiadásért felel: Deli Gergely rektor

Borítókép: a képet Kővári László  (jetplanes.blog.hu) készítette



Tartalom

Tiba Zsolt, Győri Gyula, Ailer Piroska, Husi Géza: A Cessna 172 típusú repülőgép dízélüzemmódra alakításának megtérülése.	5
Schuster György: Fejlesztésben alkalmazott szoftvereszközök minősítése.	19
Mohammed Mudabbiruddin, László Pokorádi: Simulation of Ageing of Aircraft	29
Horváth Gábor: A helyszíntől független katonai repülőtéri irányításhoz szükséges optikai rendszerre vonatkozó minimális teljesítményszabványok keretrendszere.	37
Terpecz Gábor: Menekülés a levegőből.	53
Omar Alharasees, Utku Kale: Air Transport Projects Quality Assessments by Analytical Hierarchy Process (AHP).	73
Táborszky József: A katonai repülőtereket érintő biztonsági kihívások változása a történelem során (1. rész)	83
Horváth Gábor: A helyszíntől független repülőtéri irányítás katonai alkalmazhatóságának vizsgálata a kapcsolódó SESAR-projekt tapasztalatainak tükrében.	95
Major Gábor, Tóth Zoltán: A háborút is megjárt UAV-k pilótáinak mentális átformálódása.	107
Vas Tímea, Fodor Máté János: Munkadrónok szerepe az integrált repülőtéren	129



Tiba Zsolt, Győri Gyula, Ailer Piroska, Husi Géza

A Cessna 172 típusú repülőgép dízelüzemmódra alakításának megtérülése

A Cessna 172 típusú repülőgép dízelmotoros változatra való átalakításának több aspektusa van. Az eredeti hajtómű kiváltása korszerű dízelmotorral és változtatható beállítási szögű légcsavarral évtizedekkel modernebb technológiára való váltást jelent. A nagyobb motorteljesítmény és az alacsonyabb tüzelőanyag-fogyasztás kedvezően befolyásolja a repülőgép repülési teljesítményét. Ebben a dolgozatban azt elemezzük, hogy milyen költséggel jár az átalakítás, mennyi a megtérülés ideje tekintettel a gazdaságosabb üzemelésre, illetve hogyan alakulnak a karbantartási ciklusok és költségek.

Kulcsszavak: Continental repülőgépgyár, TAE 125-02-99 típusú dízelmotor, súlypontszámítás, repülési teljesítmény, felújítási és karbantartási költségek, karbantartási ütemezés, megtérülés

1. Bevezetés

A Debreceni Egyetem Műszaki Kar 2018-ban indította akkori nevén a Hivatásos repülőgépvezetői alapképzési szakot. A szak képzési célja hivatásos repülőgép-vezetők képzése, akik ismerik a légi közlekedést, alkalmasak a repülőgépeket üzemeltető vállalkozásoknál, szervezeteknél a hivatásos repülőgép-vezetői tevékenység ellátására, a légi üzemeltetéssel (*air operation*), a földi kiszolgálással (*ground handling*) és a szállítási feladatok szervezésével, megoldásával kapcsolatos, valamint a vonatkozó minőségbiztosítási teendők végzésére. A képzés során elsajátítják az ATP(A) (*airline transport pilot, aircraft*) integrált képzés követelményeit, felkészülnek a tanulmányok mesterképzésben való folytatására. A szak neve azóta megváltozott, magyar nyelven Repülőmérnöki alapképzési szak lett, de érdekes módon a képzési cél semmiben nem módosult. A hallgatói létszám növekedésével egyre több repült órát kell biztosítani. Jelenleg a hallgatói létszám a négy évfolyamon összesen 170 fő. Nem mellékes a képzés költsége, ezért a növekedő hallgatói létszám miatt elkezdtünk azzal foglalkozni, hogy a költségeket milyen módon lehet csökkenteni. A növekvő hallgatói létszám a Cessna 172 típusú repülőgép dízelmotoros változatra való átalakításának fedezeti pontját egyre inkább a rövid távú megtérülés irányába mozgatta. Az eredeti Lycoming O-320 motor csak repülőbenzinnel üzemeltethető a megkívánt ólomtartalom miatt, a fogyasztása pedig nem mondható takarékosnak. A mai korszerű benzinüzemű repülőgépmotorok ólommentes autóbENZINNEL működnek, így a repülőbenzin felhasználása ma már nem nő arányosan a repülőgépek számának növekedésével.

Ebben a cikkben az utóbbi években már rutinszerűen végzett, úgynevezett „dízelesítéssel” kapcsolatos kérdésekkel foglalkozunk.

Az eredeti motor korszerű dízelmotorra cserélése által évtizedekkel modernebb technológiára válthatunk. Hasonlóan a gázturbinás hajtóművekhez, a dízelüzemű repülőgépek JET A1, más néven kerozin tüzelőanyaggal működnek, amely a repülőtereken széles körben elérhető.

Az átalakítás előtt célszerű megvizsgálni, hogy a nagyjavításig mennyi üzemidő áll még rendelkezésre, milyen költséggel jár, mennyi a megtérülés ideje tekintettel a gazdaságosabb üzemelésre, illetve hogyan alakulnak a karbantartási ciklusok és költségek.

2. Repülőgép-dízelmotorok napjainkban

A repülőgép-dízelmotorokat már csak az egyre szűkülő „kisgépes piac” használja, mivel a nagygépes világ már áttért a gázturbinás hajtóművekre. Emiatt a repülőgéphajtómű-fejlesztő vállalatoknak nem éri meg a mai technológiai szintnek és csak a korszerű anyagokkal biztosítható követelményeknek megfelelő teljesen új repülőgép-dízelmotor kifejlesztése. A gyártók ezért az autópárhazban már nagy sorozatban gyártott megbízható dízelmotort fejlesztették tovább, és ehhez illesztették a légcsavaregységet, valamint a repülőgép egyéb rendszereit alakították át a dízelüzemhez.



1. ábra
Centurion 1.7 [2]

Az első, szériában gyártott repülőgép-dízelmotor alapja a Mercedes-Benz A osztály 1,7 literes motor. Ezt a motort a német Thielert cég gyártotta 2002-ben. A Centurion 1.7 típusjelzésű dízelmotort a Lycoming O-320-as motor kiváltására tervezték, és a Cessna 172-es, valamint a Piper Cherokee típusokba építették be elsőként, lásd 1. ábra [1].

A Centurion 1.7 motor engedélyezett tüzelőanyaga a kerozin, a dízelolaj, illetve a vegyes üzemeltetés azzal a kitételrel, hogy +5 °C alatt csak tisztán kerozin használható. Miután a gyártó leállította az 1,7 literes motor gyártását, a Centurion 1.7 motort a Centurion 2.0 motor váltotta azonos teljesítmény- és nyomaték-paraméterekkel: 135 LE és 409 Nm. A motort ellátták egy fogaskerék-hajtóművön keresztül meghajtott állandó sebességű légcsavarral és FADEC motorvezérlő rendszerrel. Az 1. táblázat a dízelmotor beépítésével foglalkozó fejlesztéseket foglalja össze [3].

1. táblázat
Repülőgépekbe kifejlesztett dízelmotorok és paramétere [3]

Géptípus	C172, DA-40	C206	DA-40, DA-42	C182, TB-20	Yak-52	Cirrus SR-20
Megjelenés	2006	2006	2008	1998	2010	2010
Tüzelőanyag	dízel, Jet A1	dízel, Jet A1	Jet A1	Jet A1	dízel, Jet A1	dízel, Jet A1
Hengerek száma, elrendezése	4, soros elrendezés	8, V elrendezés	4, soros elrendezés	4, boxer elrendezés	12, V elrendezés	4, V elrendezés
Fogyasztás (gallon/h)	4,5	6,6–7,8	5,5–9,25	10–13,2	20	7,5
Tömeg (kg)	134	272	185	195	372	148
Löklet térfogat (cm ³)	1991	3996	1991	4988	6134	3300
Teljesítmény (LE)	135	350	168	227	500	180
Típus	Centurion 2.0	Centurion 4.0	AE300	SR305-230	RED A03 v13	DH180A4
Gyártmány	Thielert	Thielert	Austro Engine	SMA Engines	Red Aircraft GmbH	DeltaHawk

A 2. táblázat a gépjárműmotorokon alapuló Continental dízelmotorokat foglalja össze [3].

2. táblázat
A gépjárműmotorokon alapuló Continental dízelmotorok [3]

Continental Diesel motorcsalád FADEC vezérléssel Változtatható beállítási szögű légcsvavar Tüzelőanyag: JET A1	Modellnév	Marketingnév	Státusz
99 kW (135 LE)	TAE 125-01	Centurion 1.7	2005 óta nem gyártják
99 kW (135 LE)	TAE 125-02-99	CD-135	Jelenlegi modell
114 kW (155 LE)	TAE 125-02-114	CD-155	Jelenlegi modell
221 kW (300 LE)	n/a	CD-300 (V6-os motor)	Fejlesztése folyamatban
228 kW (310 LE)	Centurion 4.0-BE 228 (széria)	Centurion 4.0 (V8-as motor)	Félbehagyott fejlesztés

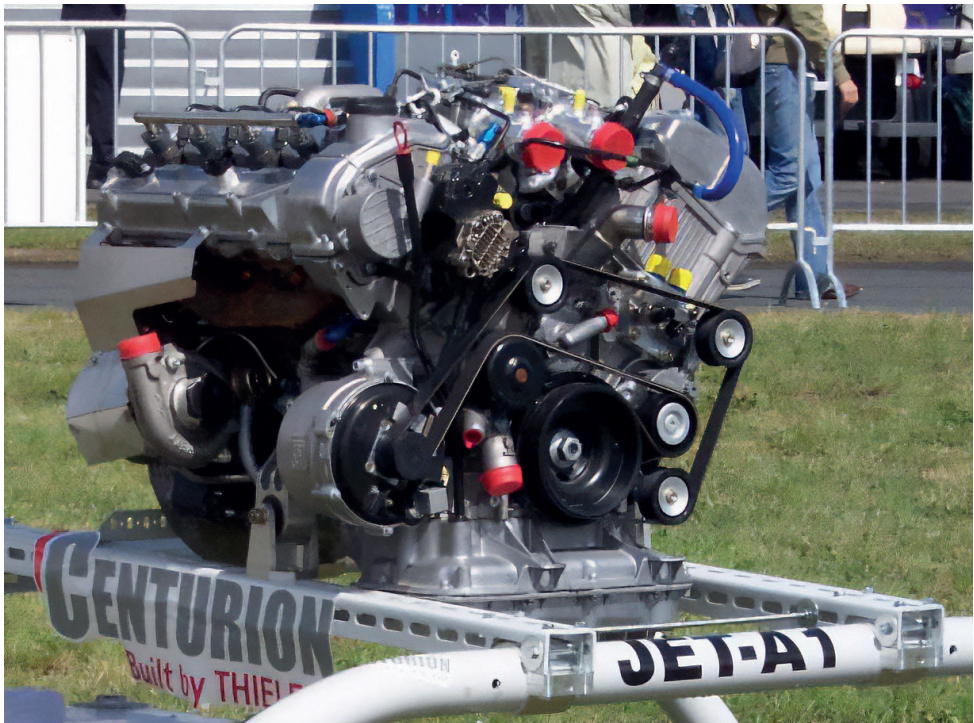
3. TAE-125 szériájú repülőgépmotor

A ma elérhető TAE 125-02-99 típusú dízelmotor egy 2,0 literes turbófeltöltős, DOHC-szelepvezérlésű, hengereként 4 szelepes, soros 4 hengeres, közös nyomócsöves motor,

amelyet FADEC-rendszer vezérel. A változtatható beállítási szögű légszavar egykaros teljesítményvezérléssel működik, és túlterhelés elleni tengelykapcsolóval látták el. A 2. ábrán látható a motor a kiegészítő berendezésekkel. Az alapmotoron a következő fejlesztéseket végezték a repülőgéphez való alkalmazáshoz:

- a TMG (Technify Motors GmbH) által átterveztek a szívó-, a kipufogó- és a turbófeltöltő-rendszert, valamint egy elektromos vezérlőrendszert telepítettek;
- a motor forgattyúházát alacsony nyomású homoköntvényes alumínium egységgel váltották ki;
- a motor főtengejét egy SAE 4340 szabványú repülőgépacél-ötvényetből készült kovácsolt anyagból készítették.

A motor fordulatszáma 3900 1/min, amit a gyártó egy $i = 1,69$ áttételű hajtóművel illesztett a 2300 1/min fordulatszámú légszavar hajtásához. A motor dízelolajjal vagy Jet A1 tüzelőanyaggal üzemel.



2. ábra
TAE 125-02-99 motor [4]

FADEC-rendszer

Az alapvető különbség a TAE 125 szériájú és az eredeti repülőgépmotorok között a dízelüzem-mód és a FADEC-rendszer. A FADEC-rendszer (*Full Authority Digital Engine Control*) teljes körű motorvezérlést jelent. Az elektronikus vezérlésű szabályozórendszer (*Electronic Control Unit, ECU*) a motor összes paraméterét és a légszűrő beállítási szögét vezérli. A pilótának csak a kívánt motorteljesítményt kell beállítania a gázkarral.

FADEC-rendszerredundancia és -diagnosztika

A FADEC-rendszer két egymástól független Electronic Control Unit vezérlőt tartalmaz. Mindkét vezérlőrendszer külön szenzorokkal méri a külső és a szívócsőben uralkodó légnyomást. A két vezérlőrendszer folyamatosan működik, felügyeli a működést, és számolja a „jósági szintjüket”, de egy időben csak az egyik aktív. Ha az egyik motorvezérlő nem 100%-os állapotú, a rendszer automatikusan átkapcsol a másik vezérlőre. Ekkor a motorellenőrző lámpa felgyullad, és rögzíti az eseményt (az esemény dátumát, idejét, az esemény fennállásának időtartamát és a hiba típusát), amelyet egy fájlban tárol.

Légszűrővezérlő rendszer

A légszűrő beállítási szögének állításához használt munkaközeg a hajtóműolaj-rendszer kenőolaja. A hajtóműházban elhelyezett olajszivattyú 20 bar nyomást biztosít a rendszerben. A FADEC-rendszerrel vezérelt légszűrőszabályzó szelep az olajnyomáson keresztül állítja a légszűrő beállítási szögét, amely az olajnyomás növekedésével növekszik, és csökken az olajnyomás csökkenésével. Így a pilótának nincs közvetlen ráhatása a légszűrő állítására.

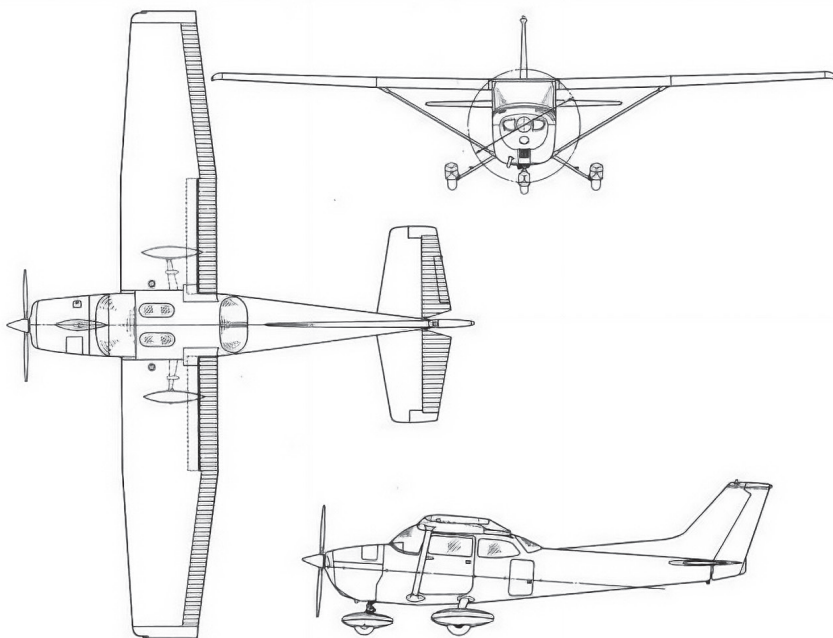
Elektromos rendszer

A motort vezérlő FADEC-rendszer működtetéséhez a repülőgép elektromos rendszerét újra kell konfigurálni és vezetékkel összekötni. A FADEC-rendszer két elkülönített áramforrással működik. Az egyiket a motor által hajtott generátor biztosítja, a másikat a repülőgép 24 V-os akkumulátora. Minden egyéb elektromos berendezés egy hagyományos biztosítékon keresztül csatlakozik az elektromos rendszerhez, amelyek együttes áramfelvétele nem haladhatja meg a 70 A-t. Generátorhiba esetén az akkumulátor körülbelül 2 órán keresztül biztosítja a normál üzemhez szükséges energiát.

4. Az átalakított Cessna 172

A Fly-Coop Kft., amely rendelkezik a Part-145-ös karbantartó jogosítvánnyal, több Cessna 172 repülőgép átalakítását végezte már el. Az átalakítást előírt technológia alapján az EASA (European Aviation Safety Agency) által elfogadott, a Continental repülőgépgyártótól vásárolt

STC- (*Supplemental Type Certifications*) kittel végzi. A szükséges engedélyeztetés részeként a CAMO (Continuing Airworthiness Management Organisation) ellenőrzi a karbantartó jogosultságát a munka elvégzésére, és hogy az átalakítás az adott típusra megvalósítható-e. Ezt követően az STC alapján a változtatásokat bevezeti a karbantartási programba. Az átépítést a légügyi hatóság felügyeleti jogkörben, a légi alkalmasság kapcsán ellenőrzi.



3. ábra
A Cessna 172 sematikus rajza [5]

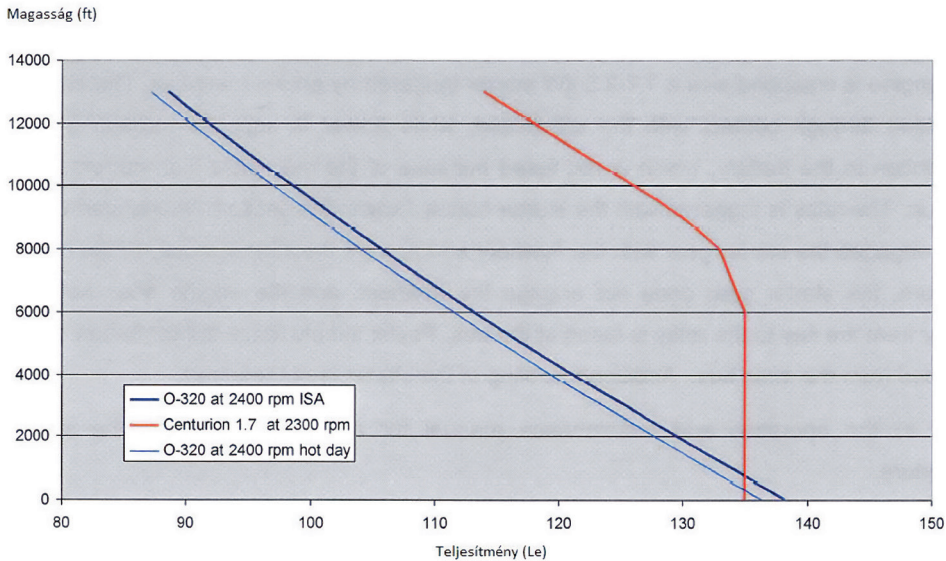
Jelen dolgozatban a francia Reims cég által licenccben gyártott F172 típusjellel ellátott M, illetve N típusváltozatok (lásd 3. ábra) teljesítményszámításai szerepelnek. A továbbfejlesztett modellváltozatok leginkább a hajtóművek módosítására korlátozódtak.

4.1. Motorteljesítmény

A TAE 125-01 (Centurion 1.7) motor 99 kW (135 LE) teljesítménnyel rendelkezik felszállás közben egészen 6000 láb légsűrűség-magasságig¹ és 71 kW (97 LE) teljesítménnyel az utazóüzemben 5500 m-ig (18 000 ft), lásd 4. ábra. A tüzelőanyag-felhasználás normál utazómódban felhasználói tapasztalatok alapján körülbelül 17,5 l/h (4,5 gal/h). A motor száraz tömege 134 kg (295 lb). A 4. ábra kék színnel jelöli a Lycoming O-320 szívómotor teljesítmény-jelleggörbéjét

¹ A sűrűségmagasság a standard légköri feltételekhez viszonyított magasság, amelynél a levegő sűrűsége megegyezik a repülési magasságon jelzett levegősűrűséggel.

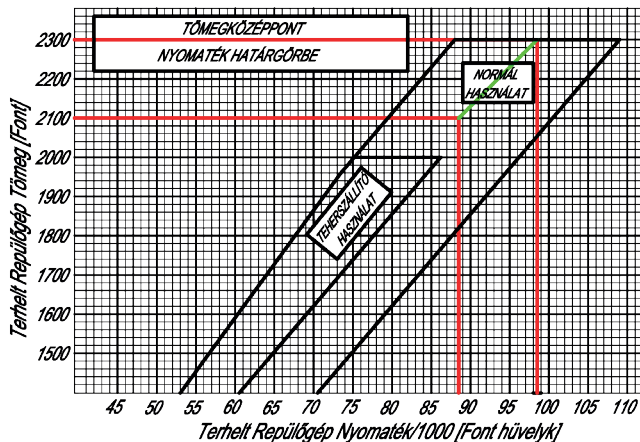
2400 1/min motorfordulatszám. A két jelleggörbe közötti különbséget a Centurion 1.7 motor turbófeltöltés működése indokolja.



4. ábra
Motorteljesítmények összehasonlítása [3]

4.2. Tömeg és tömegközéppont

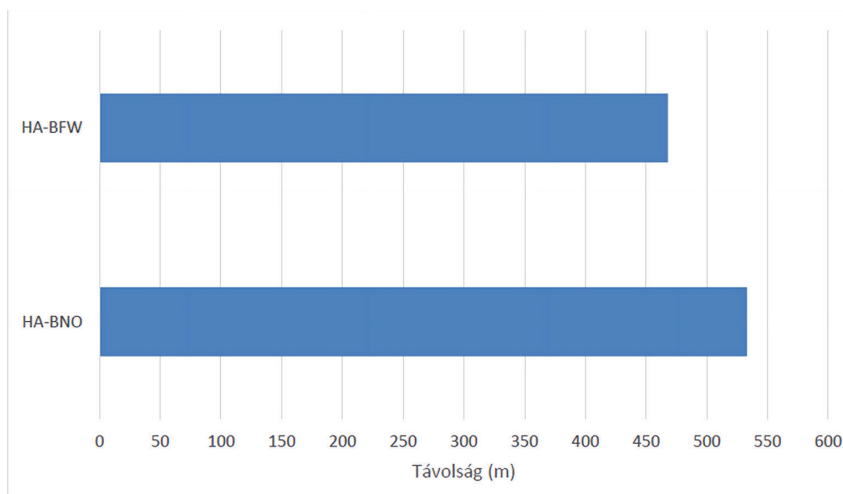
Dolgozatunkban a HA-BFW lajstromszámmal rendelkező Cessna 172N típusú repülőgép dízelmotoros változatra való átalakítását elemezzük. Az átépítéssel járó többlettömeg 32 kg, amely tartalmazza a motor kiegészítő felszereléseit, és az egyéb átalakításokkal járó tömegnövekedést a repülőgép-szerkezeten. Az 5. ábra a HA-BFW repülőgép tömeg- és nyomtatódiagramját mutatja [6, pp. 52]. A tömegközéppont 949 mm-ről (37,36 inch, az átalakítás előtti tömegközéppont mérési jegyzőkönyvben szereplő adat) 1040 mm-re (40,95 inch) változott, tehát a repülőgép repülés közben kismértékben instabilabb lett [3]. A repülőgép tömegközéppontjának hátrébb kerülését az magyarázza, hogy bár a motor és az átalakításhoz szükséges kiegészítő felszerelések többlettömeget jelentenek, a tömegközéppontjaik hátrébb helyezkednek el, mint a kiváltott egységeké. Látható, hogy a repülőgép tömegközéppontja a zöld vonal mentén a megfelelő tartományban marad a tüzelőanyag fogyasztásával, így a számított terheléssel engedélyezett a repülés.



5. ábra
A HA-BFW repülőgép tömeg- és nyomatékdiagramja [3]

4.3. Felszállási úthossz

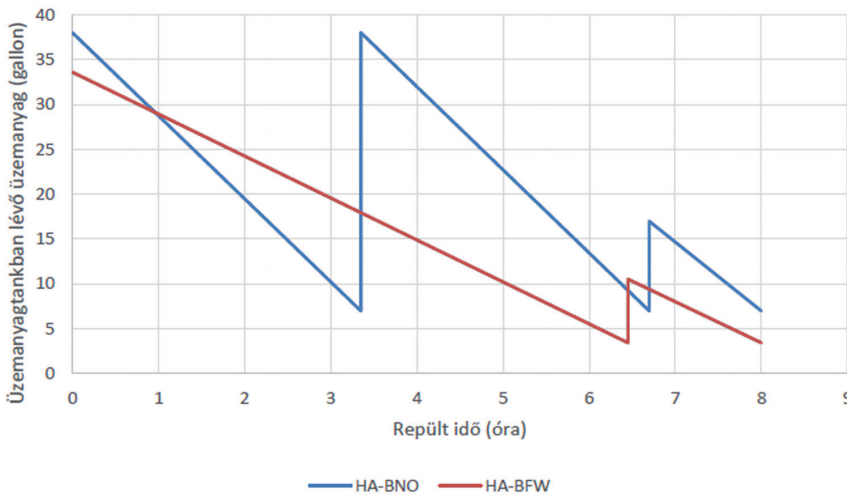
A 6. ábra a HA-BNO lajstromszámú Cessna 172M típusú benzinüzemű és a HA-BFW lajstromszámú Cessna 172N típusú dízelüzemű repülőgépek felszállási úthosszát szemlélteti. A számítások a gyártó által rendelkezésre bocsátott adatok, táblázatok alapján készültek 212,7 m (700 ft) tengerszint feletti repülőtérrel. Mint látható, a 15,2 m (50 láb) biztonsági magasságot a HA-BFW dízelüzemű repülőgép előbb éri el azonos légsűrűség magasság és tömeg mellett.



6. ábra
Felszállási úthossz 15,2 m (50 ft) biztonsági magasság eléréséig [3]

4.4. Útvonalrepülés

A 7. ábrán egy olyan repülési feladat végrehajtása látható, amely távolságot nem lehet egy (dízelüzem), illetve két (benzines üzem) tankolással teljesíteni. Az ábrán látható, hogy a dízelüzemű repülőgép közel kétszeres repülési távolsággal rendelkezik a kedvezőbb tüzelőanyag-fogyasztásnak köszönhetően. Mivel mindkét repülőgép esetében az utolsó szakaszra még egy kis mennyiségű tüzelőanyagot kell vételezni, a tankolási mennyiségek és a repülési szakaszok hossza kiegyenlíthető. Ennek megfelelően több csomag szállítására nyílik lehetőség, és a pilóta terhelése is csökken.



7. ábra
A tüzelőanyag-fogyás összehasonlítása [3]

5. Megtérülés

A Cessna 172 típusú repülőgép dízelmotoros változatra alakítás költsége az eredeti műszerezettség megtartása mellett körülbelül 60 000 EUR. Ez az ár tartalmazza a komplett csomagot (dízelmotor, segédberendezések, légcsavar a szabályozó rendszerrel, kiegészítő műszerek és minden szükséges alkatrész), a szerelési költségeket, valamint az STC-t (*Supplemental Type Certificates*). Az átalakítási költségből a motor ára nagyjából 50 000 EUR.

Az első átalakítás előtt a repülőgép-szerelőket, illetve a CAMO-mérnököket a motorgyártó gyár készíti fel az általa szervezett tanfolyamon. A CAMO-mérnökök elkészítik a szükséges dokumentációkat, karbantartási programot, amelyet az adott állam légügyi hatóságával kell jóváhagyatni. Az átalakítás folyamatát a gyártó mérnökei felügyelik. Ennek megfelelően az első átalakítás költsége körülbelül 65 000 EUR, ezt követően a megfelelő engedélyek és technológia birtokában a további átalakítások költsége 60 000 EUR.

A dízelmotoros átalakítást optimális esetben akkor végzik el, amikor az eredeti benzinüzemű motor eléri a beütemezett nagyjavítás időpontját. A következőkben nemcsak az átalakítási költségek megtérülését elemezzük, hanem a folyamatos karbantartási, üzemeltetési költségeket is összevetjük. Ennek megfelelően két felújítási ciklust vizsgálunk.

5.1. Tüzelőanyag-fogyasztás és költsége

A dízelmotorral szerelt Cessna 172 tüzelőanyag-fogyasztása 17–21 l/h kerozin, a repülési magasságtól és a repülési üzemmódtól függően. Az oktatási feladat ellátása során, az alacsony magasságon végzett repülés (gyakori iskolakörözés) esetén a tüzelőanyag-fogyasztás körülbelül 19 l/h.

A benzinüzemű Cessna 172 tüzelőanyag-fogyasztása 30–35 l/h repülőbenzin. A hasonló oktatási feladat ellátása során a tüzelőanyag-fogyasztás nagyjából 32 l/h. A JET A1 kerozin ára: 520 Ft/l; a 100LL repülőgépbenzin ára: 700 Ft/l.² Az adott árakat figyelembe véve 1 repült óra tüzelőanyag-költsége a dízelmotorral 10 000 Ft (JET A1), míg a benzinmotorral 22 500 Ft (100LL). A költségkülönbség óránként 12 500 Ft.

5.2. Karbantartási ütemezés

A TAE 125-02-114, vagyis a CD-155 (Centurion 2.0S) motoron 2100 óránként vagy 12 évente, míg a Lycoming O-320 E2D típusú repülőgépmotoron 2000 óránként vagy 12 évente kell kötelezően nagyjavítást végezni. A nagyjavítás után 2 év vagy 600 óra garancia vonatkozik minden olyan alkatrészre, amelyet normál körülmények között nem kellene cserélni.

A sárkányszerkezet karbantartási ütemezése és költsége a motorcserével nem változik, ezek a következők: 50/100/200 óra/év, amely 1-től egészen 20 évig elmehet a korróziós ellenőrzéseknek köszönhetően.

A motor karbantartási ciklusai: 100/200/300/600/900/1200/1500/1800 óra; 1/2/5/6 év, de ettől eltérő is lehet attól függően, hogy milyen üzemmódban dolgozik a gép. A karbantartási költségben a legjelentősebb különbséget a dízelmotor nagynyomású szivattyú, a közös nyomócső nyomásvezérlő szelep és a befecskendező fűvókák ára okozza, amelyeket a jövőhagyott karbantartási programban meghatározott időközökben kell cserélni vagy felújítani. A CD-155 dízelmotor nagyjavítását a motorgyártó cég végezheti el, mert csak ő rendelkezik az ehhez szükséges jogosítványokkal.

5.3. Felújítási és üzemeltetési költségek

Induljunk ki abból, hogy a Lycoming O-320 E2D típusú benzinmotor elérte a nagyjavítási ciklust, így a következő lehetőségek jöhetnek szóba:

- A Lycoming O-320 E2D motor felújítása és további üzemeltetés:

² A JET A1 kerozin és a 100LL repülőbenzin 2021. novemberi ára.

- Lycoming motort kétszer lehet felújítani körülbelül 34 000 EUR áron. A javasolt megoldás Rebuilt Engine, amely nagyjából 45 000 EUR, de a régi motort beszámíthatják állapottól függően, így körülbelül a felújítás költségével lesz azonos.
- Ennek megfelelően a felújítás költsége 40 000 EUR, amely adott árfolyamon számolva 14,4 millió Ft.
- A 2000 óra repülés tüzelőanyag-költsége: $2000 \times 32 \times 700 = 44,8$ millió Ft.
- Egyéb karbantartási költségek nélkül összesen: 59,2 millió Ft.
- A CD-155 dízelmotor beépítése és üzemeltetés:
 - Motorbeépítés, figyelembe véve, hogy már rendelkezésre áll az átépítéshez szükséges technológia, 60 000 EUR, amely adott árfolyamon számolva 21,6 millió Ft.
 - A 2000 óra repülés tüzelőanyag-költsége: $2000 \times 19 \times 520 = 19,8$ millió Ft.
 - Feltételezve, hogy a dízel nagynyomású rendszer, és az injektorok extra karbantartási/cseréköltséget jelentenek a Lycoming O-320 E2D típusú benzinmotorhoz képest, amelynek ára körülbelül (a gépjárműalkatrész-árakból kiindulva): 3 millió Ft.
 - Egyéb karbantartási költségek nélkül összesen: 44,4 millió Ft.
- A CD-155 dízelmotor felújítása és üzemeltetés (már átépített repülőgép esetén):
 - A CD-155 dízelmotor nagyfelújításának költsége pontosan nem ismert, de feltételezhető, hogy az új motor árának körülbelül 80%-a, azaz 40 000 EUR, tehát 14,4 millió Ft.
 - A 2000 óra repülés tüzelőanyag-költsége: $2000 \times 19 \times 520 = 19,8$ millió Ft.
 - A dízel nagynyomású rendszer és az injektorok pluszköltsége: 3 millió Ft.
 - További karbantartási költségek nélkül összesen: 37,2 millió Ft.

A fenti elemzésből látható, hogy a 2000 órás üzemeltetés:

- a dízelmotor beépítésével közel 15 millió Ft-tal;
- a már beépített dízelmotor fejújításával nagyjából 22 millió Ft-tal kevesebbe kerül a Lycoming O-320 E2D motor használatához viszonyítva.

Az üzemeltetés költségeit nagyban befolyásolja a rendszeres karbantartások költsége, amelyet illetően még kevés tapasztalat áll rendelkezésre.

6. Összefoglalás

A Fly-Coop Kft. a Cessna 172M és 172N típusú repülőgépeket TAE 125-2-114 (CD-155/Centurion 2.0s) motorral alakítja át dízelüzeműre. Hivatkoztunk a dízelüzemre való átalakítással együtt járó megváltozott repülési teljesítményre. Az elemzésből látható az átépítés előnye és hátránya. Előny a könnyebben elérhető és olcsóbb tüzelőanyag, valamint az alacsonyabb tüzelőanyag-fogyasztás; hátránya a nagyobb üressúly. Ennek megfelelően egy adott repülési feladat végrehajtására több szempont alapján választhatjuk ki a megfelelő motorral szerelt repülőgépet. További hátránként említhető a magasabb technológiai szinttel együtt járó költségesebb karbantartás, amelynek árát az alacsonyabb üzemeltetési költség többszörösen fedezi. Felmerülhet a kérdés a jelenleg használt Cessna 152-es kiképző repülőgépekkel kapcsolatban, hogy milyen lehetőségek állnak rendelkezésre a technológiaváltásra. Ebben az esetben

a motor nagyjavítása helyett egy korszerű autóbenzin-üzemű motor, változó beállítási szögű légcsavarral való beépítés lehetősége merül fel, még akkor is, ha az elérhető alacsonyabb üzemeltetési költség csak hosszú távon fedezné az átalakítás költségét.

Felhasznált irodalom

- [1] Continental, *CD-135 – Kerosene Piston Engine with 135 hp*. Online: www.continentaldiesel.com/typo3/index.php?id=65&L=1
- [2] Aero-News Network, *Thielertt Receives STCs For More Centurion-Powered PA28s*. 2006. május 30. Online: www.aero-news.net/index.cfm?do=main.textpost&id=92ebd7e7-0f3c-498e-bd00-1d148c5b0f86
- [3] Raffay F. I., *Cessna 172 típusú repülőgép dízel üzemű meghajtásának fejlesztése*. Szakdolgozat, DE MK Légijármű üzemeltető Szakmérnök Képzés, 2019.
- [4] Wikipedia the Free Encyclopedia, *Thielertt Centurion*. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Thielertt_Centurion#Centurion_2.0
- [5] Wikipedia the Free Encyclopedia, *Cessna 172*. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Cessna_172
- [6] *HA-BFW Pilot's Operating Handbook*. 2010.

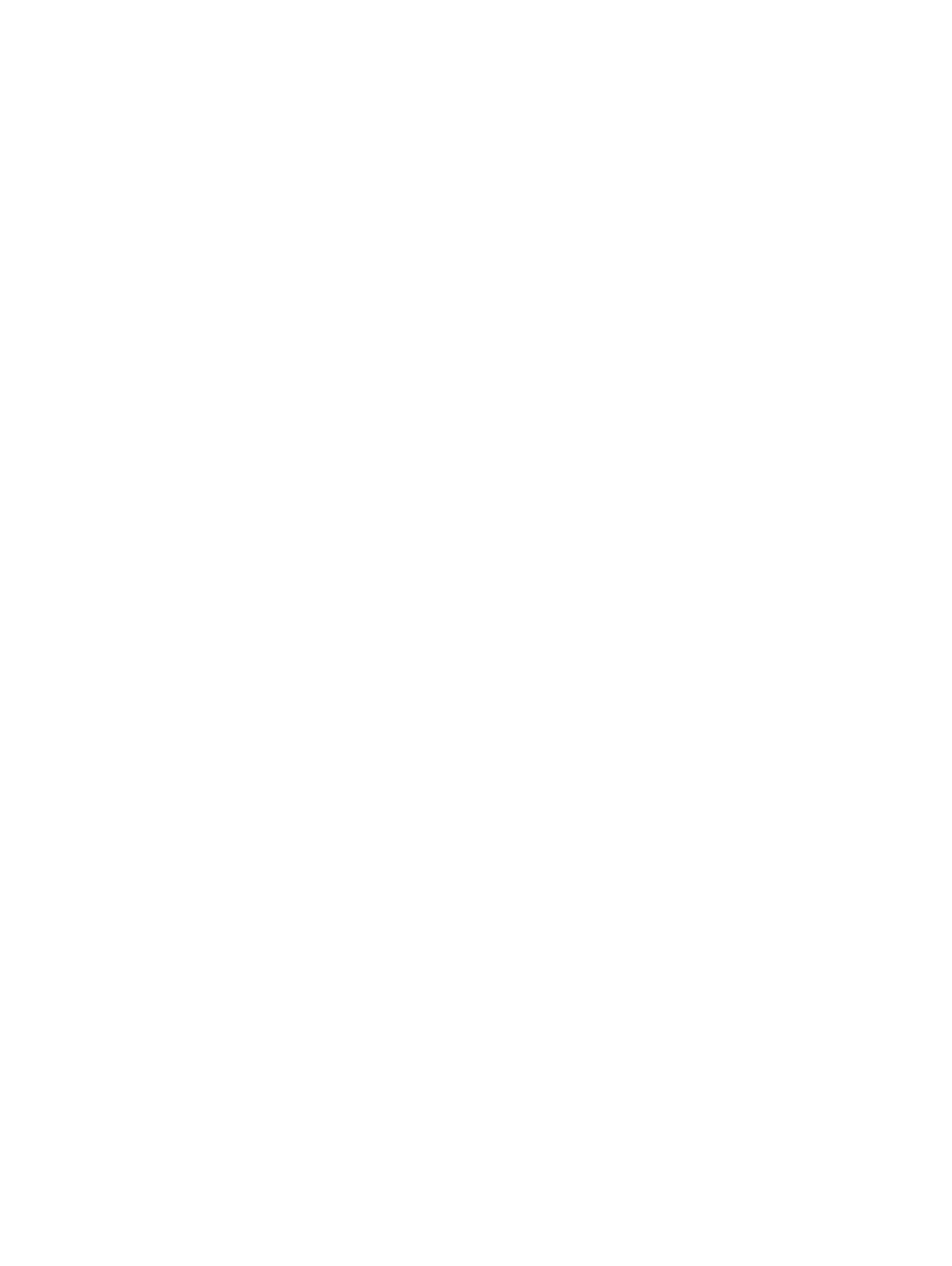
A publikáció a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a 2020-4.1.1-TKP2020 pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Return on Investment for the Diesel Conversion of a Cessna 172 Aircraft

The conversion of the Cessna 172 to a diesel version has several aspects. Replacing the original engine with a modern diesel engine and a variable pitch propeller represents a technological change of several decades. Higher engine power and lower fuel consumption have a positive effect on the aircraft's flight performance. In this paper, we analyse the cost of the conversion, the return period with regard to more economical operation, and the maintenance periods and costs.

Keywords: *Continental Aircraft Engine Company, TAE 125-02-99 type diesel engine, centre of gravity calculation, flight performance, overhaul and maintenance costs, maintenance schedule, return*

Dr. Tiba Zsolt főiskolai tanár Debreceni Egyetem Műszaki Kar Légi- és Közúti Járművek Tanszék tiba@eng.unideb.hu orcid.org/0000-0003-1247-7204	Zsolt Tiba PhD College Professor University of Debrecen Faculty of Engineering Department of Air-and Road Vehicles tiba@eng.unideb.hu orcid.org/0000-0003-1247-7204
Győri Gyula (BSc) c. egyetemi docens PharmaFlight Aviation Academy Kft. Debreceni Egyetem Műszaki Kar Repülőmérnöki Kihelyezett Tanszék gyori.gyula@pharmaflight.hu orcid.org/0000-0002-7693-4622	Gyula Győri (BSc) Honorary Associate Professor PharmaFlight Aviation Academy Ltd. University of Debrecen Faculty of Engineering Off-site Department of Aeronautical Engineering gyori.gyula@pharmaflight.hu orcid.org/0000-0002-7693-4622
Dr. Ailer Piroska főiskolai tanár Debreceni Egyetem Műszaki Kar Légi- és Közúti Járművek Tanszék ailer.piroska@eng.unideb.hu orcid.org/0000-0002-5936-8841	Piroska Ailer PhD College Professor University of Debrecen Faculty of Engineering Department of Air- and Road Vehicles ailer.piroska@eng.unideb.hu orcid.org/0000-0002-5936-8841
Dr. Husi Géza egyetemi tanár Debreceni Egyetem Műszaki Kar Légi- és Közúti Járművek Tanszék husigeza@eng.unideb.hu orcid.org/0000-0002-9373-0189	Géza Husi, PhD Professor University of Debrecen Faculty of Engineering Department of Air- and Road Vehicles husigeza@unideb.hu orcid.org/0000-0002-9373-0189



Schuster György

Fejlesztésben alkalmazott szoftvereszközök minősítése

A szoftverek fejlesztéséhez sok esetben segédeszközöket célszerű vagy kell használnunk. Ezek a segédeszközök az esetek 98%-ában speciális szoftvereszközök. A szoftvereszköz tehát egy speciális program, amelyet egy másik program fejlesztéséhez, teszteléséhez, adatainak előállításához, esetleg dokumentáció készítéséhez használunk. Ezeket az eszközöket az egész életciklus folyamán alkalmazzuk, így jelentős szerepük van az elkészült rendszer minőségében és minősítésében. A repülésben már az 1980-as évek óta jelen vannak, és alkalmazásuk az elmúlt években robbanásszerűen megnőtt. Ez nemcsak a fedélzeti rendszereket érinti, hanem minden olyan területet is, amelynek biztonsági követelményei vannak. Amennyiben valamely szoftvereszközt biztonságkritikus fejlesztésben kívánunk alkalmazni, akkor ezeknek az eszközöknek is megfelelő minősítéssel kell rendelkezniük. Ez a tanulmány ezeknek az eszközöknek a minősítésével foglalkozik.

Kulcsszavak: szoftverfejlesztés, szoftvereszközök, szoftvereszközök minősítése

1. Bevezetés

A szoftvereszköz (eszköz) egy számítógépen futó program, programrendszer, esetleg ezeknek adott funkcionális része, amelyet egy másik program, annak adatai vagy dokumentációjának fejlesztésére, átalakítására, tesztelésére, elemzésére, előállítására vagy módosítására használnak. Az elmúlt években robbanásszerűen megnőtt az eszközök használata a szoftver életciklus-folyamatában, valamint más területeken, mint például a rendszerek, a programozható hardverek és a légi forgalmi adatbázisok.

Nemrég dolgoztunk egy projekten, amely tíznél több eszközt használt főleg tervezési és tesztelési területen, és viszonylag kevés volt a valós kódgenerálás. A projekt igen széles területet foglalt magában, és elég sok speciális igény merült fel. A kérdéses rendszer tervezése során egyértelműen kiderült, hogy elkerülhetetlen a szoftvereszközök használata. Ez a tapasztalat szintén megerősíti, hogy az eszközök használata célszerű, szükséges és alkalmazásuk minden területen növekedni fog. Az eszközök nem helyettesíthetik az emberi intelligenciát, azonban segíthetnek elkerülni a hibákat, azonosíthatják azokat, amelyeket az emberek elkövethetnek, illetve azokat, amelyeket a fejlesztők nem képesek azonosítani. Ezek az eszközök segíthetik a mérnököket munkájuk jobb elvégzésében, és lehetővé teszik számukra, hogy a nagyobb kihívást jelentő problémákra koncentrálnak, amelyek mérnöki készségeket, ítélőképességet

és intelligenciát igényelnek. Néhányan ellenállnak ezen eszközök használatának, míg egyesek sokszor felesleges túlzásokba esnek.

2. Szoftvereszközök felhasználási területei

Az 1. táblázatban láthatók a szoftver életciklusa alatt szóba jöhető eszközök.

1. táblázat
A szoftvereszközök alkalmazási területei [a szerző]

Fejlesztőeszközök	Ellenőrző eszközök	Egyéb eszközök
<ul style="list-style-type: none"> • követelmény kezelése • tervezés • modellezés • szövegszerkesztés • fordítás • linkelés • automatikus kódgenerálás • konfigurációs fájl generálása 	<ul style="list-style-type: none"> • hibakeresés • statikus elemzés • legrosszabb eset végrehajtási időzítésének elemzése • modelellenőrzés • kódolási szabványoknak való megfelelés • nyomkövetés ellenőrzése • strukturális lefedettség elemzése • automatikus tesztelés • emuláció • szimuláció • automatikus tesztgenerálás • konfigurációs fájl ellenőrzése • formális módszerek 	<ul style="list-style-type: none"> • projektmenedzsment • konfigurációmenedzsment • probléma jelentése • szakértőiértékelés-menedzsment • dokumentáció generálása

2.1. Kritériumok

A kérdés az, hogyan tudjuk az alkalmazott eszközöket minősíteni, és melyek azok a szempontok, amelyeket szem előtt kell tartanunk.

Tapasztalataink és az irodalom a következő tevékenységeket javasolja [1], [2]:

- a fejlesztőeszközök minősítési kritériumainak meghatározása;
- a modellalapú fejlesztési eszközök kritériumainak meghatározása;
- kritériumok kidolgozása, amelyek egy adott szoftvereszköz különböző projektek közötti átvitelének lehetőségét határozza meg;
- az eszköz működési követelményeinek, használatának és minősítése módszereinek kidolgozása;
- az eltérő módon előállított szoftverelemek integrációs kritériumainak kidolgozása.

Több szabványt is elkészítettek, azonban vizsgálataink azt mutatták, hogy számunkra a repülésben alkalmazott DO-178B, DO-178C és a DO-330 felelt meg. A DO-178B és a frissített útmutató közötti különbségek is szóba kerülnek, mivel számos olyan eszköz van használatban, amelyet a DO-178B kritériumainak alapján minősítettek. Ezen túlmenően megvitattunk néhány, az eszközminősítéssel kapcsolatos speciális témát, valamint néhány lehetséges buktatót, amelyet el kell kerülni a minősítés vagy a minősített eszközök használata során.

Első körben tisztázni kell a következő kérdéseket [2]:

- Mit jelent az eszköz minősítése?

- Mikor szükséges?
- Milyen szintre kell minősíteni egy eszközt?
- Miben különbözik a DO-178B és a DO-178C eszközminősítési útmutató?

2.2. Szabványok

A szoftvereszköz minősítése az a folyamat, amelyet egy szoftvereszköz adott minőségi tanúsítványának megszerzésére használnak. A szoftvereszköz minősítését az eszközt használó szoftver jóváhagyásával együtt adják meg, tehát ez nem egy önálló, örök időkre szóló jóváhagyás. Ez a minősítési folyamat tanúsítja a szoftvereszköz megbízhatóságát, amely megbízhatóságnak legalább egyenértékűnek kell lennie a folyamattal, amelyet helyettesít. Az eszközminősítéshez szükséges tanúsítási és vizsgálati szint attól függően változik, hogy egy eszköz által generált hiba milyen potenciális hatással lehet a rendszer biztonságára és az eszköz általános használatára a szoftver teljes életciklusában. Minél nagyobb a kockázata annak, hogy egy szoftvereszközben lévő hiba hátrányosan befolyásolja a rendszer biztonságát, annál szigorúbb minősítés szükséges. A DO-178B szabvány, kétféle eszközt definiál [1]:

1. kategória: szoftverfejlesztő eszközök és
2. kategória: szoftverellenőrző eszközök.

Ezek a következő problémákat okozhatják:

- A fejlesztőeszköz: olyan eszköz, amelynek kimenete egy működő szoftver része, és így hibás működést okozhat.
- Az ellenőrző eszköz: olyan eszköz, amely nincs benne a kód előállítási folyamatában, de előfordulhat, hogy az általa ellenőrzött kódban előforduló hibát nem észleli.

A manapság használt szabványok, mint a DO-178C és a DO-330, háromféle eszközt definiálnak. Mivel az előzőekben említett két kategória – a DO-178B esetén – az életciklus adott fázisához volt kötve, nem pedig az eszköz hatásához, a DO-178C nem használja a fejlesztőeszközök és az ellenőrző eszközök kifejezéseket. Ehelyett a DO-178C három kategóriát határoz meg, amelyek az eszköz lehetséges hatására összpontosítanak. Ezek a kategóriák [2]:

1. kategória: eszköz, amelynek kimenete az eredményül kapott szoftver része, és így hibát okozhat;
2. kategória: eszköz, amely automatizálja az ellenőrzési folyamatokat, előfordulhat, hogy nem képes észlelni a hibát, holott ezek számának csökkentésére szolgál;
3. kategória: eszköz, amely a tervezett felhasználási körön belül nem képes észlelni a hibát.

Természetesen a DO-178B és a DO-178C kategóriái között nagy hasonlóság van. A DO-178C szerinti 1. kategóriájának megfelelő eszközök minősítési folyamata nagyon hasonló a DO-178B fejlesztőeszközeihez. Az 1. kategória eszközei közé tartoznak, a teljesség igénye nélkül, az automatikus kódgenerátorok, az eszköz működési követelményeit meghatározó eszközök, a konfigurációsállomány-generáló eszközök, a fordítók, a linkerek, a tervezőeszközök és a modellező eszközök.

Hasonlóképpen, a DO-178C szerinti 3. kategóriájának megfelelő eszközök minősítési folyamata nagyjából megegyezik a DO-178B ellenőrző eszközeivel. Ilyen eszközök például a tesztet-generaláló eszköz működési követelményeit előíró eszközök, az automatizált teszt-eszközök, a szerkezeti és kódlefedettség eszközei és a statikus kódelemzők.

A lényeges különbség a DO-178B és a DO-178C között az, hogy a DO-178C egy harmadik kategóriát vezet be, a 2. kategóriát [2]. Ennek a speciális kategóriának a bevezetését elsősorban az indokolta, hogy fontoljuk meg olyan eszközök használatát – részben a jövőre való tekintettel –, amelyek kritikusabb döntéseket hozhatnak, mint a most használatos ellenőrző eszközök, hatásuk viszont kisebb az eredményül kapott szoftverre, mint a jelenlegi fejlesztőeszközöknek. Néhány formális módszer eszköz ebbe a kategóriába tartozik. Ilyen eszköz lehet egy olyan ellenőrző eszköz, amely egyetlen ellenőrző eszközként használható a forráskód-ellenőrzés egyes lépéseinek automatizálására, a szükséges tesztelés mennyiségének csökkentése érdekében.

Az eszközök és a kategóriák alapján a két szabvány minősítési szinteket határoz meg. A DO-178B szintjeinek elnevezése A, B, C, D. A DO-178C az eszközkategóriák és a kérdéses elkészítendő szoftver alapján úgynevezett TQL- (*Tool Qualification Level*) szinteket ad meg [3].

Öt TQL-szintet definiálnak. A TQL meghatározza a minősítési folyamat során szükséges „szigor” mértékét. A TQL-1 a legszigorúbb, a TQL-5 szint a legkevésbé szigorú (lásd 2. táblázat) [2].

2. táblázat
A DO-178B és DO-178C szintek megfeleltetése [5]

DO-178 eszköz kvalifikációs típusa	DO-178B	DO-178C
Fejlesztés	A	TQL-1
Fejlesztés	B	TQL-2
Fejlesztés	C	TQL-3
Fejlesztés	D	TQL-4
Ellenőrzés	A...D	TQL-4 vagy TQL-5

Az eszköz minősítésére a két említett szabvány mellett bevezettek egy új szabványt, ez a DO-330. A DO-178C és a DO-330 célja, hogy az eszközminősítési kritériumokat világosabbá és áttekinthetőbbé tegye a DO-178B-vel szemben. Habár a DO-178B által minősített eszközök a legtöbb esetben elfogadhatók [3].

A DO-330 egy 128 oldalas dokumentum, így ebben a cikkben csak egy vázlatos áttekintést adhatunk [3]. A DO-330 olyan szempontok összessége, amelyek a fedélzeti és földi repülélelektronikai rendszereken kívül is használhatók. Tapasztalataink azt mutatják, hogy ezeket a szoftvereszközöket gyakran olyan csapatok fejlesztik, amelyek általános szoftverfejlesztéssel foglalkoznak. Ezek az eszközszerkezetes dokumentumok segítenek abban, hogy az eszközfejlesztő csapat elkerülje a félreértéseket, az értelmezési problémákat, és sémát biztosítanak a minősítési eljáráshoz. A DO-330 eszközszerkezetes útmutatást ad a szoftvereszköz elkészítéséhez. A repülés területén kívül más területek is használhatják. Az általunk fejlesztett terület, ahol ezt a szabványt figyelembe vettük, a biztonságkritikus szoftverek fejlesztése volt. Gyakori probléma, hogy az eszközöket gyakran olyan külső gyártók fejlesztették ki, akik esetleg alig értenek az adott szabványok által előírt szabályokhoz, vagy bármilyen más biztonságkritikus szabvány alatti fejlesztéshez. A DO-330-at úgy készítették, hogy a biztonságkritikus

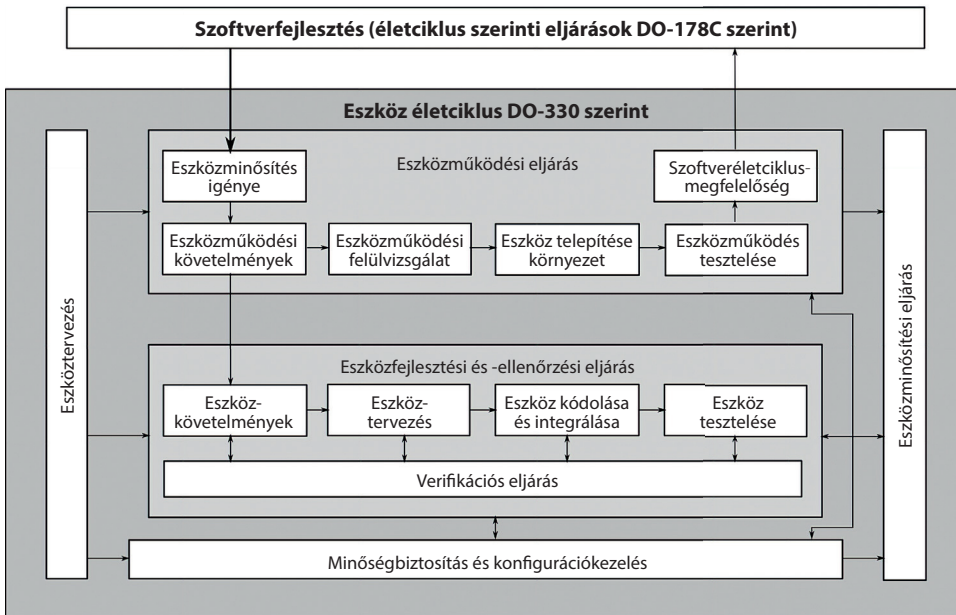
szoftverek fejlesztéséhez eszköspecifikus útmutatást nyújtson mind az eszközfejlesztők, mind a felhasználók számára. Ezért a dokumentum alapvetően a szoftver életciklusában használt eszközökre összpontosít. A dokumentum azonban más területekre is alkalmazható, ilyenek a programozható hardverek, az adatbázisok és akár általános célú rendszerek is [2]. A dokumentum adott tartományra való alkalmazásának módját a tartományra vonatkozó útmutatása határozza meg, például DO-178C stb.

A DO-330 kidolgozásánál a következő célokat fogalmazták meg [2]:

- lehetőség szerint tartsa meg a DO-178B megközelítését a hagyományos ellenőrző eszközök esetében;
- támogassa az újonnan megjelenő technológiákat;
- törekedjen arra, hogy az eszközminősítés szempontjait több projektbe is fel lehessen használni;
- azonosítsa az általános eszközfelhasználó és eszközfejlesztő szerepköreit azért, hogy támogassa az eszköz fejlesztői környezetbe integrálását;
- legyen egyértelmű, de rugalmas az eszközfejlesztők és a felhasználók számára;
- legyen alkalmazható többféle célra is.

Az 1. ábra a szoftverfejlesztés és az eszközfejlesztés kapcsolatát mutatja be. Az eszköz két-féleképpen „jöhet létre”:

- előzőleg létrehozott vagy dobozos terméket használunk, például kockázatelemzésre, kezdeti dokumentumok és gyártási dokumentációk előállítására;
- az adott feladathoz kell előállítanunk, vagy előállíttatnunk speciális eszközt.



1. ábra

A szoftveréletciklus és a DO-330 kapcsolata [8]

2.2.1. Az eszköz működési eljárása

A második esetben az első lépés az eszköz tervezése, ehhez célszerű ismerni a generálandó szoftver alapvető jellemzőit működési szempontból. Szerencsés, ha a teljes követelményrendszer ismert, de számos esetben ez túl sok információt jelenthet, így a szűkített igény is elegendő lehet [1]. A szoftver adott életciklusfázisának megfelelően elemeznünk kell, hogy az eszköz minősítendő-e. A válasz általában igen. Ekkor meg kell határozni a követelményeket, amelyeket felül kell vizsgálni, lehetőleg egy független csapattal, illetve ha erre nincs lehetőség, legalább egy független szakértő bevonásával.

Amennyiben a terveket jóváhagyták, az eszközt létrehozuk és telepítjük. A telepítés után megfelelő módon teszteljük. Ha sikeres ez a teszt, akkor a fejlesztett szoftver életciklusa szerint is megvizsgáljuk.

2.1.2. Az eszközfejlesztési és -ellenőrzési eljárás

A fejlesztés az előző pontban ismertetett követelmények alapján kezdődik. Minden lépést validációs eljárás követ, illetve minden egyes fejlesztési fázis a hozzá tartozó tesztelési eljárással együtt készül el.

A követelmények rögzítése után az eszköz tervezése a következő lépés. A tervezési fázisokat a kódolási és az integrálási fázis követi. Ezután következik a tesztelés. Mivel az adott eszközt az elkészítendő szoftver életciklusának általában csak egy szintjén használjuk, így ennek bonyolultsága valószínűleg nem éri el az elkészítendő szoftver vagy rendszer bonyolultságát, így tesztelése is egyszerűbb. Vegyük példának egy tesztesetgenerátor-eszköz működési követelményeit, ahol az eszköz feladata nem kódelőállítás, hanem a nagyszámú teszteset futtatása. Ez nem igazán bonyolult feladat, itt a számítógép és a program sebességét használjuk ki. De tudunk mondani jóval bonyolultabb eszközt is, ilyen például az időkritikus kódok generálására szolgáló modellbázisú kódgenerátor-eszköz. Amennyiben mind a működési eljárás, mind a fejlesztési eljárás minden lépését végrehajtottuk, az így elkészült eszközt minősítési eljárásnak is alá kell vetnünk. Ezt célszerűen szintén független csapatoknak kellene végrehajtani, amennyiben ez nem teljesül, az a bevett szokás, hogy ezt a tevékenységet az a csapat végzi, amelyik a követelményeket meghatározta.

A TQL szintek összefoglalása a DO-330 szemszögéből a következő [5]:

- TQL-5:
 - a minősítendő szoftvereszközök (terv a tanúsítás szoftveres vonatkozásaira);
 - az eszköz működési követelményeinek meghatározása;
 - minősítési stratégia (eszközminősítési terv);
 - eszközszerkezet információ;
 - győződjön meg arról, hogy az eszköz működési követelményei lefedik a tervtanúsítás szoftveres vonatkozásait;
 - konfigurációkezelés: a konfigurációs elemek azonosítása és verziókezelése;
 - alapvető minőségbiztosítási folyamatok meghatározása;
 - az eszköz működési követelményeinek ellenőrzése és érvényesítése;

- TQL-4:
 - eszközigény-kezelés: magában foglalja a definiálást, a nyomkövetést, az ellenőrzést és az eszközkövetelmények érvényesítését;
 - az 5 szükséges terv összeállítása:
 - eszközminősítési terv;
 - eszközfejlesztési terv;
 - eszközellenőrzési terv;
 - eszközkonfiguráció-kezelési terv;
 - eszközminőség-biztosítási terv;
 - az eszköz integrációjának fejlesztése;
 - szigorúbb eszközszintű konfigurációkezelés;
 - az eszköz végrehajtható kódjának kompatibilitási és robusztussági vizsgálata az eszköz követelményeivel összhangban;
- TQL-3:
 - a követelmények, a tervezés és a kód szabványok szerinti ellenőrzése;
 - átmeneti kritériumok, az eszköz folyamatai közötti összefüggések meghatározása;
 - az eszközfejlesztési környezet kiválasztása és meghatározása;
 - az alacsony szintű (kódközeli) követelmények kidolgozása és meghatározása;
 - a követelményeken alapuló tesztelés a megfelelőségiszint-elemzés végzése;
 - az eszközzadatok és a program együttes elemzése;
- TQL-2:
 - az eszközellenőrzési folyamat tevékenységeit függetlenül kell végrehajtani;
 - külső komponensek elemzése és meghatározása;
 - az eszköz forráskódjának ellenőrzése;
 - alacsony szintű (kódközeli vagy kód-) követelmények ellenőrzése;
 - a követelményeken alapuló tesztelés, a döntési lefedettség elemzése;
- TQL-1:
 - fokozott függetlenség vizsgálata;
 - külső elemek ellenőrzése;
 - az esetleges módosított állapot/döntés hatásának vizsgálata.

Egyes eszközöket nehéz minősíteni a DO-178C/DO-330 szabvány alapján, ezért a minősítést végző személyek, illetve szervezetek megkerülő megoldást alkalmazhatnak. A DO-330 megemlíti az alternatív módszerek alkalmazásának lehetőségét [2].

A szabvány szerinti lehetséges alternatív módszerek közé tartozhatnak:

- kimerítő bemeneti tesztelés;
- formális módszerek és eltérő eszközök alkalmazása.

Az eszköz által használt külső komponenseket az eszköztervezési folyamat céljainak megfelelően interfészeikkel együtt kell leírni. Ezután ellenőrizni kell a helyességüket és tesztelni kell őket. A külső eszközök például az operációs rendszer, vagy a fordító futásidejű könyvtára által biztosított primitív függvények, vagy dobozos (*on the shelf*), esetleg nyílt forráskódú könyvtár által biztosított elemek. A korábban minősített eszközök használatát a DO-330 szintén tárgyalja. Ez felhasználási szempontból három kategóriára válik szét [2]:

- a korábban minősített, változatlan eszközök újrafelhasználása lehetséges, ha azok TQL-szintje, az életciklusadatok, az eszköz működési környezete, az eszköz működési követelményei és az eszköz verziója továbbra is ugyanaz, akkor az adott eszközt nem kell újra minősíteni;
- ha változások történtek az eszköz működési környezetében, akkor nincs szükség újraminősítésre, ha a felhasználó igazolni tudja, hogy az eszközellenőrzési környezet megfelelő az új eszköz működési környezetére;
- ha változtatások történtek magában az eszközben, akkor a hatáselemzésnek meg kell határoznia a szükséges újraellenőrzési tevékenységeket, például a nyomon követhetőség elemzése, regressziós tesztelés, a követelmények felülvizsgálata stb.

2.3. Felmerülő problémák

A tapasztalatok és az irodalom számos buktatót tár fel. Ezekre a minősítési eljárás folyamán fokozott figyelmet kell fordítani. A leggyakrabban előforduló problémák [2], [8]:

- hiányzó dokumentáció;
- nem megfelelő verzió használata és vizsgálata;
- hiányos vagy hiányzó konfigurációs adatok;
- rosszul felmért minősítési szint;
- a működési követelmények és a környezet vizsgálhatósága;
- a „dobozos” eszközök minősítési adatai hiányosak, vagy hiányoznak;
- az eszköz szerepe nincs egyértelműen tisztázva a készítendő szoftver életciklusában;
- a minőségi mutatók nincsenek egyértelműen tisztázva;
- az eszköz tesztelését a fejlesztő végzi, nem független személy.

3. Összefoglaló

Ebben a cikkben összefoglaló áttekintést adtunk a biztonságkritikus szoftverfejlesztésben alkalmazott szoftvereszközök minősítésének legfőbb jellemzőiről, a minősítési eljárás szükségességéről, ennek lépéseiről és problémáiról. A legutóbbi biztonságkritikus projektünkben nem a repülés volt a fejlesztett terület, de a szabványok és eljárások vizsgálatok a fejlesztő- és tesztelőcsapat egyértelműen alkalmazta a DO-178B és DO-178C szabványokat, illetve az alkalmazott és kifejlesztett fejlesztést támogató szoftvereszközöknél a DO-330 szabványt. Természetesen egyértelműen figyelembe vettük a biztonságkritikus fejlesztés „alapszabványát”, az IEC61508-at és a rokon területek szabványait, mint az EN50128, EN50129 és az ISO 26262 szabványokat [6], [7].

A projekt során számos szoftvereszközt használtunk. Ezek egy része úgynevezett „dobozos”, megvásárolható termék volt, másik része általunk előállított eszköz, amelyet minősíteni, illetve minősíttetni kellett. Ezek az eszközök jelentősen megkönnyítették a tervezési, fejlesztési, tesztelési, dokumentációs és minősítési tevékenységeket. A projekt szoftverfejlesztési szakasza sikeresen zárult.

Felhasznált irodalom

- [1] L. A. (Schad) Johnson, DO-178B, „Software Considerations in Airborne Systems and Equipment”. University of Glasgow School of Computing Science, (é. n.). Online: www.dcs.gla.ac.uk/~johnson/teaching/safety/reports/schad.html
- [2] L. Rierson, *Developing Safety-Critical Software. A Practical Guide for Aviation Software and DO-178C Compliance*. Boca Raton, CRC Press, 2013. Chapt. 12, 13. Online: <https://doi.org/10.1201/9781315218168>
- [3] M. Ibrahim, U. Durak, „State of the Art in Software Tool Qualification with DO-330,” in *Proceedings of the Software Engineering 2021 Satellite Events*, S. Götz, L. Linsbauer, I. Schaefer, A. Wortmann (szerk.), Bonn, Gesellschaft für Informatik, 2021. Online: <http://ceur-ws.org/Vol-2814/paper-A4-4.pdf>
- [4] A. Methni, E. Ohayon, and F. Thuriéu, „ASTERIOS Checker: A Verification Tool for Certifying Airborne Software,” in *10th European Congress on Embedded Real Time Systems (ERTS 2020)*, Jan 2020, Toulouse, France. Online: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02508852/document>
- [5] J. Liu, X. Zhang, Y. Zhao, „Tool Qualification Requirements Comparison and Analyses Between RTCA/DO-178B and RTCA/DO-178C+DO-330,” *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1827. No. 1. pp. 012191. Online: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1827/1/012191>
- [6] ISO 26262, Road vehicles – functional safety, Part 3 – 8, ISO Std., 2018. Online: <https://bit.ly/3HgDYoz>
- [7] European Standards, *BS EN 50126 Railway Applications – The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) – Part 1*. Online: <https://bit.ly/3D1LSzM>
- [8] J. Marques, A. Marques da Cunha: „COTS Tool Qualification using RTCA DO-330: Common Pitfalls,” in *2017 IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*. 2017. pp. 1–6. Online: <https://doi.org/10.1109/DASC.2017.8102031>

Certification of Software Tools Used in Development

In many cases, it is useful or necessary to use tools to develop software. These tools are specialised software tools in 98% of cases. A software tool is a special program that is used to develop, test, or generate data for or produce documentation, for another program. These are used throughout the whole life cycle, consequently they play a significant role in the quality and qualification of the completed system.

These have been present in aviation since the 1980s, and their use has exploded in recent years. This applies not only to on-board systems, but also all areas that have safety requirements. If you want to use a software tool in safety-critical development, you must also have the appropriate certification of these tools.

Keywords: *software development, software tools, software tool certification*

<p>Dr. Schuster György docens Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Elektronikai és Kommunikációs Rendszerek Intézet Műszertechnikai és Automatizálási Tanszék schuster.gyorgy@kvk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0002-8573-3670</p>	<p>György Schuster (PhD) Associate Professor Óbuda University Kandó Kálmán Faculty of Electrical Engineering Institute of Electronic and Communication Systems Department of Instrumentation and Automation schuster.gyorgy@kvk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0002-8573-3670</p>
---	--

Mohammed Mudabbiruddin, László Pokorádi

Simulation of Ageing of Aircraft

In today's world, there is increasing demand of new technologies. As the world is growing, new technologies are emerging. To sustain the new technologies, technologies used for its maintenance must be developed. In the aviation industry with respect to the Industry 4.0 system, its maintenance strategies are also developing. The aim to this study is to present a mathematical model which is used to predict the ageing of any technical system. The authors used the Markov process theory to model the ageing process. As per the model, results and future work are determined and discussed briefly.

Keywords: maintenance, ageing process, aviation, mathematical model, Markov process

1. Introduction

In the aviation industry, predictive maintenance strategies become more advanced day by day. Predictive maintenance is planned to observe the working condition of maintained equipment and to forecast maintenance requirements. Ageing can lead to damage and to avoid this problem, it should be modelled. With the prediction of the remaining useful life, data of condition monitoring becomes valuable for planning of optimal maintenance. Change of the system's behaviour as per its current approximated reliability and its predicted remaining life is the biggest challenge when it comes to forecast the condition management. These strategic management methods are commonly consisting of how to avoid sudden failure and how to improve the reliability which is highly important for aerospace industries. The role of maintenance in Industry 4.0 is rapidly increasing to prevent failures.

With the help of alarm-based maintenance framework, a remaining useful life prognostics strategy which works on predictive maintenance is presented by Ingeborg de Pater et al. [1]. Maren David Dangut et al. [4] studied hybrid machine learning approach to predict the aircraft component failure with better accuracy. Maintenance modelling and a maintenance planning decision support system is briefly studied and presented by Mohamad Danish Anis [2].

Authors study the Industry 4.0 approach maintenance strategies in aviation industry. Their aim to develop a new Markov process-based mathematical modelling methodology which can be used to predict the ageing processes of technical systems.

The rest of the paper is organised as follows: Section 2 shows the aircraft maintenance methods and process. Section 3 presents the proposed Markov model of ageing process. In Section 4 results of the proposed Markov model are discussed briefly. In the closing part of the paper the proposed future framework is presented.

2. Aircraft maintenance

For many decades, the aviation industry has been developing very rapidly. The development of new technologies poses an even greater challenge to its durability. To sustain its high impact efficiency, maintenance is the basic and most important factor. New technologies are evolving day by day and hence maintenance strategies need to evolve with respect to time to overcome the upcoming challenges. We present this study in the light of this perspective.

Aircraft maintenance is a well advanced system to maintain and repair aircraft and to make schedules of maintenance, under the skilled and authorised organisation of the Federal Aviation Administration (FAA) and the Continuous Airworthiness Maintenance Program (CAMP) to prevent any type of failure considering safety measurements. Every machine system is sensitive to its operating condition. When operating condition is well taken care of then it gives best results towards its work efficiency.

Now we are focusing on maintenance management and their techniques which helps to estimate the functional life of any system. If maintenance is ignored, it can result in huge loss and sudden failure can occur. With the help of prediction modelling, maintenance can be described and scheduled.

Liwei Zhou et al. studied the life cycle cost of a convertor transformer. They improved the cost of failure losses, failure rate and economic losses with the help of maintenance decision optimisation method. After maintenance, the failure rates of equipment decrease. The Weibull distribution method is used to make failure rate curve. A flow chart is made and the smallest Life-Cycle Cost (LCC) is selected as best maintenance strategy. The practical situation and presented model show improvement in the calculation method of failure loss cost [3].

Velásquez et al. suggested the reliability model based on maintenance data using both classical and Bayesian methodologies. With the help of classical approach, it uses both life test and design of experimental technologies. Three main costs are evaluated which are investment cost, maintenance cost and failure cost. Their presented data driven framework helps to determine the critical maintenance factors [4].

A hybrid machine learning method is presented by Dangut et al. [5] that uses different language processing techniques for preventing unpredicted equipment failure and advances its service quality. The main objective is to determine a suitable work plan for component replacement due to unexpected maintenance with the help of time series, log base and limited failure data. Unplanned maintenance can be reduced using the suggested robust prognostic model. This presented model can alert any component replacement within defined space. Moreover, this model can forecast 50% of its unplanned aircraft component failure.

Dangut et al. presented an algorithm which converts the unusual failure prediction issue into a consequent decision-making process. The important objective of this study is to monitor the effectiveness of this system and predict component failure with low false positive rates. The problem was classified as a Markov decision-making process and resolved by connecting support learning with deep neural networks. The result concluded that the method of deep reinforcement learning for highly rare failure prediction is more viable. It means that the unplanned maintenance can be minimised with low cost of maintenance techniques [6].

Erosion and corrosion are the main factors which affect the ageing of systems. The properties of materials are to be taken into consideration as per their application, which can be planned with the help of simulation predictive maintenance.

Kolawole et al. presented modelling studies of action of corrosion and erosion on low carbon steel with different pH level. Corrosion pits are explored by SEM. FEM analysis is done for pit geometry of corrosion. Fatigue tests are done. Images and FEM analysis shows that corrosion cracks are created by cyclic stress. Corrosion pits can further grow when driving forces are exceeded. A regression model can be used to predict the effect of different pH which leads to fatigue rate [7].

Shard et al. examined carbon-fabricated composite structure using dry sliding method. Wear test is done. Simulation and analysis on ANSYS workbench are done. As the carbon fibre content increases, hardness along with wear resistance increases, too. It was observed that the value of the coefficient of friction for carbon fibre is very high and stable as compared to polyetherimide composite material in dry sliding condition [8].

Zuo et al. studied the effects of chrome on corrosion behaviour of steel spring. Optical microscope is used to observe the corrosion morphology. Laser scanning, confocal microscopy and scanning electron microscopy and three-dimensional simulation are carried out. Corrosion products are qualitatively and quantitatively analysed by using X-Ray. Chrome is beneficial for corrosion resistance. The higher the chrome content, the higher the corrosion resistance [9].

Stadnicka et al. proposed a mathematical model for developing aircraft maintenance considering lead time taken by proficient operators. This model is very useful in case of a moderate number of capability. Many companies need to reduce repair times to stay competitive. To cut the extra time and to make a time-effective maintenance schedule, a mathematical programming model is developed to manage the operations and help to make the decision effectively [10].

The Aircraft Environmental Control System (AECS) is a very important factor in its operating condition. Damage or low performance of AECS can lead to failure. For this reason, performance check is very important. In accordance with performance check Cheng et al. proposed a classified plan which works by visual cognition theory. The error is transformed into image to know every possible detail with the help of different technologies. The complete degradation process can be evaluated with this process. The AECS simulation model made from MATLAB Simulink gives the simulation data. As a result, these simulation data are very effective to evaluate the degradation process [11].

The Structural Health Monitoring (SHM) of aircraft is briefly elaborated by Pant et al. [12]. While utilising condition based monitoring, for the monitoring of the operation and damage, SHM is a key factor. Aircraft maintenance with low cost, more accuracy and less time can be achieved by SHM technique. SHM can also be defined as "Non-destructive inspection process". A robust model on probability of detection methodology can reduce the cost and this needs to improve in other aspects, too to get the more benefit of structural health monitoring.

Nowadays, new approaches with a growing aim for maintenance process which is widely utilized in the world of Industry 4.0 is briefly presented by Di Nardo [13]. The use of Industry 4.0 in connection with manufacturing and maintenance management is reviewed.

3. The Markov model of ageing process

Maintenance is a process which needs to be executed on time to reduce the chances of sudden failure and to increase its efficiency, whereas ageing is the process in which structural

and functional changes occur in a mannered time. For this, the proposed model illustrates mathematically a discrete time–discrete state Markov-model. In this proposed Markov model the given objectives were detailed:

- a) the general parameter η can only increase during examined time interval;
- b) during the initial time-step approach, the general parameter η can only be increased by one or two parameters of value-step with β_1 and β_2 probabilities, where:

$$\beta_1 = 0.011 \quad (1);$$

$$\beta_2 = 0.001 \quad (2);$$

- c) the above evaluated values of probabilities do not change which is dependent on time;
- d) the general parameter η has more than one initial value, which have normal distributions.

Using the above discussed clarifies that the probability of parameter η does not increase:

$$\beta = 1 - (\beta_1 + \beta_2) \quad (3)$$

The mathematical model of the process that determines changes of probabilities during one unit of time – from i^{th} to $i+1^{th}$, is given as:

$$\mathbf{p}(t_{i+1}) = \mathbf{B} \cdot \mathbf{p}(t_i) \quad (4)$$

The Markov matrix \mathbf{B} of the suggested Markov model (4) has the specified format, which is:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \beta & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \beta_1 & \beta & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \beta_2 & \beta_1 & \ddots & & & 0 \\ 0 & \beta_2 & & \ddots & & 0 \\ \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \beta \end{bmatrix} \quad (5)$$

Figure 1 illustrates the probability density functions $f(\eta)$ of the investigated general parameter η .

The next approach is the minimum and maximum values where the general parameter η was investigated. To determine the minimum and maximum values,

$$\varepsilon = 10^{-3} \quad (6)$$

Starting parameters were used as minimum probability values.

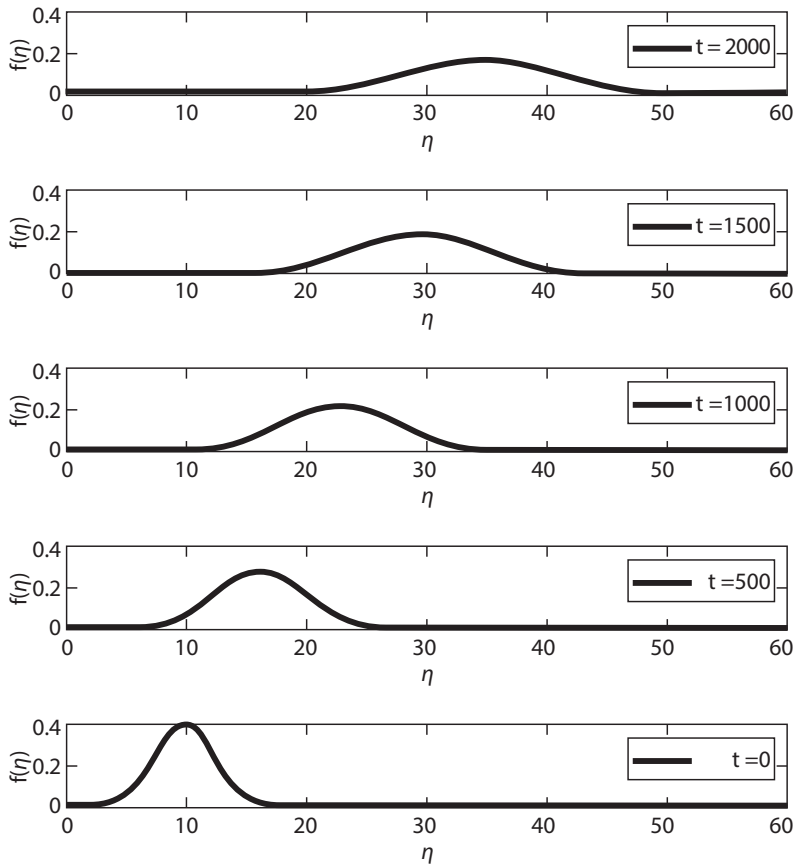


Figure 1
Probability densities of general parameter η at different times

Figure 2 shows the maximum and minimum values of general parameter η .

4. Result and discussion

As we studied maintenance management which is an important factor in the ageing of systems, maintenance has the key role to manage the life of components or whole system. The discussed articles show maintenance methods and their results from which we can predict the life. Samples were tested and with different suitable methods, data are collected as per their application and after the analysis mathematical models and frameworks are presented to determine the required factors.

This particular study shows a proposed model to characterise a general ageing process. This proposed model is the "second step" of our work based on a methodology of investigation and forecasting of ageing of real technical systems.

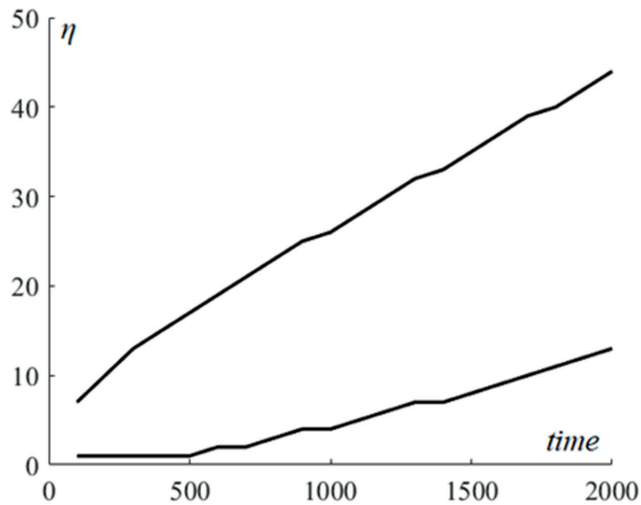


Figure 2
Maximum and minimum values of parameter η

The following conclusions can be obtained from the above results:

1. the proposed method can be useful to model the ageing processes
2. the results of model-based simulation can be used to predict the remaining useful life and to evaluate ideal maintenance schedules
3. the developed Markov model is suitable for further improvements reducing repair time and value steps

5. Future framework

The future work and necessary modifications of this model to obtain their optimal solutions are the followings:

1. the technical parameters can be increased and decreased randomly during modelling in framed time interval which should be represented mathematically;
2. for modelling of the ageing processes, the Markov-matrix B should be determined and it should be dependent on time;
3. the changeability of the ageing processes can be modelled by using the Monte Carlo simulation method;
4. the studied ageing model should be developed multi-dimensionally.

References

- [1] I. de Pater, A. Reijns and M. Mitici, 'Alarm-Based Predictive Maintenance Scheduling for Aircraft Engines with Imperfect Remaining Useful Life Prognostics'. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 221. pp. 108–341. 2022. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108341>
- [2] M. D. Anis, 'Identifying a Mathematical Model to Optimize Pump Maintenance Planning Decisions – A Case of Irrigation Asset Management in K.S.A.'. *2018 Condition Monitoring and Diagnosis, CMD 2018 – Proceedings*. pp. 1–6. 2018. Online: <https://doi.org/10.1109/CMD.2018.8535792>
- [3] L. Zhou, Y. Wang, Y. Li, M. Zhu and X. Du, 'A Maintenance Decision Optimization Method Based on Life Cycle Cost of Converter Transformer'. *2016 IEEE Electrical Insulation Conference (EIC)*. pp. 288–291. 2016. Online: <https://doi.org/10.1109/EIC.2016.7548603>
- [4] R. M. Arias Velásquez, J. V. Mejia Lara and A. Melgar, 'Reliability Model for Switchgear Failure Analysis Applied to Ageing'. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 101. pp. 36–60. 2019. Online: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.03.004> ; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.03.004>
- [5] M. D. Dangut, Z. Skaf and I. K. Jennions, 'An Integrated Machine Learning Model for Aircraft Components Rare Failure Prognostics with Log-Based Dataset'. *ISA Transactions*, Vol. 113. pp. 127–139. 2021. Online: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2020.05.001>
- [6] M. D. Dangut, I. K. Jennions, S. King and Z. Skaf, 'Application of Deep Reinforcement Learning for Extremely Rare Failure Prediction in Aircraft Maintenance'. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 171. 2022. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.108873>
- [7] S. K. Kolawole, F. O. Kolawole, A. B. O. Soboyejo and W. O. Soboyejo, 'Modeling Studies of Corrosion Fatigue in a Low Carbon Steel'. *Cogent Engineering*, Vol. 6, no 1. 2019. Online: <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1695999>
- [8] A. Shard, R. Chand, S. Nauriyal, V. Gupta, M. P. Garg and N. K. Batra, 'Fabrication and Analysis of Wear Properties of Polyetherimide Composite Reinforced with Carbon Fiber'. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, Vol. 20, no 4. pp. 1388–1398. 2020. Online: <https://doi.org/10.1007/s11668-020-00943-5>
- [9] M. fang Zuo, Y. li Chen, Z. li Mi, Y. de Wang and H. tao Jiang, 'Effects of Cr Content on Corrosion Behaviour and Corrosion Products of Spring Steels'. *Journal of Iron and Steel Research International*, Vol. 26, no 9. pp. 1000–1010. 2019. Online: <https://doi.org/10.1007/s42243-019-00250-w>
- [10] D. Stadnicka, D. Arkhipov, O. Battaïa and R. M. C. Ratnayake, 'Skills Management in the Optimization of Aircraft Maintenance Processes'. *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 50, no 1. pp. 6912–6917. 2017. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1216>
- [11] Y. Cheng, D. Song, C. Lu, J. Ma and L. Tao, 'Performance Degradation Assessment for Aircraft Environmental Control System: A Method Based on Visual Cognition'. *ISA Transactions*, Vol. 113. pp. 64–80. 2021. Online: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2020.04.002>
- [12] S. Pant, Z. Sharif Khodaei and M. G. Droubi, 'Monitoring Tasks in Aerospace'. In M.G.R. Sause and E. Jasiūnienė (eds), *Structural Health Monitoring Damage Detection Systems for Aerospace*. Springer Aerospace Technology. Cham: Springer. pp. 5–14. 2021. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-030-72192-3_2

- [13] M. Di Nardo, M. Gallab, M. Madonna and P. Addonizio, 'A Mapping Analysis of Maintenance in Industry 4.0'. Journal of Applied Research and Technology, Vol. 6, no 3. pp. 204–217. 2021. Online: <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2021.19.6.1460>

A repülőgép elhasználódási folyamatának szimulációja

Napjainkban egyre nagyobb az igény az új technológiák iránt. Ahogy a világ fejlődik, úgy jelennek meg új technológiák. Az új technológiák fenntartása érdekében a karbantartásukra használt módszereket is fejleszteni szükséges. A légitársasági ágazatban az Ipar 4.0 rendszer tekintetében a karbantartási stratégiák is fejlődnek. A tanulmány célja egy olyan matematikai modell bemutatása, amely a technikai rendszerek elhasználódásának, károsodásának előre jelzésére szolgál. A szerzők a Markov-folyamatok elméletét alkalmazzák az öregedési folyamat modellezésére. A szerzők az eddigi modelleredményeket mutatják be és a jövőbeli munkát határozzák meg.

Kulcsszavak: karbantartás, öregedési folyamat, légi közlekedés, matematikai modell, Markov-folyamat

Mohammed Mudabbiruddin (MSc) PhD-hallgató Óbudai Egyetem Anyagtudományi és Technológiai Doktori Iskola mohammed.mudabbir@uni-obuda.hu orcid.org/0000-0002-2216-7229	Mohammed Mudabbiruddin (MSc) PhD student Óbuda University Doctoral School of Materials Science and Technology mohammed.mudabbir@uni-obuda.hu orcid.org/0000-0002-2216-7229
Pokorádi László egyetemi tanár Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész- és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Mechatronika és Járműtechnikai Intézet pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0003-2857-1887	László Pokorádi Professor Óbuda University Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0003-2857-1887

Horváth Gábor

A helyszíntől független katonai repülőtéri irányításhoz szükséges optikai rendszerre vonatkozó minimális teljesítménystandardok keretrendszere

Általános értelemben kijelenthető, hogy a megfelelő videóadatfolyam-átviteli technológiára épülő operatív feladat-végrehajtás az egyik legfontosabb követelmény a helyszíntől független toronyirányítói szolgáltatásokkal szemben. Az ezzel összefüggésben felmerülő – és a polgári felhasználáson túlmutató – alkalmazás érdekében meg kell határozni azt a specifikus keretrendszert, amelynek segítségével megvalósíthatóvá válik a technológiában rejlő potenciál katonai-védelmi célú felhasználása.

Kulcsszavak: légi forgalmi irányítás, távoli toronyirányítás, helyszíntől független toronyirányítás

1. Bevezetés

A negyedik ipari forradalom vívmányai nemcsak a hétköznapi életünkre vannak hatással, hanem új perspektívákat nyitnak a katonai légi közlekedés területén is. Ez utóbbi vonatkozásában az egyik legismertebb példaként kell megemlíteni a repülőterek legikonikusabb épületeit száműzni szándékozó úgynevezett „virtuális tornyokat”, amelyek megteremtik a helyszíntől független repülőtéri irányító és repülőtéri repüléstájékoztató szolgáltatások biztosításának lehetőségét (rTWR¹)[1].

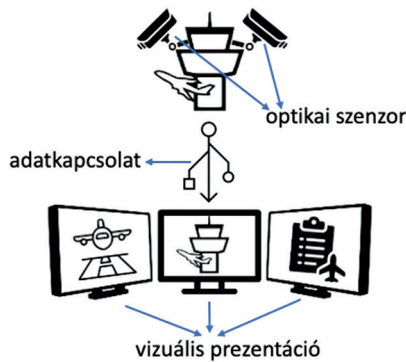
A katonai alkalmazásba vétel során, mint minden technológia, így a rTWR esetében is kritikus fontosságú az időfaktor [2], mivel az erőforrások gyors és hatékony elosztása érdekében elengedhetetlen a pontos légi helyzetkép előállítása, valamint az operatív szintű döntéshozatali ciklusok optimalizálása. Ennek kapcsán fontos hangsúlyozni, hogy általános értelemben az irányítótorny feladata a repülőtéri forgalom számára légi forgalmi irányítói szolgáltatás biztosítása [3], ezért a katonai repülőtereken a nevezett szolgáltatásban bekövetkező kiesések és késések közvetlen negatív hatást gyakorolnak a műveletek végrehajtására.

Az előbb említett negatív hatások elkerülésében döntő szerep juthat az rTWR-technológiának, hiszen az ezzel összefüggésben eddig megjelent magyar [4] és nemzetközi

¹ Remote tower.

[5] kutatások számos olyan előnyt prognosztizálnak, amelyek fokozhatják a műveleti körülmények közötti hatékony alkalmazhatóságot [6].

A konvencionális irányítótorony és az rTWR közötti elsődleges különbség a vizuális megfigyelés végrehajtásának módjából fakad. Amíg az előbbi esetben a megfigyelést alapvetően szabad szemmel, rossz látási körülmények esetén – ha rendelkezésre áll – ATS² felderítő rendszerrel kell elvégezni [7], addig az utóbbi esetben a légi forgalmi irányító illetékességi területét digitális képalkotó eszközök segítségével kell vizuálisan megjeleníteni. Digitális képalkotó eszközök alatt elsősorban olyan kamerákat kell érteni, amelyek az elektromágneses spektrum szabad szemmel látható és nem látható tartományában működnek (optikai szenzor), miközben a megjelenítést folyadékkristályos kijelzők vagy projektorok (vizuális prezentáció) biztosítják. Az optikai szenzor és a vizuális megjelenítő egység között szükséges adatkapcsolatról vezetékes és/vagy vezeték nélküli hálózat gondoskodik. A továbbiakban az optikai szenzor(ok)ra, a vizuális prezentációra, valamint az adatkapcsolatra együttesen az 1. ábrával szemléltetett rTWR optikai rendszerként fogok hivatkozni.



1. ábra

A rTWR optikai rendszer egyszerű szemléltetése [a szerző]

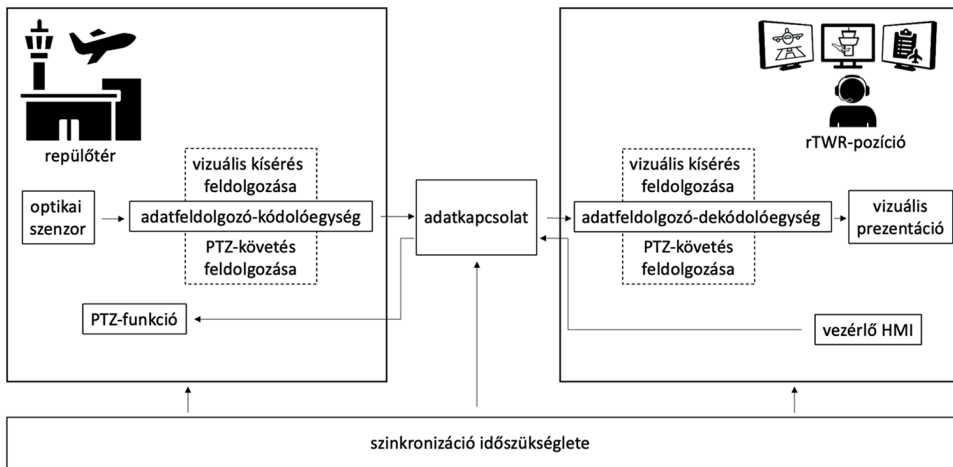
Jelen tanulmány a helyszíntől független katonai repülőtéri irányításhoz szükséges optikai rendszerre vonatkozó minimális kritériumok keretének felállítását célzó sorozat első része, amelyben a teljesítménystandardokra vonatkozó követelményrendszert vázolom fel, a sorozat második részében megvizsgálom az interoperabilitási elvárásokat, a harmadik részben ismertetem az elméleti verifikációs eljárást, majd ezt követően a negyedik részben elvégzem a szükséges kibervédelmi elemzést [8].

2. Általános rendszerleírás

A minimális teljesítménystandardok meghatározása érdekében el kell készíteni az rTWR optikai rendszer általános leírását, amely egyben alapjául szolgálhat a későbbi műszaki megvalósításoknak is. Ebből a célból mutatom be a 2. ábrán látható elméleti blokkvázlatot, amely

² Air traffic services.

kapcsán hangsúlyozni kell, hogy egy konkrét konfiguráció – az egyedi igényekhez igazított megvalósítás függvényében – ettől eltérhet.



2. ábra
Az rTWR optikai rendszer elméleti blokkvázlata [a szerző]

A blokkvázlat elkészítése során figyelembe vettem az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség által közzétett releváns dokumentumokban foglalt útmutatásokat [9], [10], valamint felhasználtam a SESAR³ PJ.05-02 (*Multiple Remote Tower Module*) projekt⁴ kapcsán megszerzett tapasztalataimat.

2.1. Az rTWR optikai rendszer célja

A katonai alkalmazási követelményeknek megfelelő rTWR optikai rendszer céljának meghatározása során figyelembe kell venni a katonai légi forgalmi irányító szolgálat ellátásának rendjét, amely az illetékességi körzetben a műveleti és az általános repülési szabályok szerint üzemelő légi járművek biztonságos, rendszeres, gyors és hatékony áramlásának elősegítésén alapszik [7], [11], [12].

Ennek megfelelően a helyszíntől független katonai repülőtéri irányítói szolgáltatás biztosításához szükséges rTWR optikai rendszer célja a toronyirányító felelősségi körzetébe tartozó légtér és repülőtér munkaterületének digitalizációja, valamint annak pontos, valós idejű megjelenítése.

³ Az Egységes Európai Égbolt ATM Research közös vállalkozás egy intézményesített európai köz- és magánszférapartnerség, amelyet 2021-ben hoztak létre, hogy kutatáson és fejlesztésen keresztül felgyorsítsa a digitális európai égbolt megvalósítását.

⁴ A szerző SESAR PJ.05-02 projekt katonai koordinátora, a polgári közreműködő felek között megtalálható a HungaroControl Magyar Légi forgalmi Szolgálat Zrt. (HC Zrt.), a Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) és a Frequentis AG.

Az előző bekezdésben meghatározott definícióval összefüggésben – a katonai alkalmazásra való tekintettel – célszerű hangsúlyozni, hogy a megjelenítés nemcsak légi forgalmi szolgáltatások biztosításához járulhat hozzá, hanem hasznos eleme lehet a NATO hálózatalapú képességrendszerének (NNEC⁵) is.

2.2. Optikai szenzor

Általános értelemben a szenzorok olyan eszközök, amelyek érzékelik és mérik a megfigyelésük alatt tartott környezetben bekövetkező fizikai, kémiai vagy biológiai állapotváltozásokat, majd a mérési eredményeket és paramétereket információhordozó jellé transzformálják [13].

Ennélfogva az irányító felelősségi körzetébe tartozó légtér és repülőtéri munkaterület valós idejű digitalizációjáért, így lényegében a megfigyelés alatt tartott terület felől a kameraobjektívén keresztül érkező fény jelátalakítását követően a digitális mozgóképalkotásért az optikai szenzor a felelős. Az így előállított nyers (RAW-formátumú) képinformáció az irányító számára értelmezhetetlen lenne, emiatt a felhasználás helyére továbbítás előtt még fel kell azt dolgozni, amely feladatot a számításgépes algoritmusok futtatására képes adatfeldolgozó egységek látják el.

Az optikai szenzor képességei tekintetében a szenzor- és pixelméret, valamint a felbontás által meghatározott alábbi specifikációk döntő fontosságúak [14]:

- kvantumhatásfok (QE⁶);
- dinamikartomány (DR⁷);
- jel-zaj arány (SNR⁸).

Az optikai képalkotásért felelős szenzor felületén fényérzékeny diódák találhatók, amelyek a beérkező fényt elektronná alakítják át. A szenzorra érkező fotonok és az azokból generált elektronok számának százalékban meghatározott arányát nevezzük kvantumhatásfoknak. Minél nagyobb ez az arány, annál több elektront tud létrehozni az adott szenzor a beérkező fotonokból, így a kvantumhatásfok alapjaiban határozza meg egy mozgókép hasznos információtartalmát. Az információtartalom azonban nem csak a nagy QE-értéktől függ, hanem a szenzor fizikai méretétől is. Ennek eredményeként kijelenthető, hogy a nagyobb szenzor jobb képet eredményez [15].

A digitális képalkotás vonatkozásában további meghatározó paraméter a szenzor dinamikartománya, amely az információ sötét és világos részleteinek egyidejű megjelenítését foglalja magában. E két paraméter mennyiségi arányát a logaritmikus skálán határozzuk meg, ezáltal a dinamikartomány értékét decibelben kell megadni. Fontos hangsúlyozni, hogy a jó DR leginkább a pixelmérettől függ, mivel ez a tényező befolyásolja leginkább az adott képpont által felvett fényértéket [16]. A dinamikartomány kapcsán érdemes még azt is megemlíteni, hogy bizonyos kamerakonfigurációk lehetővé teszik az elektromágneses spektrum szabad szemmel nem látható, infravörösnek nevezett hullámhossztartományának megjelenítését is, ezzel elősegítve a gyenge és rossz fényviszonyok közötti biztonságos feladat-végrehajtást.

⁵ NATO Network Enabled Capabilities (NNEC).

⁶ *Quantum efficiency.*

⁷ *Dynamic range.*

⁸ *Signal-to-noise ratio.*

A gyakorlati tapasztalat azt mutatja, hogy egy szenzor által előállított információ minden esetben tartalmaz olyan mérési eredményeket is, amelyek nem korrelálnak a vizsgált fizikai, kémiai vagy biológiai állapotváltozással. Az információnak ezt a nem kívánt elemét nevezzük zajnak, és így egy optikai szenzor esetében a zaj rontja a képminőséget. Ebből az következik, hogy a jó képminőség indikátora a szenzor magas SNR-értéke, amelyet – a DR-hez hasonló módon – decibelben kell meghatározni [17].

1. táblázat
Gyakran előforduló szenzorok főbb tipikus paraméterei [a szerző]

	Digitális kamera (APS-C, Advanced photo system type-C)	Biztonsági kamera	Okostelefon (2021)
Tipikus szenzor-alapterület	366 mm ²	40 mm ²	24 mm ²
Tipikus szenzorfelbontás	24 megapixel	2 megapixel	12 megapixel
Számított pixelméret	3,92 μm	4,75 μm	1,92 μm
Kerekített tipikus QE	40%	50%	30%
Kerekített tipikus DR	60 dB	90 dB	40 dB
Kerekített tipikus SNR	40 dB	50 dB	30 dB

A könnyebb értelmezhetőség céljából – online elérhető adatbázisok, specifikációk és tanulmányok felhasználásával – összeállítottam a gyakran előforduló szenzorok főbb tipikus paramétereit tartalmazó 1. táblázatot [18], [19], [20]. Ebből azt a következtetést vontam le, hogy rTWR optikai rendszerben alkalmazandó szenzor céljára elsősorban a biztonsági kamerák tervezésekor figyelembe vett konstrukciós elveket kell követni, így viszonylag kis alapterületű, alacsony felbontású, ennél fogva nagy pixelméretű szenzorra van szükség, amely minden más vizsgált paraméter (QE, DR, SNR) vonatkozásában hatékony képkalkoló eszköz.

Ezen túlmenően figyelembe kell venni, hogy az optikai szenzornak otthont adó kamerát milyen látószöggel, gyújtótávolsággal, rekeszértékkel és mélységélességgel rendelkező objektívvel szerelték fel.

2.3. Adatfeldolgozás

Az optikai szenzor által előállított nyers mozgókép-információk mérete szuboptimális, így azok konverziójára van szükség, hogy a videóadatfolyam-átvitel céljából rendelkezésre álló sávszélességet megfelelő módon használják ki [21]. Ezzel összefüggésben fontos hangsúlyozni, hogy a hagyományos légi forgalmi adatok (például hang, légi helyzetkép stb.) repülőtéren belüli továbbítása bár megoldott, de ezek volumene sokkal kisebb sávszélességet követel meg a rendelkezésre álló hálózattól, mint az optikai szenzor által előállított képinformációk, így az rTWR katonai technológia alkalmazásba vétele külön e célra dedikált és titkosított adatkommunikációt alkalmazó hálózat fejlesztését követeli meg.

2.3.1. Kódolás, dekódolás

A kódolás során a feladat-végrehajtás (légi forgalmi irányítás) szempontjából irreleváns adatokat eltávolítják, így a fájl méretet tömörítik, miközben egyéb hasznos információkkal és eljárásokkal

(például vizuális kísérés, PTZ⁹-követés, címkék elhelyezése, biztonsági és védelmi funkciókat támogató metaadatok beágyazása, képjavító algoritmusok lefuttatása stb.) fokozható a műveleti hatékonyság. A dekódolás alatt hasonlóan komoly számításgépes folyamatot kell értenünk, amely során az adatfolyam vizuális prezentációjának érdekében kitömörítik azokat. Az előzőekben felsorolt hasznos információkkal és eljárásokkal való műveletihatékonyság-fokozás ebben a fázisban is végrehajtható.

Az adatfeldolgozó egységek hatásfokát – a kialakítástól és az adott technológiai eljárásoktól függően – a központi feldolgozóegység (CPU¹⁰) és/vagy a grafikus feldolgozóegység (GPU¹¹) számítási teljesítménye határozza meg, de további fontos tényezőként kell számolni a rendelkezésre álló memória és háttértár méretével, valamint azok architektúráján belüli írás-olvasás sebességével [22].

2.3.2. Adatkapcsolat, szinkronizáció

Az optikai szenzor segítségével előállított mozgóképek, valamint a kapcsolódó státuszjelek vizuális prezentáció helyszínére (rTWR pozíció) való továbbításáról valamilyen adatkapcsolat útján kell gondoskodni. A felhasználás jellegétől függően ez az adatkapcsolat lehet vezetékes és/vagy vezeték nélküli, azonban a videó-adatfolyam meg kell hogy feleljen a légi közlekedési iparágra általánosan jellemző nagy megbízhatóságú, biztonságkritikus – és ennél fogva redundanciára törekvő – elvárásainak [23].

A rTWR optikai rendszer adatkapcsolati hálózatával összefüggésben további fontos elvárás, hogy a szigorúan valós idejű adatfolyam megfeleljen a CIA¹² hármas alapelvének, amelyről már a tervezés folyamán (*secure-by-design*) gondoskodni kell [24].

Ezen elvárások vonatkozásában döntő tényező, hogy mekkora sávszélesség áll az rTWR optikai rendszer rendelkezésére, de az adatkapcsolat további fontos jellemzői között kell számon tartani a mozgókép irányító általi feldolgozását alapvetően befolyásoló késleltetést (*latency*), remegést (*jitter*), valamint csomagvesztést (*packet drop*) is.

A valós idejű mozgókép-megjelenítés hitelesítése érdekében gondoskodni kell azokról a mechanizmusokról, amelyek az rTWR optikai rendszer egyes komponensei által előállított adatcsomagokat pontos időbélyeggel látják el, így biztosítani kell a rendszer egy fő időforráshoz való szinkronizációját.

2.4. Vizuális prezentáció, vezérlés

Vizuális prezentáció alatt az optikai szenzor által szolgáltatott mozgóképek folyadékkristályos (érintő)kijelzőkön vagy projektorokon való megjelenítését kell érteni. Ezekre az eszközökre szintén vonatkoznak a légi közlekedési iparágra általánosan jellemző nagy megbízhatóságot követelő elvárások [23]. Ezen túlmenően viszont számos olyan általános szempontot is figyelembe kell venni, amelyek technikai szinten befolyásolják az operátor vizuális percepcióját [25].

⁹ Pan-Tilt-Zoom.

¹⁰ Central Processing Unit.

¹¹ Graphic Processing Unit.

¹² Confidentiality – bizalmasság, integrity – sértetlenség, availability – elérhetőség.

Egy modern rTWR-pozíció a konvencionális irányítói munkahelyekkel szemben információbőséget kínál, amelyek egyidejű komplex megjelenítése könnyen elterelheti az irányító figyelmét a releváns eseményekről. Emiatt kritikus fontosságú az átgondolt ember-gép interfész (HMI¹³) tervezése, amely során az általános kognitív folyamatokat figyelembe vevő egyszerűsítésre kell törekedni, miközben kihasználjuk a helyzetértékelő képesség (SA¹⁴) fokozására alkalmas információk beágyazásának lehetőségét.



3. ábra

Példa az egy repülőtérrel kiszolgáló rTWR pozícióra [26]

A HMI tervezése során szintén fontos, hogy milyen vezérlőfunkciókkal és automatizmusokkal látják el az adott rTWR-pozíciót kiszolgáló optikai rendszert, amelyek közül az alábbiakat tekinthetjük a legáltalánosabbaknak:

- a PTZ-követés;
- a vizuális (cél)kísérés;
- a címkézés;
- a maszkolás és
- a riasztás.

A PTZ-követés alapvetően egy vezérlőfunkció, amely lényegében a fizikai távcső használatát hivatott digitalizálni, azaz lehetővé teszi a kezelő számára egy adott hely vagy objektum közeli, jobb felbontású megtekintését. A vizuális (cél)kísérés egy háttérben futó képfeldolgozó algoritmus által kiválasztott vagy az operátor által relevánsnak ítélt és kijelölt objektumhoz tartozó pixelcsoportra hívja fel a figyelmet. A (cél)kíséréshez hasonlóan a címkézés során is egy pixelcsoport figyelemmel kísérése vizualizációjáról van szó, de ez esetben a rendszer egy rendelkezésre álló adatbázisból (például repülésiterv-adatok) – automatikus vagy az irányító

¹³ Human-Machine Interface.

¹⁴ Situational Awareness.

általi direkt hozzárendelés útján – releváns információkat társít és jelenít meg az adott célponttal összefüggésben. További gyakori funkció még a maszkolás, amelynek segítségével olyan területeket fedhet el a felhasználó, amelyek egyébként zavarnák a feladat-végrehajtásban. Mindezekon túlmenően alapvető elvárás az rTWR optikai rendszerrel szemben, hogy vizuális úton és/vagy hallható módon riassza a felhasználót, amennyiben kritikus üzemzavar lép fel, vagy repülésbiztonsági kockázatot azonosítanak.

3. Minimális teljesítménystandardok keretrendszere

A rTWR optikai rendszerre vonatkozó minimális teljesítménystandardok keretrendszerének összeállítása során az alábbi technikai és légi forgalmi szempontból releváns tényezőkkel kell kalkulálni:

- jellemző helyi forgalom mennyisége és összetétele;
- helyi és a kapcsolódó szektorok légi forgalmi szolgáltatásának jellege;
- repülőtér komplexitása, elrendezése és fizikai kiterjedése;
- repülőtérrendben publikált légi forgalmi eljárások és előírások;
- alkalmazott forgalmi kör paraméterei;
- optikai szenzorok elhelyezkedése;
- rTWR optikai rendszer adatkapcsolatának jellege.

Ezen túlmenően külön ki kell emelnem, hogy a telepítés helyére jellemző környezeti faktorok (vadvilág, csapadék, szélsőséges időjárási körülmények) hátrányosan befolyásolhatják a rendszer működését, emiatt már a tervezés során gondoskodni kell azokról az óvintézkedésekről, amelyek garantálják a lokális alkalmazhatóságot.

Az egyéb, nem a telepítés helyére jellemző, de a rendszert befolyásoló környezeti faktorokat a 2. táblázatban közölt referenciaparaméterek szerint határoztam meg:

2. táblázat
A rTWR optikai rendszer referenciaparaméterei [a szerző]

Kondíció	Érték
Megvilágítás	10 000 lx vagy több
Látástávolság	15 000 m vagy több
Égbolt színhőmérséklete	~ 5 000 K

A közölt referenciaparamétereket a legkevésbé kihívást jelentő légköri feltételek alapján állítottam össze.

3.1. Optikai szenzorra vonatkozó követelményrendszer kerete

Az optikai szenzorra vonatkozó követelményrendszer keretének felállítása során meg kell határozni azt a Johnson-kritériumra építkező észlelési, felismerési és azonosítási (DRI¹⁵)

¹⁵ Detection, Recognition, Identification.

tartományt, amely visszatükrözi a légi forgalmi szolgáltatás biztosításához minimálisan szükséges repülőtér-specifikus elvárásokat.

Ennél a fejezetnél egy rövid kitérő keretében ismertetnem kell a Johnson-kritériumot, mivel – vélhetően történelmi gyökereinkre visszavezethető okokból – a hazai szakirodalomban ez a fogalom nemigen kapott figyelmet. A Johnson-kritériumot eredetileg – az Amerikai Egyesült Államok Szárazföldi Haderejének éjjelató eszközökkel összefüggő kutatásának keretében – célmegkülönböztetés valószínűségének előrejelzésére szolgáló módszerként fogalmazták meg az 1950-es években [27]. Napjainkban e tézis térbeli alkalmazásának keretében a képmegjelenítő eszköz által prezentált objektumok általános DRI-értékét az alábbiak szerint adják meg [28]:

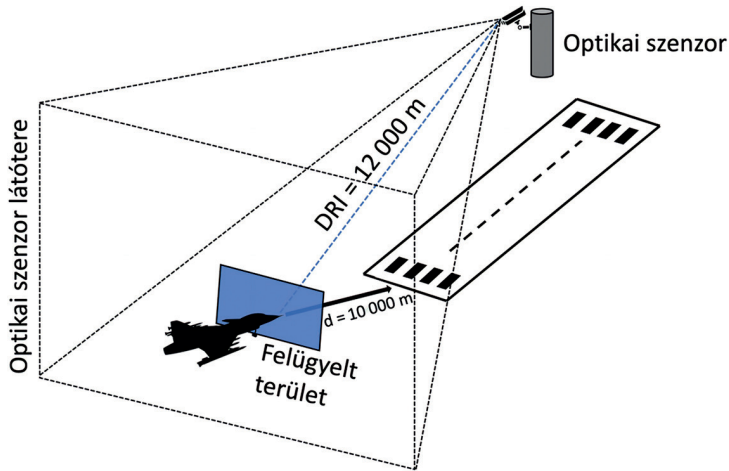
- észlelés: 2 pixel;
- felismerés: 4 pixel;
- azonosítás: 14 pixel.

A fenti általánosítást ökölszabályként ugyan elfogadhatjuk, de közvetlenül nem vonatkoztathatjuk az rTWR optikai rendszerre, mivel figyelmen kívül hagyja a 3. pontban megadott technikai és légi forgalmi szempontból releváns tényezőket. A rendszer DRI-értékeinek meghatározása céljából közlöm az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség vonatkozó irányelvei [9] [10] alapján összeállított, egyben a fenti megfontolásokat visszatükröző alábbi példatáblázatot. Ki kell emelnem, hogy a 3. táblázat csak irányadó célt szolgál, a sorok és oszlopok a konkrét igények megfogalmazásának függvényében változhatnak. Ennélfogva egy adatokkal feltöltött rTWR optikai szenzor DRI-táblázat az egyes célpontokra vonatkoztatott azon értékeket adja meg, amelyek teljesülése esetén a légi forgalmi irányító képes az észlelésre (D), a felismerésre (R) és az azonosításra (I).

3. táblázat
Az rTWR optikai szenzor DRI-példatáblázat [a szerző]

Felügyelt terület	Cél	Cél mérete (m)	Panorámakamera			PTZ-kamera		
			D (m)	R (m)	I (m)	D (m)	R (m)	I (m)
Végső megközelítési szakasz	Közepes légi jármű	7,0 × 7,0 × 27,0						
Forgalmi kör	Könnyű légi jármű	3,0 × 3,0 × 9,0						
Futópálya	Gépkocsi	2,5 × 1,5 × 4,0						
Gurulóút	Személy	1,7 × 0,5 × 0,5						

Példaként számoljunk azzal, hogy a futópályaküszöbtől 10 km-re ($d = 10\,000\text{ m}$) levő közepes légi jármű azonosítása (I) a rendszerrel szemben megfogalmazott elvárás, amely távolsághoz hozzáadódik az rTWR optikai szenzor repülőtéren belüli lokációja is. Ebben a konkrét esetben a 4. ábrával szemléltetett módon a felügyelt terület a végső megközelítési szakaszban található, célpontja pedig egy közepes méretű légi jármű.



4. ábra
DRI-példakalkuláció szemléltetése [a szerző]

A folyamat egymásra épül, ami azt jelenti, hogy az azonosítást (I) megelőzi a felismerés (R), a felismerést megelőzi az észlelés (D) [29], így a szemléltetés céljából alkalmazott példa esetében az rTWR optikai szenzor DRI = 12 000 m értékével írható le a célobjektum (közepes méretű légi jármű) végső megközelítési szakaszban való azonosíthatóságával szemben megfogalmazott követelmény.

3.2. Adatkapcsolatra vonatkozó követelményrendszer kerete

A légi járművek biztonságos, rendszeres, gyors és hatékony áramlásának biztosítását csak olyan rTWR optikai rendszer tudja ellátni, amely alapvetően e cél kiszolgálására elkülönített, redundáns hálózaton és eszközökön keresztül bonyolítja le az adatcserét. Míg a redundancia követelménye a légi forgalmi szolgáltatásokra vonatkozó általános elvárásokkal magyarázható [23], addig a dedikált nagy sávszélességet kínáló hálózat és a komoly számítási teljesítménnyel rendelkező eszközök kritériuma a minőségi képinformációk valós idejű feldolgozásával és prezentálásával támasztható alá [30].

A 4. táblázat tartalmazza egy rTWR-példakonfiguráció kapcsán jelentkező és a 3.2. pont első bekezdésében meghatározott követelményeket visszatükröző tipikus sávszélességi, valamint kívánt késleltetési értékeket. Ennek alapján könnyen kiszámítható, hogy a példakonfiguráció – redundanciával növelt – sávszélességi igénye közel 150 Mbps, azonban fontos hangsúlyozni, hogy ez az érték csak az rTWR optikai rendszerre vonatkozik és egyéb adatcsomagok áramlását (például hang) nem foglalja magában.

4. táblázat

Az rTWR-példakonfigurációra vonatkozatható tipikus késleltetési és sávszélességi értékek [26]

	Késleltetés (ms) OSz: Optikai Szenzor → WP: Working Position	Késleltetés (ms) WP: Working Position → OSz: Optikai Szenzor	Sávszélesség (Mbps)
#1 kamerakonfiguráció (panoráma) (14 HD-kamera)	< 100	< 10	50 Mbps
#2 kamerakonfiguráció (panoráma) (14 kamera, IR-funkcióval, nem HD)	< 100	< 10	15–20 Mbps
Dedikált PTZ-kamera	< 100	< 10	6 Mbps
Vezérlés és automatikus adatcsomagok	< 100	< 10	1 Mbps

3.3. Vizuális prezentációra vonatkozó követelményrendszer kerete

A vizuális megjelenítésre vonatkozó követelményrendszernek korrelálnia kell a katonai légi forgalmi irányítók szolgálata ellátásának rendjével [7], [11], [12], de ez – a technológia jelenlegi érettségi szintjének figyelembevételével – nem azt jelenti, hogy az ember kifinomult vizuális érzékelési teljesítményével megegyező, vagy annál jobb megjelenítés a cél. Ettől függetlenül, ahogy arra fentebb már utaltam, bizonyos augmentációk (PTZ-követés, vizuális kísérés, infravörös kamerák beépítése) már most is olyan előnyöket kínálnak, amelyek a konvencionális alkalmazásnál jobb helyzetértékelő képességgel ruházzák fel az operátorokat.

A vizuális megjelenítés célját szolgáló eszközre vonatkozó követelményrendszer felállítása során az alábbi paraméterek nyújtanak iránymutatást:

- darabszám, elrendezés;
- felbontás, méret;
- képfressítési ráta;
- betekintési szög;
- kontrasztarány;
- megbízhatóság (MTBCF¹⁶);
- színhűség és
- csatlakozási lehetőségek.

A fenti iránymutatásban megadott paramétereket a felhasználás konkrét lokációja – ide értve a telepíthető rendszerekre vonatkozó rugalmasan kezelendő elvárásokat – és a felhasználó igényeinek függvényében kell változtatni és priorizálni. A paraméterek egyedi sorrendezésének és változtatásának támogatása céljából összeállítottam az általános légi forgalmi irányítói tevékenységek konvencionális és rTWR-környezetben való összehasonlítását tartalmazó 5. táblázatot.

Az 5. táblázattal összefüggésben fontosnak tartom hangsúlyozni, hogy jelen mű nem foglal állást sem a konvencionális, sem az rTWR irányítói környezet mellett. Ettől függetlenül a korábban nevezett paraméterek egyedi priorizálása és differenciálása támogatásának célja mellett, az 5. táblázat – szakmai megítélesem szerint – megfelelő alapot képezhet az rTWR-technológia későbbi, katonai környezetben való műveleti alkalmazhatósági vizsgálatának is.

¹⁶ Mean Time Between Critical Failures.

5. táblázat
Általános irányítói tevékenységek összehasonlítása [a szerző]

Tevékenység megnevezése	Konvencionális környezet	rTWR-környezet
Felelősségi körzet megfigyelése	~135°-os egyidejű megfigyelés, szabad szemmel	akár 360°-os egyidejű megfigyelés, vizuális prezentációs eszköz támogatásával
Felelősségi körzet éjszakai megfigyelése	~135°-os egyidejű megfigyelés, szabad szemmel	akár 360°-os egyidejű megfigyelés, infravörös támogatás opciójával, vizuális prezentációs eszköz támogatásával
Nagyítás	távcső segítségével	PTZ-kamera segítségével, augmentációs opciókkal
Statikus/mozgó objektum azonosítása	szabad szemmel, opcionálisan távcső segítségével	panoráma- és PTZ-kamera segítségével, augmentációs opciókkal
Légi járművek elkülönítése	alapvetően szabad szemmel, opcionálisan távcső és radarkép segítségével	panoráma- és PTZ-kamera segítségével, augmentációs opciókkal
Légi forgalomra veszélyt jelentő rendellenességek észlelése	alapvetően szabad szemmel, opcionálisan távcső segítségével	panoráma- és PTZ-kamera segítségével, augmentációs opciókkal
Elsötétítés	fizikai elsötétítés fényvédő roló segítségével	a munkaterület elsötétítésére nincs szükség, a kamerakép automatikusan igazodik a környezeti fényviszonyokhoz

(Megjegyzés: 135° az emberi szem látótere)

4. Összefoglalás

A légi közlekedési iparágat jellemző – és alapvetően a repülésbiztonságot szavatoló – bonyolult jogszabályi háttér alapvetően lassítja azokat a diszruptív folyamatokat, amelyek az információs technológiai iparágat a 21. század húzóágazatává emelték fel. Ez a jelenség tetten érhető a helyszíntől független repülőtéri légi forgalmi és repüléstájékoztatói szolgáltatásokhoz kapcsolódó fejlesztések során is, hiszen az ez irányú első lépések már a 2000-es évek elején megtörténtek, de a valódi áttörésnek számító kezdeti gyakorlati alkalmazásra további egy évtizedet kellett várni, a NATO figyelmét pedig csak 2015-ben sikerült felkelteni.

Emiatt nem túlzás azt állítani, hogy az rTWR-technológia érettsége csak napjainkban jutott el arra a szintre, hogy világszerte komolyan vegyék az alkalmazásában rejlő potenciált. Jelen mű – a Honvédelmi és Haderőfejlesztési Programban felvázolt célok mentén – ennek a potenciálnak a kiaknázását célozza meg azáltal, hogy az elérhető kutatási eredmények és személyes szakmai tapasztalatok felhasználásával keretet ad a rTWR optikai rendszertől elvárt teljesítményre vonatkozó minimális katonai alkalmazási követelményeknek. Azonban az ismertetett keretrendszer önmagában csak kiindulópont lehet egy rTWR optikai rendszer tervezésének folyamatában, egészen csak az interoperabilitási elvárások vázának definiálása, a verifikációs eljárások körvonalazása és a kapcsolódó kibevédelmi elemzések elkészítése után tekinthető, amelyeket további publikációk formájában tervezek bemutatni az érdeklődő szakmai közönségnek.

Az összefoglalás keretében nyomatékosítanom kell, hogy egy katonai elvárásoknak megfelelő rTWR optikai rendszer alapja egy erre a célra elkülönített, nagy sávszélességet kínáló és potenciálisan a NATO hálózatalapú képességrendszerébe is integrálható titkosított hálózat. Egy ilyen jellegű adatkapcsolat képes biztosítani azt, hogy az optikai szenzor által

előállított mozgóképek valós idejű (késleltetés < 100 ms) megjelenítése megfeleljen a békeidejű és békétől eltérő légi forgalmi műveletek alapvető igényeinek. Az adott repülőtérre – vagy telepítési környezetre – jellemző műveleti igények feltérképezése érdekében elkészítettem a 3. és 5. táblázatot, amelyek pontos légi forgalmi szakmai interpretációja csak abban az esetben történhet meg, ha az alkalmazó nem a konvencionális eljárásokat kívánja teljes egészében az rTWR-technológia segítségével digitalizálni, hanem az úgynevezett dobozon kívüli, kritikus gondolkodással vizsgálja meg a technológiában rejlő lehetőségeket, és ennek alapján törekszik a műveleti hatékonyság fokozására.

Felhasznált irodalom

- [1] Vas T., *A Magyar Honvédség mobil légiforgalom szervezési komponens kialakításának és alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata*. Doktori értekezés, Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2019. Online: https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/12878/vas_timea_doktori_ertekezes_2019.pdf?sequence=11
- [2] W. D. Givhan, *The Time Value of Military Force in Modern Warfare: The Airpower Advantage*. Alabama, Air University Press, Maxwell Air Force Base, 1996. Online: <https://doi.org/10.21236/ADA326347>
- [3] Palik M., szerk., *A repülésirányítás alapjai*. Budapest, Dialóg Campus Kiadó, 2018.
- [4] Setét A. K., „A távoli toronyirányítás (REMOTE TOWER) koncepciója, katonai felhasználási lehetőségei és repülésbiztonsági szempontból való vizsgálata”, Szolnok, NKE ITDK, 2018. Online: www.repulestudomany.hu/tdk/2017_Setet_Alexandra_Krisztina_TDK.pdf
- [5] S. D. Van Beek, Remote Towers: A Better Future for America's Small Airports. Reason Foundation Policy Brief No. 143. 2017. július. Online: https://reason.org/wp-content/uploads/2017/07/air_traffic_control_remote_towers-1.pdf
- [6] Dudás D., Somosi V., Rohács D., „A Remote Tower technológia polgári és katonai alkalmazási lehetőségei,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 1. sz. pp. 205–217. 2017.
- [7] A légi forgalmi szolgálatok ellátásának és eljárásainak szabályairól szóló 57/2016. (XII. 22.) NFM rendelet. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1600057.nfm>
- [8] A légi forgalmi szolgáltatást/léginavigációs szolgálatokat és más légi forgalmi szolgáltatási hálózati funkciókat és azok felügyeletét ellátó szolgáltatókra vonatkozó közös követelmények meghatározásáról szóló 373/2017/EU (2017. március 1.) végrehajtási rendelet. Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/hu/TXT/?uri=CELEX%3A32017R0373>
- [9] Guidance Material on the Implementation of the Remote Tower Concept for Single Mode of Operation. European Aviation Safety Agency, 2015. július 3. Online: www.easa.europa.eu/downloads/18782/en
- [10] Technical and Operational Requirements for Remote Tower Operations. European Aviation Safety Agency, 2017. Online: www.easa.europa.eu/downloads/44661/en
- [11] Vas, T. „Hadműveleti repülőtér általános és speciális forgalmának irányításához szükséges képességek I.,” *Repüléstudományi Közlemények*, 30. évf. 1. sz. pp. 213–227. 2018. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/4282/3502>
- [12] Az állami repülések céljára kijelölt légterekben végrehajtott repülések szabályairól szóló 3/2006. (II. 2.) HM rendelet. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0600003.hm>
- [13] Haig Zs., *Információs műveletek a kibertérben*. Budapest, Dialóg Campus Kiadó, 2018.

- [14] C. Ünsalan, H. D. Gürhan, M. E. Yücel, „Introduction to Digital Image Processing,” in *Embedded System Design with ARM Cortex-M Microcontrollers*. Cham, Springer International Publishing, 2022. pp. 507–554. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-030-88439-0_14
- [15] D. Wu et al., In Situ High Resolution Real-Time Quantum Efficiency Imaging for Photocathodes. *Applied Physics*, 2017. Online: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1710.08148>
- [16] A. Belenky, Wide Dynamic Range Imaging. *The Neuromorphic Engineer*, 2004. Online: <https://doi.org/10.2417/1200402.0004> ;
- [17] D. Wueller, A. Matsui, N. Katoh, „Visual Noise Revision for ISO 15739,” *Electronic Imaging*, Vol. 31. No. 10. pp. 315–325. Online: <https://doi.org/10.2352/ISSN.2470-1173.2019.10.IQSP-315>
- [18] DxOMark Derived Sensor Characteristics. *Photons to Photos*, 2022. március 27. Online: www.photonstophotos.net/Charts/Sensor_Characteristics.htm
- [19] Digital Industrial Cameras – Sensor Performance Review. Baumer, 2022. március 25. Online: www.baumer.com/medias/___secure___/Baumer_Sensor-Performance-Review_EN_20190426_BR.pdf?mediaPK=8940747030558
- [20] S. R. Teli, S. Zvanovec, Z. Ghassemlooy, „The First Tests of Smartphone Camera Exposure Effect on Optical Camera Communication Links,” in 2019 15th International Conference on Telecommunications (ConTEL), Graz, Austria, 2019. július pp. 1–6. Online: <https://doi.org/10.1109/ConTEL.2019.8848559>
- [21] S. Janus, „Video Compression”, in *Handbook of Visual Display Technology*, J. Chen, W. Cranton, és M. Fihn, szerk. Cham: Springer International Publishing, 2016. pp. 425–441. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-319-14346-0_24
- [22] R. Safin, E. Garipova, R. Lavrenov, H. Li, M. Svinin, E. Magid, „Hardware and Software Video Encoding Comparison,” in 2020 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE). 2020. Chiang Mai, Thailand, pp. 924–929. Online: <https://doi.org/10.23919/SICE48898.2020.9240439>
- [23] Z. Yongli, Y. Zhengning, Z. Liang, „Analysis of Remote Tower System,” in 2020 IEEE 2nd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT, Weihai, China). 2020. pp. 128–133. Online: <https://doi.org/10.1109/ICCASIT50869.2020.9368521>
- [24] Kovács L., „Offenzív kiberműveletek 1.: Az offenzív kiberműveletek természete,” *Hadmérnök*, 16. évf. 2. sz. pp. 187–204. 2021. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2021.2.13>
- [25] J. Jakobi, M. Hagl, Effects of Lower Frame Rates in a Remote Tower Environment. Braunschweig, The Tenth International Conference on Advances in Multimedia (MMEDIA 2018), IARIA, 2018. Online: <https://elib.dlr.de/120166/>
- [26] Whitepaper: Introduction to Remote Virtual Towers. Frequentis, 2016. augusztus. Online: www.frequentis.com/sites/default/files/support/2018-02/RVT_whitepaper.pdf
- [27] J. Johnson, Analysis of Image Forming Systems, Part I and Part II. SPIE – The International Society for Optical Engineering, 1985.
- [28] White Paper: Thermal Detection, Recognition and Identification. Ascendent Technology Group, (é. n.). Online: www.ascendentgroup.com/uploads/files/Johnson_Criteria_Thermal_DRI_Performance_and_Range_Explained.pdf
- [29] F. J. van Schaik, J. J. M. Roessingh, G. Lindqvist, K. Fält, „Detection and Recognition for Remote Tower Operations,” in *Virtual and Remote Control Tower*. N. Fürstenau,

szerk., Cham, Springer International Publishing, 2016. pp. 53–65. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-319-28719-5_3

[30] L. Peterson, B. Davie, *Computer Networks – A Systems Approach*. 6. kiad. Elsevier, 2014. Online: <https://titania.eng.monash.edu/netperf/docs/computer-networks-peterson-davie-v6.0.pdf>

Defining Minimum Performance Standards for Optical System Required for the Provision of Location Independent Military Aerodrome Control Service

In general, operational task execution based on adequate video data flow is one of the most important requirements for the provision of location independent aerodrome control services. In order to apply this technology, beyond civilian use in this context, a specific framework needs to be defined to enable the use of the rTWR potential for military and defence purposes.

Keywords: *air traffic control, remote tower control, location-independent tower control*

Horváth Gábor (MSc) főtiszt Honvédelmi Minisztérium Állami Légügyi Főosztály Légiforgalmi Felügyeleti Osztály horvath.gabor3@hm.gov.hu orcid.org/0000-0002-2939-1426	Gábor Horváth (MSc) Senior ATM Officer Ministry of Defence State Aviation Department ATM Supervisory Division horvath.gabor3@hm.gov.hu orcid.org/0000-0002-2939-1426
--	--

Jelen tanulmány az Innovációs és Technológiai Minisztérium Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.



Terpezcz Gábor

Menekülés a levegőből

Az ember ősi vágya, hogy meghódítsa az eget. Az éghódító törekvések áldozatokat követeltek és követelnek ma is. A technika fejlődésével egyre több mentési megoldást fejlesztettek ki. A tanulmány során ezeknek a mentőrendszereknek az evolúcióját tekintjük az ejtőernyőtől a katapultülésig.

Kulcsszavak: léggömb, repülés, katapult, mentőrendszer, ejtőernyő, Heinkel, Dornier, Martin-Baker, Zvezda, Goodrich

1. Bevezető

Az ember ősi vágya, hogy meghódítsa az eget. Már az első kísérletek résztvevői is rájöttek, hogy a repülés „veszélyes üzem”. Mítoszok és legendák formájában sok kísérlet maradt fenn, de az első „dokumentált” katasztrófa Daidalosz és Ikarosz repülése kapcsán következett be.

Régi kínai levéltári okmányok szerint a mai ejtőernyő őse Kínában 1306-ban, Fo-Ki En császár koronázási ünnepségén mutatkozott be először. Az ugrók bambuszrudakra feszített bőrkupolával és kezükre erősített kötelekkel tornyokból és magas fákról hajtottak végre ugrásokat.

1.1. Leonardo da Vinci munkássága

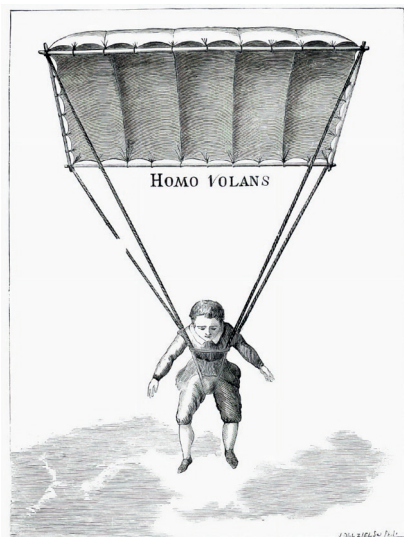
Hasonló leírások maradtak fenn Indiából is. Az 1500-as évek körül Olaszországban Leonardo da Vinci *A madarak repülésének kódexe* című munkájában már nemcsak vázlatrajzokat készített az ejtőernyőről, hanem meghatározta a szerkezet helyes működésének módját is. A Leonardo da Vinci által tervezett ejtőernyő-kupola felülete 62 m² volt, ami már lehetővé teszi egy ember biztonságos leeszkeskedését. A tervének gyakorlati megvalósulása nem ismeretes.



1. ábra
Leonardo da Vinci ejtőernyőrajza [13]

1.2. Az első publikáció

1617-ben Olaszországban kiadták Fausto Veranzio *Repülő ember* című munkáját. A kiadványban található vázlatok és elmélet Leonardo da Vinci munkájára épülnek.



2. ábra
Fausto Veranzio elképzelése [8]

A könyvben az ugrás végrehajtásáról is található gyakorlati példák. A műnek magyar vonatkozása is van, ugyanis Fausto Veranzio magyarországi születésű volt, aki Velencében telepedett le.

2. A léggömbök megjelenése

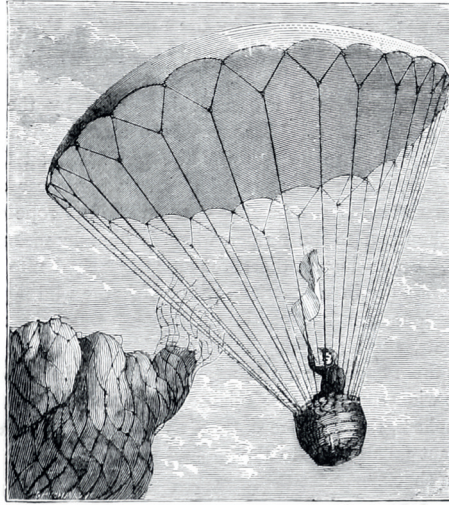
A 18. században a léggömbök megjelenésével sok feltalálót foglalkoztatott a kérdés, hogyan lehet megmenteni egy embert, ha a levegőben a léggömb kigyullad, vagy eresztetni kezd.

Jean-Pierre Blanchard francia léggömbtulajdonos volt valószínűleg az első ember, aki ejtőernyőt használt a gyakorlatban. 1785-ben egy ejtőernyőre rögzített kosárba kutyát tett, majd egy magasan repülő léggömbből kidobta azt. Pár évvel később maga is kipróbálta az ejtőernyős ugrást.

André-Jacques Garnerin francia ballontulajdonos 1793-ban a francia forradalom alatt Marchiennes-ben fogságba esett, majd három évig Magyarországon tartották fogva. A fogságban dolgozta ki a léggömből ejtőernyővel való leereszkedés elméletét (valójában a gondolat először a várbörtönből való szökés lehetőségeként vetődött fel).

Garnerin 1797. október 22-én hajtotta végre nyilvános felszállását egy léggömbbel a párizsi Monceau parkból. A körülbelül 1500 m magasságban repülő léggömből leoldotta magát egy ejtőernyővel. A léggömb hirtelen megszabadulva a nagy tömegétől, nagyon gyorsan emelkedett, amíg szét nem robbant. Garnerin a hullámzó mozgást végző ejtőernyőn gyorsan

merült, majd sértetlenül ért földet. Ez volt az első sikeres ereszkedés, amelyet keret nélküli ejtőernyővel hajtottak végre. Ezzel ő lett az első ejtőernyős a világon.



3. ábra
Blanchard „puha” ejtőernyője [19]

A máig fennmaradt „ejtőernyő” szót S. Lenormand francia tudós javasolta (a görög „para” [ellen] és a francia „chute” [esés] szóból).



4. ábra
André-Jacques Garnerin sikeres ereszkedése [20]

3. 20. század, a sikerek évszázada

Az orosz Gleb Jevgenyijevics Kotelnnyikov 1910-ben foglalkozott a pilóták mentésének problémájával. Kotelnnyikov előtt a pilóták a gépre rögzített, hosszában összehajtott ernyők segítségével hagyták el a gépet. Kialakításuk nagyon megbízhatatlan volt, ráadásul nagymértékben megnövelték a repülőgép tömegét. A fenti okok miatt csak ritkán használták ezeket az eszközöket.

Kotelnnyikov 1911-ben ki is próbálta ejtőernyőjét, az RK-1-et. Tevékenységének úttörő jellege abban rejlik, hogy újszerű megoldásokat tervezett. Olyan hevedereket alkalmazott, amelyeket két ponton csatokkal lehetett a kupolához erősíteni. A rendszer váll-, hát-, comb- és keresztvevőkből állt. Az ejtőernyő tokját merevített anyagból készítette (5. ábra).



5. ábra
Kotelnnyikov az ejtőernyőjével [11]

Everard Richard Calthrop brit vasúti mérnök és feltaláló közeli barátja volt a méltán híres Rolls-Royce-t alapító Charles Stewart Rollsnak. Rolls a brit repülés úttörője volt. Ő volt az első ember, aki mindkét irányban átrepült a La Manche csatornán. 1910. július 12-én Calthrop elkísérte Rollst a Bournemouth Nemzetközi Repülőtalálkozóra, és szemtanúja volt annak, ahogy Rolls elvesztette uralmát a kétfedelű Wright A típusú repülőgépe felett, lezuhant és meghalt. Később Calthrop, miután Tev nevű fiát egy majdnem végzetes balesetben kis híján elvesztette, azon dolgozott, hogy a kritikus helyzetbe került pilótákat meg lehessen menteni.

Calthrop az első ejtőernyőjét 1913-ban szabadalmaztatta, majd az I. világháború előrehaladtával folytatta ejtőernyőjének fejlesztését. 1915-ben találmányát felajánlotta a Royal Flying Corps¹-nak. Egy nem hivatalos jelentés szerint a Royal Flying Corps állásfoglalása a következő volt: az ejtőernyők „ronthatják a pilóták harci kedvét”, és az ajánlatot elutasították.

¹ Királyi légi hadtest.

Calthrop célkitűzése volt egy „olyan továbbfejlesztett ejtőernyő-kilövő vagy kilövő berendezés biztosítása, amely működési helyzetében lehetővé teszi az ejtőernyőnek a légi járműből való kivetülését az összegabalyodás veszélye nélkül, és olyan eszközök biztosítása, amelyek megkönnyítik a pilóta repülőgépről való gyors leválását” [4].

Everard Richard Calthrop megálmodott egy repülőgép-katapultülést, amelyet „kézi karral” kellett működtetni – szerepelt az 1916. szeptember 22-i, az ejtőernyőkkel kapcsolatos fejlesztések szabadalmi bejelentésében² [15]. A későbbiekben a Guardian Angel-nek nevezett ejtőernyőinek fejlesztésével, a brit katonai hajthatatlanság ellen harcolt a pilóták biztonságáért az I. világháborúban. Everard Richard Calthrop álmát 30 év múlva a brit Martin-Baker cég valósította meg.

4. Katapultülés-fejlesztések

A repülőgép-tervezők a II. világháború alatt kezdték felismerni, hogy a nagyobb teljesítményű vadászgépek személyzeteinek új menekülési mechanizmusra van szükségük. A gépelhagyás a kabintető eldobása vagy az oldalsó ajtó kinyitása útján egyszerűen nem lesz lehetséges nagyobb sebességeknél, különösen az új generációs sugárhajtású gépek esetén.

A megnövekedett repülési sebesség olyan automatikus megoldást igényelt, amely képes leküzdeni a légáram által generált nyomást, amely megakadályozza a pilótákat az „önerőből” végrehajtott gépelhagyásban. A tervezők felismerték, hogy minél gyorsabban repül egy repülőgép, annál nehezebb a levegőben elhagyni azt. Az első katapultülések koncepciói Európában láttak napvilágot.

Anastase Dragomir román feltaláló egy honfitársával, Tănase Dobrescuval közösen készítette el egy kilőhető szék makettjét. A találmány, bár a jelenlegi katapultülések korai változata volt, meglehetősen bonyolultnak bizonyult abban az időszakban, mivel egy levehető és kidobható függőleges székből állt, két ejtőernyővel. Úgy tervezték, hogy életeket mentsen vészhelyzetekben. A szabadalom feltalálásáig a modellt egy Farman gépen tesztelték 1929 augusztusában a francia fővároshoz közeli Paris-Orly repülőtéren. 1929 októberében a Băneasa repülőtéren, egy Avia modellen is kipróbálták. Mindkét teszt sikeres volt, a franciaországi és romániai sajtó a pillanat fontosságát és egyediségét hangsúlyozta.

Miután 1928-ban benyújtották a „katapultozható kabin” szabadalmi kérelmét, két évvel később, 1930. április 2-án a két román feltaláló megszerezte a szabadalmat a Francia Találmányi Hivatalnál.³ A találmány hivatalos neve „Új ejtőernyős rögzítőrendszer légi mozdonyhoz”⁴ volt. Anastase Dragomir újítása, hogy a lezuhanó kabin önstabilizálására két kiegészítő ejtőernyőt használt.

Ez a megoldás a későbbi mentőrendszereknél alappá vált. 1950-ben, két évtizeddel a találmány franciaországi bejegyzése után, Dragomir szabadalmát⁵ kapott Romániában. Az 1960-ban Párizsban kiadott *Technique des Avions* című könyv is említést tesz a brajlai feltaláló a pilóták és repülőszemélyzetek katapultálása terén elért eredményeiről. A Dragomir

² A szabadalmat GB111,498A azonosítóval jegyezték be.

³ A szabadalmat az 1. sz.678 566 számon jegyezték be.

⁴ A szabadalmi bejegyzés eredeti neve Nouveau système de montage des parachutes dans les appareils de locomotion aérienne.

⁵ A szabadalmat 40125-ös számon jegyezték be.

által szabadalmaztatott rendszer az új típusú szuperszonikus katonai repülőgépekben a katalapultülés megjelenésével valósult meg.

5. Német fejlesztések

A németek többféle, úgynevezett *Schleudersitz Apparat*⁶-tal kísérleteztek, amely a mai katalapultüléseknek felel meg. Alapvetően három technológiát használtak. Az elsőt sűrített gáz aktiválta, a második rugós mechanizmusra épült, a harmadiknál hajtógáztöltetet alkalmaztak.

5.1. 1938–1939 közötti fejlesztések

1938-ban a német Junkers cég ejtőernyővel ellátott katalapultülés fejlesztésébe kezdett. Ugyanebben az évben Oscar Nissen, Karl Arnhold, Reinhold Preuschen és Otto Schwarz német mérnökök szabadalmi kérelmet nyújtottak be. Konceptiójuk egy olyan gépelhagyási folyamatot írt le, amelyben a hajózószemélyzet a kabinból való kilövést követően leválik az ülésről, majd egy ejtőernyő segítségével tér vissza a földre.

A Heinkel He 176 prototípusát működő katalapultrendszerrel szerelték fel. A Dornier Do335 Pfeil kétmotoros toló-vonó légcavaros vadászrepülőgéphez is fejlesztettek katalapultülést (6. és 7. ábra).



6. ábra
A Do335 ülése [6]

Itt a katalapultálás első fázisában robbanó csavarok alkalmazásával leválasztották a gép hátsó részét és a légcavarokat, majd a hajózónak manuálisan kellett eldobnia a kabintetőt.

⁶ Ülészivető készülék.

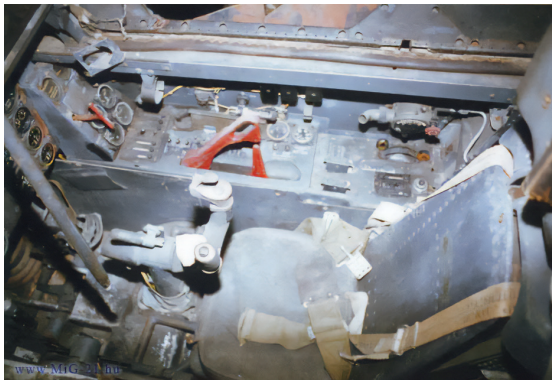


7. ábra
Dornier Do335 [4]

5.2. Első generációs katapultülések

A Heinkel cég később kifejlesztett egy sűrített levegővel működtetett rendszert, amelyet először 1942-ben teszteltek a földön. A teszteknél próbabábukkal ellátott ülést használtak indítópályával. Az alkalmazott kilövési nyomás 50–120 bar volt.

A tesztsorozat sikeresen lezajlott, ezért a DL + AS lajstromjelű, He-280 V1 sugárhajtású vadászrepülőgép volt az első, amelyet az új mentőrendszerrel láttak el. A DV+DI lajstromjelű Heinkel He-219 Uhu volt a világon az első sorozatban gyártott repülőgép, amelyet katapultüléssel szereltek fel (8. ábra). Ezt a gépet 1944-ben Rechlinben is tesztelték Joachim Eisermann repülő százados és a rechlini ejtőernyő-tesztelő, Wilhelm Buss bevonásával. A He 219-ről a rádiós előtti hátsó tetőszakaszt eltávolították, hogy jelentős költségeket megtakarítva elkerüljék a tető feláldozását a próbák alatt (9. ábra).



8. ábra
A He-219 katapultülése [10]

A későbbiekben sűrített levegős katapultülésekkel szerelték fel a He-280-at, a He-219 Uhu-t, a He-162 Volksjäger-t (volt piropatronos változat is) (10. ábra).

Heinkel He-162 Volksjager ülésel szerelték fel az alábbi repülőgépeket: [21], a Dornier Do-335 Pfeilt [6], az Arado Ar-234B Nachtigallt. Focke Wulf az Fw Ta 154-et és a Messerschmitt Me-163 Kometet.



9. ábra

A He-219 átalakított példánya [9]

Annak ellenére, hogy a Messerschmitt Me-262 a háború legszélesebb körben használt német sugárhajtású vadászrepülőgépe volt, különös módon katapultüléssel csak ritkán látták el.

Az első vészhelyzeti katapultálás 1943. január 13-án történt, amikor Helmut Schenk százados berepülőpilóta jegesedés miatt katapultált a Heinkel He-280 V1 prototípusból (11. ábra).



10. ábra

Heinkel He-162 Volksjager ülése [21]

A Schenk által használt ülést két párhuzamos, egyenként 1050 mm hosszú csőre szerelték fel. Mindegyik csőben volt egy töltet, amely körülbelül 30 g lőport tartalmazott. Ezzel a meghajtással nagyjából 12 m/s sebességet lehetett elérni.



11. ábra
He-280 V1 még motor nélkül [16]

1943. július 15-én Hans-Joachim Pancherz százados, a Junkers berepülőpilótája katapultált egy Junkers Ju-290-esből, miután a repülőgép egyes részei a végsebesség elérésekor leváltak. Míg az első katapultüléseket sűrített levegővel vagy hajtógáztöltetekkel működtették, 1943-ban Erich Dietz, a Junkers mérnöke felismerte, hogy a rakétahajtás jelentős előnyöket kínál, elsősorban a gyorsító hatás miatt, amely csak fokozatosan hat a testre. További előnyt jelentett, hogy a rakétaalapú rendszerek könnyebbek, kevesebb helyet foglalnak, és karbantartásuk is egyszerűbb. Dietz továbbá felismerte azt is, hogy ezzel a koncepcióval kilövéskor a testre ható erők jobban szabályozhatók. Noha az ötletét szabadalmaztatták, a megvalósításra csaknem két évtizedet kellett várni. Ma már a világon gyártott összes katapultülés erre az elvre épül.

1944. április 11.: Egy teljes legénység először használt katapultülést (9. ábra). Herter pilóta altiszt és rádiósa, Gefreiter Perbix kénytelenek voltak katapultálni, miután a He-219A típusú gépüket Weert közelében lelőtte a RAF 239-es századának Mosquito típusú éjszakai vadászrepülőgépe.

1944. május 19.: Wilhelm Buss ejtőernyős lecsereleli a próbabábut, és kilövi magát a He-219 V6-ból 1200 m-en, 310 km/h-s sebességgel a Müritz-tó felett.

A DVL⁷ Repülési Orvostudományi Intézet katapultkilövő torony, vízszintes pálya és valódi repülőgépárkányok felhasználásával számos katapultüléstesztet hajtott végre a hirtelen gyorsulások és a nagy sebességgel áramló levegő (torlónyomás) élettani következményeinek tanulmányozására.

⁷ Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt – Német Repülési Kutatóintézet.

6. A német fejlesztések sikere

A gépek rohamosan növekvő teljesítményén túl a katapultülések bevezetésének fő oka, hogy a Luftwaffe-ban a II. világháború vége felé a tapasztalt pilóták hiánya (különösen az éjszakai vadászrepülőgépeknél) elviselhetetlenné vált. A hiányzó anyagot ugyan nehezen, de lehetett pótolni. A hatalmas bombázókötelékek elleni harchoz szükséges tapasztalt vadászpilóták pótlására már nem tudták elegendő számban kiképezni és bevetni az utánpótlást, így egy ilyen összetett műszaki fejlesztést szükségesnek minősítettek.

A háború alatt mintegy 60 német repülőszemélyzet életét mentették meg katapultrendszerek, amelyeket kevés kivétellel sűrített levegő vagy valamilyen gáz hajtott.

7. Svéd fejlesztések

A svéd SAAB 1941-ben önállóan fejlesztett egy sűrített levegővel működő katapultülést, amelyet 1942. január 8-án sikeresen teszteltek egy Ju-86K-ból, 280 km/h-s sebességnél indított 80 kg-os próbabábuval. 1943-ban a SAAB és a Bofors hamar felismerte a sűrített levegő korlátait, ezért hamarosan kifejlesztettek egy lőporos meghajtású katapultülést két fúvócsóval a Saab 21-hez, bár az első légi tesztet egy Saab 17-en végezték el 1944. február 27-én.

1946. július 29-én Bengt Johansson hadnagy végrehajtotta az első svéd vészelhagyást egy Saab Mk1-es katapultülés segítségével, amikor a Saab J-21 típusú gépe és egy Saab J-22 a levegőben összeütközött.



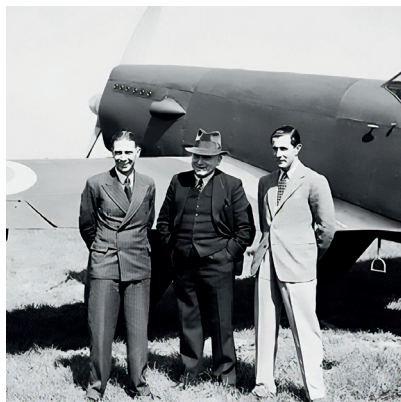
12. ábra
Saab J-21 [12]

8. Angol fejlesztések

A britek a két világháború közötti években a repülőgépekből való katapultálást csak tanulmányozták. A katapultülés-projektet más fejlesztéseik miatt félretették. Csak a háború után tértek vissza a légi mentőrendszerek fejlesztéséhez.

8.1. Megalakul a Martin-Baker cég

Sir James Martin ír mérnök 1929-ben kezdett repülőgépeket gyártani. Sir James Martin barátsága Valentine Baker kapitánnyal az MB1 gyártása során alakult ki, így született meg a Martin-Baker Aircraft Company Ltd. Baker kapitány többéves repülési tapasztalatának és képességeinek nagy jelentősége volt a cég prototípusainak fejlesztésekor.



13. ábra
A Martin-Baker cég alapítói [23]

1942-ben a Martin-Baker MB3 prototípus próbarepülése során Baker kapitány életét veszítette. Halála nagy hatással volt Sir James Martinra, aki élete hátralévő részét és cégük jövőjét a pilóták biztonságának szentelte.

A cégalapítót, James Martint az akkori Repülőgépgyártási Minisztérium felkérte, hogy vizsgálja meg annak a lehetőségét, miként lehetne a vadászrepülőgépek pilótáit biztonságosan kimenteni vészhelyzet esetén. Mindez egy olyan időszakban történt, amikor szinte hetente történtek balesetek. Az új generációs, nagy teljesítményű vadászrepülőgépekből való biztonságos menekülés lehetőségével kapcsolatos komoly aggodalmak nagy hatással voltak a hajózók moráljára. Martin-Baker a fejlesztéseinél azt a koncepciót alkalmazta, hogy a pilótát a repülőgép sárkányszerzetére erősített, sínekkal megvezetett ülés 60 ft/s (18,3 m/s) sebességgel lövik ki a repülőgépből egy piropatront tartalmazó hajtómű segítségével. A gép elhagyását követően egy ernyő stabilizálta az ülést, elősegítve a hajózó leválasztását az ülésből.

8.2. Az első mérföldkő

1946. július 24-én a Martin-Baker alkalmazottja és önkéntese Bernard Lynch volt az első nem német, aki a levegőben katapultált (14. ábra). Lynch 1946 januárja óta több földi teszten kipróbálta az új Martin-Baker ülést.



14. ábra
Bernard Lynch [14]

A júliusi gépelhagyás egy speciálisan módosított Gloster Meteor 3 hátsó pilótafülkéjéből 800 lábról (244 m) 320 mile/h (515 km/h) sebességnél kilőtte magát, majd tökéletesen földet ért.

A sikeres gépelhagyást további 30 követte. Andrew Martin, a cég marketing- és üzletfejlesztési igazgatója szerint Lynch legendás státusszal rendelkezett a vállalaton belül, és állítólag soha többé nem kellett italt vennie a helyi kocsmában.



15. ábra
MB Mk1 ülés [22]

Érdekesség, hogy Martin-Baker katapultüléseinek légi próbái a két legkorábbi, még üzemben lévő Gloster Meteor Mk.7-es sugárhajtású gépen történtek. Az egyik 1949-ben, a másik 1952-ben készült. Napjainkban is ezeken a gépeken zajlanak az olyan legmodernebb vadászpilótaülégtípusok katapultüléseinek légi tesztjei is, mint például az F-35 Joint Strike Fighter.

Később az amerikai haditengerészet, amely nagy érdeklődéssel figyelte a Martin-Baker rendszerek fejlesztését, saját teszteket hajtott végre Adolph Furtek hadnagy segítségével egy módosított A-26 Invaderből Lakehurstben, 1946 novemberében.

8.3. A Martin-Baker sikertörténete

Az 1940-es évek óta a Martin-Baker valamivel több mint 7500 repülőszemélyzet életét mentette meg (némelyiküket többször is). Bár nem Martin-Baker az egyetlen katapultüléseket gyártó, cég, de meghatározó szerepe és hatása vitathatatlan a mentőrendszerek fejlesztésében.

9. További gyártók

A légi mentőrendszerek fejlesztése világméretűvé szélesedett. A volt szovjet, ma orosz NPP Zvezda⁸ által kifejlesztett vészhelyzeti technológiák uralják a szovjet-orosz tervezésű típusok flottáját, míg a cseh Zlin a szintén cseh Aero Vodochody L-29 és L-39-es kiképző gépek részére készít katapultüléseket. Az USA ma már meghatározó katapultfejlesztője a Goodrich Corporation. Ők gyártják a méltán híres Aces II üléseket.

10. Katapultálás lefelé

Majdnem mindenki úgy véli, hogy a katapultálás csak felfelé lehetséges. De ez természetesen nem igaz. Technikailag az ülések úgy vannak kialakítva, hogy lehetőség szerint elviselhetőbbé tegyék a fellépő erőket a háthelyzetben való biztonságos gépelhagyáskor is.

A lefelé való gépelhagyást biztosító rendszert először a B-52 stratégiai bombázókba telepítették. Mivel a gép fedélzete kétszintes, a felső fedélzet legénysége felfelé, az alsó fedélzet személyzete lefelé hagyja el a bajba került gépet. Mivel a gép bevetési magassága meglehetősen nagy, a lefelé katapultálás nem okoz jelentős problémát.

Az F-104 Starfighter prototípusok szintén lefelé távozó üléseket kaptak, mert akkoriban az amerikai mérnökök biztonságosabbnak tartották ezt a megoldást, mint a felfelé való gépelhagyást, ugyanis a nagy sebesség miatt potenciális kockázatnak vélték a személyzet vezérsíkoknak való csapódását.

A későbbi, nagy sebességű tesztek során ez az állítás indokolatlannak bizonyult, ezért a sorozatban gyártott F-104-eseknek már felfelé kabinelhagyást biztosító ülései voltak.

11. Víz alatti katapultálás

Nagyon kevésbé ismert tény, hogy a katapultülések még a víz alatt is kimenthetik a hajózókat. A legelső víz alatti katapultálás 1954. október 13-án történt, amikor a Királyi Haditengerészet

⁸ Научно-производственное предприятие "Звезда", (НПП Звезда) – „Zvezda” Kutató és gyártó vállalat.

Westland Wyvern repülőgépén katapultindításkor hajtóműteljesítmény-esés következett be (16. ábra).

A hajózónak sikerült ledobnia a tetőt, mielőtt a gép vízbe merült. Ekkor aktiválta a katapultálást már a víz felszíne alatt. A rendszer jól működött, bár a hajózó majdnem megfulladt, mert belegabalyodott az ejtőernyő zsinórzatába.



16. ábra
Westland Wyvern [1]

Ő lett az 53. tagja a híres Martin-Baker Ejection Tie Club-nak, amely az összes MB-üléssel katapultált hajózót nyilvántartja. Az 1960-as években az USA-ban a víz alatti gépelhagyás koncepcióját egy Martin-Baker Mk.7 üléssel felszerelt F-8 Crusader vadászgépen tesztelték. Ez számos tervezési változtatáshoz vezetett, amikor 1969-ben az amerikai haditengerészet pilótája egy katapultálást követően vízbe fulladt.

11.1. A biztonság javítása

A mai Martin-Baker ülések igény szerint „vízbiztos” rendszerrel vannak felszerelve. A vízbe érkezést követően az ülés meghajtását rakéta helyett sűrített levegővel oldják meg. A haditengerészeti változatok emellett automata, gázzal felfújható üléspárnát is tartalmaznak, amelynek segítségével a hajózó a víz alól könnyen kiemelhető.

12. Katapultálás helikopterekből

Bár a katapultüléseket általában merevszárnyú repülőgépekhez kötik, több forgószárnyas modellben is helyet kaptak. A legelső a Sikorsky S-72 RSRA (*Rotor System Research Aircraft*) volt, amelyen a felhajtóerőt egy *merev szárny* és a főrotor kombinációja hozta létre.



17. ábra
Sikorsky S-72 RSRA [3]

Mivel a repülőgép pusztán kísérleti jellegű volt, és a személyzet a kabint az oldalajtón keresztül érte el, egy esetleges vészelhagyáskor ez kiemelt kockázatot jelentett. A személyzet biztonsága érdekében a hajózókat katapultülésekkel látták el. A rotorlapátok pirotechnikai patront tartalmaztak, így vészhelyzet esetén leválasztották a repülőgépről. Ez az eljárás szabaddá tette a kivetési útvonalat az ülések előtt. A rotorlapátoknak azonban csak az útjuk egy bizonyos irányszögében kellett leválniuk, ezért egy úgynevezett szekvenszert⁹ alkalmaztak, amely megakadályozta, hogy a forgószárnyak a farokrotorral ütközzenek. A rendszer három lapátot leválasztott egy meghatározott helyzetben, a maradék kettőt pedig a rotor 72°-os elfordítása után. Az alkalmazott rendszer a prototípuson kívül nem terjedt el igazán, viszont jó alapot nyújtott más rendszerek fejlesztéséhez.

12.1. Az orosz irányzat

Az első cég, amely sorozatgyártású helikopterekben katapultülést vezetett be, az orosz OEM Kamov volt.



18. ábra
A Zvezda fejlesztésű K-37-800M ülés [18]

⁹ Sorrendvezérlő.

A Ka-50 és Ka-52 modelljeit K-37-800M katapulthoz hasonló üléssel szerelték fel, bár a katapult szó ebben az esetben nem egészen pontos.

A helikopter ülése egy rakétahajtóműhöz erősített kötélrendszerrel van felszerelve. Amint a hajózó elindítja a kilövést, a rotorlapátokat a forgási pályájuk meghatározott szakaszaiban leválasztják, majd a kabintetőt szétrobbantják (a Ka-50 pirotechnikai mennyezeti nyílást használ). Ezt követően speciális mechanizmus oldja a helikoptervezető üléshez rögzítő hevedereit, majd a személyzetet a hevedereknél fogva szó szerint kirántja egy, a korábban már említett, rakétahajtóművel ellátott kötélrendszer. Mivel az ülés a helikopterben marad, a hajózó teste kénytelen elviselni a gépelhagyáskor keletkező összes erőt, amelynek mértéke akkora, mintha üléssel katapultált volna. A rendszer képes kimenteni a hajózót nulla magasságból és nulla repülési sebességnél is.



19. ábra

A Mi-28 és Ka-60-on alkalmazott, Zvezda fejlesztésű „Pamir” energiaelnyelő ülés [17]

Ezek az ülések úgynevezett „amortizációs ülések”, amelyek a helikopter lezuhanásakor nagymértékben képesek elnyelni az ütközés erejét. Az ülésen található fogantyúk az ülés amortizációs rendszerének aktiválására szolgálnak és nem a kilövésére. A Pamir amortizációs rendszere egy baleset során a medencecsont ütésterhelését képes 50-szeresről 15–18-szorosra csökkenteni továbbá frontális és oldalsó ütközésben is csillapít. A hajózó fejrögzítő rendszere 9–20-szorosra mérsékeli a fej túlterhelését.

13. Mentőkapszulák

Az 1960-as és 1970-es években a személyzetek mentésének fő eszközeként a General Dynamics F-111 és a Rockwell B-1A típusú gépekre kidolgozták a teljes pilótafülke leválasztásának módszerét. A tervek szerint a legénység a kabinban maradt, így sem a nagy sebességű áramlás, sem az ejtőernyő-heveder nem terhelte a személyzetet. A kapszula a 120 kN tolóerővel rendelkező

szilárd rakétatöltet segítségével, stabilizáló szárnyakkal robbant ki a repülőgépből. Eredetileg a kabin földre való visszajuttatására három ejtőernyőt alkalmaztak, bár azok szerencsétlen módon hajlamosak voltak egymás után meghibásodni. Ezeket az ernyőket később lecserélték egy nagy szilárdságú kevlárpólimerből készült mentőernyőre. Leszálláskor légszákrendszer tompította az ütközést, víze szálláskor pedig biztosította az úszóképességet (20. ábra).



20. ábra
F-111 kabin mint mentőkapszula [2]

Ez a megoldás a költséges és bonyolult technikai megvalósítás miatt más típusokon nem terjedt el széles körben.

14. Konklúzió

A repülés történetével egy idősek a repülőkatasztrófák. Az emberiség megtanulta, hogy a repülő-szerkezetek üzemeltetése során az egyik legnagyobb veszélyforrás maga az ember, aki ha hibázik, tette komoly következményekkel jár. A repülés hajnalán szinte minden esetben az életével fizetett egy rossz döntésért, mozdulatért. A háborúk bebizonyították, hogy mit sem ér a technikai fölény, ha nincs jól képzett személyzet, aki a rábízott technikával képes eredményesen harcolni. Gépet bármikor lehetett pótolni, de pilótát nem. A veszteségek csökkentése érdekében a mindenkori legmodernebb technológia segítségével igyekeznek a leghatékonyabb mentőrendszereket kidolgozni és alkalmazni.

Felhasznált irodalom

- [1] *Air Team images*. Online: www.airteamimages.com/pics/115/115019_800.jpg
- [2] *Air Vectors*. Online: www.airvectors.net/avf111_04.jpg
- [3] *1000 Aircraft Photos*. Online: <http://1000aircraftphotos.com/Contributions/Visschedijk/7050L-1.jpg>
- [4] B. Taylor, *Getting Our Wings*. Xlibris, 2015, p. 40.
- [5] D. Donald, *Warplanes of the Luftwaffe: A Complete Guide to the Combat Aircraft of Hitler's Luftwaffe From 1939–1940*. Barnes & Noble, 2000. pp. 24–25.

- [6] D. Donald, *Warplanes of the Luftwaffe: A Complete Guide to the Combat Aircraft of Hitler's Luftwaffe From 1939–194*. Barnes&Noble, p. 26.
- [7] D. Donald, *Warplanes of the Luftwaffe: A Complete Guide to the Combat Aircraft of Hitler's Luftwaffe From 1939–194*. Barnes&Noble, p. 28.
- [8] *Dalmatian Philosopher Historian And Inventor Poster*. Online: https://m.media-amazon.com/images/I/71sl7f0ernL._AC_SL1000_.jpg
- [9] *Nevington War Museum*. Online: www.nevingtonwarmuseum.com/uploads/9/1/7/5/9175276/nevington-he-219-ejection-seat4.jpg
- [10] *Nevington War Museum*. Online: www.nevingtonwarmuseum.com/uploads/9/1/7/5/9175276/nevington-he-219-ejection-seat5_orig.jpg
- [11] Парашют Глеба Евгеньевича Котельникова. Online: <http://авиару.рф>
- [12] *Plastic Fantastic*. Online: <https://plasticfantastique.com/wp-content/uploads/2018/12/Saab-J-21A-cover-768x402.jpg>
- [13] Illustration of Leonardo da Vinci's parachute. *Science Photo Library*, (é. n.). Online: www.sciencephoto.com/media/363121/view/illustration-of-leonardo-da-vinci-s-parachute
- [14] *Smithsonian Magazine*, Online: www.smithsonianmag.com/videos/footage-of-the-first-martin-baker-ejection-seat
- [15] S. J. Chant, D. E. Campbell, *Patent Log: Innovative Patents that Advanced the United States Navy*. Syneca Research Group, 2013. pp 655
- [16] *This Day In Aviation*. Online: www.thisdayinaviation.com/13-january-1942-2/screen-shot-2019-01-12-at-06-29-04/
- [17] *ww2facts.net*. Online: <https://img.ww2facts.net/img/war-2019/npp-zvezda-kolibel-otechestvennih-sistem-katapultirovaniya-4.jpg>
- [18] NPP Zvezda, Kolebka Domowych Systemów Wyrzutowych. *Ww2facts.net*, (é. n.) Online: <https://pl.ww2facts.net/38824-npp-zvezda-the-cradle-of-domestic-ejection-systems.html>
- [19] Wonderful Balloon Ascents, 1870 – Garnerin's Descent in a Parachute. *Wikimedia*, (é. n.). Online: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wonderful_Balloon_Ascents,_1870_-_Garnerin's_Descent_in_a_Parachute.jpg
- [20] *Múlt-kor*, Online: <https://mult-or.hu/ie3zD/gallery/7810/630x1260/35582.jpg?lavid=422426>
- [21] *Ejectionsite*. Online: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9CcrxEP8zRNiiA6AxNfyCqiEO3vyxz_DUBXXT407onsTJQgz3Y-zP
- [22] *Martin-Baker*. Online: <https://martin-baker.com/wp-content/uploads/2022/02/eject1-3.jpg>
- [23] *Martin-Baker*. Online: <https://martin-baker.com/wp-content/uploads/2022/03/history3a.jpg>

Escape from the Air

Man's ancient desire is to conquer the air. These efforts demanded sacrifices and still do today. As technology had advanced, more and more rescue solutions have been developed. This lecture will look at the evolution of these rescue systems from parachute to ejection.

Keywords: *airship, aviation, ejection seat, rescue system, parachute, Heinkel, Dornier, Martin-Baker, Zvezda, Goodrich*

Terpez Gábor (MSc) mérnök tanár Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Elektronikai és Kommunikációs Rendszerek Intézet Műszertechnikai és Automatizálási Tanszék terpez.gabor@uni-obuda.hu orcid.org/0000-0001-7899-2837	Gábor Terpez (MSc) Engineering Teacher Óbuda University Kandó Kálmán Faculty of Electrical Engineering Institute of Electronic and Communication Systems Department of Instrumentation and Automation terpez.gabor@uni-obuda.hu orcid.org/0000-0001-7899-2837
---	--



Omar Alharasees, Utku Kale

Air Transport Projects Quality Assessments by Analytical Hierarchy Process (AHP)

The complex environment of aviation created dynamic air transport systems where the quality is vulnerable and directly sensitive to the supply side due to the high strategic level of driven market environments. The significance of quality quantifications has grown rapidly. Calculating quality factors is not a simple task, due to the heterogeneous, inseparable and incomprehensible characteristics of the system. For this purpose, the analytical hierarchy process (AHP) survey was distributed among two groups of 22 experts of pilots and ATCOs and applied by creating a three-level hierarchy model of the air transport supply quality to evaluate and weigh the critical characteristics. In the hierarchical structure, 4 main criteria, 15 first-level sub-criteria, and 12 second-level sub-criteria were used for the air transport supply quality model.

Keywords: *air transport, supply quality, multi-criteria decision-making, analytical hierarchy process, pilot, ATCO*

1. Introduction

The rise and development of the aviation world has enormous effects on each stakeholder (airlines, airports, air traffic management [ATM], aircraft manufacturers, and so on) in the air transport system, which are reflected in the real state of the system [1] and operator (pilots, air traffic controllers [2] in general, includes the environmental safety and security considerations, and cost/cost-benefit analysis of the used sources. As usual, the impact is evaluated at two levels: However, it appears insignificant when considering how aviation operators, [3] the tasks of operators (drivers, pilots, air traffic controllers, production process managers and their adaptation to the change of the main role affects the air transport supply quality process.

The importance of quality measurement in attaining organisational performance cannot be stressed enough [4]. The evaluation of system quality is crucial for determining an organisation's success or failure [5], [6]. As a result, traditional measures employ cardinal or ordinal scales to assess a system's quality [7].

The Analytic Hierarchy Process (AHP), a well-recognised Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) tool for multiple objective ranking procedure and an outstanding way for dealing with sophisticated decision-making, is one of the approaches for determining supply quality [8], [9]. Many complex decision-making issues are solved using the AHP technique [10]. Administration, industry, manufacturing, health care and education are all places where AHP is applied. According

to the decision-makers' pairwise comparisons of the criteria, AHP creates a weight for each assessment criterion.

Greater weights represent greater significance levels. AHP allocates a score to each preference according to the decision-makers' pairwise comparisons of the options based on that criterion.

During the last three decades, researchers have used AHP analysis which varies in terms of the theoretical background, questions type and the findings. Recently, the best compromised options have been selected through different real situations of the specific investigation. The approaches have been employed regularly by the decision-makers to prioritise the important parameters or norms, reduce uncertainty and improve the quality of decisions. Accordingly, for the practical purposes MCDM approaches have been proposed to solve problems.

Many previous studies employed AHP in aviation, Chao [11] dimensions and criteria for selecting a strategic cargo alliance were first collected and then screened using the Fuzzy Delphi Method (FDM) evaluated the quality service offered by the international air transport industry. The results indicate that reliability and assurance are major criteria for assessing the quality of service in this industry. Rezaei [12] studied the criteria used in selecting an appropriate retailer for the airline industry by showing conflicting quantitative and qualitative criteria in arriving at the criteria for the selection of a retailer. The most important criteria determined by the study in selecting a retailer is financial stability. Zietsman and Vanderschuren [13] evaluated and analysed the development of a multi-airport by studying the territorial competitiveness factor in airport development rather than infrastructure and economic activities. According to the results, Cape Town City requires a single-airport system up until the volume of passengers increases beyond the current 27 million annually. Bruno [14] highlighted service quality, attention on the customer and environmental impact in aircraft evaluation. The study determined that the most important factor in airlines is the size cabin luggage compartment.

Other AHP studies were designed for aviation operators, such as Oktal and Onrat [15], who employed AHP to characterise the essential criteria in the selection of airline pilot candidates by incorporating a Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) into the Human Factors Analysis and Classifying System framework. Havle and Kılıç [16] determined and studied the circumstances that affect navigation mistakes in the North Atlantic Region. Kılıç and Ucler [17] used AHP Techniques to assess stress variables in student pilots.

The goal of the study is to evaluate the elements that influence the supply side of the aviation sector from the aviation operators' side. The current study examines the preferences of the two experts' groups based on the primary criteria. To create a general hierarchical model, the Analytic Hierarchy Process (AHP) is employed. These decision-making models are primarily built on three layers to develop evaluator preference loads for 1. the assessment procedure; 2. preventing complication; and 3. lacking information from other AHP functions. In this study, the Saaty Scale was utilised for scoring to depict lost data utilising matrices that could be computed using a particular technique. The rest of the paper is organised as follows: the applied methodology is introduced and explained in detail, then, the most significant results are illustrated mathematically and graphically, and lastly the essential aspects and criteria of the study are highlighted and how to deal with them in such circumstances.

2. Method

AHP is a strategy for organising and analysing complicated decisions firstly created by Thomas L. Saaty in the 1980s which is grounded on a mathematical and psychological basis [18]. When a choice is made, AHP provides an objective mathematic strategy for altering the personal priorities of an individual or a group [19].

Essentially, AHP works by establishing criteria for assessing priorities and alternatives. AHP is a decision-making and forecasting approach that provides percentage distributions of choice points in terms of influencing factors, which may be utilised to define the decision hierarchy.

AHP depends on individual benchmarks of a decision hierarchy, applying a predefined assessment scale like the Saaty Scale, containing the influences that impact decision-making and, if necessary, the importance of the decision points in relation to the factors that alter the decision. Therefore, variations in significance are converted into mathematical percentages on decision points. The steps to be taken to resolve a decision-making problem with AHP are summarised in Figure 1.

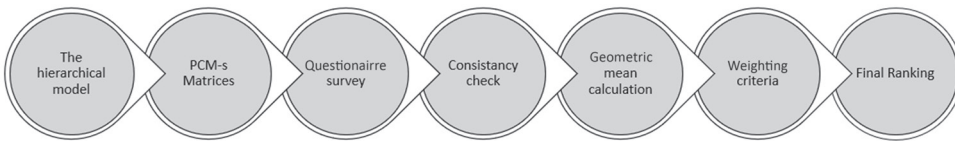


Figure 1

The steps of applying the AHP method [Authors]

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1j} & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \cdot & \cdot & a_{2j} & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \frac{1}{a_{1j}} & \frac{1}{a_{2j}} & \cdot & a_{ij} & \cdot & \cdot & a_{in} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \cdot & \cdot & \frac{1}{a_{in}} & \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Table 1
Saaty Scale [20]

Numerical values	Verbal scale	Explanation
1	Equal importance of both elements	Two elements contribute equally
3	Moderate importance of one element over another	Experience and judgment favour one element over another
5	Strong importance of one element over another	An element is strongly favoured
7	Very strong importance of one element over another	An element is very strongly dominant
9	Extreme importance of one element over another	An element is favoured by at least an order of magnitude
2, 4, 6, 8	Intermediate values	Used to compromise between two judgments

Firstly, developing the hierarchical model is based on the significant characteristics and aspects from the supply side of air transportation. Figure 2 displays the model with the components of each level.

The second step after building the conceptual model is creating the pairwise matrices, because the AHP makes use of the unique properties of pairwise comparison matrices (PCM). The intensity of the decision-makers' preference between specific pairs of options (A_i versus A_j , for all $i, j = 1, 2, \dots, n$) is represented in the matrix $A = [a_{ij}]$ illustrated in equation 1. They are commonly picked from a set of scales, such as the Saaty Scale (Table 1). If all of the components of matrix A are positive, transitive and reciprocal, it is said to be consistent [20], [21].

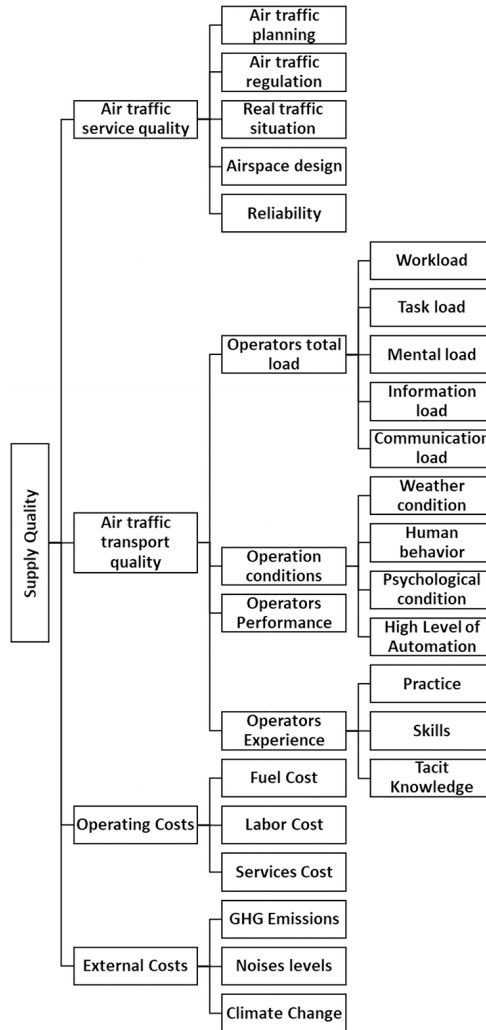


Figure 2
The hierarchical model [Authors]

An online AHP based survey was designed and distributed among pilots and Air Traffic Controllers (ATCOs), focused on the major characteristics of the air transport supply quality from various perspectives. The purpose of the questionnaire is to quantify the most important issues as seen through the eyes of the aviation operators since it could highlight different perspectives than that of the stakeholders, based on their experience and knowledge. The participants were arranged into two groups; there were 22 participants (8 females), 11 pilots, and 11 ATCOs. Because most experience matrices are inconsistent, the matrix consistency ratio (CR) should be smaller than 0.1. For each group, the CR is determined.

The geometric mean of each group was used to prioritise the influence of each feature in the model within the same level, using pairwise comparison matrices.

Calculating the normalisation term for a weight for a linked element such that the weights' components ultimately add up to 1. The aggregated eigenvector is then used to calculate the final score.

3. Results and discussion

After analysing and visualising the participants' opinions on the development of the air transportation system supply quality side, it is obvious that there will be some differences between the expert groups' perspectives due to differences in experience and understanding the real situation and its development in a more detailed way; however, the AHP method will give more consciousness and enlightenment about air transportation development based on pairwise comparisons than using the simple method. The geometric mean was used to aggregate the responses, as stated in the methodology. Tables 2 and 3 show the aspects (weights and consistency ratios) that have been computed for the first level in the air transport supply quality model characteristics from each group.

Table 2
First group air transport supply quality criteria [Authors]

First group					
Air transport supply quality	Air traffic service quality	Air traffic transport quality	Operating costs	External costs	Weights
Air traffic service quality	1.00	3.14	1.43	1.05	35.96%
Air traffic transport quality	0.32	1.00	1.31	0.74	18.20%
Operating costs	0.70	0.76	1.00	1.17	21.41%
External costs	0.95	1.36	0.85	1.00	24.43%
CR = 0.0579	Sum				100%

Table 3
Second group air transport supply quality criteria [Authors]

Second group					
Air transport supply quality	Air traffic service quality	Air traffic transport quality	Operating costs	External costs	Weights
Air traffic service quality	1.00	2.75	1.36	1.00	34.38%
Air traffic transport quality	0.36	1.00	0.98	0.97	18.72%
Operating costs	0.73	1.02	1.00	1.15	23.10%
External costs	1.00	1.03	0.87	1.00	23.80%
CR = 0.0380	Sum				100%

The results revealed that service quality had a significant influence in the decision-making process, impacting both groups' views significantly. Since service quality is the most crucial component in both sides' evaluations (see Figure 3), service quality may determine the real state of the air transportation system and the types of transportation projects that will have a significant impact on the system's economic development goals, such as performance, productivity, business activity and investment.

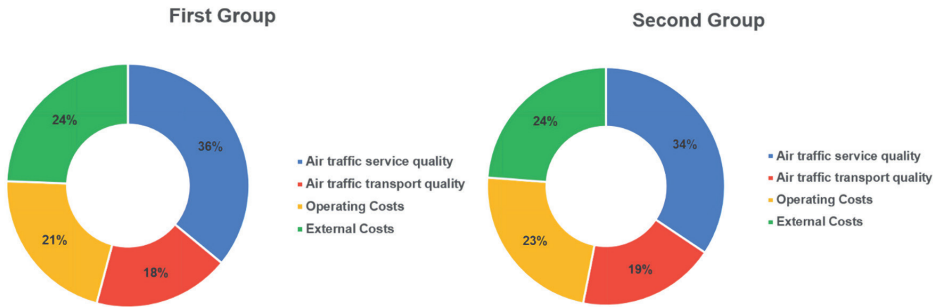


Figure 3
The hierarchical model first level criteria weights, first group and second group [Authors]

Combining the two groups' opinions together would show the variation due to the experience level and the job type (see Figure 4).

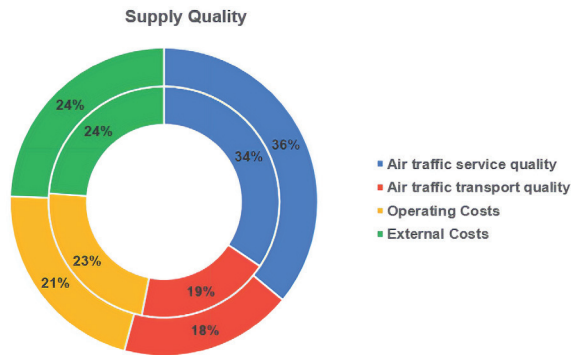


Figure 4
Air transport supply quality first level for both groups [Authors]

Looking into the second level of the model (see Figure 5) for the sub-criteria of the service quality also provides a clear overview of the specific issue from the pilots' and ATCOs' perspectives which are the reliability of the system and the real traffic situation, yet it is complicated to control the level of the criteria due to the dynamic nature of the system.



Figure 5
Air transport service quality for both groups [Authors]

4. Conclusion

The results showed the weighting percentages and scaling of the characteristics of the air transport supply quality model at each level of the hierarchy, which is a key measure of the critical component. Employing multi-criteria methods, notably AHP, played a vital role in gaining a better knowledge of the prospective environment and managing various perspectives. The discrepancies between the views are demonstrated using quantitative and qualitative criteria, as well as the conventional, classic and simplified analytical hierarchical process (AHP) decision-making approach.

The results of this questionnaire were based on 22 participants from two categories of aviation operators (pilots and ATCOs); however, the results may alter if more respondents and groups were included.

From both sides of the participants' perspectives, the results suggest that service quality is the most important factor in the air transport supply quality model, followed by external costs.

It should be mentioned that covering more numbers and groups of the operators would give a general illustration of the current situation and highlight the critical elements more accurately.

Further studies using different methods of MCDM could show more specific issues, like using the Analytical Network Process (ANP) which could show how each criterion and sub-criteria could affect each other on different levels.

References

- [1] U. Kale, I. Jankovics, A. Nagy and D. Rohács, 'Towards Sustainability in Air Traffic Management'. *Sustainability*, Vol. 13, no 10. 2021. Online: <https://doi.org/10.3390/su13105451>
- [2] J. Rohács and D. Rohács, 'Total Impact Evaluation of Transportation Systems'. *Transport*, Vol. 35, no 2. pp. 193–202. 2020. Online: <https://doi.org/10.3846/transport.2020.12640>
- [3] U. Kale, J. Rohács and D. Rohács, 'Operators' Load Monitoring and Management'. *Sensors*, Vol. 20, no 17. 2020. Online: <https://doi.org/10.3390/s20174665>
- [4] N. Aydin, 'A Fuzzy-Based Multi-Dimensional and Multi-Period Service Quality Evaluation Outline for Rail Transit Systems'. *Transport Policy*, Vol. 55. pp. 87–98. 2017. Online: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.02.001>
- [5] A. Estrada and D. Romero, 'A System Quality Attributes Ontology for Product-Service Systems Functional Measurement Based on a Holistic Approach'. *Procedia CIRP*, Vol. 47. pp. 78–83. 2016. Online: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.215>
- [6] A. Dalkiran, M. Ayar, U. Kale, A. Nagy and T. H. Karakoc, 'A Review on Thematic and Chronological Framework of Impact Assessment for Green Airports'. *International Journal of Green Energy*, pp. 1–12. 2022. Online: <https://doi.org/10.1080/15435075.2022.2045298>
- [7] H. Akdag, T. Kalayci, S. Karagöz, H. Zülfikar and D. Giz, 'The Evaluation of Hospital Service Quality by Fuzzy MCDM'. *Applied Soft Computing*, Vol. 23. pp. 239–248. 2014. Online: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.06.033>
- [8] T. L. Saaty, 'What is the Analytic Hierarchy Process?' In G. Mitra, H. J. Greenberg, F. A. Lootsma, M. J. Rijkaert and H. J. Zimmermann (eds), *Mathematical Models for Decision Support*. Berlin–Heidelberg: Springer. pp. 109–121. 1988. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-642-83555-1_5
- [9] T. L. Saaty, 'Decision Making with the Analytic Hierarchy Process'. *International Journal of Services Sciences*, Vol. 1, no 1. pp. 83–98. 2008. Online: <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- [10] T. Nakagawa and K. Sekitani, 'A Use of Analytic Network Process for Supply Chain Management'. *Asia Pacific Management Review*, Vol. 9, no 5. pp. 783–800. 2004. Online: <https://doi.org/10.6126/APMR.2004.9.5.02>
- [11] C. C. Chao and K. T. Kao, 'Selection of Strategic Cargo Alliance by Airlines'. *Journal of Air Transport Management*, Vol. 43. pp. 29–36. 2015. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2015.01.004>
- [12] J. Rezaei, P. B. M. Fahim and L. Tavasszy, 'Supplier Selection in the Airline Retail Industry Using a Funnel Methodology: Conjunctive Screening Method and Fuzzy AHP'. *Expert Systems with Applications*, Vol. 41, no 18. pp. 8165–8179. 2014. Online: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.07.005>
- [13] D. Zietsman and M. Vanderschuren, 'Analytic Hierarchy Process Assessment for Potential Multi-Airport Systems – The Case of Cape Town'. *Journal of Air Transport Management*, Vol. 36. pp. 41–49. 2014. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2013.12.004>
- [14] G. Bruno, E. Esposito and A. Genovese, 'A Model for Aircraft Evaluation to Support Strategic Decisions'. *Expert Systems with Applications*, Vol. 42, no 13. pp. 5580–5590. 2015. Online: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.02.054>

- [15] H. Oktal and A. Onrat, 'Analytic Hierarchy Process-Based Selection Method for Airline Pilot Candidates'. *International Journal of Aerospace Psychology*, Vol. 30, no 3–4. pp. 268–281. 2020. Online: <https://doi.org/10.1080/24721840.2020.1816469>
- [16] C. A. Havle and B. Kılıç, 'A Hybrid Approach Based on the Fuzzy AHP and HFACS Framework for Identifying and Analyzing Gross Navigation Errors during Transatlantic Flights'. *Journal of Air Transport Management*, Vol. 76. pp. 21–30. 2019. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2019.02.005>
- [17] B. Kılıç and C. Ucler, 'Stress among Ab-Initio Pilots: A Model of Contributing Factors by AHP'. *Journal of Air Transport Management*, Vol. 80. 2019. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2019.101706>
- [18] T. L. Saaty, 'How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process'. *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, no 1. pp. 9–26. 1990. Online: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)
- [19] T. L. Saaty, *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the AHP*. Pittsburgh, PA: RWS Publications. 1994.
- [20] T. L. Saaty, 'A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures'. *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, no 3. pp. 234–281. 1977. Online: [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- [21] T. L. Saaty, 'Decision Making with the Analytic Hierarchy Process'. *Scientia Iranica*, Vol. 9, no 3. 2002.

Légiközlekedési projektek minőségértékelése analitikai hierarchia eljárással (AHP)

A légi közlekedés komplex környezete dinamikus légiközlekedési rendszereket hozott létre, ahol a minőség sérülékeny és közvetlenül a kínálati oldalra érzékeny a vezérelt piaci környezet magas stratégiai szintje miatt. A minőségi számszerűsítések jelentősége gyorsan megnőtt. A minőségi tényezők kiszámítása nem egyszerű feladat, a rendszer heterogén, elválaszthatatlan és értelmezhetetlen jellemzői miatt. Ebből a célból az analitikus hierarchia folyamat (AHP) felmérést két, összesen 22 fős, pilótákból és ATCO-kból álló szakértői csoport között osztották ki, és a légi szállítás minőségének háromszintű hierarchia modelljének létrehozásával alkalmazták a kritikus jellemzők értékelésére és mérlegelésére. A hierarchikus felépítésben a légiközlekedési ellátás minőségi modelljénél 4 fő kritériumot, 15 első szintű alkritériumot és 12 másodsztű alkritériumot használtunk.

Kulcsszavak: légi közlekedés, ellátási minőség, többkritériumos döntéshozatal, analitikus hierarchikus folyamat, pilóta, ATCO

<p>Omar Alharasees PhD-hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Repüléstudományi és Hajózási Tanszék</p> <p>oyalharasees@edu.bme.hu orcid.org/0000-0002-6899-6057</p>	<p>Omar Alharasees PhD student Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering, Department of Aeronautics and Naval Architecture</p> <p>oyalharasees@edu.bme.hu orcid.org/0000-0002-6899-6057</p>
<p>Utku Kale Adjunktus Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Repüléstudományi és Hajózási Tanszék</p> <p>kale.utku@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0001-9178-5138</p>	<p>Utku Kale Assistant Professor Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering, Department of Aeronautics and Naval Architecture</p> <p>kale.utku@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0001-9178-5138</p>

Táborszky József

A katonai repülőtereket érintő biztonsági kihívások változása a történelem során (1. rész)

A repülőterek, repülőbázisok kialakulása szinte egybeesik a repülés kezdeteivel, még ha eleinte csak rögtönzött felszállópályák álltak is rendelkezésre. A repülőgépek kiterjesztik a hadviselést a harmadik dimenzióra a légtér uralásával, azonban nélkülözhetetlenül függnek a földi szentélyek működésétől. A légi bázisok biztonsága így megkérdőjelezhető, ugyanakkor fontos kérdés, hogy jelentőségük hogyan változott az idők folyamán, és hogy a technika, a képességek és az elvek fejlődésével hogyan változott e létesítmények biztonsága.

Kulcsszavak: repüléstörténet, repülőbázis, légi bázis, fenyegetések, védelem, biztonság

1. Bevezetés

A 19–20. század fordulóján legalább akkora küzdelem folyt az első működő motoros meghajtású repülőgép megvalósításának elsőbbsége érdekében, mint amilyen éles versengésnek lehetünk szemtanúi napjainkban a mesterséges intelligencia kifejlesztésére vonatkozóan. Ennek az időszaknak váltak emblemikus figuráivá a Wright testvérek,¹ akik nagyban hozzájárultak a nagy távolságú, kormányozható, biztonságos repülés képességének kialakításához. Ezeknek a fejlesztéseknek ugyancsak nagy jelentőségük van a levegőnél nehezebb repülőeszközök katonai repülésben való alkalmazhatóságában [1], [2, pp. 15].

Az egyik legjelentősebb légierő-teoretikus, Giulio Douhet² úgy fogalmaz, hogy az ellenséges légierő legyőzésének legbiztosabb és leghatékonyabb módja annak felszíni bázisainak megsemmisítése, amely gondolatokat maga Winston Churchill³ is osztotta. Feltehetően, ahogy a történelem folyamán, úgy napjainkban is elsődleges célt jelentenek a repülőbázisok, amelyek az akár hadászati szintű feladatok végrehajtására képes repülőgépek otthonául szolgálnak, ezért beláthatjuk a repülőbázisok biztonságának fontosságát. A repülőterek és az ott tárolt repülőtechnikai eszközök, kiszolgáló eszközök, infrastruktúrák és személyzet olyan speciális és adott esetben egyedi képességet biztosít, amelynek védelme alapvető érdekünk [3, pp. 3–43], [4].

¹ Wilbur és Orville Wright amerikai feltalálók, a repülés úttörői. Nevükhöz fűződik az első irányított, motoros repülőgéppel végrehajtott regisztrált repülés, amelyet 1903-ban hajtottak végre.

² Giulio Douhet (1869–1930) olasz tábornok, az egyik legjelentősebb légierő-teoretikus.

³ Sir Winston Leonard Spencer Churchill (1874–1965) brit politikus, miniszterelnök. Az I. világháborúban az admirális első lordja.

A repülőbázisokkal szembeni támadások és a repülőgépek alkalmazásának módszerei nagy változatosságot mutattak az idők folyamán, ami egy dinamikusan változó rendszert alakított ki, amelyhez folyamatosan alkalmazkodnunk kell. Az elkövetés módszerei csakúgy, mint az abban részt vevők motiváltsága, kiképzettsége, támogatottsága, valamint a technikai felszereltsége jelentős fejlődést mutat az elmúlt alig több mint száz esztendőben [3], [4], [5, pp. 18-24].

Ahogy a világháborúk, illetve jelentősebb háborúk alkalmával is megfigyelhető, minden sebezhetőséget kihasználó újabb eljárás maga után vonja a védelmi módszerek, technikai eszközök és a szervezet fejlődését. A korunkat meghatározó információs fejlődés tovább fokozza a technikai fejlődést, ami a forradalmi technológiák, autonóm eszközök és a mesterséges intelligencia térhódítását prognosztizálja. A forradalmi technológiák támadó oldalon való alkalmazásának már több esetben „szemtanúi” lehetünk, ami nélkülözhetetlenné teszi a velük szembeni felkészültséget, az ellenük alkalmazható technológiák fejlesztését, és akár a támadásra is alkalmas eszközök védelmi oldalon való alkalmazási lehetőségeinek feltárását [3].

Fontosnak tartom megvizsgálni, hogy a repülőbázisok jelentősége változott-e a katonai repülés kezdete óta. Feltételezhető, hogy a fenyegetések típusai átalakultak ezen időszak alatt, így érdemes foglalkozni a jellemző támadási típusokkal, a különböző légi és földi támadási módszerekkel annak érdekében, hogy láthassuk a változás tendenciáit és az esetlegesen kialakuló sebezhetőségeket, amelyeket ezeknél a támadásoknál igyekeznek kihasználni. Továbbá a hatékony védelem kialakítása érdekében fel kell mérni azokat a módszereket, amelyek meghatározzák napjaink támadási metódusait, és amelyek iránymutatást adnak a védelem kialakításának sikerességéhez. A cikk elkészítését olyan források elemzésével végzem el, amelyek releváns információt és fontos háttértudást biztosíthatnak a megfelelő következtetések levonása érdekében.

2. A katonai repülőgépek fejlődése

Az embert mindig is hajtotta a kíváncsisága és az új dolgok megismerésének szeretete. Feltehetően már őseink is eljátszottak a gondolattal, hogy milyen lehet madárként szárnyalni és meghódítani a kék eget, amit mi sem támaszt alá jobban, mint Daidalosz és Ikarosz története. A megjelenő gondolatokat pedig a technikai fejlődés által támogatott tervezés követte, ami lehetővé tette a mai repülési képességek megvalósítását.

A katonai repülés története természetesen nem választható külön a civil repülés történetétől, az idők folyamán kölcsönösen felhasználták az egymás által alkotott újításokat. Fontos tény, hogy a katonai vezetés már korán felismerte a hadviselés harmadik dimenzióra való kiterjesztésében rejlő lehetőségeket, ami a nagy háborúk idején a repülőtechnika robbanásszerű fejlődésének motorjává vált.

2.1. A repülőeszközök első katonai felhasználása

A repülőtechnika katonai felhasználásának története az időszámításunk előtti időkre nyúlik vissza. Már Kr. e. 200 körül Han Xin⁴ kínai tábornok egy papírsárkány segítségével határozta meg a saját erők ellenségétől való távolságát. Han Xin arra használta fel a sárkányt, hogy a megtámadott vár távolságát megbecsülje, aminek a segítségével meghatározta, milyen hosszú alagutat kell ásni, hogy bejussanak a várba. Ötletét siker koronázta, és végül bevették a várat [6, pp. 8].

2.2. A ballontechológia elterjedése

A repülés történetének következő fontos találmánya a hőlégballon volt. A hőlégballon megalkotása a Montgolfier testvérek⁵ nevéhez fűződik. Josephet 1782-ben Gibraltár ostrománál tett megfigyelése vezette arra a gondolatra, hogy a felfelé szálló füst és egy speciális gáz keveréke alkalmas lehet egy tárgy levegőbe emelésére. Testvére, Jacques-Étienne segítségével közösen jöttek rá arra, hogy egy papírból és vászonból álló „könnyű” szerkezet a benne lévő levegő folyamatos melegítésével sikeresen a levegőbe emelhető. 1783. június 4-én kísérletüket siker koronázta, hőlégballonjuk 10 perc alatt közel 2000 m magasságba emelkedett fel. Ballonjuk még ugyanebben az évben november 21-én François Laurent d’Arlandes márkival⁶ a fedélzetén átrepült Párizs felett. Az 1783-as évhez azonban egy másik találmány is köthető: Jacques Charles,⁷ francia fizikus, feltaláló is végrehajtotta saját kísérletét, amelyben egy gázzal töltött léggömb segítségével juttatott embert a levegőbe. A hidrogéngázzal töltött ballont – gyúlékonysága ellenére – biztonságosabbnak ítélték, mint a hőlégballont, ezért jellemzően a továbbiakban ezt alkalmazták [7], [8, pp. 70–85].

A katonai felhasználásra sem kellett sokat várni, 1793-ban, a francia forradalom idején már felmerült az alkalmazási lehetősége, amelyet 1794. június 2-án a frissen megalakult, 26 főből álló Aerostatiers, azaz léggömbszázad valósított meg. A Maubeuge erődből felszálló Entreprenant nevű, kötéllel rögzített léggömböt az osztrák erők ellen alkalmazták első ízben felderítési és tűzérzési tűzhelyesbítési célokra. A felderítési információkat zászlók és lámpák segítségével, illetve, ha a távolság megengedte, akkor szóban közölték a földi személyzettel [9], [10].

Az 1848–49-es forradalmak végső szakaszában, 1849. július 2-án hajtották végre az osztrák csapatok az első valódi légitámadást. Az ostromgyűrűbe zárt velenceiek tapasztalhatták meg első ízben a légbombázás szörnyűségeit, ugyanis az osztrák erők ballonra erősített bombákat irányítottak a város felé. A kiforrotlan technológia és a szélirány változása miatt mindössze egy találat érte a várost, azonban a léggömbök innovatív felhasználása elvitathatatlan [11].

A felderítési információk megosztását segítette a szikratávíró megjelenése, amely az amerikai polgárháború idején, az 1860-as években már rendelkezésre állt, sőt ebben az időben már légi felvételek készítésére is volt lehetőség a felderítési adatok pontosítása és elemzése

⁴ Han Xin (Kr. e. 231–196) kínai tábornok. Briliáns katonai vezető és rendkívüli stratégia, aki tevékenységével hozzájárult a Han-dinasztia megalapításához.

⁵ Joseph-Michel és Jacques-Étienne Montgolfier francia testvérpár, a hőlégballonos repülés úttörői, első ballonos repülésüket 1783. június 4-én hajtották végre.

⁶ François Laurent d’Arlandes (1742–1809) francia márk, katona.

⁷ Jacques Charles (1746–1823) francia matematikus, fizikus, feltaláló, a gázzal töltött léggömb feltalálója.

érdekében. Az I. világháború idején a levegőnél nehezebb repülőgépek és a kormányozható léghajók elkezdtek kiszorítani a légballonokat, viszont a technológia nem merült feledésbe, a nagy háború kezdetén továbbra is megmaradt felderítő funkciója. A II. világháborúban ugyancsak felhasználták egyes védendő objektumok körüli „repüléstilalmi” zóna kialakítására, amelynek során drótkötéssel rögzítették a talajhoz a ballonokat, egy nemkívánatos repülőgép berepülése esetén nagy eséllyel annak lezuhanását okozva. A léggömb-technológia napjainkban is használatban van, és jól alkalmazható a felderítésben, akár egy határszakasz, akár egy repülőbázis védelmében [12, pp. 63–74].

2.3. A levegőnél nehezebb repülőgépek megjelenése

A légballon-technológia sokáig uralkodó maradt mint egyetlen megoldás a hadműveletek levegőből való támogatására. A változást a levegőnél nehezebb repülőgépek megjelenése okozta az 1900-as évek elején, ami teljesen átértelmezte a légtér felhasználásának kérdését.

A már korábban is alkalmazott sárkányszerkezet belső égésű motor segítségével való meghajtása azt eredményezte, hogy az addig siklásra használt eszköz képessé vált saját erőből a levegőbe emelkedni és hosszabb-rövidebb ideig fennmaradni. Máig vitatott, hogy ki hajtotta végre az első sikeres motoros repülést. Egyes források szerint Gustav A. Weiβkopf⁸ 1901. augusztus 14-én elsőként emelkedett a levegőbe motoros meghajtású repülőgépével. Mások viszont azt állítják, hogy fennmaradt bizonyítékok hiányában a Wright fivéreket illeti meg ez a dicsőség, akik Kitty Hawk-ban nyilvánosan, megfigyelők jelenlétében végezték el kísérletüket [13], [14].

Az első katonai alkalmazásra mindössze egy évtizedet kellett várni, amikor is 1911-ben a Líbiában zajló olasz–török háborúban 20 darab Etrich Taube típusú repülőgépet vetettek be. Ekkor még leginkább cirkuszi látványosságnak tartották ezeket az eszközöket, és feltehetően nem volt különösebb hatása a háború kimenetelére, mégis történelmi jelentőségű az a tény, hogy Giulio Gavotti⁹ 1911. november 1-jén már négy darab, egyenként 1,5 kg tömegű gránátot dobott a levegőből a török csapatokra [15], [16, pp. 11], [17, pp. 114–128], [18, pp. 299–301].

2.4. A repülőgépek fejlődése az I. világháborúban

Az I. világháború első hónapjaiban a repülőgépek alkalmazását leginkább a szárazföldi erők támogatása, felderítő feladatok végrehajtása jellemezte, amelyet még a ballonos felderítés kiegészítéseként használtak. Az idő előrehaladtával megkezdtek a fényképezőgép és a drót nélküli távíró felhasználását, amelyek megerősítették a repülőgépek felderítésben betöltött szerepét. Eleinte még kézi fegyvert is csak azért vittek magukkal a pilóták, hogy egy kényeszerleszállás esetén megfelelő önvédelmi fegyverrel rendelkezzenek, ezt azonban hamarosan felváltotta, illetve kiegészítette a fedélzeti géppuska, amelyet kezdetben a figyelő kezelte, és hátrafelé biztosított tüzelési lehetőséget. Ezután jelentek meg az előre tüzelő géppuskák,

⁸ Gustav A. Weiβkopf (1874–1927) német–amerikai feltaláló, a motoros repülés egyik úttörője. Saját és néhány szemtanú állítása szerint 1901. augusztus 14-én ő hajtotta végre az első motoros repülést.

⁹ Giulio Gavotti (1882–1939) olasz hadnagy és pilóta, a nevéhez fűződik 1911-ből az első légbombázás, illetve az első éjszaka végrehajtott küldetés, amelyet levegőnél nehezebb repülőgéppel valósítottak meg.

amelyeket először a légsavarkör fölött helyeztek el, majd több lépcsőn keresztül eljutottak a szinkron géppuskáig, amelyet a légsavár forgásával szinkronizáltak, hogy elkerüljék annak ellövését. A következő időszakban megkezdődött a repülőgépek bombázási feladatokban való alkalmazása is, ami kezdetben gránátok, Molotov-koktélok kézi ledobását jelentette. A háború elején még a repülőgépek sorozatgyártása és annak nagy tömegben való rendelkezésre állása volt a cél, ami a háború végére megváltozott. Egyre specifikusabban alakították ki őket annak érdekében, hogy képesek legyenek minél jobban ellátni a megjelenő új szakfeladatokat, aminek következtében megjelentek a harcászati és hadműveleti feladatokat ellátó csapatrepülő, vadász, bombázó és felderítő alkalmazási területek, illetve a teljesen külön kezelt szállító repülőgépek. A háború végére pedig kifejlődött a stratégiai légbombázások gyakorlata is. Továbbá kialakultak a legtöbb légierőnél a légierő alkalmazásának elvei, módszerei [10], [13], [18, pp. 299–301], [19, pp. 9–67, 69–91].

1. táblázat
A vadászipülőgépek képességeinek fejlődése a II. világháborúig [20], [21], [22]

Képességek	1914	1918	1940
Sebesség	97 km/h	225 km/h	644 km/h
Meghajtás	benzinmotor	benzinmotor	benzinmotor
Manőverező képesség	megfelelő	megfelelő	kedvező
Fegyverzet	géppuska	szinkron géppuska	géppuska, gépágyú,
Funkcionalitás	többfunkciós	többfunkciós	egyfunkciós
Védelem	sérülékeny, fém-fa szerkezet	sérülékeny, fém-fa szerkezet	masszívabb fémszerkezet

Olaf Groehler *A légiháborúk története* című munkájában az alábbi repülőgépgyártási adatokat adja meg az I. világháború meghatározó országaihoz (2. táblázat).

2. táblázat
Repülőgépgyártás az I. világháborúban [19, pp. 9-67]

Ország	1914 (db)	1915 (db)	1916 (db)	1917 (db)	1918 (db)	Összesen
Németország	1348	4532	8182	19 746	14 123	47 931
Ausztria–Magyarország	70	238	931	1714	2438	5391
Franciaország	541	4489	7549	14 915	24 652	52 146
Oroszország	535	1305	1870	1897	na.	5607
Nagy-Britannia	245	1933	6099	14 748	32 036	55 061
Olaszország	na.	382	1255	3871	6523	12 031
USA	na.	na.	83	1807	11 950	13 840

Ahogy látható, a repülőgépek gyártása jelentős felfutást mutatott ebben az időszakban. A felderítésben, a szárazföldi erők zavarásában és a légitámadásokban betöltött szerepük egyre nyilvánvalóbbá vált, amit a katonai és politikai vezetés is felismert.

2.5. Fejlődés az 1920-as években

Már az I. világháború végén jelentős szemléletmódbeli változások történtek. A katonai és politikai vezetők felismerték, hogy a repülőgépek alkalmazása egyedi szervezetet követel, így a világon

elsőként 1918-ban Trenchard tábornok¹⁰ parancsnoksága alatt alapították meg a britek a független légierőt. A háború lezárását követően az összegyűjtött tapasztalatok feldolgozásával megszülettek a légierő alkalmazásának legfontosabb elvei, amelynek megfogalmazói között ott voltak többek között Hugh Trenchard vezérőrnagy és Giulio Douhet is. A Douhet által vallott alapelvek douhetizmus néven a világ több országában meghatározták a későbbiekben a légierő alkalmazását, amelynek egyes elemeit a napjainkban zajló orosz–ukrán háborúban is megfigyelhetünk. Ezek az elvek:

- önálló légierő szükségessége;
- a légi fölény kialakítása;
- a harcoló erők demoralizálása és gazdasági ellehetetlenítése a háterszági stratégiai létesítmények és lakosság pusztításán keresztül;
- ellenséges repülőgépek pusztítása a földön;
- a légierő képességeinek folyamatos fejlesztése.

Ezeket az elveket, bár kevésbé radikálisan maga Winston Churchill és Hugh Trenchard vezérőrnagy is osztották [19].

2.6. A repülőgépek fejlődése a II. világháborúban

A II. világháború nyitómomentuma, azaz Lengyelország lerohanása volt az első alkalom, amikor a két világháború között kialakult légierő-teóriáknak megfelelően a németek harcászati és stratégiai fölényt tudtak kivívni. A Luftwaffe már a támadás kezdetén kivívta a légi fölényt, nagyszámú bombázó erővel elpusztította a stratégiai fontosságú létesítményeket, a vadászgépek pedig biztosították a légteret, így a németek szárazföldi támadására a lengyel erők csak visszavonulással tudtak válaszolni.

Ebben az időben mutatkozott meg először a repülőgépek kinetikus támadóeszközként való alkalmazása is, amely kamikaze technikáról a japán légierő vált híressé, és példát adott a 2001-es New York-i terrortámadásokhoz, illetve az UAV-k¹¹ terroristacélú felhasználásához [15].

A radarok megjelenése ugyancsak a II. világháborúhoz köthető. Az első tesztet 1935-ben végezték Nagy-Britanniában annak érdekében, hogy a nagy magasságban érkező bombázó repülőgépeket érzékelni lehessen [2, pp. 50–60], [23, pp. 343–349], [24, pp. 23–299].

A repülés következő forradalmát a sugárhajtómű alkalmazása jelentette. Az első sugárhajtású repülőgépet Henri Coandă¹² építette meg 1910-ben, azonban ennek a nagyszerű találmánynak a szabadalmazását Frank Whittle¹³ kérte 1930-ban. Az első modern sugárhajtású repülőgép megépítése pedig Hans von Ohain¹⁴ nevéhez fűződik, aki megalkotta a Heinkel He-178 típusú repülőgépet. Ez a technológia a II. világháborúban mindkét oldalon megjelent, egyrészt a britek Gloster Meteor, másrészt a németek Messerschmitt Me-262 repülőgépe ezen

¹⁰ Hugh Montague Trenchard (1873–1956) Trenchard 1. vikomtja, brit tisz és légimarsall és egyben fontos légierő-teoretikus, a Brit Királyi Légierő megszervezésében vállalt jelentős szerepet.

¹¹ UAV: Az *Unmanned Aerial Vehicle*-ből származó mozaikszó, repülőeszközt takar, amelynek a fedélzetén nem található pilóta.

¹² Henry Coandă (1886–1972) román mérnök, feltaláló, az első sugárhajtású repülőgép megtervezője.

¹³ Sir Frank Whittle (1907–1996) brit tisz és mérnök, a modern gázturbinás sugárhajtómű egyik tervezője.

¹⁴ Hans Joachim Pabst von Ohain (1911–1998) német fizikus, mérnök és a modern gázturbinás sugárhajtómű egyik tervezője.

az elven működött, azonban a légi ütközetekben betöltött szerepük elhanyagolható volt [5, pp. 18–24], [14], [25, pp.192–212].

2.7. A II. világháborút követő időszak fejlesztései

A drónok alkalmazása nem olyan új keletű, mint gondolnánk. 1915–16-ban kezdődtek azok a fejlesztések, amelyek egy harcászati gyakorló légi cél megvalósításával kísérleteztek. Nagyobb lendületet akkor kapott a terület, amikor a vietnámi háború első éveiben az amerikai légierő pilóta nélküli repülőgépeket kezdett használni az ellenséges területeken bekövetkezett pilótavesztések csökkentése érdekében. Kezdetben a dróntechnológia felderítő feladatot látott el, napjainkra viszont különböző méretű, képességű, sok esetben többfeladatú UAV-k állnak rendelkezésünkre, amelyek autonóm üzemmódban működve akár csapásmérés végrehajtására is alkalmasak [26].

Az információs társadalmak erősödésével a légierő alkalmazása is megváltozott. A stratégiai objektumok élére kerültek az információs és elsősorban a katonai információs infrastruktúrák, amelyek egy fejlett információs társadalomban kritikus szerepet töltenek be. Az 1991-es öbölháborúban alkalmazták először azokat az információs tevékenységeket, amelyeknek egyik alapvető célja az ellenséges erők vezetési és irányítási képességeinek korlátozása volt. Az itt alkalmazott légi stratégia egyik kidolgozója John A. Warden¹⁵ amerikai repülő ezredes volt. Az öbölháború legfontosabb fázisai:

- minden iraki célpontot előre felmértek (radar, légvédelem, átjáró stb.);
- a hírszerzést követően közel 40 napon keresztül csak légi csapások a beszerzett információk alapján. Ekkor használták ki a technológiai fölényt, szétzilálták az ellenség vezetési/irányítási rendszerét;
- a légi csapásokat követően a szárazföldi csapatok rövid idő alatt kiűzték az iraki támadókat Kuvait területéről [27, pp. 155–156, 167–175], [28, pp. 55–66], [29].

A II. világháború óta eltelt időben tovább finomodtak a harci repülőgépek képességei, ahogy az a 3. táblázatban is látható. Olyan technológiák jelentek meg, amelyek beépültek a katonai repülés világába, és ennek köszönhetően jelent meg a Stealth-¹⁶ az STOL-¹⁷ STOVL-¹⁸ VTOL¹⁹-technológia, az új fegyverrendszerek, az érzékelők, a különböző autonóm rendszerek és alrendszerek, a légi utántöltés, a rossz látási viszonyok és éjszakai alkalmazást lehetővé tevő megoldások. Ezek a technológiák, módszerek és a szervezet egyre szofisztikáltabb felhasználása biztosította a repülőgépek, illetve a légierő harci képességeinek, biztonságának és tevékenységének folyamatos fejlődését.

¹⁵ John Ashley Warden: Az Egyesült Államok légierőjének ezredese, a 20. század második felének egyik legjelentősebb légierő-teoretikusa, stratégiai gondolkodója.

¹⁶ Stealth: Angol szó, jelentése lopakodó. A katonai repülőgépek esetében olyan kialakítást takar, amely megnehezíti a rádiólokációs technológiákkal való felderíthetőséget.

¹⁷ STOL: Mozaikszó, a Short Take Off and Landing szavakból származik. Olyan repülőgépek esetében használják, amelyek rövid távolságon képesek fel-, illetve leszállni.

¹⁸ STOVL: Mozaikszó, a Short Take Off and Vertical Landing szavakból származik. Olyan repülőgép, amely rövid kifutás utáni felszállásra és függőleges leszállásra képes.

¹⁹ VTOL: Mozaikszó, a Vertical Take Off and Landing szavakból származik. Olyan repülőgép, amely függőleges fel- és leszállásra képes.

A vadászrepülőgépek jelentős fejlődésen mentek keresztül az I. világháborúban történt első alkalmazásuktól kezdve, ami megváltoztatta a repülőgépek különböző alrendszeinek képességeit, felderíthetőségüket, és a velük szemben hatékonyan alkalmazható eszközöket és eljárásokat is fejlődésre ösztönözte. Ez az innováció nem állt meg, továbbra is képesek vagyunk fejleszteni a repülőgépeket, olyan képességekkel felruházni őket, amelyek biztosítják a védelem és támadás egyensúlyának felbomlását, hogy némi késleltetéssel újra megtalálja az egyensúlyt. A légielő megjelenése óta fontos részét képezi a haderőnek. Feladatai az idők folyamán kibővültek, a kezdeti támogató, felderítő funkciók kiszélesedtek, és megjelentek mellette a harcászati és hadműveleti csapásmérési, a légiharc-képességek, amelyek már sok esetben fedélzeti pilóta jelenlétét sem teszik szükségessé. A kezdeti szárazföldi haderőnemtől és haditengerészettől való függetlenségét meglehetősen hamar sikerült kivívnia és megőriznie, ami a továbbiakban is indokolt, mivel egy olyan speciális rendszerben működő különleges haderőnemről van szó, amely rövid története során kritikus elemévé vált a haderőnek, az országok és szövetségek szuverenitása szavatolásának.

3. táblázat
A vadászrepülőgépek képességeinek fejlődése a II. világháborút követően [20], [21], [22]

Képességek	I. generáció '40-'50-es évek	II. generáció '50-'60-as évek	III. generáció '60-'70-es évek	IV. generáció '70-'90-es évek	V. generáció Napjainkban
Mach-érték	Szubszonikus 0,3–0,8 Mach	Transzszonikus 0,8–1,2 Mach	Szuperszonikus ~2 Mach	Szuperszonikus 1,8–2,5 Mach	Szuperszonikus 1,8–2,5 Mach
Meghajtás	sugárhajtómű	sugárhajtómű	sugárhajtómű	sugárhajtómű	sugárhajtómű
Manőverező-képesség	gyenge	gyenge	jelentősen javult	kifinomult	kifinomult
Felderítőképesség	nincs radar	radar megjelenése	hatékony radar	fejlett radar	fejlett radar
Felderíthetőség	radartechnológia kezdete	könnyen felderíthető	könnyen felderíthető	részleges Stealth-képesség	Stealth-képesség
Fegyverzet	géppuska, gépágyú, hagyományos szabadesésű bomba és rakéta	kezdeti radar irányítású rakéták, légi harc látótávolságon belül	radar irányítású rakéták, légi harc látótávolságon kívül	gépágyú, radar irányítású és önirányítású fegyverek	gépágyú, radar irányítású és önirányítású fegyverek
Funkcionalitás	egyfunkciós	egyfunkciós	egyfunkciós	többfunkciós	többfunkciós
Védelem	rendszerek redundanciája	radar besugárzás-figyelmeztetők megjelenése	látótávolságon túli érzékelés, rakétairányítás	kedvező túlélőképesség, rakétaelhárító képesség	jó túlélőképesség, rakétaelhárító képesség
Hálózatos képességek	rádiókommunikáció	kommunikációs és navigációs rendszerek	kommunikációs és navigációs rendszerek	modern	fejlett

- I. generáció: (1944–1953) sugárhajtóműves repülőgépek;
- II. generáció: (1953–1960) szuperszonikus gépek irányítható légiharc-rakétákkal;
- III. generáció: (1960–1970) megjelenik a radarrendszer, a felderítő- és légtérfigyelő rendszer látványos fejlődésen megy keresztül;
- IV. generáció: (1970–1990) elterjednek a kis tömegű, jó manőverező-képességű, számítógép-irányítású repülőgépek, amelyek többfunkciósak, azaz egyaránt használhatók légi harcra, csapásmérésre és felderítésre;
- V. generáció: (1990-től napjainkig) fejlett technológiát alkalmaznak, mint a Stealth-képesség és lopakodó képesség, utánégetés nélkül képesek a hangsebesség feletti

járőrözésre, valamint jóval fejlettebb szenzor- és jelentősen jobb kommunikációs képességekkel (LINK-16-nak²⁰ tizenötszöröse) rendelkeznek;

- VI. generáció: Oroszország már a hatodik generációs harci repülőgépek megvalósítását tervezi, amely a hangsebesség többszörösével lesz képes járőrözni, és hiperszonikus rakétákkal lesz felszerelve. A tervek szerint elkészítik a pilóta által vezethető és a pilóta nélküli változatot is [20], [21].

2.8. Részösszegzés

Ahogy azt megfigyelhettük, a történelem során a repülőeszközök katonai alkalmazására már a Krisztus előtti időkben is voltak példák. A jelentős fellendülés azonban a nagyobb teher és akár személyek megemelésére képes ballontechnológia megjelenésével indult meg, amelyek hamar fontos szereplőivé váltak a háborúknak. Egyrészt a felderítésben betöltött szerepük, másrészt az ellenséges objektumok bombázásának lehetősége további fejlesztések megvalósítását ösztönözte. A leglátványosabb innováció azonban a levegőnél nehezebb repülőeszközök megjelenésével vette kezdetét, ami jól demonstrálható a vadászrepülőgépek fejlődésén keresztül (1. és 3. táblázat). A repülés úttörői sokszor saját testi épségüket nem kímélve tették lehetővé, hogy a siklásra képes sárkányszerkezettől, az irányított motoros repülésen keresztül eljussunk a mai modern technológiával felvértezett V. generációs harci repülőgépekig. A repülőgépek sebessége és manőverező képessége mellett a harci és támogató képességek, illetve a légi erő alkalmazásának elvei is jelentős változáson mentek keresztül, amelyek biztosították a támadó- és túlélőképességeket, a multispektrális felderítés és elektronikai hadviselés egyre szofisztikáltabb megvalósulását. Az infokommunikációs rendszerek pedig ma már olyan együttműködési képességeket biztosítanak, amelyek lehetővé teszik az eszközök és képességek hálózatos felhasználását és a szövetségi rendszereken belüli interoperábilis alkalmazását.

Felhasznált irodalom

- [1] T. D. Crouch, History of flight. *Britannica*, (é. n.). Online: www.britannica.com/technology/history-of-flight
- [2] A. Stephens, *The War in the Air*. Alabama, Air University Press, Maxwell Air Force Base, 2001. 15, pp. 50–60.
- [3] S. Caudill W., *Defending Air Bases in an Age of Insurgency*. Alabama, Air University Press, Maxwell Air Force Base, 2014, pp. 3–43.
- [4] W. Purser, *Air Base Ground Defense: An Historical Perspective and Vision for the 1990's*. Alabama, Air War College, Maxwell Air Force Base, 1989.
- [5] Szűcs P., Krajnc Z., „Hugh Trenchard légi erő értelmezése,” *Repüléstudományi Közlemények*, 25. évf. 1. sz. pp. 18–24. 2014.

²⁰ A LINK-16 egy NATO által alkalmazott katonai taktikai adatkapcsolati hálózat, amely akár 115 kbit/s sebességű adattovábbításra is képes.

- [6] R. P. Hallion, *Taking Flight: Inventing the Aerial Age from Antiquity through the First World War*. New York, Oxford University Press, 2003. p. 8.
- [7] Tarján M. T., A Montgolfier-testvérek első nyilvános léggömbkísérlete. *Rubicon Online*, (é. n.). Online: <https://rubicon.hu/kalendarium/1783-junius-4-a-montgolfier-testverek-első-nyilvános-leggömbkísérlete>
- [8] Ványa L., „A léggömbök, léghajók és katonai alkalmazásuk,” *Bolyai Szemle*, 6. évf. 1. sz. pp. 70–85, 1997.
- [9] Szelek szárnyán: A katonai léggömbök rövid története. *Lemil Blog*, 2013. június 15. Online: https://lemil.blog.hu/2013/06/15/szelek_szarnyan-_a_katonai_leggombok_rovid_tortenete
- [10] *Hadirepülés az I. Világháborúban*. Online: www.bibl.u-szeged.hu/bibl/mil/ww1/technika/repules/index.html
- [11] Lits G., *Velence ostroma 1849*. 2006. Online: <https://docplayer.hu/5872457-Dr-lits-gabor-nya-alezredes-a-hadtudomany-kandidatusa-velence-ostroma-1849-1-az-első-legitimadas.html>
- [12] Csengeri J., „Repülőterek távoli környezetének megfigyelési lehetőségei,” *Honvédségi Szemle*, 143. évf. 6. sz. pp. 63–74. 2015.
- [13] „Repülőgépek,” in *Magyarország a XX. században* IV. kötet. Szekszárd, Babits Kiadó, 1996–2000. Online: <https://mek.oszk.hu/02100/02185/html/812.html>
- [14] „A repülés története,” Online: <https://docplayer.hu/2769711-1-a-repules-tortenete.html>
- [15] A légiháború mérföldkövei. *Múlt-kor*, 2013. február 25. Online: <https://mult-kor.hu/cikk.php?id=38414&pldx=8>
- [16] *Dokumentumok az 1911–12-es olasz–török háborúból*. Szeged, SZTE BTK Történelem Diákkör, 2000, p. 11.
- [17] Borján J., Óvári Gy., „Katonai repülőgépek az I. Világháborúban,” *Repüléstudományi Közlemények*, 26. évf. 2. sz. pp. 114–128, 2014.
- [18] Szakály S., „A légi háborúk története 1910–1970,” *Haditörténelmi Közlemények*, 94. évf. 2. sz. pp. 299–301. 1981.
- [19] O. Groehler, *A légiháborúk története 1910–1980*. Budapest, Zrínyi Katonai Könyv- és Lapkiadó, 1983. pp. 9–67, 69–91.
- [20] Five Generations of Jets. *Fighterworld*, (é. n.). Online: www.fighterworld.com.au/az-of-fighter-aircraft/five-generations-of-jets
- [21] A. J. Hebert, Fighter Generations. *Air and Space Forces Magazine*, 2008. szeptember 1. Online: www.airforcemag.com/article/0908issbf/
- [22] J. W. R. Taylor, J. F. Guilmartin, Transonic Flight. *Britannica*, (é. n.). Online: www.britannica.com/technology/military-aircraft/Transonic-flight
- [23] R. J. James, „Marconi Command & Control Systems,” *IEEE Review*, Vol. 35 No. 9. pp. 343–349. 1989.
- [24] J. F. Kreis, *Air Warfer and Air Base Air Defense 1914–1973*. Washington, D.C., Office of Air Force History, 1988. pp. 23–299.
- [25] Krajncz Z., „A légi erő szmerendszerként való értelmezése,” in *A katonai vezetői-parancsnoki (harcászati vezetői) kompetenciák fejlesztésének lehetséges stratégiája*. Krajncz Z. szerk., Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2014. pp. 192–212.
- [26] J. Alkobi, The Evolution of Drones: From Military to Hobby & Commercial. *Percepto*, 2019. január 15. Online: <https://percepto.co/the-evolution-of-drones-from-military-to-hobby-commercial/>

- [27] Hajg Zs., *Információs műveletek a kibertérben*. Budapest, Dialóg Campus Kiadó, 2018. pp. 155–156, 167–175.
- [28] Csengeri J., „A légi bázis, mint erőketítési platform,” *Repüléstudományi Közlemények*, 30. évf. 2. sz. pp. 55–66. 2018.
- [29] Pál P., „A légierő csapásmérő képessége az 1991-es Öböl-háborúban,” *Repüléstudományi Közlemények*, 18. évf. Ksz. 2006. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2006_cikkek/pal_peter.pdf

Changing of Security Challenges on Airbases during History

The development of airports and air bases coincides with the beginning of aviation, even if at the early days they were just makeshift airstrips. Airplanes extend warfare into the third dimension by dominating the airspace, but they are indispensably dependent on the operation of sanctuaries on the ground. The security of the air bases is thus unquestionable, but it is also important to ask how their importance has changed over time and how the security of these facilities has evolved with advances in technology, abilities and principles.

Keywords: aviation history, airbase, air base, threats, defence, security

Táborszky József tanársegéd Nemzeti Közszerológálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar taborszky.jozsef.peter@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2185-426X	József Táborszky Assistant Lecturer University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training taborszky.jozsef.peter@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2185-426X
---	--



Horváth Gábor

A helyszíntől független repülőtéri irányítás katonai alkalmazhatóságának vizsgálata a kapcsolódó SESAR-projekt tapasztalatainak tükrében

A helyszíntől független repülőtéri irányítás (remote tower, rTWR) technológiai koncepciójának polgári megvalósítása során az alkalmazók a különböző repülőtéri funkciók digitalizálásának és integrálásának segítségével leginkább a költséghatékonyságra, valamint a teljesítménynövekedésre törekednek. Ezek a törekvések azonban alacsonyabb prioritással szerepelnek azokban a képletekben, amelyek az rTWR-technológiát a katonai alkalmazhatóság szemszögéből vizsgálják, és a fiskális szempontok háttérbe helyezését követően a műveleti körülmények között prognosztizált hatékonyság értékelésére fókuszálnak.

Kulcsszavak: légi forgalmi irányítás, távoli toronyirányítás, helyszíntől független toronyirányítás, SESAR

1. Bevezetés

Napjainkban a helyszíntől független repülőtéri irányítással (remote tower, rTWR) összefüggő – alapvetően polgári célkitűzéseket megvalósítani szándékozó – kutatás-fejlesztési projektek közül a SESAR¹-kezdményezés keretében finanszírozott PJ05 projekt során elért eredmények határozzák meg az iparági trendeket. Ebben a projektben számos nemzetközi kontribútor mellett – katonai légi forgalmi szakértőkkel, valamint a Magyar Honvédség Pápa Bázisrepülőtér teszthelyszíneként való felajánlásával – részt vett a honvédelmi tárca is mint a HungaroControl Magyar Légi forgalmi Szolgálat Zrt. (HC Zrt.) partnere [1].

A projekt polgári szempontú célja egynél több repülőtér forgalmának egy távoli irányító munkaállomásról (CWP²) való passzív üzemű lekötésének demonstrációja, ezzel párhuzamosan a CWP segítségével biztosított légi forgalmi irányító és repüléstájékoztató szolgáltatásokra vonatkozó előírásoknak való megfelelés vizsgálata, egyben a légi navigációs szolgáltatást támogató integrált toronyirányítói munkakörnyezet elvi felépítésének felvázolása [2].

Emellett a projekt katonai aspektusát a helyszíntől független repülőtéri irányítás katonai alkalmazhatóságának vizsgálata adja, amely – összhangban a NATO vonatkozó állásfoglalásával [3] – kiterjed a béke- és minősített időszakban a hazai, valamint a műveleti körülmények közötti

¹ Single European Sky ATM Research.

² Controller Working Position.

értékelésre, figyelembe véve a biztonsággal, a védelemmel és a szabályozással összefüggő további szempontokat [4].

2. A projekt tesztkörnyezete

A projekt úgynevezett első hulláma (W1) 2016 és 2019 között zajlott, ebben az időszakban Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér, Debrecen Nemzetközi Repülőtér és MH Pápa Bázisrepülőtér szolgáltatta a tesztkörnyezetet [1]. A 2019 és 2022 közé ütemezett második hullámban (W2) a nemzetközi repülőtereket Nyíregyháza Repülőtér és Győr–Pér Repülőtér váltotta [5].

2.1. Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér

A Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér (ICAO kód: LHBP) Magyarország legnagyobb és legismertebb nemzetközi repülőtere. Forgalmi statisztikai adatai alapján közepes repülőternek tekinthető, amit alátámaszt az is, hogy az induló és érkező légi járművek részére két futópálya és viszonylag bonyolult gurulót-hálózat áll rendelkezésre. Emellett éves műveletszáma még járványügyi veszélyhelyzet során is megközelíti az 50 000-et [6], tehát nem tekinthető ideális tesztkörnyezetnek a több repülőteret vizsgáló projekt során. Ennek köszönhetően a W1 ideje alatt a kettő közül csak az egyik futópálya passzív lekövetését végezték el, majd azt a W2 keretében egy kisebb forgalmú repülőterrel helyettesítették. Érdemes megemlíteni, hogy a projekttől függetlenül, de azzal párhuzamosan a HC Zrt. 2017-ben – a sikeres légi közlekedési hatósági hitelesítési folyamat lezárásaként – úgynevezett vészhelyzeti (*contingency*) működési engedélyt kapott az LHBP-n telepített rTWR-konfigurációra [7].

2.2. Debrecen Nemzetközi Repülőtér

Az ország keleti felében található Debrecen Nemzetközi Repülőtér (ICAO kód: LHDC) elrendezését tekintve hasonlít a ma is aktív katonai repülőterekhez, amelyeket alapvetően a vadászrepülőgépek kiszolgálásának igényeihez igazítottak. Ennek megfelelően egy aktív – és egy használaton kívüli – futópályával, illetve ehhez kapcsolódó egyszerűnek tekinthető gurulót-hálózattal rendelkezik, éves műveletszámát tekintve kis forgalmú repülőterek közé sorolható, és így a projekt keretében ideális tesztkörnyezet, ennek ellenére csak a W1 fázisban vett részt. Érdemes megemlíteni, hogy 2018-ban a HC Zrt. közbeszerzési felhívást tett közzé, amelyben távoli toronyirányításhoz kapcsolódó rendszerelemek debreceni kiépítésére keresett kivitelezőt, és ezzel megnyílt az elvi lehetősége annak, hogy a repülőtér forgalmát egy távoli (budapesti) toronyirányító központból kezeljék, ez azonban nem valósult meg, csak a projekt keretében, passzív üzemű lekövetésre került sor [8].

2.3. Nyíregyháza Repülőtér

Méreteit tekintve a Nyíregyháza Repülőtér (ICAO kód: LHNY) az eddigi felsorolás legkisebb repülőtere, érdemi nemzetközi forgalom nem érinti, így utasforgalma elenyésző, regionális szinten viszont

meghatározó szerepet tölt be. Közzétett műveletszáma alapján – bizonyos időszakokban – LHDC-nél is nagyobb forgalmat kezel, amit nagyban köszönhet az egyetem által nyújtott – több szimulátorral támogatott – pilótaképzésnek [9]. Egyetlen, viszonylag rövid futópályával és több ahhoz kapcsolódó gurulóúttal rendelkezik, így méreteihez képest elrendezése bonyolultnak tekinthető, összességében azonban a projektben való részvételre alkalmasnak minősíthető, szerepet csak a W2-ben kapott.

2.4. Győr–Pér Repülőtér

A Győr–Pér Repülőtér (ICAO kód: LHPR) a közepes turbulenciakategóriába eső légi járművek kiszolgálására is alkalmas modern kisrepülőtérnek tekinthető, légi forgalmát és rentábilis fenntartását nagyban meghatározza a közelben települt autógyár németországi bázisával való légi összeköttetés lehetőségének szavatolása. Mindezek eredményeként egy viszonylag hosszú futópályával rendelkezik, amelyhez – a korábban bemutatott repülőterektől eltekintve – egyetlen gurulóút csatlakozik, így a projekt legideálisabbnak tekinthető résztvevője, szerepet csak a W2-ben kapott [10].

2.5. MH Pápa Bázisrepülőtér

Az MH Pápa Bázisrepülőtér (ICAO kód: LHPA) hazánk egyik leggazdagabb repülőtörténelmi hagyatékkal rendelkező katonai légikikötője, amelynek jelenét és jövőjét leginkább a NATO-államok által finanszírozott stratégiai légi szállítási képességet biztosító C-17-es teherszállító flotta jelenti. Ezenkívül arról sem feledkezhetünk el, hogy a kecskeméti JAS-39 Gripen harcászati repülőgépek állandó kiterő repülőtere, valamint a Nyugat-Magyarországot biztosító honvédségi kutató-mentő helikopterbázisa [11]. Ennek megfelelően forgalma általában elenyésző, műveletszámát alapvetően azok az időszakok növelik meg, amelyek során a repülőtér NATO-gyakorlatok bázisrepülőtereként szolgál, viszont ekkor kifejezetten komplex légi forgalmi helyzetek is előfordulhatnak. Egyetlen hosszú futópályájával rendelkezik, amelyhez három gurulóút csatlakozik, forgalmi előterei nagy számú légi járműnek biztosítanak parkolási lehetőséget, a projekt egyetlen repülőtere, amely a W1-ben, majd a W2-ben is részt vett.

2.5.1. A telepített eszközök és az adatkapcsolati sajátosságok ismertetése

A projekt keretében LHPA vonatkozásában csak kamerarendszert építettek ki, rTWR CWP-t a bázison – vagy más katonai létesítményben – nem létesítettek. A konfigurációt nyolc darab, fix állásszöggel rendelkező kamera alkotja, amelyek – az alkalmazó által megadott specifikációk alapján – maximálisan 2 pixel per szögperc felbontásra képesek, és a tesztek során alkalmazott mozgóképet is ezzel az értékkel állították elő. Szintén a kamerarendszer vonatkozásában fontos hangsúlyozni, hogy – megfelelő megjelenítő eszköz mellett – képes horizontálisan ~210, vertikálisan ~70 fokos látómezőt szolgáltatni, miközben a célpontkövetést egy – szintén hasonló felbontást nyújtó – PTZ³-kamera teszi lehetővé (1. ábra).

³ Pan, Tilt, Zoom – forgatható, dönthető, nagyítható.



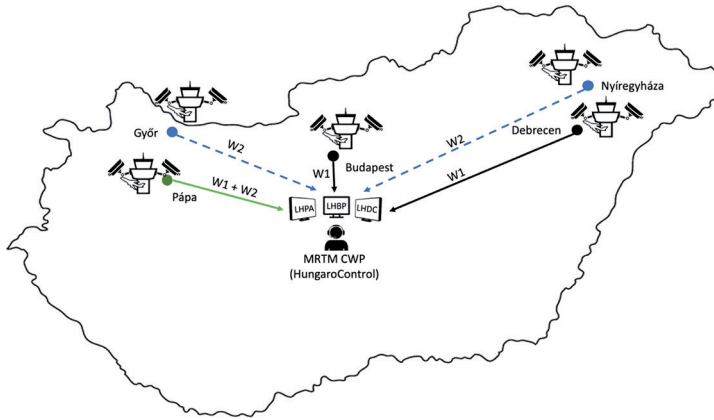
1. ábra
LHPA rTWR kamerakonfiguráció [a szerző felvétele]

A konfiguráció által szolgáltatott nyers képinformációk feldolgozására, valamint a panorámakép összefűzésére nem a helyszínen, hanem a budapesti központban került sor. Az adatkapcsolatot egyetlen – nem redundáns – vezeték nélküli hálózat biztosította, amely tökéletesen elégségesnek bizonyult a projekt hatókörébe helyezett passzív forgalomkövetés szükségletének kielégítésére, de tényleges légi forgalmi irányító tevékenység biztosításához már nem megfelelő ez a konfiguráció. Ez a nem megfelelő értékelés elsősorban abból fakad, hogy a redundancia a légi forgalmi szolgáltatásokra vonatkozó egyik legfontosabb alapkövetelmény [12], amellyel kapcsolatban azt is hangsúlyoznom kell, hogy a valós irányítói tevékenység érdekében a képfeldolgozást és az adatkonvertálást az adott telepítési helyszínen kell megoldani, aminek eredményeként érdemben csökken a továbbítható mozgókép-információk mérete, így a rendelkezésre álló sávszélesség optimalizálható, és ennek köszönhetően a redundancia biztosítása is egyszerűbbé válik [13].

2.6. A tesztkörnyezet áttekintése

A 2. ábrával szemléltetett tesztkörnyezet alapján arra lehet következtetni, hogy a több repülőtérrel kiszolgáló rTWR-konfiguráció (MRTM⁴) leginkább egy adott ország kis forgalmú légikötőinek minőségfejlesztését és költségoptimalizációját szolgálhatja [4], [14], [15], hiszen a légi forgalmi szolgáltatásokat egy centralizált távoli központból lehetne biztosítani, ami – optimális esetben – csökkentheti a technikai, valamint a humán erőforrás-szükségletek anyagi terheit.

⁴ Multiple Remote Tower Module.



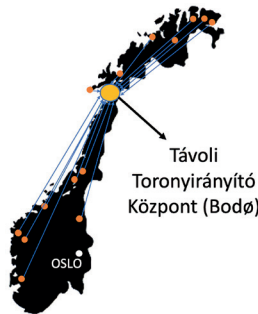
2. ábra

A SESAR PJ05 W1 és W2 fázis szemléltetése [a szerző]

2.7. Aktuális helyzetet elemző nemzetközi kitekintés

Saját, valamint a W1 fázisban gyűjtött nemzetközi tapasztalatokat felhasználva – jelentős tőkebefektetés mellett – a norvég légi navigációs szolgáltató⁵ Bodø-ban 2022-ben megnyitotta a világ legnagyobb Távoli Toronyirányító Központját (*Remote Tower Centre*) [16]. Erre elsősorban az ország földrajzi és közlekedési infrastrukturális hálózatának sajátosságai miatt mutatkozott kifejezetten nagy kereslet, mivel szignifikáns a nehezen megközelíthető, távoli kis közösségek légi úton történő elérésének igénye.

A 3. ábra szemléltetésének eredményeként jól megbecsülhető, hogy jelenleg az rTWR-technológia a konvencionális repülőtéri környezettel szakítva mekkora nagyságrendben és milyen távolságban képes egy központból biztosítani a toronyirányítói szolgáltatást.



3. ábra

Az Avinor rTWR központjába integrált repülőterek (2022) [a szerző]

⁵ Avinor Aviation.

A Bodø-ban található eddigi legnagyobb léptékű technológiai implementáció egyben arra is enged következtetni, hogy az MRTM alapvetően az olyan repülőterek forgalmi szükségleteinek kielégítését optimalizálhatja, amelyek leggyakrabban kis, vagy ritkább időközönként közepes forgalmat kezelnek, de az általában elmondható ezekről, hogy éves műveletszámuk nem haladja meg az 50 000-et.

3. Validációs tapasztalatok

A projekt keretében a különböző fázisok validációs eljárásai során együttműködő légi forgalmi szolgáltatók, kutatás-fejlesztési szakértők, iparági beszállítók és további érdekelt felek jól körülhatárolható célja az volt, hogy sajátos kompetenciáikkal elősegítsék az MRTM-mel összefüggő technológiai és üzemeltetési standardok meghatározását [2].

Az operatív megoldások tesztelése és fejlesztése érdekében az egyes validációs gyakorlatokat kísérleti jelleggel, valós idejű szimuláció keretében hajtották végre. Ennek köszönhetően számos kockázati tényezőt és potenciális műszaki meghibásodást térképezhetek fel anélkül, hogy a valós légi forgalomra veszélyt jelentett volna a projekt, miközben az egyes megismételhető szimulált forgalmi scenáriók lehetővé tették, hogy a vizsgált funkció vagy tulajdonság (például képréssítési ráta) légi forgalmi irányítóra gyakorolt hatása részleteiben is elemezhetővé váljon, így gyakorlatilag biztosított volt a folyamatos objektív visszacsatolás az MRTM-koncepció megvalósíthatóságával és adaptációjával kapcsolatban.

Mindkét fázis esetében a validációkra valós idejű szimulációs gyakorlatok keretében került sor, majd fázisonként a validációs gyakorlatokat egy-egy tényleges légi forgalmat passzív üzemben lekövető demonstráció zárta. Az 1. táblázat segítségével szemléltetem az egyes gyakorlatok vizsgált aspektusainak egymásra épülését, valamint – késsel kiemelve a HC Zrt., a Frequentis, illetve a magyar katonai fél együttműködését – a projektben részt vevő csoportok egymást kiegészítő jellegét.⁶

1. táblázat

A projekt keretében vizsgált aspektusok és a főbb résztvevők együttműködése [a szerző]

	HC-FRQ-HM	ENAV	INDRA	COOPANS	B4
Két repülőtér MRTM-szimulációja		X		X	
Három repülőtér MRTM-szimulációja	X		X		X
Repülőterek felelősségátadásának szimulációja		X	X	X	
Csökkentett üzem szimulációja	X	X	X	X	
Vészhelyzeti szimuláció	X			X	
Futópálya-irányváltás szimulációja	X				
Hálózati szolgáltatásminőség ingadozásának szimulációja	X				
Kommunikációs szimuláció	X	X		X	X
Radarkép-szimuláció	X	X	X	X	X

⁶ A W2 keretében a HC Zrt. iparági partnert cserélt, így 2019-től a Frequentis helyett az Indrával működött együtt.

3.1. A W1 fázis katonai tapasztalatai

A katonai légi forgalmi irányítók bevonásával megszervezett validációval egybekötött szimulációs gyakorlatra a DLR⁷ kutatóközpontjában, a németországi Braunschweigben került sor. A szimuláció alapját a W1 fázisba bevont három magyar repülőtéren rögzített 4 × 50 perces forgalmi situációk szolgáltatták, amelyeket komplexitástól függően 1-től 4-ig kategorizáltak, majd az operatív állomány számára szimulált légi forgalmi irányítás végrehajtása céljából visszajátszottak. A négy scenárió a 2. táblázatban megadott módon állt össze.

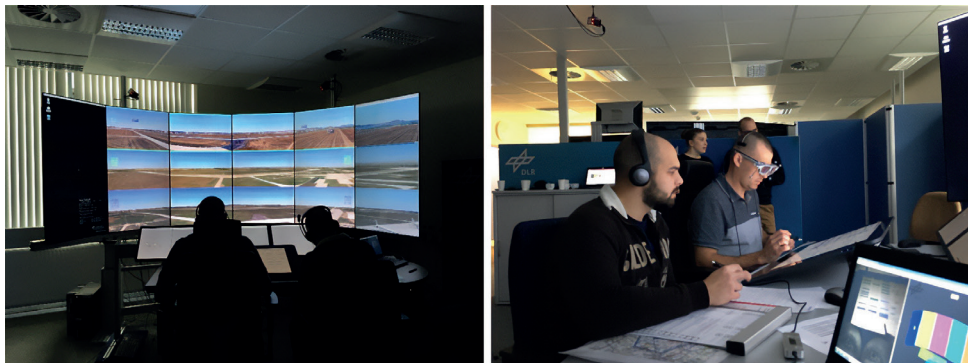
2. táblázat

A katonai légi forgalmi irányítók bevonásával megszervezett validáció forgalmi scenáriói [a szerző]

ID	Műveletszám	Időjárási körülmények	Forgalomeloszlás	IFR/VFR (%)	Kiegészítés
#1	20/óra	nappal/jó	egyenletes	90/10	szimuláció első felében csak induló, a második felében csak érkező forgalom
#2	20/óra	nappal/jó	egyenletes	80/20	szimultán induló és érkező forgalom, amelyben megjelennek a drónok is
#3	30/óra	nappal/jó	egyenletes	90/10	szimultán induló és érkező forgalom, VFR csak a szimuláció második felében
#4	30/óra	nappal/jó	egyenletes	80/20	szimultán induló, érkező és átrepülő IFR- és VFR-forgalom + földi mozgások kezelése

Az általános tapasztalat alapján elmondható, hogy scenáriótól függetlenül lényegében folyamatos rádióhasználatra kényszerült a légi forgalmi irányító, ami már önmagában komoly munkaterhelést jelent. Ez különösképpen megmutatkozott az ID #4 forgatókönyv esetében, mivel a földi forgalomkezeléssel együtt járó rádiókommunikáció már olyan figyelemmegosztást követelt az operátortól, amely nem tette lehetővé a három repülőtér forgalmának egyidejű biztonságos monitorozását, illetve kezelését. A figyelemmegosztással összefüggő repülésbiztonságot veszélyeztető aggályok abban az esetben is felmerültek, amikor a forgalom komplexitását az egyes légi járművek különleges kezelését igénylő helyzetek is növelték. Ez utóbbi helyzetre több szempontból jó példa a madárral való ütközés esete, amely jellemzően a fel- vagy leszállást végrehajtó légi járműveket veszélyezteti az egyik legnagyobb koncentrációt igénylő manőver végrehajtása során [17]. Ilyen esetben az irányító fókusza már a madárral való ütközés előtt is az adott légi járműre összpontosul, hiszen az előbb említett manőver biztonságos végrehajtása érdekében folyamatosan figyelemmel kell tartania a futópályát [18], majd a vészhelyzet bekövetkezését követően az elkülönítéssel, illetve a földi kiszolgálással összefüggő további igényeket is kezelnie kell, aminek eredményeként a többi repülőtér forgalmára nem, vagy nem kellő mértékben tud odafigyelni.

⁷ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt.



4. ábra

A braunschweigi validációs szimulációban részt vevő katonák [a szerző felvételei]

A projektben részt vevő – 4. ábrán látható – katonai légi forgalmi irányítók tapasztalata alapján kijelenthető, hogy a szimulációból hiányzott a katonai repülőterekre gyakran jellemző spontaneitás, illetve a polgári szabályoktól nagy mértékben eltérő taktikai bejövetelek szimulációjára sem került sor, valamint az ejtőernyős ugrásokkal összefüggő forgalomkezelési sajátosságok begyakorlásának lehetőségét is hiányolták.

3.1.1. Az optimális képfrissítési ráta paradoxona

Katonai légi forgalmi irányítók szimulációba való bevonása nélkül, de a honvédelmi tárca delegált szakértőjének közreműködésével vizsgálták a képfrissítéssel összefüggő kérdéskört a DLR kutatóközpontjában, aminek a technológia műveleti környezetben való alkalmazhatóságának szempontjából komoly relevanciája van.

Az alapvető probléma, hogy az rTWR-rel összefüggésben a másodpercenként megjelenített optimálisnak értékelt képkockaszám (képfrissítési ráta, vagy FPS⁸) meghatározása nehezen feloldható paradoxonba ütközik, mivel az FPS nem lehet se túl alacsony, se túl magas, hiszen az előbbi variáció komoly repülésbiztonsági kockázatot rejt magában, miközben az utóbbi eset drasztikus mértékben megnövelheti az adatátvitelhez szükséges sávszélességi igényt, vagy ronthatja a képfelbontást, ezáltal kompromittálva a rendszerintegritást [19]. Hipotézisem szerint a képfrissítési ráta paradoxona műveleti környezetben hatványozottan jelentkezhet, hiszen a nagy sebességű katonai légi járművek számára alacsony FPS-értékű rTWR CWP segítségével nem, vagy csak korlátozott mértékben lehet légi forgalmi szolgáltatást nyújtani, miközben az adatkapcsolat vonatkozásában csak csökkentett sávszélesség áll rendelkezésre, ami komoly korlátok közé szorítja a maximálisan biztosítható FPS-értéket.⁹ Mindezekon felül további komoly befolyásoló tényezőt jelent a konvencionális körülményekhez szokott légi

⁸ Frame-per-second.

⁹ Erre a problémára jelenthet megoldást a tömörítés, amelyet a témával összefüggő további kutatásaim során is vizsgálni fogok.

forgalmi irányító digitáliskép-alapú mozgáspercepciója, de ezzel összefüggésben megoldást jelenthet az intenzív szimulátoros felkészítés és gyakorlat megszerzése.

3.2. A W2-fázis katonai tapasztalatai

A rendszer validációval egybekötött passzív üzemű lekövetésének demonstrációjára Budapesten, a HC Zrt. székhelyén került sor, amelyen a projektbe bevont katonai légi forgalmi irányítók is részt vettek. Ennek során valós légi forgalom és élő adatkapcsolat mellett két légi forgalmi irányító látta el feladatait egy váltásparancsnok (*supervisor*) felügyelete mellett. A demonstráció lehetőséget biztosított az 1. táblázatban megadott hálózati adatkapcsolat-minőség ingadozása miatt bekövetkező, úgynevezett csökkentett üzem vizsgálatára, amely az előzetes műveleti környezeti értékelés szempontjából is fontos inputokat szolgáltatott.



5. ábra

Passzív üzemű demonstráció (bal oldal: MRTM, jobb oldal: adatkapcsolati hiba) [a szerző felvételei]

Az eddigi fázisokban szerzett tapasztalatok alapján állítottam össze az rTWR-technológia katonai-alkalmazói környezetét vázoló 2. táblázatot, amely a későbbi következtetéseim kiindulópontjaként szolgál.

2. táblázat

Az rTWR-technológia katonai-alkalmazói környezete [a szerző]

	Fix telepítésű rTWR	Telepíthető rTWR („baráti” terület)	Telepíthető rTWR (műveleti terület)
Alkalmazhatóság	repülőbázisokon, béke- és békétől eltérő időszakban, általános és speciális katonai légi forgalmi igények kiszolgálására	repülőbázisokon kívül, béke- és békétől eltérő időszakokban, speciális légi forgalmi igények kiszolgálására (pl. humanitárius segítségnyújtás)	elfoglalt repülőbázisokon, vagy egyéb repülőüzem szempontjából alkalmas elfoglalt területen, általános és speciális katonai légi forgalmi igények kiszolgálására
Vonatkozó előírások	polgári és katonai	polgári és katonai	katonai
Szolgáltatásminőség	ATS és AFIS	AFIS	ATS és AFIS
Fenyegetés észlelése	elvárt	javasolt	elvárt
Redundancia	elvárt	javasolt	javasolt

4. Következtetések

A különböző távoli elérésű rendszereket már jelenleg is széles körben adaptálták védelmi és katonai célokra, aminek kapcsán az egyik legkézenfekvőbb példa az UAS,¹⁰ emiatt azt prognosztizálom, hogy az rTWR-technológiát katonai alkalmazásba fogják majd venni. Emellett fontos hangsúlyozni, hogy amíg a polgári alkalmazás alapvetően a repülésbiztonság fokozását, valamint a fiskális racionalizációt és optimális esetben a konvencionális megoldásoknál költséghatékonyabb megoldást remél ettől a technológiától, addig a katonai alkalmazás leginkább emberéletben mérhető haszonnal kecsegtet, mivel a katonai légi forgalmi irányítók a műveletektől távolabb, védett és/vagy biztonságos létesítményből szolgálják ki az általános és speciális katonai légi forgalmi igényeket.

A Bodø-ban létrehozott Távoli Toronyirányító Központ alapvetően kijelölte a technológia polgári implementációjának az irányát. Ez azt jelenti, hogy a légi forgalmi szolgáltatások konvencionális biztosításánál optimálisabb rentabilitást feltételeznek az rTWR-megoldások segítségével egy centrumban összekötött, központi területektől távol eső, szinte csak légi úton megközelíthető, általában csekély, esetleg alkalmoszerűen közepes forgalmat kezelő repülőterektől.

Emellett, ahogy az a 2. táblázat alapján is jól látható, az rTWR-technológia katonai felhasználása – alkalmazási területtől függően – eltérhet a polgáritól. Ezek közül a legfontosabb, hogy a műveleti környezetben alkalmazandó – polgárinál rugalmasabban alakítható, feladathoz igazított – katonai előírásokat (például NATO STANAG) az alkalmazó maga határozhatja meg, ami lehetővé teszi a technológiában rejlő potenciál hatékonyabb kihasználását. Ez egyben azt is indikálja, hogy a fix, illetve a baráti területen telepített katonai rTWR-rendszerekre vonatkozó szigorú, sok esetben rugalmatlan és a gyors technológiai változásokat lekövetni képtelen polgári légi közlekedési előírások szintén a műveleti területen alkalmazható megoldások irányába tolják el a védelmi célú vizsgálatok súlyát. Ezek a vizsgálatok ki kell hogy térjenek a rendszer sérülékenységének feltérképezésére, ami magában foglalja a különböző komponensek CIA¹¹-elvekre épülő védelmének analizését is.

A katonai alkalmazás vonatkozásában szintén fontos megoldásra váró kérdéskör a képréssitési ráta paradoxona, amellyel kapcsolatban elengedhetetlen a további célirányos kutatások végrehajtása.

Összegezve kijelenthető, hogy az rTWR-technológia katonai célú alkalmazásba vétele kapcsán a telepíthető megoldások vizsgálatát kell prioritizálni, és ennek a megközelítésnek kiváló alapot szolgáltat az egyéb távoli elérést biztosító rendszerekkel, kvázi drónokkal már megszerzett tapasztalat, valamint a SESAR PJ05 Projekt keretében felhalmozott tudás következményeként megvalósuló adaptációk és implementációk gyakorlati eredményeinek további kutatása.

¹⁰ Unmanned Aircraft System – pilóta nélküli légi jármű-rendszer.

¹¹ Confidentiality, integrity, availability – bizalmasság, integritás, elérhetőség.

Felhasznált irodalom

- [1] Final Project Report of PJ05 Remote Tower D1.2. SESAR Joint Undertaking, 2019. november 27. Online: www.remote-tower.eu/wp/wp-content/uploads/2022/02/D1.2_Final-Project-Report_PJ05_V1.0.pdf
- [2] PJ05 Remote Tower for Multiple Airports. Research and Innovation Actions SESAR. IR-VLD.Wave1. SESAR, 2019.
- [3] Initial Position on Remote Tower Services (RTS) concept AC/92WP- (2015) 0001. NATO, 2015.
- [4] Dudás D., Somosi V., Rohács D., „A Remote Tower technológia polgári és katonai alkalmazási lehetőségei,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 1. sz. pp. 205–217. 2017. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-Repulestudomanyi_kozlemenyek.pdf
- [5] A.2 Summary of the Validation Exercise EXE-2.3.2. INDRA/HungaroControl PSM Validation. INDRA/HC, 2022.
- [6] *Éves zajvédelmi jelentés a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér 2020. évi légi forgalmi műveleteiről és a zajmonitor rendszer mérési eredményeiről*. Budapest Airport Zrt., 2021. január 25. Online: www.bud.hu/file/documents/4/4206/eves_zajvedelmi_jelentes_2020.pdf
- [7] V. Zsóka, „A toronyirányítás jövője – avagy a mirTWR-ről közérthetőbben.” *HungaroControl Blog*, 2021. november 10. Online: <https://blog.hungarocontrol.hu/cikk/a-toronyiranyitas-jovoje-avagy-a-mirtwr-rol-kozerthetobben/>
- [8] Légitforgalom-irányító berendezések telepítése. Ajánlati/részvételi felhívás 2018/S 002-002261. *Ted*, 2018. január 4. Online: <https://ted.europa.eu/TED/notice/ud!uri=TED:NOTICE:2261-2018:TEXT:HU:HTML&src=0>
- [9] *Stratégiai zajtérképek és zajcsökkentési intézkedési tervek készítése Nyíregyháza város közigazgatási területére*. Nemzeti Fejlesztési Ügynökség, 2013. február. Online: http://varoshaza.nyiregyhaza.hu/lib/zajterkep/130717_Nyiregyhaza_strategiai_zajterkepek_muszaki_dokumentacioja.pdf
- [10] Repülőtéri Kézikönyv (LHPR). Győr-Pér Airport, 2020. március 12. Online: http://lhpr.hu/images/pdf/LHPR%20Repuloteri%20kezikonyv_20201215_webre_alairt.pdf
- [11] Repülőtérrend (LHPA). Magyar Honvédség, 2022. május 19. Online: <https://bit.ly/3kDFmZE>
- [12] Z. Yongli, Y. Zhengning, Z. Liang, „Analysis of Remote Tower System,” in 2020 IEEE 2nd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT), Weihai, China, 2020 október. pp. 128–133. Online: <https://doi.org/10.1109/ICCASIT50869.2020.9368521>
- [13] L. Peterson, B. Davie, *Computer Networks—A Systems Approach*. 6. kiad. Elsevier, 2014. Online: <https://titania.eng.monash.edu/netperf/docs/computer-networks-peterson-davie-v6.0.pdf>
- [14] S. D. Van Beek, *Remote Towers: A Better Future for America's Small Airports*. Reason Foundation Policy Brief 143. 2017. július. Online: https://reason.org/wp-content/uploads/2017/07/air_traffic_control_remote_towers-1.pdf
- [15] *Whitepaper: Introduction to Remote Virtual Towers*. Frequentis, 2016. Online: www.frequentis.com/sites/default/files/support/2018-02/RVT_whitepaper.pdf

- [16] AVINOR, World's Biggest Digital Tower Centre Opens in Norway. atc-network, 2022. június 3. Online: www.atc-network.com/atc-news/avinor-norway/worlds-biggest-digital-tower-centre-opens-in-norway
- [17] A. F. El-Sayed, Bird Strike in Aviation: Statistics, Analysis and Management. Wiley, 2019. Online: <https://doi.org/10.1002/9781119529835>
- [18] Palik M. szerk., *A repülésirányítás alapjai*. Budapest, Dialóg Campus, 2018.
- [19] V. Garaj, Z. Hunaiti, W. Balachandran, „Using Remote Vision: The Effects of Video Image Frame Rate on Visual Object Recognition Performance,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, Vol. 40. No. 4. pp. 698–707. 2010. Online: <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2009.2036938>

The Military Applicability Assessment of the Location-Independent TWR Control Based on the Experiences Gained Through Related SESAR Project

During the civilian implementation of location-independent aerodrome control (remote tower, rTWR), the users basically strive for cost efficiency and performance growth as a result of the digitization and integration of various airport functions. However, these efforts are given a lower priority in the techniques that examine the rTWR technology from military applicability POV, and focus on the evaluation of prognosticated effectiveness in operational conditions while placing the fiscal aspects in the background.

Keywords: *air traffic control, remote tower control, location-independent tower control, SESAR*

<p>Horváth Gábor (MSc) főtiszt Honvédelmi Minisztérium Állami Légügyi Főosztály Légiforgalmi Felügyeleti Osztály horvath.gabor3@hm.gov.hu orcid.org/ 0000-0002-2939-1426</p>	<p>Gábor Horváth (MSc) Senior ATM Officer Ministry of Defence State Aviation Department ATM Supervisory Division horvath.gabor3@hm.gov.hu orcid.org/ 0000-0002-2939-1426</p>
--	--

Jelen mű „az Innovációs és Technológiai Minisztérium Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült”.

Major Gábor, Tóth Zoltán

A háborút is megjárta UAV-k pilótáinak mentális átformálódása

Az emberiség történelmében az eszközgyártásnak és az új technológiák fejlesztésének, tesztelésének bölcsője (szinte) minden esetben a hadsereg és a háborús körülmények voltak. A pilóta nélküli légi járművek megjelenésükkor a légvédelmi alakulatok célgépei voltak, majd a felmerülő igényeknek megfelelő átalakításuk és fejlesztésük során felismerték, hogy nem csupán „áldozati bárány” lehet ez az autonóm jármű, hanem ön maga lehet akár a farkas is. Félelmetes belegondolni, hová juthatnak a fejlesztések. Megtörténhet valaha az, ahogyan a farkasok farkában, úgy ezek a harcoló organizmusok rajkötelékben, autonóm módon teljesítik a küldetésüket?

Amíg ezen merengünk, addig az olvasó megismerkedhet az elmúlt időszak lokális háborúival és a pilóta nélküli légi járművek bevetési tapasztalataival. Ezt követően a szerzők bemutatják igaz történeteken keresztül, hogy a drónoperátorok mit élnek át, milyen tapasztalataik vannak egy bevetés során, és ez hogyan hat a mentális állapotukra, egészségükre.

Kulcsszavak: pilóta nélküli légi jármű, UAV, UAS, UCAV, drón, fegyver, katonai műveletek, pszichológia

1. Bevezetés

A háború művészet, vallják Szun-Ce óta a hadelmélettel foglalkozók. Igaz, nem a szépsége miatt, mert valljuk be, olyan ebben a műfajban nincs, hanem azért, mert minden háborús konfliktus, háborús cselekmény valami új kipróbálásának, létrejöttének a színtere. Lássuk be, hogy az óskor kőbaltájától a mai modern kor precíziós fegyverzetéig rengeteg idő telt el, és szédületes technikai, technológiai fejlődés ment végbe a világban, aminek köszönhetően jelentősen átalakultak a hadviselés szabályai [21]. A pusztá kézzel, testközelből megvívott küzdelem mára a múlté, mivel az ellenséget már csak a célzókészülék objektívján keresztül látjuk, vagy egyes esetekben még ott sem. Az automatizáltság és a mesterségesintelligencia-kutatások végeláthatatlan fejlődése okán eljuthatunk oda, amikor a robotok egymás ellen „lejátszák” a csatát földön, vízen és a pilóta nélküli légi járműveknek¹ köszönhetően a levegőben [22]. Ezek a légi organizmusok a 21. századra az élet számos területén nélkülözhetetlenné váltak, mivel nem csupán hatékonyabbak, olcsóbbak és gyorsabbak, de biztonságosabban is elvégezhető a segítségükkel olyan feladatok, amelyek veszélyt jelentenének az emberre.

¹ Unmanned aerial vehicle (UAV)/unmanned aircraft (UA) – pilóta nélküli légi jármű, drón.

Ez az oka annak is, hogy a harctéren egyre nagyobb létszámban és egyre bővülő feladatkörben találkozhatunk a drónokkal [41].

Ebben a publikációban bemutatjuk, hogy korunk egyik modern, töretlenül fejlődő vívmánya, a pilóta nélküli légi jármű hogyan „nőtt bele” a háborús szerepkörbe, de még inkább azt járjuk körbe, hogy e légi eszközöket kezelő operátorok miként dolgozzák fel a munkájukkal együtt járó mentális megterheléseket.

2. Konfliktusok, ahol drónokat alkalmaztak

Az elmúlt bő három évtized konfliktusaiban egyre nagyobb szerepet játszottak a pilóta nélküli légi járművek. Igaz, ma már szinte minden hadsereg arzenáljában megtalálhatók a drónok, rengeteg feladat- és szerepkörrel. Olyan széles a felhasználási lehetőség palettája, hogy szinte nincs olyan feladat, amelyet ne lehetne ezekkel a légi eszközökkel megoldani [16], [19], [20]. Felhasználói oldalról számos életet mentettek meg a felderítő-, tűztámogató képességének köszönhetően, de mindehhez hozzászámolhatjuk annak a kezelőállománynak a létszámát is, akik nem voltak jelen személyesen a közvetlen harci cselekményben, mivel ők a drónpilóták.

2.1. Az első öbölháború

A konfliktus azzal kezdődött, hogy 1990. augusztus 2-án az Iraki hadsereg lerohanta Kuvaitot. Ezt az offenzívát követően az ENSZ Biztonsági Tanácsa, 39 ország támogatásával és jelenlétével létrehozta az Irak elleni Koalíciós Erőket.² A legnagyobb kontingenst az Amerikai Egyesült Államok biztosította 470 000 fővel, második helyen pedig az Egyesült Királyság áll 53 000 katonával. Az iraki oldalon nagyjából 300 000 fő harcolhatott. A helyzet rendezését diplomáciai úton próbálták megtenni, de ez nem vezetett sikerhez, ezért George Bush³ az USA akkori elnöke elrendelte a Sivatagi Vihar hadművelet elindítását.

Az 1991. január 17-én induló első műveletek célja az iraki csapatok kiszorítása volt Kuvait területéről. Az összehangolt műveletek sikerességének köszönhetően mindössze bő egy hónapig tartott a konfliktus, és 1991. február 28-án már le is zárult az iraki hadsereg kivonulásával, majd április 6-án hivatalosan a tűzszüneti feltételek elfogadásával. A bevetés során a Koalíciós Erők oldalán a legtöbb halálos áldozat amerikai volt. Az Egyesült Államok részéről összesen 382 fő, amelyből csupán 147 fő esett el ellenséges tűz által [40]. Nagyjából 20 000 és 35 000 közötti iraki katona halt meg a háború során. A konfliktus következtében elhunyt polgári áldozatok számát 100 000 és 200 000 közé becsülik [28].

Ebben az időszakban a drónhadviselés még kezdetleges volt, a légi eszközök alkalmazása nem volt széles körben elterjedt, mivel sem a drón műszaki paraméterei nem tudtak plusz

² Tagjai: Afganisztán, Argentína, Ausztrália, Bahrein, Banglades, Belgium, Kanada, Csehszlovákia, Dánia, Egyiptom, Franciaország, Németország, Görögország, Honduras, Magyarország, Olaszország, Kuvait, Marokkó, Hollandia, Új-Zéland, Niger, Norvégia, Omán, Pakisztán, Lengyelország, Portugália, Katar, Szaúd-Arábia, Szenegál, Sierra Leone, Szingapúr, Dél-Korea, Spanyolország, Svédország, Szíria, Törökország, Egyesült Királyság, USA, Egyesült Arab Emírségek.

³ George Herbert Walker Bush (Milton, Massachusetts, 1924. június 12. – Houston, Texas, 2018. november 30.) az Amerikai Egyesült Államok 41. elnöke (1989–1993). Korábban ENSZ-nagykövet, CIA-igazgató, valamint – Ronald Reagan elnöksége alatt – alelnök (1981–1989).

„szolgáltatást” nyújtani, sem eljárás nem létezett a hasznosításukra. Csupán egy említésre méltó UAV volt, amelyik alkalmas lehetett egy-egy bevetésre, mégpedig az izraeli AAI Corporation és az Israel Aircraft Industries által kifejlesztett Pioneer RQ-2A (1. ábra). Az Egyesült Államokban 1986-ban állították szolgálatba és rendszeresítették egészen 2007-ig. Az 1. ábrán látható RQ-2A valós idejű felderítési, megfigyelési, célmeghatározási és harci károkkal kapcsolatos információgyűjtési feladatokat hajtott végre. Indítása a szárazföldön kívül hajóról is lehetséges volt egy speciális indítóberendezés segítségével, landolása pedig a hajó fedélzetére kifeszített háló, a szárazföldön egy farokhorog és egy rögzítőhuzal segítségével volt lehetséges. Alkalmazási távolságuk 185 km volt. A repülőgép sárkányszerkezete szénszálak kompozitból, üvegszálból, kevlárból, alumíniumból és fából készült. A nem fémből készült kompozitok az UAV radarkeresztmetszetét is csökkentik. Ezek a könnyű anyagok teszik lehetővé, hogy a Pioneer egy 26 LE-s, kétütemű motorral képes legyen felemelni a megfigyelőberendezésekből álló hasznos terhet, szenzorokat. A 100-as oktánszámú repülőbenzin 47 l üzemanyag-kapacitása 5,5 órán keresztül képes a drónt a levegőben tartani. Szaddám Huszein 1991-es offenzívája Kuvaitért ideális terepet biztosított az RQ-2 UAV-egységek számára, hogy bizonyítsák rátermettségüket, és kezdetét vegye a modern kori drónhadviselés. Az amerikai haditengerészet, tengerészgyalogság és a hadsereg mintegy 40 db Pioneer légi járműve több mint 300 bevetést hajtott végre a Sivatagi Vihar hadművelet során. A haditengerészet az Iowa és a Wisconsin csatahajókról repült a drónokkal, három pilóta nélküli légi járművel felszerelt százada pedig a tengerészgyalogság tüzér csapatai számára segédkeztek tűzhelyesbítési és célazonosítási feladatokban.



1. ábra
Pioneer RQ-2A [7]

A hadsereg is bevetett egy UAV-szakaszt, hogy a hadsereg tűzértségét segítse a tengerészgyalogság drónegységeihez hasonló módon. A Pioneerekhez tartozik egy népszerű történet, miszerint a Wisconsin csatahajó legénysége a 159-es számú Pioneert indította bevetésre, hogy a Missouri 41 cm-es ágyúinak csapása után harcikár-felmérést végezzen. Ahogy a kezelők alacsonyan repültek a Pioneerrel a Failaka-sziget fölött, számos iraki harcos arra gondolt, hogy a csatahajó valószínűleg újabb sortűzre készül. Amikor az UAV elhaladt közvetlen felettük,

ennek a látványnak a hatására elkezdtek fehér zászlókat lengetni, hogy megadják magukat. Ez az esemény volt az első alkalom a történelemben, hogy emberek megadták magukat egy drónnak harc közben. Amikor a haditengerészet tisztviselői felajánlották, hogy átadják egy Pioneer-t a Smithsonian Intézetnek, a Nemzeti Légi- és Űrmúzeum kurátorai kifejezetten azt az UAV-t kérték, amelynek az öbölháború idején az iraki csapatok megadták magukat. Összesen 12 Pioneer veszett oda akkor, egyet lőttek le, a többi mind műszaki okból kényszerült földre. Összesen 313 bevetésen vettek részt, és 993 repült órát regisztráltak [27].

2.2. A délszláv háború

Az egykori Jugoszlávia szocialista állam volt, amely a II. világháborút lezáró békeszerződés után jött létre. A hat köztársaságból álló föderációban szerbek, horvátok, boszniai muszlimok, albánok, szlovének, magyarok és mások éltek egy viszonylag laza kommunista rendszerben. Az e csoportok közötti feszültségeket Tito elnök vezetésével sikeresen elfojtották. Tito 1980-ban bekövetkezett halála után az etnikumok újra egymásnak feszültek. A nacionalista csoportok Jugoszlávián belüli nagyobb autonómia iránti követelése 1991-ben Horvátország és Szlovénia függetlenségi nyilatkozataikhoz vezettek. A szerb dominanciájú jugoszláv hadsereg előbb Szlovéniát, majd Horvátországot támadta meg. Ez utóbbi konfliktusban, amely 1992-ben az ENSZ által felügyelt tűzszünet keretében szünetelt, több ezren veszítették életüket. A jugoszláv hadsereg Horvátországból kivont és boszniai szerb hadsereggé átnevezett egységei hatalmas területet vettek el a szerbek által uralt területekből. Az etnikai tisztogatás során több mint egymillió boszniai muszlimot és horvátot űztek el otthonaikból. A szerbek is sokat szenvedtek a háborúban. A fővárosukat, Szarajevót földről és levegőből egyaránt ostromolták. Az ENSZ békefenntartói, akiket a harcok megfékezésére vezényeltek a területre, hatástalannak bizonyultak. A háború megállítására irányuló nemzetközi próbálkozások kudarcot vallottak, és több mint 100 000 ember halt meg. A háború 1995-ben ért véget, miután a NATO szinte porig bombázta a boszniai szerbeket, a szárazföldön pedig a muszlim és horvát csapatok arattak győzelmet. Az Amerikai Egyesült Államok közvetítésével létrejött a béke, ezáltal Bosznia két autonóm részre szakadt, egy Boszniai Szerb Köztársaságra és egy muszlim–horvát föderációra. 1995 augusztusában a horvát hadsereg megrohamozta a szerb ellenőrzés alatt álló horvátországi területeket, ami ezeket kényszerítette menekülésre. Horvátország és Bosznia hamarosan teljesen függetlenné vált Jugoszláviától. Szlovénia és Macedónia ez időben már nem is volt tagja, majd ezt követően Montenegró lépett ki. 1999-ben a koszovói albánok újabb brutális háborúban harcoltak a szerbek ellen a függetlenség kivívásáért. Szerbia a konfliktus végén vereséget szenvedett [11].

A délszláv konfliktus felderítő műveleteit már jelentős mértékben támogatták a pilóta nélküli légi járművek, viszont a technikai fejlettség még mindig „csak” felderítő küldetések végrehajtásának szintjén volt. Ezekben az években még nem állt rendelkezésre olyan UAV, amelynek a rendszereibe lehetett volna fegyverzetet integrálni. Amint azt a korábbi fejezetekben írtuk, az öbölháborúban is jól bevált Pioneer RQ-2A-t alkalmazták eleinte itt is, de ekkorra megjelent a fegyverpiacon két új típus. A Pioneer feladata az volt Jugoszlávia felett, hogy a Lockheed P-3 Orion repülőgépekről indított rakétáknak derítsék fel a földi célokat. A siker ellenére az 1990-es évek végére tisztán körvonalazódott, hogy ez a lassú és alacsony

repülő UAV egyre kiszolgáltatottabbá és sebezhetőbbé vált a légvédelmi tüzéséggel szemben, különösen a Koszovó fölötti légtérben repülve, ezért szükség volt egy új típus bevetésére [27].

Az új típus pedig nem volt más, mint a 2. ábrán bemutatott RQ-1 Predator.⁴ Az amerikai légierő 11. légi felderítő parancsnokságának Predator-századát 1995 nyaratól a Jugoszlávia területén zajló háború idején vetették be. A következő évben a Kongresszus drasztikusan megemelte a Predatorok beszerzésének költségvetését, 50 millió dollárról 115,8 millió dollárra, mivel a felhasználási tapasztalatok nagyon jó eredményeket mutattak, amiből kirajzolódott, hogy a 21. század modern hadviselésében jelentős szerepet fognak betölteni a drónok. Akkoriban áttörésnek számított már az is, hogy valós idejű felderítést tudtak végrehajtani, ami azt jelenti, hogy az optikai rendszerek által rögzített képet és mozgóképet azonnal továbbították az operátorok felé egy olyan repülőről, amelynek a fedélzetén nem tartózkodott hajózó. A Predatorok használatának első évében számos sikeres bevetést hajtottak végre. Az RQ-1 első, fegyvertelen, hírszerző, megfigyelő és felderítő változata 1995 júliusában települt Albánia területére. Ugyanebben a hónapban a légierő létrehozta a fentebb már említett 11. Légi Felderítő Századot a nevadai Indian Springs Air Force Auxiliary Field-en, mint a légiharc-parancsnokság első Predator-egységét. A 11. Légi Felderítő Század 1996 őszére átköltözött országunk taszári bázisára, és innen végezték az RQ-1-esek üzemeltetési feladatait és irányításukat.



2. ábra
RQ-1 Predator [5]

1996 végére az amerikai UAV-k több mint 1575 küldetést hajtottak végre az ENSZ/NATO közös missziójának támogatására a volt Jugoszláviában. A Predator veszteségeinek nagy

⁴ Ragadozó.

részét az ellenséges légvédelmi csapatok tevékenysége okozta, a műszaki meghibásodások száma elenyésző volt [26], [29].

2.3. Az afganisztáni hadszíntér

Az USA afganisztáni háborúja egy 2001-ben kezdődő nemzetközi konfliktus eredménye, amelyet a World Trade Center elleni szeptember 11-i támadások váltottak ki. Vázlatosan nézve a konfliktus három fő szakaszból állt. Az első szakasz, a tálibok⁵ megbuktatása rövid volt, mindössze két hónapig tartott. A 2002-től 2008-ig tartó második szakaszt a tálibok katonai legyőzésére és az afgán állam alapvető intézményeinek újjáépítésére irányuló amerikai stratégia jellemezte. A harmadik szakasz, a klasszikus felkelésellenes doktrína felé fordulás 2008-ban kezdődött, és Barack Obama amerikai elnök 2009-es döntésével gyorsult fel, amikor az amerikai csapatok afganisztáni jelenlétének ideiglenes növeléséről döntött. A nagyobb erővel olyan stratégiát hajtottak végre, amely a lakosságot védte a tálib támadásoktól, és támogatta a felkelőknek az afgán társadalomba való visszailleszkedésére irányuló erőfeszítéseket. A stratégiát a külföldi erők Afganisztánból való kivonásának ütemtervével párosították; 2011-től kezdődően a biztonsági feladatokat fokozatosan adták át az afgán hadseregnek és rendőrségnek. Az új megközelítés nagyrészt nem érte el a kitűzött célokat. A lázadók támadásai és a civil áldozatok száma makacsul magas maradt, miközben a biztonsági feladatokat átvevő afgán katonai és rendőri egységek közül sokan nem tűntek felkészültnek a tálibok visszaszorítására, amikor az amerikai és a NATO harci misszió 2014 decemberében hivatalosan véget ért. A teljes kivonulás elhúzódott 2021 második feléig, amikor Biden elnök bejelentette, hogy az Egyesült Államok nem fogja tartani az amerikai-tálib megállapodásban meghatározott határidőt, miszerint május 1-jéig minden csapatot kivonnak, és ehelyett közzétette a teljes kivonás tervét 2021. szeptember 11-ig. „Itt az ideje, hogy véget vessünk Amerika leghosszabb háborújának” – mondta. Az Afganisztánban maradó 3500 katonát attól függetlenül kivonják, hogy történik-e előrelépés az országon belüli béketárgyalásokon, vagy a tálibok csökkentik-e az afgán biztonsági erők és a polgárok elleni támadásaikat. Az Afganisztánban lévő NATO-csapatok is távoznak. Biden szerint Washington továbbra is segíti az afgán biztonsági erőket és támogatja a békefolyamatot. A tálibok azt mondják, hogy addig nem vesznek részt „semilyen konferencián” Afganisztán jövőjéről, amíg az összes külföldi csapat el nem hagyja az országot. Minden szempontból az afganisztáni háború az USA leghosszabb ideig vívott harca a maga 20 évével [4], [37]. Afganisztán véres háborúi rengeteg áldozatot követeltek. A 2001 óta tartó időszakban több mint 6200 amerikai állampolgár, 66 000 afgán katona és rendőr, 1144 más nemzetiségű NATO-katona, 47 245 afgán civil, 51 191 tálib és más ellenséges katona, 444 egészségügyi személy és 72 tudósító vesztette életét [9].

A háború kitörése előtt pár hónappal sikeresen integrálták az AGM-114 típusú Hellfire rakétákat a Predator rendszerébe, ezzel megkapta az új típusnevét, amely MQ-1 lett. Ez a típus volt az USA hadseregének egyik „repülő igáslova”. Az MQ-1 Predator egy felfegyverzett, többfeladatú, közepes magasságú, nagy hatótávolságú távirányítású repülőgép, amelyet elsősorban hírszerzési célokra, másodsorban pedig ellenerő pusztítására alkalmaznak. Tekintettel

⁵ Az ultrakonzervatív politikai és vallási frakció, amely Afganisztánt uralta és menedéket nyújtott az al-Káidának, a szeptember 11-i támadások elkövetőinek.

a jelentős repülési idejére, nagy hatótávolságú érzékelőire, több üzemmódú kommunikációs csatornáira és precíziós fegyvereire, egyedülálló képességet biztosít a nagy értékű, gyorsan változó és időérzékeny célok elleni csapásmérésre, koordinációra és felderítésre. A Predatorok képesek különböző küldetések és feladatok végrehajtására is: hírszerzés, megfigyelés, felderítés, közeli légi támogatás, harci keresés és mentés, precíziós csapásmérés, konvojbiztosítás, útvonalisztítás. A Predator egy távirányítású légi jármű-rendszer része. A rendszer négy teljesen felszerelt (felderítő berendezések, fegyverzet) légi járműből, földi irányítóállomásból, elsődleges műholdas kapcsolatból és tartalék felszerelésből, valamint a 24 órás bevetésekhez szükséges üzemeltetési és karbantartó személyzetből áll. A személyzetét a légi járművet irányító, a küldetést irányító, a szenzorokat és fegyvereket kezelő, valamint szükség esetén a küldetés koordinátoraként tevékenykedő pilóta alkotja. A személyzet a földi irányítóállomásról irányítja a légi járművet látótávolságon belüli adatkapcsolaton keresztül, vagy látótávolságon túli műveletek esetén műholdas adatkapcsolaton keresztül. A drón hordoz egy többspektrális célzóberendezést, amely infravörös érzékelőt, színes/monokróm nappali fényű TV-kamerát, képerősített TV-kamerát, lézeres célmegjelölőt és lézer távolságmérőt tartalmaz. Az egyes képalkotó érzékelők által közvetített mozgókép külön csatornán vagy összevontan is megtekinthető. A repülőgép két lézérirányítású levegő-föld rakétát, AGM-114 Hellfire-t alkalmaz, amelyek nagy pontosságú, alacsony járulékos károkat okozó, páncél- és személy elleni harci képességekkel rendelkeznek [23].

Annak ellenére, hogy a Predator milyen nagyszerű tulajdonságokkal rendelkezik, vannak helyzetek, amelyek egy kisebb méretű drónt követelnek meg, amelyet lehet akár a harcterről közvetlenül indítani és irányítani. Az ilyen típusú drónokra nagyon jó példa a 3. ábrán látható RQ-11 Raven, amely számos előnyös képességet biztosít a felhasználói számára. A kis méretű pilóta nélküli repülőgéprendszer erényei a valós idejű, naprakész, horizonton túli képi megjelenítés, a megfigyelt célpontról közvetlen hírszerzési, megfigyelési, felderítési és célinformációk biztosítása. Annak ellenére, hogy a csapatok már számos modern képalkotó, felderítő eszközzel vannak felszerelve, a Raven által biztosított élő, részletes, nappali és éjszakai lefedettség mégis egyedivé teszi a rendszert. Képes továbbá arra is, hogy az operátorok zavartalanul végezzenek hírszerzést, megfigyelést és felderítést a veszélyzónákról, ami biztosítja, hogy a műveleti egység sokkal jobban rejtőzködvé felügyeljen egy területet. A Ravent a kis méretéből adódóan a katonák magukkal tudják vinni a harcmezőre, és a terepen az ütközet alakulásának megfelelően lehet indítani, ha szükséges. A rendszer három légi járműből, két földi irányítóállomásból és támogató berendezésekből áll, amelyet két speciálisan kiképzett pilóta üzemeltet. A légi eszközt kézi vezérléssel vagy előre megtervezett útvonalon, autonóm módon is lehet irányítani. Hasznos teherként a repülőre rögzített elektrooptikai vagy infravörös megfigyelőrendszert képes magával vinni. A légi jármű kézi indítású, tömege kevesebb, mint 5 kg, élettartama pedig akár 90 perc is lehet [31].

A Raven percek alatt, kézzel indítható, mint egy modellrepülőgép. Önmagától képes landolni, nincs szüksége futóműre vagy előkészített leszállópályára. Mivel a felbocsátása és visszahívása ilyen módon történik, nincs szükség bonyolult támogató létesítményekre. Automatizált funkciói és GPS-technológiája egyszerűvé teszi a működtetését is, nem igényel speciálisan képzett kezelőket, vagy mélyreható repülési képzést [30].



3. ábra
RQ-11 Raven indítása [42]

A következő típus a 4. ábrán, indítás előtti munkálatok közben látható RQ-7 Shadow, amely az operátoroktól akár 125 km-re lévő célok felkutatására, felismerésére és azonosítására is képes. A rendszer nappal és éjszaka is felismeri a harcászati járműveket 2,5 km magasságból és 3,5 km-es ferde távolságból. A képi és telemetria adatokat közel valós időben továbbítja a földi irányítóállomásra, az összes forrást elemző rendszerhez és akár a tüzérség célzási és irányítási rendszeréhez. A Shadow-t aktívan alkalmazták Afganisztánban és Irakban, valamint kiképzési célokra az Amerikai Egyesült Államokban is. Az egyetlen olyan méretű pilóta nélküli repülőgéprendszer lett, amely 2016 júniusában átlépte az egymillió teljes repült órát. A Shadow pilóta nélküli repülőgéprendszer-családot az AAI marylandi Hunt Valley-ben található létesítményeiben gyártják [15]. Az egymillió repült óra alatt jelentős mennyiségű tapasztalatot gyűjtöttek a drónnal kapcsolatban, ez idő alatt a megbízhatósági problémái révén 271 balesetet szenvedett, bár ezek közül csak egy volt A osztályú.⁶

Az A osztályú baleset 2011-ben történt Afganisztánban (ebben az országban szenvedte el a legtöbb balesetet), ahol egy a várakozó légtérben tartózkodó Shadow a levegőben összeütközött egy C-130-as szállítógéppel. Mindkettő megsérült. A hadsereg 2011-ben veszítette el a legtöbb Shadow drónt, összesen 69-et, bár a balesetek számát tekintve nem ez volt a legrosszabb év. Ekkor az évi összes repült óraszám (126 874 óra) alapján, 1839 óránként történt baleset, ellentétben a 2014. évi 42 balesettel, ami 55 537 levegőben töltött óra alatt következett be, így a baleseti ráta 1322 óránkénti balesetet mutat. A külső tényezőkre vagy pilótahibákra visszavezethető egyéb balesetek közé tartozik az irányítás elvesztése, a nagy szél és az üzemanyag kifogyása a várakozási légtérben. A hadsereg jelenleg a Shadow régebbi

⁶ Egy A osztályú baleset meghaladja az egymillió dollárt.

verzióit, a V1-est, egy újabb verzióra, a V2-esre cseréli, amely korszerűsített hajtóművel és hosszabb szárnyfesztávolsággal rendelkezik. A fejlesztések további három órával hosszabb repülési időt biztosítanak a repülőgépeknek. A V2-eseken emellett digitális berendezések vannak, ami lehetővé teszi a Tactical Common Data Link integrálását. A TCDL segítségével a Shadow kommunikálni tud és irányítható egy pilóta által irányított helikopterből, erre példa az AH-64, lehetővé téve, hogy a helikopter pilótája képes legyen irányítani a drónt, és ennek köszönhetően alacsonyabb észlelhetőség mellett felderíteni egy adott terepet, és csak a felderítés után berepülni oda csapásmérésre [18], [33].



4. ábra
RQ-7 Shadow [39]

2.4. Szíria

2011 márciusában a Bassár el-Aszad elnök vezette szíriai kormánynak példátlan kihívással kellett szembenéznie, amikor országszerte demokráciapárti tüntetések törtek ki. A tüntetők az Aszad-rezsim önkényuralmi gyakorlatának megszüntetését követelték, amely azóta van érvényben, hogy Aszad apja, Hafez al-Assad 1971-ben elnök lett. A szíriai kormány erőszakot alkalmazott a tüntetések elfojtására, bevetette a rendőrséget, valamint katonai és félkatonai erőket. Az ellenzéki milíciák megalakulása 2011-re datálható, majd ezt követően 2012-re a konfliktus teljes polgárháborúvá szélesedett. 2011 januárjában Bassár el-Aszad szíriai elnököt a *The Wall Street Journal*nak adott interjújában arról kérdezték, számít-e arra, hogy az arab világot akkoriban végigsöprő népi tiltakozási hullám – amely Tunéziában és Egyiptomban már megdöntötte az önkényuralmi uralkodók hatalmát – elérje Szíriát is. Aszad elismerte, hogy

sok szíriai számára gazdasági nehézségek merültek fel, és hogy a politikai reformok felé való haladás lassú és megállíthatatlan volt, de bízott abban, hogy Szíria megmenekül, mert kormányának az Amerikai Egyesült Államokkal és Izraellel szembeni ellenállási álláspontja összhangban van a szíriai nép meggyőződésével, míg a már megbukott vezetők népük érzéseivel szembeszegülve Nyugat-barát külpolitikát folytattak. A környezeti válság is szerepet játszott a szíriai felkelésben. Szíriában 2006 és 2010 között az ország modern kori történelmének legsúlyosabb aszályát élték át. Több százezer földműves család jutott nyomorba, ami a vidéki emberek tömeges elvándorlását okozta a városi nyomornegyedekbe. Újabb felhívások hangzottak el nemzetközi katonai fellépésre, miután 2013. augusztus 21-én Damaszkusz külvárosában feltételezett vegyifegyvertámadás több száz ember halálát okozta. A szíriai ellenzék azzal vádolta az Aszad-barát erőket, hogy ők hajtották végre a támadásokat. Szíriai tisztviselők tagadták, hogy vegyi fegyvereket használtak volna, és azt állították, hogy ha ilyen fegyvereket használtak, akkor a lázadó erők a felelősek. Miközben az ENSZ fegyverellenőrei bizonyítékokat gyűjtöttek az állítólagos vegyi támadások helyszínein, az Egyesült Államok, Nagy-Britannia és Franciaország vezetői elítélték a vegyi fegyverek használatát, és közölték, hogy megtorló csapásokat fontolgatnak az Aszad-rezim ellen. Oroszország, Kína és Irán a katonai fellépés ellen emelt szót, Aszad pedig megesküdtött, hogy harcolni fog az általa nyugati agresszióknak nevezett erőszak ellen. Az Egyesült Államok többször is kinyilvánította, hogy ellenzi az Oroszország által támogatott Aszad-kormányt, de nem avatkozott be ilyen mélyen. Barack Obama korábbi amerikai elnök arra figyelmeztetett, hogy a vegyi fegyverek szíriai használata olyan „vörös vonalat” jelent, amely katonai beavatkozást von maga után. 2017 áprilisában az USA végrehajtotta első közvetlen katonai akcióját Aszad erői ellen, 59 Tomahawk cirkálórakétát indítva egy szíriai légi támaszpontra, ahonnan amerikai tisztviselők szerint vegyi támadást indítottak. Egy évvel később, április 14-én az orosz figyelmeztetések ellenére az Egyesült Államok Franciaországgal és az Egyesült Királysággal együtt támadást indított „vegyi fegyverek lelőhelyei” ellen. 2013-ban a CIA titkos programot indított az Aszaddal szemben álló lázadó csoportok felfegyverzésére, finanszírozására és kiképzésére, de a programot később leállították, miután kiderült, hogy a CIA 500 millió dollárt költött, de csak 60 harcost képzett ki. Oroszország 2015 szeptemberében bombázó hadjáratot indított az általa „terrorista csoportoknak” nevezett szíriai csoportok ellen, amelyek között az Iszlám Állam, valamint az USA által támogatott Aszad-ellenes lázadó csoportok is szerepeltek. Oroszország katonai tanácsadókat is telepített Aszad védelmének megerősítésére. Az ENSZ Biztonsági Tanácsában Oroszország és Kína többször megvétózta a nyugati támogatású, Szíriáról szóló határozatokat. Napjainkban Szíria területén az orosz csapatokon kívül más nemzetiségű katonák hivatalosan nem tartózkodnak [34], [35]. Az oroszok álláspontja Szíriával kapcsolatban: harc a nemzetközi terrorizmus ellen.

Az orosz drónprogram az utóbbi években lendült fel, ennek ellenére már több ígéretes típust is bemutatott. 2016 tavaszán Oroszország 30 UAV-komplexumot telepített Szíriába. 2016 decemberében arról számoltak be, hogy további három komplexumot vittek Szíriába a kormány és a lázadók között létrejött tűzszünet betartásának ellenőrzése céljából. A Szíriában telepített orosz drónflotta a hadsereg dandár- és hadosztályszintű egységeinek UAV-rendszereit tartalmazta. Emellett Oroszország több Orlan-10 és Forpost drónt is telepített (ez utóbbi az izraeli IAI által kifejlesztett Searcher Mk II drón orosz

változata), amelyeket a haditengerészet 2013-ban létrehozott egységei üzemeltetnek. A haditengerészet bevonása könnyen magyarázható azzal, hogy az orosz erők akkoriban 6–10 Forpost-komplexumot üzemeltettek, és a Forpost az egyetlen olyan orosz drón, amely megközelíti a MALE (*Medium-Altitude Long-Endurance*), azaz közepes magasságú, hosszú élettartamú UAV-k osztályának képességeit. Az összes többi orosz drón felszállótömege nem haladja meg a 30 kg-ot, és a hasznos teher tekintetében messze elmarad a Forposttól. A szíriai orosz erők parancsnokságának sikerült megfelelő koordinációt biztosítani a hadsereg és a haditengerészet által üzemeltetett drónok használata között. A haditengerészeti drónokat például az orosz légierő, valamint az orosz és a szövetséges szárazföldi erők szíriai műveleteinek támogatására is alkalmazták.

A Forpost mellett az Orlan-10 az az orosz UAV-típus, amely a legtöbb akciót „látta” Szíriában. Ez a következtetés a rendelkezésre álló szíriai fénykép- és videofelvételeken, az orosz védelmi minisztérium által közzétett UAV-kamerákról készült videókon, valamint a szíriai orosz veszteségekről szóló jelentéseken alapul. Az Orlan-10 széles körű használata nem meglepő, mivel a teljes orosz UAV-flotta mintegy harmadát teszi ki. A drón hajtóműve egy belső égésű motor, amely benzinnel működik. Egy egyszerű összecsatolható katapult segítségével száll fel, és ejtőernyő segítségével landol, így nincs szüksége leszállópályára, és nagyjából bárholnan működtethető. Szétszerelve és szállításhoz becsomagolva az egész drón, a kezelőszeméllyel együtt egyetlen autóban is elfér. Ennek eredményeképpen az Orlan-10 megfizethető és gazdaságosan üzemeltethető. Egy készlet, amely két drónt, a földi irányítóállomást, a hasznos terhet, a különböző tartozékokat és a hordozó könnyű járművet tartalmazza, az orosz védelmi minisztériumnak 35 millió rubelbe kerül, így az orosz erők számára nagy számban és viszonylag gyorsan beszerezték és szállították. A számos, több mint 100 km-es hatótávolságú drón rendelkezésre állása lehetővé tette a szíriai orosz erők számára, hogy az ország minden olyan részén bevethessék őket, ahol a kormány az Iszlám Állam és más lázadók ellen harcol. Az orosz drónok elsődleges szerepe Szíriában a légi csapások céljainak felderítése, a csapások eredményeinek értékelése, valamint a szíriai tüzérség légi megfigyelőiként való szolgálata. Valójában a tüzérségi megfigyelés az egyik fő szerepkör, amelyben a drónokat az orosz fegyveres erőknél használják. További feladatai közé tartozott a humanitárius konvojok és a kutató-mentő műveletek támogatására szolgáló légi felvételek gyűjtése és a terep 3D-s feltérképezése. Amikor például a török vadászgép által lelőtt orosz Szu-24M2 bombázó roncsai a török határhoz közeli hegyvidéki területen a földre zuhantak, a személyzet túlélő tagját egy Orlan-10 drón segítségével találták meg rövid időn belül, így lehetővé vált a lázadók által ellenőrzött területről való kiemelése. A Szíriában bevetett orosz drónokat eredetileg a Latakia tartománybeli Khmeimim légi bázison állomásoztatták. Ahogy az orosz szerepvállalás mértéke növekedett, néhányat közülük az ország más bázisaira helyezték át. Egy másik, drónokat működtető orosz egység a Palmúra melletti légi bázison állomásozott. A drónok frontvonalhoz közeli telepítése lehetővé tette az orosz erők számára, hogy lerövidítsék a bevetések előkészítési fázisait, és növeljék a drónok célterület felett töltött idejét.

Összességében sikeresnek ítélték az orosz felderítő drónok szíriai bevetését. Mindazonáltal a hadjárat rávilágított egy kritikus hibára: az orosz erők nem rendelkeznek támadó drónokkal, ellentétben nemcsak az Egyesült Államok vezette koalícióval, hanem az izraeliekkel, az irániakkal és a törökökkel is, akiknek mind vannak közepes kategóriájú

támadó drónjai a szíriai hadszíntéren. Még az ISIS⁷ terroristái is összedobálták a polcról beszerezhető alkatrészekből a bombázóként használt ultrakönnyű támadó drónokat [8].

2.5. Hegyi-Karabah

A konfliktus gyökerei a 20. század elejére nyúlnak vissza, bár a jelenlegi konfliktus 1988-ban kezdődött, amikor a karabahi örmények azt követelték, hogy Karabahot adják át a szovjet Azerbajdzsán fennhatósága alól Szovjet-Örményországnak. A konfliktus az 1990-es évek elején teljes körű háborúvá fajult, amely 1994-ben tűzszüneti megállapodással ért véget, de a konfliktus soha nem oldódott meg. Az Azerbajdzsán és Örményország közötti területi vita véres fellángolása azzal a kockázattal jár, hogy regionális háborúvá fajulhat. A folyamatban lévő harcok 2020. szeptember 27-én bontakoztak ki. A térségben történt határ menti összecsapások voltak a legsúlyosabbak a két ország történelmében. A felek Hegyi-Karabahért harcolnak, amely egy Azerbajdzsánon belül fekvő hegyvidéki régió és annak néhány közeli területe. Baku szuverenitást követel a szovjet időkben meghatározott határok alapján, és azt állította, hogy ezeket a területeket megszállta Örményország. Ennek a konfliktusnak minden körülménye többnyire ugyanaz, mint korábban volt, de egy óriási különbség mégiscsak van. Az azeri erőket Törökország nagymértékben támogatja modern katonai eszközökkel, felszerelésekkel, köztük a legújabb török fejlesztésű fegyveres drónokkal. A másik oldalon pedig az örmény csapatok a volt szovjet időszak katonai eszközeivel vannak felszerelve. Például a régi szovjet légvédelmi ágyúknak nincs esélyük a török drónok ellen, mivel elavultak, nem képesek bemérni és elpusztítani azokat.



5. ábra
Egy örmény harckocsi egy azeri drón optikáján keresztül [6]

Mostanáig úgy tűnik, hogy a feszültségek csökkentek az orosz békefenntartók jelenléte miatt, akik 2020. november 11-én érkeztek oda egy békeszerződést követően, amelyet 2020. november

⁷ Islamic State of Iraq and Syria.

9-én írtak alá. Az ellenségeskedések során a drónok mindkét oldalon kulcsszerepet játszottak a csapásmérő, a hírszerzés, megfigyelés és felderítés és a tűzvezető platformok szerepében. A konfliktus eszkalálódásával az interneten dróncsapásokról készült videók jelentek meg, amelyeken mindkét fél tankjaira, beasott állásaira és katonáira mértek csapásokat. A veszteségekre vonatkozó becsléseket nehéz megerősíteni Örményország és Azerbajdzsán részéről, mert egyaránt elrugaszkodott eredményeket tettek közzé. A pontosabb becslések szerint az örmény veszteség meghaladja a 185 harckocsit, az azeri oldalon pedig több mint 30 db, és a veszteségek jelentős részét mindkét oldalon drónok okozták, ahogyan az az 5. ábrán is látható.

2.6. Ukrajna

A konfliktus gyökere mélyre nyúlik a történelem talajába. A Szovjetunió 1991-es összeomlása után az utódállamok kapcsolatai nem voltak a legbékésebbek. Feszültségekkel teli és nyílt ellenségeskedés időszakát élték át. Az 1990-es évek elején Ukrajna politikáját a szuverenitásának és függetlenségének biztosítására irányuló törekvések vezették, majd az Európai Unióval, Oroszországgal és más gazdaságilag, politikailag erős államokkal való együttműködést kiegyensúlyozó külpolitika következett. A két ország közötti kapcsolat ellenségesé vált a 2014-es ukrán forradalom után, amelyet a Krím Oroszországhoz való csatolása követett. A Donyecki Népköztársaság és a Luganszki Népköztársaság felállítása és azok szakadár harcosainak Oroszország általi támogatása tovább súlyosbította az amúgy sem békés helyzetet. A helyi konfliktusok 2020 elejéig több mint 13 000 ember halálát okozták, amelyek nyugati szankciókat vontak maguk után Oroszországgal szemben. Számos kétoldalú megállapodást felmondtak, és a gazdasági kapcsolataik egy részét megszakították Oroszországgal [43].



6. ábra

A katonák 2022. február 24-én az ukrán határon lévő Perekop ellenőrzőponthoz teherautón utaznak, amikor az orosz csapatok megindítják várható támadásukat Ukrajna ellen [32]

A 2021-es és 2022-es években, az ukrán határon zajló orosz haderő összevonása fokozta a feszültséget a két ország között, és feszültebbé tette a kétoldalú kapcsolatokat. 2021-ben Ukrajna megszakította a diplomáciai kapcsolatokat Moszkvával, reagálva Oroszországgal

erőszakos tetteire. Ukrajna különböző pontjairól orosz személyiségek nevét viselő utcákat és az orosz–ukrán barátságot szimbolizáló emlékműveket távolítottak el [12].

A 2022. február 24-e óta tartó háborúban (6. ábra) tisztán kirajzolódni látszik, hogy a katonai drónok használata döntő lehet a harcok végkimenetelét tekintve. Számos híradás számol be arról, hogy a szemben álló felek pilóta nélküli eszközei milyen sikeres csapásokat hajtanak végre az ellenség élőereje, haditechnikai eszközei és objektumai ellen. Ukrajna számára a NATO elég sokrétű UAV-rendszert biztosít, mint például a 7. ábrán látható Bayraktar TB-2 és Switchblade 300 típusok. A Switchblade 300 részéről azért is érdekes a történet, mert most vetették be először éles körülmények között, nem amerikai kezelők által [36].



7. ábra

A török Baykar Makina cég Bayraktar TB2 pilóta nélküli légi jármű adománya Ukrajnának [24]

Oroszország is növeli a pilóta nélküli eszközök bevetéseinek számát. Saját fejlesztésű drónjaik ugyanúgy képesek csapásmérésre, mint a nyugati típusok, viszont a jelenleg fellelhető információk alapján inkább a célfelderítésre és tűzpontosításra alkalmazzák őket. Felvételeket lehet látni többek között a Kalasnyikov Konzern által gyártott „öngyilkos drónokról”, az Orionokról, és az Orlan-10-ről is.

3. Harci bevetés a távoli messzeségben, de a mentális állapot feldolgozása a családra marad

Annak ellenére, hogy az UAV-operátorok nincsenek közvetlen harci érintkezésben (ahogyan az a 8. ábrán is látható) az ellenséggel, a tetteik következményét élőben, akár „jobb minőségben” is láthatják, mintha valóságban ott lennének. A harcok következményein, az élet eltűnésén, az anyagi javak enyészetté válásán és a rakéták pusztításain túl teljesen más, brutális erőszakot is láthat a kezelőszemélyzet.



8. ábra
Egy MQ-9 drón pilótafülkéje [1]

Az amerikai légierő egyik felmérése szerint az ilyen jellegű munkát végzők közül majdnem minden ötödik volt szemtanúja például nemi erőszaknak, egyesek közülük több mint 100 nemi erőszaknak vagy kínzásnak egy éves ciklusban. Ezek az operátorok nem tudnak csak úgy félrenézni, elfordítani a tekintetüket az erőszak láttán, hiszen a munkájuk miatt nem is szabad. Ők támogatják és segítik az amerikai szárazföldi csapatok és szövetségeik védelmét a levegőből azáltal, hogy figyelik a fenyegetéseket és irányítják a repülő drónokat. A távoli hadviselés azért is egyedülálló, mert az operátoroknak hosszú műszakokat kell végigülniük, gyakran éjszakánként, majd miután vége, gyorsan át kell váltaniuk a munka és a hétköznapi élet között. Ez, lássuk be, nem egyszerű. Sok esetben olyan lehet, mintha a missziós katona minden egyes bevetés után hazatérne a családjához, majd vissza a terepre. Ahogy teltek az évek, tisztán kirajzolódott, hogy a drónpilóták kiegészi aránya valójában magasabb, mint a hagyományos pilótáké. Egy korai elképzelés szerint ezek a pilóták valamilyen poszttraumás stresszbetegségben szenvednek. Ahogy azonban egyre több pilóta szenvedett ettől, a szakemberek kissé megváltoztatták az álláspontjukat. A PTSD⁸ helyett azt állították, hogy ezek a pilóták az úgynevezett „mesterlövész szindrómában”⁹ szenvednek. A mesterlövész szindróma esetén a katona érzelmileg szenved

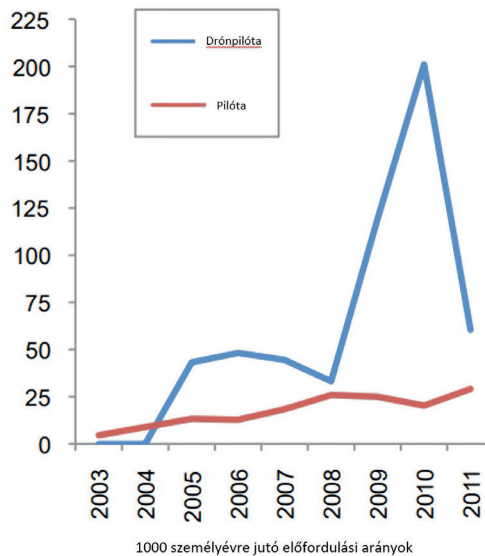
⁸ *Post-traumatic stress disorder* – poszttraumás stressz-zavar, vagy poszttraumatikus stressz-szindróma egyfajta védekezési mechanizmus, amely traumatikus események után lép fel.

⁹ Mentális betegség, szorongásos zavarral járó lelki szindróma.

attól, hogy embereket öl nagy távolságból, és ennek kimenetelét a fegyverének optikáján keresztül végig is kíséri. Mivel a célpont gyakran nem jelentett közvetlen veszélyt a mesterlövészre, erkölcsi disszonanciát jelentett, hogy kioltja valaki életét, aki rá, az életére nem is jelent közvetlen veszélyt. Ebből az aspektusból vizsgálva nyilvánvaló párhuzamot lehet húzni a drónpilóta és a mesterlövész munkája között. Ahogy egyre több kutatást végeztek a drónkezelők bevetéseivel kapcsolatban, két egymást kiegészítő ok-okozati összefüggésre is rájöttek.

Először is annak ellenére, hogy a pilóta jellemzően fizikailag távol van a harctól, néha ez teljesen más kontinenst jelent, információszempontból azonban a lehető legközelebb van a célpontokhoz. A pilóta napokig vagy hetekig megfigyelés alatt tarthatja a kijelölt célterületet, célszemélyt vagy célt, mielőtt elindítja a támadást. Ez idő alatt a koordinátákkal, technikai paraméterekkel meghatározott cél „élővé kezd válni”, emberi jellemzők párosulnak a kamera túloldalán megfigyelt egyénhez, személyiséggé formálódik, ismerőssé válik. Látják a céljukat étkezni és a családjával, barátaival együtt lenni. Miután végrehajtották a támadást, a drónpilótától gyakran elvárják, hogy elvégezze a harci kárfelmérést, hogy megbizonyosodjon a cél likvidálásáról. Ráadásul az ilyen kárfelmérő események nagyon fontos információkat szolgáltathatnak a célról – például ki megy a holttesthez, ki gondoskodik a temetéséről, hogyan reagálnak a családtagok? Ha mindezt összekapcsoljuk azzal a ténnyel, amelyet a drón pilótája a hosszú távú megfigyelés során kialakíthatott, akkor a cél információban gazdag emberré válik, nem pedig pusztán jelenséggé a képernyőn. A leírtak alapján megállapítható, hogy a drónpilóta információszempontból sokkal közelebb áll a célhoz, miközben jelentős erkölcsi disszonanciát tapasztalhat – ellentétben egy „hagyományos” pilótával szemben. Az erkölcsi zavar abból adódhat, hogy az operátor a szolgálatának ideje alatt az „élet-halál” jogával rendelkezik, ő dönti el, hogy lecsapjon-e, vagy sem, majd a „műszak” után visszatér a civil életébe, ahol az előbb felsorolt tényezők már tiltottak, és ezt nehezen, vagy egyáltalán nem tudja megfelelő módon kezelni. Ez létrehozta azt az állapotot, amelyet most „erkölcsi sérülésnek” neveznek, amely pszichológiai deviáns állapot, pszichológiai probléma. A hagyományos PTSD-től eltérően a drónok szenzorai által alkotott adatok, tények, képi megjelenő tartalmak információban gazdag, de földrajzilag távoli jellege olyan helyzetet teremt, amelyben a harctér és a normalitás közötti morális disszonancia jelentős pszichológiai és érzelmi ártalmakat okozhat az UAV-pilóták számára. Fontos felismerni, hogy az ilyen erkölcsi sérülés nem függ attól, hogy a pilóta ténylegesen elkövet-e valami erkölcsileg tiltott dolgot.

A katonai etika egyik történelmi hagyománya egészen az ókori Hellászig nyúlik vissza: a katonák vagy parancsnoki beosztásban lévő személyek bizonyos erőszakos cselekedeteit megengedhetőnek tekintették. Ha például egy katonának halálos erőszakot kell alkalmaznia, hogy megvédjen egy ártatlan családot a család tagjainak életét fenyegető ellenséges katonától, a katona tetteit e „szabályok” alapján jogosnak tekintették. Ezzel párhuzamot állítva, ha egy drónhadjárat felhatalmazással, alapos indokkal indított háború része, valamint a felvonultatott erő alkalmazása szükséges és arányos az ellenség által jelentett fenyegetéssel, az UAV-pilóta cselekedetei potenciálisan indokoltnak tekinthetők [3], [25].



9. ábra

Nem korrigált előfordulási arányok, a lelki/mentális eredményeinek aránya pilótatípusonként, U.S. Air Force, 2003. október 1. – 2011. december 31. (Major Gábor [17] alapján)

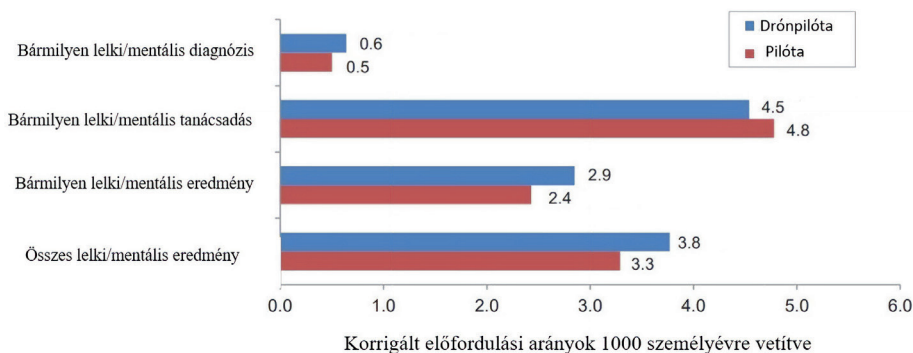
Az Egyesült Államok légierijének repülőorvosi iskolája számos tanulmányt végzett [17] az amerikai drónpilóták mentális egészségéről. A 9. ábra megmutatja az összefüggést a felfegyverzett drónok bevetésének száma és az operátorok mentális állapota között. A 2001. szeptemberi amerikai eseményeket követően megfigyelhető a markánsan megnövekedett bevetésszám következményeként a drónfegyverzet-kezelők között addig nem látott számban fordultak elő mentális zavarok, míg a pilótás repülőgépek bevetéseinél nem volt ilyen szembetűnő az összefüggés. A hivatkozott tanulmány ebből a felismerésből kiindulva vizsgálta és értékelte az érzelmi kimerültséget, a cinizmust és a szakmai hatékonyságot, névtelenül, három csoportra osztva, de már csak a pilóta nélküli légi járművek pilótái között: felfegyverzett UAV-operátorok, a fegyvertelen felderítődrón-operátorok és a nem harcoló pilóták. Megállapították, hogy a fegyvertelen felderítő-UAV-operátorok csoportjában magasabb volt a foglalkozásból adódó stressz aránya, valamint magasabb volt a magas érzelmi kimerültség és a cinizmus aránya, ami vélhetően a hosszú munkaidőnek, a többműszakos munkarendnek, az extra/adminisztratív feladatoknak, a szakmai előmenetel késedelmének volt köszönhető. A megkérdezettek 11%-a számolt be magas szintű pszichológiai distresszről, és kevesebb mint 2%-uk esetében az eredmények összhangban voltak a PTSD diagnózisával.

Egy későbbi tanulmány összehasonlította ugyanennek a csoportnak a klinikai distressz¹⁰ és a poszttraumás stressz-zavar arányát egy anonim, standardizált önbevallásos kérdőív segítségével a fegyveres UAV-operátorokkal és a nem harcoló operátorokkal. Megállapították, hogy a klinikai distressz és a PTSD aránya magasabb volt a fegyveres UAV-kezelők körében (20% és 5%),

¹⁰ Káros stressz, teljes mértékben egészségtelen.

mint a nem harcolóknál (11% és 2%). Bár a PTSD ezen aránya más amerikai tanulmányokhoz képest alacsony volt, úgy tűnik, hogy az UAV-kezelők körében a klinikai distressz megemelkedett szintje aggodalmat keltett a kritikus képesség fenntartásáért aggódó parancsnokokban.

Ennek eredményeképpen az amerikai légierő magas szintű biztonsági engedélyekkel rendelkező klinikai pszichológusokat vezényelt az aktív szolgálatot teljesítő drónegységekhez, hogy javítsák a mentális egészségügyi ellátáshoz való hozzáférést, és megpróbálják csökkenteni a potenciálisan traumatikus események hatásait.



10. ábra

Korrigált előfordulási arányok, a lelki/mentális eredmények aránya pilótatípusonként, U.S. Air Force, 2003. október 1. – 2011. december 31. (Major Gábor [17] alapján)

További tanulmányok visszamenőlegesen vizsgálták az amerikai légierő drónpilótáinak és a pilótáknak a mentális egészségi állapotát 2003 és 2011 között az elektronikus egészségügyi nyilvántartásokon keresztül, aminek egyszerűsített eredménye a 10. ábrán látható. Megállapították, hogy a drónpilóták 8,2%-ának és a pilóták 6%-ának volt nyilvántartott mentális egészségügyi betegsége, amely diagnosztizált mentális zavarokból és mentális egészségügyi problémákból állt, mint például párkapcsolati problémák vagy családi körülményekkel kapcsolatos problémák, amelyek csak tanácsadást igényeltek. Az alkalmazkodási zavar és a depressziós zavar volt a két leggyakoribb diagnózis mindkét csoportban. A PTSD előfordulási aránya 1000 főre vetítve 0,9 volt a drónpilóták esetében, míg a pilóták esetében 0,7. Az adatok feldolgozása után állapították meg azt, hogy mindkét csoportban statisztikailag egyenértékű volt a mentális egészségi kimenetelű kórképek aránya annak ellenére, hogy a drónpilóták önbevallásuk szerint magas stressz- és fáradtságszintről számoltak be. Emellett a két pilótacsoportban a mentális egészségügyi állapot bármely kimenetelének előfordulása alacsonyabb volt, mint a különböző foglalkoztatási csoportokhoz tartozó egyéb légierős tagoké.

Ahhoz, hogy megfelelő egészségügyi támogatást lehessen nyújtani a drónoperátoroknak, pontos mentális követelményeket lehessen megfogalmazni ehhez a szakmához, meg kell ismerni a drónműveletek minden egyes jellemzőjét. A drónüzemeltetők vegyenek részt megfelelően célzott pszichológiai oktatásban és felkészítésben, amely szorosan kapcsolódik a betöltött beosztásukhoz. Hosszú távon nyomon kell követni őket a foglalkozásukból eredő

„harci” stressz mérése és tanulmányozása, illetve azok hatásainak megfigyelése érdekében. Ez magában foglalhatná egy olyan, akár a bevetés közepén végzett szűrési tevékenység végzését, amely a végzett beosztás pszichológiai kockázati profiljára van szabva. Végül pedig lehetőséget kell biztosítani számukra, hogy részt vehessenek egy személyre szabott és szabványosított stresszlevezető és reintegrációs szakaszban, miután „visszatértek a műveleti környezetből”. Igaz, ezeknek az intézkedéseknek a bevezetéséhez jelentős érdekérvényesítésre és erőforrásokra van szükség. Ez a felülvizsgálat egy lépés annak az irányába, hogy megteremthető legyen a megfelelő toborzási, kiválasztási, képzési és támogatási rendszer, amelynek következtében a drónpilóták képesek lesznek megfelelni a modern drónhadviselés kezelőivel szemben támasztott mentális egészségügyi elvárásoknak [17], [38].

4. Konklúzió

Miután a pilóta nélküli légi járművek megjelenését követően mind szélesebb körben történt a hasznosításuk, törvényszerűnek mondható, hogy olyan helyen, olyan munkakörben is megjelennek ezek a légi eszközök, ahol a szerepük a fegyveres harc. Ezt a pusztítást egy távoli helyről, zárt, ingerszegény környezetből hajtja végre egy erre kiképzett személyzet, akik szakmai felkészítése minden vitán felülállóan, tökéletesen megtörtént. Vajon ugyanez mondható el a lelki/mentális felkészítésükről is? A publikációban leírtak alapján ebben a cikk írói nem tudtak egyértelmű állást foglalni. Egy katona, aki a haza védelmére esküszik fel, amelyet az élete árán is megvéd, felkészül, hogy szemtől szemben az ellenséggel megvívja a harcát, és megteszi, ami a kiképzésében szerepelt. A drónpilóták is ugyanezt teszik, csak a speciális környezetük miatt a félelemérzetük a fizikálisan veszélyes ellenség jelenlétének hiánya miatt elveszett, ezáltal a videójátékban megismert „game over” felirat nem jön törvényszerűen egy virtuális bevetést követően. Erről az érzésről számol be Brandon Bryant¹¹ is, aki azt mondta:

„Mi csak egy csomó kukkoló nebuló vagyunk, akik a technológiát használva pusztítást zúdítanak azokra az emberekre, akik a saját országukban élnek, és megpróbálják a lehető legjobban leélni az életüket [2].”

Felhasznált irodalom

- [1] Mock MQ-9 Cockpit Featured at 174th Fighter Wing Display at New York State Fair. *174th Fighter Wing*, 2012. augusztus 16. Online: <https://bit.ly/402ynth>
- [2] What It's Really Like to Live with Drone Warfare. *ABC News*, 2017. augusztus 22. Online: www.abc.net.au/news/2017-08-18/perspectives-from-the-front-line-of-the-drone-war/8793400?nw=0&r=HtmlFragment
- [3] A. Henschke, „Modern Soldiers Can Kill a Target on Computer, then Head Home for Dinner – And It's Giving Them 'Moral Injury'”. *ABC News*, 2019. szeptember 28. Online: www.abc.net.au/news/2019-09-29/unmanned-combat-drone-pilots-moral-injury-warfare-dissonance/11554058

¹¹ 2006 és 2011 között az Amerikai Egyesült Államok Légierijében drónkamera-kezelő volt. Feladata a célzott gyilkosságok voltak.

- [4] Afghanistan War. *History*, 2021. augusztus 20. Online: www.history.com/topics/21st-century/afghanistan-war
- [5] B. W. Everstine, Elegy for the Predator. *Air and Space Forces Magazine*, 2018. május 29. Online: www.airforcemag.com/article/elegy-for-the-predator/
- [6] N. Pritchard, How the Nagorno-Karabakh Conflict is Changing Drone Warfare (Part I). *alBawabaNews*, 2021. január 19. Online: www.alBawaba.com/news/part-1-drones-nagorno-karabakh-1405952
- [7] AAI RQ 2 Pioneer. *Alchetron*, 2022. április 9. Online: <https://alchetron.com/AAI-RQ-2-Pioneer>
- [8] A. Lavrov, Russian UAVs in Syria. Центр анализа стратегий и технологий, (é. n.). Online: <http://cast.ru/products/articles/russian-uavs-in-syria.html>
- [9] E. Nickmeyer, Costs of the Afghanistan War, in Lives and Dollars. *AP News*, 2021. augusztus 17. Online: <https://apnews.com/article/middle-east-business-afghanistan-43d8f53b35e80ec18c130cd683e1a38f>
- [10] Azerbaijan & Armenia at War: What You Need to Know about Bloody Conflict over Long-Disputed Region of Nagorno-Karabakh. Online: www.rt.com/russia/502016-nagorno-karabakh-conflict-explained/
- [11] Balkans War: A Brief Guide. *BBC News*, 2016. március 18. Online: www.bbc.com/news/world-europe-17632399
- [12] Ukraine War in Maps: Tracking the Russian Invasion. *BBC News*, 2022. november 14. Online: www.bbc.com/news/world-europe-60506682
- [13] D. Wallace, J. Costello, „Eye in the Sky: Understanding the Mental Health of Unmanned Aerial Vehicle Operators,” *Journal of Military and Veterans' Health*, Vol. 25. No. 3. pp. 36–41. 2021. Online: <https://jmvh.org/article/eye-in-the-sky-understanding-the-mental-health-of-unmanned-aerial-vehicle-operators/>
- [14] E. Davies, Airpower by Novel Means – Drones over Nagorno-Karabakh. *UK Defence Journal*, 2020. december 14. Online: <https://ukdefencejournal.org.uk/airpower-by-novel-means-drones-over-nagorno-karabakh/>
- [15] E. Wong, Overview: The Iraq War. *The New York Times Archive*, (é. n.). Online: https://archive.nytimes.com/www.nytimes.com/ref/timestopics/topics_iraq.html?scp=8&sq=the%252520awakening&st=cse
- [16] Gajdács L., Major G.: Katonai célú drónok fejlesztése a jelenkorban, a jövőt vizionálva. in *Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből III*. Földi László (szerk.), Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó, 2022. pp 101–120.
- [17] J. L. Otto, B. J. Webber, Mental Health Diagnoses and Counseling Among Pilots of Remotely Piloted Aircraft in the United States Air Force. *Medical Surveillance Monthly Report*, Vol. 20. No. 3. pp. 3–18. 2013. Online: https://nation.time.com/wp-content/uploads/sites/8/2013/04/pages-from-pages-from-msmr_mar_2013_external_causes_of_tbi.pdf
- [18] J. Judson, These Two Drones are Leaders in Accident Rates. How is the US Army Responding? *Defense News*, 2018. április 25. Online: <https://bit.ly/3kG2Ehg>
- [19] Kiss B., Major G., Palik M., „Migration From a Bird's Eye View,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 3. sz. pp. 189–202. 2017. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-15-0440_Kiss_Bela-Major_Gabor-Palik_Matyas.pdf
- [20] Major G., „A pilóta nélküli légijármű rendszerek nemzetbiztonsági célú felhasználásával kapcsolatos kutatások,” *Repüléstudományi Közlemények*, 27. évf. 1. sz. pp. 115–120. 2015. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_1/2015-1-10-0181-Major_Gabor.pdf

- [21] Major G., Ésszerű szabályozás vagy tiltás, avagy mit lehet kezdeni a drónokkal? *Repüléstudományi Közlemények*, 27. évf. 1. sz. pp. 168–169. 2015. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_1/2015-1-15-0218-Major_Gabor.pdf
- [22] Major G., Etikusa-e a drónok használata? *Honvédségi Szemle*, 144. évf. 2. sz. pp. 100–106. 2016. Online: <https://kiadvany.magyarhonvedseg.hu/index.php/honvszemle/article/view/799/789>
- [23] MQ-1B Predator. *Air Force*, (é. n.). Online: www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104469/mq-1b-predator/
- [24] Турецкие бизнесмены подарят Украине три беспилотника Bayraktar. *News.ru*, 2022. június 28. Online: <https://news.ru/world/tureckie-biznesmeny-podaryat-ukraine-tri-bespilotnika-bayraktar/>
- [25] S. McCammon, The Warfare May Be Remote But The Trauma Is Real. *NPR*, 2017. április 24. Online: www.npr.org/2017/04/24/525413427/for-drone-pilots-warfare-may-be-remote-but-the-trauma-is-real?t=1639522401495
- [26] Officially Confirmed/Documented NATO UAV Losses. *Web Archive*, 2001. június 1. Online: <https://web.archive.org/web/20010308225837/www.aeronautics.ru/official/lostuavs.htm>
- [27] National Air and Space Museum, *Pioneer RQ-2A UAV* (é. n.). Online: https://airandspace.si.edu/collection-objects/pioneer-rq-2a-uav/nasm_A20000794000
- [28] Remembering the Gulf War: Key Facts and Figures about the Conflict. *Forces*, 2021. február 28. Online: www.forces.net/news/remembering-gulf-war-key-facts-figures
- [29] *RQ-1 Predator/MQ-9 Reaper*. World Missiles & UAVs Briefing, Teal Group, (é. n.). Online: <http://tealgroup.com/images/TGCTOC/sample-wmuav2.pdf>
- [30] RQ-11 Raven UAV. *Army Technology*, 2021. július 22. Online: www.army-technology.com/projects/rq-11-raven/
- [31] RQ-11B Raven. *Air Force*, (é. n.). Online: www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104533/rq-11b-raven/
- [32] D. Zimmerman, Photos: Russia Launches Full-Scale Invasion of Ukraine. *SFGate*, 2022. február 24. Online: www.sfgate.com/world/article/Photos-of-Russian-invasion-of-Ukraine-16944082.php
- [33] Shadow 200 RQ-7 Tactical Unmanned Aircraft System. *Army Technology*, 2020. március 18. Online: www.army-technology.com/projects/shadow-200-uav/
- [34] Syria's War Explained from the Beginning. *Al Jazeera*, 2018. április 14. Online: www.aljazeera.com/news/2018/4/14/syrias-war-explained-from-the-beginning
- [35] Syrian Civil War. *Britannica*, (é. n.). Online: www.britannica.com/event/Syrian-Civil-War/Civil-war
- [36] D. Sabbagh, War-Enabling, not War-Winning!: How are Drones Affecting the Ukraine War? *The Guardian*, 2022. május 15. Online: www.theguardian.com/world/2022/may/15/war-enabling-not-war-winning-how-are-drones-affecting-the-ukraine-war
- [37] The U.S. War in Afghanistan. *Council on Foreign Relations*, (é. n.). Online: www.cfr.org/timeline/us-war-afghanistan
- [38] M. Thompson, Drone Pilots: No Worse Off Than Those Who Actually Fly. *Time USA*, 2013. április 2. Online: <https://nation.time.com/2013/04/02/drone-pilots-no-worse-off-than-those-who-actually-fly/>
- [39] U.S. Department of Defense, Shadow Study (é. n.). Online: www.defense.gov/Multimedia/Photos/igphoto/2002117593/

- [40] U.S. Military Casualties – Persian Gulf War Casualty Summary. Online: <https://dcas.dmdc.osd.mil/dcas/app/conflictCasualties/gulf/allsum>
- [41] Ujjady A., Major G., A civil drónszabályozáson innen, a katonain túl," *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 2. sz. 167–180. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.2.12>
- [42] RQ-11B Raven Small Unmanned Aircraft Systems (SUAS). *U.S. Army*, 2014. november 4. Online: www.army.mil/article/137604/rq_11b_raven_small_unmanned_aircraft_systems_suas
- [44] E. A. Wood, W. E. Pomeranz, E. W. Merry, M. Trudolyubov, *Roots of Russia's War in Ukraine*. New York, Columbia University Press, 2016. Online: <https://doi.org/10.7312/wood70453>

The Mental Transformation of Battle Worn UAV Pilots

In the history of mankind, the cradle of device manufacturing and the development and testing of new technologies has (almost) always been the military and the warfare. Unmanned aerial vehicles were first used as target aircraft for air defence forces, but as they were adapted and developed to meet emerging needs, it was realised, that these autonomous vehicles could not only be 'sacrificial lambs', but could also be wolves in their own right. It is scary to think where the developments could lead. Will it ever happen that, like wolves in a pack, these fighting organisms will swarm in a bonded, autonomous way to accomplish their mission?

While we ponder this, the reader can learn about the local wars of the past and the experiences of unmanned aerial vehicles in action. The authors then go on to describe, through true stories, what drone operators go through, what they their experience during a mission and how it affects their mental state and health.

Keywords: *Unmanned Aerial Vehicle, UAV, UAS, UCAV, drone, weapon, military operations, psychology*

<p>Major Gábor tanársegéd Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék</p> <p>major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X</p>	<p>Gábor Major Assistant lecturer University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems</p> <p>major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X</p>
<p>Tóth Zoltán BSc-hallgató Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék</p> <p>tothz1101@gmail.com orcid.org/0000-0002-7713-8433</p>	<p>Zoltán Tóth BSc student University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems</p> <p>tothz1101@gmail.com orcid.org/0000-0002-7713-8433</p>

Vas Tímea, Fodor Máté János

Munkadrónok szerepe az integrált repülőtéren

A TKP IMA, vagyis integrált modell repülőtér projekt kutatásai között szerepel, hogy azokat az alkalmazási területeket, amelyek kapcsán a pilóta nélküli légi járművek mint munkadrónok megjelenhetnek a repülőtér területén, megvizsgáljuk és rendszerezzük. A felhasználhatósági szerepkörön túl vizsgáljuk a munkadrónok munkabiztonsági, infrastrukturális, kiszolgálási üzemeltetési hátterét, valamint integrálhatósági és repülésbiztonsági tényezőit is. A kutatás célja, hogy az egyes alkalmazási területekre bevethető munkadrónok típusára, meghajtására, alkalmazási sajátosságaira javaslatokat fogalmazzon meg.

Kulcsszavak: repülőtér, munkadrónok, integrált működés, infrastruktúra, repülésbiztonság

1. Drónok és a repülőtér

A drónok közös, a hagyományos légi járművek által is használt légterekbe való integrálását uniós [1], [2] és hazai jogszabályi háttér biztosítja. Az uniós szabályok nemzeti környezetbe implementálásának egyik meghatározó eleme volt a repülőterek forgalmának védelme, vagyis az úgynevezett „no drone”¹-zónák kijelölése. A légi közlekedésben dolgozó szakemberek többsége egyetért abban, hogy a repülőtér olyan szűk keresztmetszete a repülésnek, amely a korlátozott méretű munkaterület, a le- és felszálló forgalom összetettsége, a leszállási és felszállási fázis kritikussebesség-tartományai, a futópályasértés lehetősége, a földi kiszolgáló forgalom és a légi járművek együttes jelenléte miatt is számos veszélyt rejt magában. A veszélyek súlyosságának és előfordulási valószínűségének a csökkentésére, szabványeljáráások, döntéstámogató rendszerek segítik a repülőtéren dolgozók és a légi forgalmi irányítók munkáját [3]. A kutatási probléma felvetése, illetve alapötlete – miszerint a repülőtéren is indokolt lehet a drónok bizonyos munkafolyamatokra való alkalmazása és az ezzel együtt járó közös üzemeltetés megvalósítása – onnan származott, hogy néhány évvel ezelőtt már hadműveleti területen lévő repülőtereken megfigyelhető volt a közös üzemeltetés, ma pedig kisebb európai repülőterek is otthont adnak drónoknak. A különbség a két alkalmazási környezet között az, hogy míg az afganisztáni Mazar-i-Sharif (International Airport)² repülőtéren üzemeltetett drónok a repülőtér aktív forgalmának részét képezték, és a hagyományos légi járművekhez hasonlóan akár ugyanabban az időben a teljes infrastruktúrát használták [4], addig az európai és egyesült államokbeli repülőterek tesztelési környezetet nyújtanak

¹ No drone zóna: Lt. 5. § (1) g).

² 2016-ban több mint 27 000 éves műveletszámot bonyolító polgári-katonai repülőtér.

a drónok számára, amikor is a repülőtér kizárólag ők veszik igénybe [5]. Mindkét repülőtér esetén a légiforgalom-szervezést és a biztonságos elkülönítést a hagyományos légi járművek és a drónok között meghatározott eljárások biztosítják. Előbbi esetben időn és távolságon alapuló elkülönítést alkalmaztak, ahol a hagyományos légi járművek elsőbbséget élveztek a le- és felszállások végrehajtásakor, a távolságot pedig a földi navigációs referenciapontként telepített VOR³-állomáshoz mért távolsági érték adta. A navigációs ponthoz mért távolságot kétoldalú rádiókapcsolaton keresztül jelentették, rendelkezésre álló radaradatok hiányában. A második esetben is eljárásos megoldásról beszélhetünk, ami a drónműveleteket biztosító légtér aktiválásával és annak közzétételével érhető el. Kutatásunk során szeretnénk megvizsgálni minden olyan, már létező repülőtéri alkalmazást és megoldást, amely a civil és a katonai repülőtereken a drónok alkalmazásával kapcsolatos szemléletváltást tükrözi, és a hozzájuk kapcsolódó forgalomszervezési, biztonsági megoldásokat, eljárásokat.

A következő fejezetekben a repülőtéri alkalmazásban elképzelhető drónokat osztályozzuk méretük és repülési jellemzőik alapján, valamint megvizsgáljuk, milyen munkafolyamatok elvégzésére lehetnek alkalmasak.

2. Charles de Gaulle drónjai

Kutatásunk során a szakirodalmi források és nemzetközi publikációk tanulmányozása mellett olyan online platformok is a látókörünkbe kerültek, amelyek fő célja a civil drónalkalmazás széles perspektíváinak megismertetése és a hozzájuk tartozó legfrissebb információk és tudásanyag átadása. Interjúkon és szakmai fórumokon keresztül szövegezik meg a drónokhoz kapcsolódó iparági szereplők, startupcégek, egyetemi kutatóhelyek és más piaci szereplők képviselőit, hogy minél több szemszögből megmutassák a megoldott és még megoldásra váró kihívásokat a drónalkalmazás teljes területén. Egy ilyen interjún keresztül került látókörünkbe Arnaud Guihard munkássága⁴ [6], aki a párizsi Charles de Gaulle nemzetközi repülőtér, légi navigációs és repülőtéri infrastruktúra üzemeltetését vezető menedzser. Arnaud felelős a légi navigációs eszközök és berendezések üzemképességéért, a futópálya, a gurulóutak a repülőtér légi oldalának teljes infrastruktúrájáért, beleértve a torony épületét, az utashidakat és a VGDS⁵-t is. Véleménye szerint a drónok alkalmazása számos olyan lehetőséget biztosít, amely a repülőtér légi forgalmi adatainak – ADB⁶ – naprakész frissítését és a légi oldal teljes felmérését teszi lehetővé nagy területeken. Az első valós repüléseket megelőzően már több éven keresztül tervezték a drónok ilyen feladatokra való alkalmazását, hiszen a hagyományos légi járművek biztonságos üzemeltetésére veszélyt jelentenek. Elmondta továbbá azt is, hogy véleménye szerint jelenleg nem tekinthető realitásnak a drónok repülőtéri alkalmazása, közös légi forgalmi üzemeltetés szempontjából, aminek oka a légi járművekkel való összeütközés magas kockázata. Jelenleg a párizsi repülőtéren a PAPI⁷ berepülésére alkalmaznak rendszeresen drónokat, de folyamatosan kutatják azokat az egyéb feladatokat és felhasználási lehetőségeket, amelyekre a repülőtéri környezetben alkalmazhatnák. A navigációs szakember véleménye

³ VOR: Very High Frequency Omnidirectional Radio Range.

⁴ [linkedin.com/in/arnaud-guihard-2134b17b](https://www.linkedin.com/in/arnaud-guihard-2134b17b)

⁵ VGDS: Visual Guidance and Docking System.

⁶ ADB: Airport Database.

⁷ PAPI: Precision Approach Path Indicator.

szerint a drónok repülőtéren belüli alkalmazásával szemben támasztott követelmények, mint például az autonóm üzemeltetés, vagy a képesség egy adott repülési idő teljesítésére, nem különbözik nagyban a repülőtéren kívüli biztonságos alkalmazás feltételeitől. Arra a kérdésre, miszerint van-e olyan repülőtéri munka, amely annak különlegessége vagy érzékenysége miatt kizárólag drónokkal végezhető el, vagy inkább meglévő munkafolyamatok kiváltását szolgálja, a szakember az utóbbi megoldás mellett érvelt. Elmondta, hogy a költséghatékonyság az, ami a drónok mellett szól, hiszen a fedélzetükre szerelt szenzorok és kamerák az MS Azure⁸ technológia⁹ használatával alkalmassá tehetik a drónokat olyan feladatok megoldására is, mint a vizuális navigációt segítő jelek, táblák, jelzések¹⁰ működésének, elhelyezésének, minőségének meghatározása és beazonosítása. A drónok üzemeltetésével együtt járó biztonsági kockázatok kezelése még nem teszi lehetővé, hogy a repülőtéri forgalomba integrálás megtörténhessen, ezért a párizsi repülőtéren is futópályazárás mellett és éjszakai időszakban tudnak a drónokkal dolgozni, de a szakember azt valószínűsíti, hogy 2–3 éven belül az autonóm, „drone-in-a-box” technológia validációja lehetővé teszi majd az integrált működést minden napszakban [7].

3. A munkadrónok szerepe

A munkadrónok szerepe a repülőtéren a jövőben egyre fontosabbá válik, ahogy elkezdik a humán erőforrást kiváltani bizonyos feladatokban, amelyeket idő- és költséghatékonyabban képesek végrehajtani. Ezek a drónok a feladat függvényében változó méretűek, meghajtásúak és felszereltségűek. A feladatkörök elemzése és kiértékelése képes rámutatni arra, hogy mely területeken térül meg drónokat alkalmazni. Az integrálhatóságot befolyásolja a repülésbiztonság, időjárási tényezők, a légi járművek forgalmának intenzitása, az infrastruktúra és az üzemeltetés. Abban az esetben, ha a drón képes megfelelni a fentebb leírt követelményeknek és beilleszthető a légi forgalomba, akkor akár a következőkben is alkalmazható, mint például kutatás-mentési feladatokban a káresemény helyszínének feltérképezésében, túlélők vagy roncsok után kutatva akár elsősegély-felszerelés szállításában. Továbbá a drónok alkalmazhatók a futópálya és a gurulóutak ellenőrzésére is, amivel elkerülhetővé válnának az olyan balesetek, mint az Air France 4590¹¹-es számú katasztrófája a Charles de Gaulle repülőtéren, ahol a futópályára került repülőgép-alkatrészt nem sikerült időben felderíteni és eltávolítani. Futárfeladatok, vizuális megfigyelési, területbiztosítási, illetve karbantartási munkálatokban is képesek a drónok feladatokat ellátni kamera- vagy szenzorrendszerek használatával, amelyek képesek akár az infravörös tartományban is képalkotásra. Továbbá mobilis meteorológiai mérőállomásként képesek a drónok működni és folyamatosan hasznos információkat biztosítani az időjárás változásával kapcsolatban, különféle magasságokon és helyszíneken. Szél, látástávolság, páratartalom, légnyomás, relatív nedvesség, UV-sugárzás és radioaktív sugárzás mérésére egyaránt használhatók lehetnének. A tűzoltási feladatokban is alkalmazható drónok mérete nagy skálán mozog. Amennyiben az eszköz képes oltó- vagy mentesítő anyag

⁸ Felhőalapú grafikus felhasználói felület.

⁹ A Microsoft felhőalapú számítási platformja és infrastruktúrája.

¹⁰ *Visual aids*.

¹¹ Air France 4590-járat balesete 2000. július 25-én.

kihordására, a besorolása terjedhet a LALE¹²-kategóriától a MALE¹³-ig bezárólag. A jelenlegi tendencia alapján azonban a tűzoltásban alkalmazott drónok inkább a megfigyelési feladatokban alkalmazhatók hatékonyan, illetve a mentesítést segítik a levegőből, koordinálják a földi egységeket, amennyiben az szükséges.

4. A drónok biztonságos üzemeltetése

Mivel a drónok méretükből, összetételükből és sebességükből adódóan képesek akár egy nagyméretű repülőgépben is nagy sérüléseket okozni, ezért az összeütközés kockázatát minimalizálni kell. A drónok repülőtéren való alkalmazásának legnagyobb veszélyforrása a kommunikáció és az információ hiánya. A legtöbb repülőtér még nem rendelkezik kidolgozott SOP¹⁴-val, amely kezeli a drón- és reguláris légi forgalmat egy időben és egy helyen. A légi forgalmi áramlásszervezés és biztonságos elkülönítések szempontjából a legfontosabb a drónokról szerzett helyzet- és alapvető repülési információk állandó jellegű biztosítása, illetve a kétoldalú rádiókommunikáció megléte, amennyiben a drón nem autonóm [8] jellegű. Szükséges továbbá az olyan, már meglévő rendszerek alkalmazása (például ACAS¹⁵ vagy FLARM¹⁶), amelyek képesek információt biztosítani a légi közlekedésben részt vevők számára a forgalomról. A légi közlekedés biztonságának növelő tényezők a légtér kapacitásának túllépése, amely könnyen megtörténhet, amennyiben a légi forgalmi irányítói szolgálatnak a drónokat a reguláris eljárásokkal kell irányítaniuk. Rádiókommunikációs vagy légihelyzetkép-zavar alakulhat ki, mivel a vizuális visszacsatolás a drón méretétől és számuktól függően korlátozott, amit a meteorológiai tényezők tovább mérsékelhetnek. A kockázat felkutatása és kielemezése szükséges, ami után lehetőség van olyan eljárásrendek és elkülönítések kidolgozására, amelyek nem korlátozzák vagy tiltják a drónok alkalmazásának potenciálját a repülőtér közvetlen környezetében vagy a munkaterületek felett. A drónok forgalomként való megjelenítése az irányító és légi közlekedésben részt vevő személyek számára jelent kihívást. Mivel vizuális úton csak korlátozottan felderíthető eszközökről beszélünk, szükségessé válik a digitális technológia adta lehetőségek kihasználása, amellyel képesek vagyunk a forgalomban részt vevők számára egyértelműen és a biztonsági kockázat emelkedése nélkül megjeleníteni a drón légi forgalmat a releváns személyek számára.

5. A légi forgalom kezelése

A kutatás nagy hangsúlyt fektet a légi forgalom kezelésének megoldására. Mivel a drónok megjelenése nagy forgalomszám-növekedést okozna, ezért szükséges a forgalomkezelés újragondolása. Tekintettel arra, hogy a drónok nagy sebességgel, nagy számban is képesek feladatok végrehajtására, a légi forgalmi irányító szolgálat a reguláris eljárásokkal nem feltétlenül lenne képes hatékonyan kezelni a forgalmat, ebből fakadóan szükséges lehet

¹² LALE – *Low Altitude Long Endurance*: alacsony magasságú és nagy hatótávolságú.

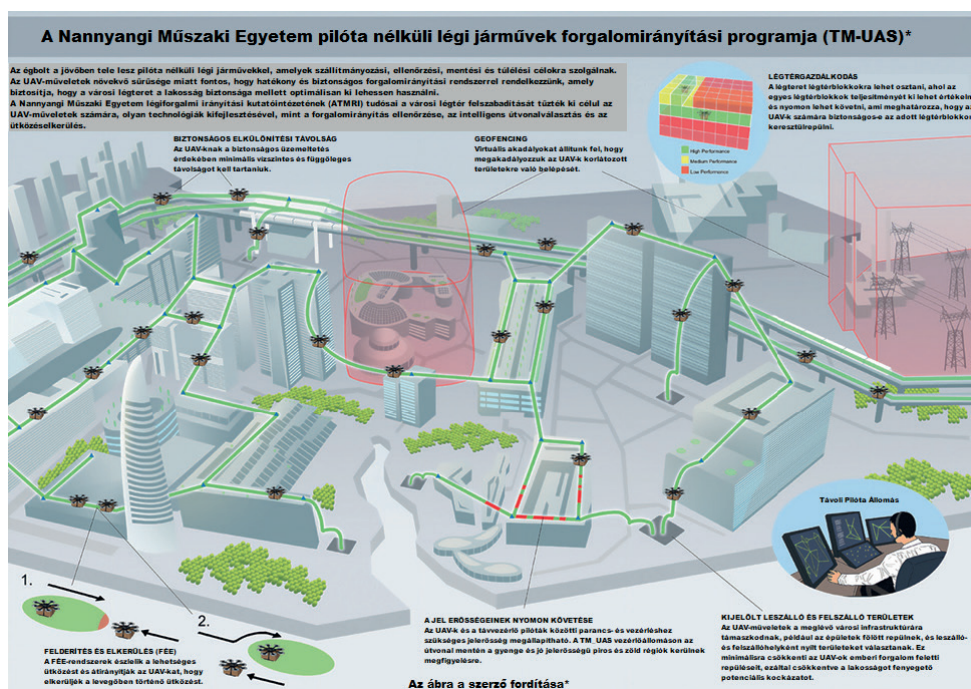
¹³ MALE – *Medium Altitude Long Endurance*: közepes magasságú és nagy hatótávolságú.

¹⁴ SOP – *Standard Operating Procedure*.

¹⁵ ACAS – *Airborne Collision Avoidance System*: légi összeütközés-elhárító rendszer.

¹⁶ FLARM – *flight alarm*: légi figyelmeztetőrendszer.

dedikáltan erre a célra egy személyt alkalmazni. A két szolgálat és a lebonyolított forgalom közötti kapcsolat digitálisan meghatározott kereteken belül, vagy a megszokott módon, információátadás-átvétellel is működne. Mint az 1. ábrán is látható, a Nanyang Technológiai Egyetem is foglalkozik a drónok nagyobb számú mozgásának irányíthatóságával biztonságos körülmények között. A légtér vertikális és horizontális felosztását is tanulmányozza a személygépjárművek mindennapi felhasználását mintázva, légi utak és korlátozott területek, illetve dedikált fel- és leszállóhelyek létrehozásával. Amennyiben a drón légi forgalom biztonságosan elhelyezhető és működtethető az urbanizált környezetben, felhőkarcolók között, akkor az predestinálhatja a jövő lehetőségeit arról, hogy akár a mozgásban lévő környezetben is alkalmazhatók a pilóta nélküli légi járművek, tehát egy repülőtéren.



1. ábra
UTM városi környezetben [9]

6. Autonóm/irányított

Fontos említést tenni a pilóta nélküli légi járművek alkalmazásáról. Többféle megoldás is létezik, amely biztosítja egy drón irányítását, azonban a két fő típus az autonóm jellegű (2. ábra), amely egyelőre beprogramozott feladatot repül végig, és az irányított, amely folyamatosan egy pilóta felügyelete alatt repül. Egyes technológiák, mint például a már előbb említett *drone-in-a-box* biztosítják az autonóm drónok számára a totális beavatkozás és felügyelet nélküli működést dokkolóállomások alkalmazásával, amelyek elhelyezése a kijelölt feladat

ellátási helyéhez képest a optimálisan kivitelezhető, ezzel tovább növelve az adott eszköz hatékonyságát. Az eszköz folyamatos töltése és megfigyelése miatt a külső behatásoktól, mint például eső, hőmérséklet-változás vagy vandalizmus állandó jelleggel védve van. Ez a fajta tárolás magas mobilitást biztosít a drónnak, mivel folyamatosan felszállásra kész üzemmódban tartja az eszközt.



2. ábra
Drone-in-a-box [10]

7. Befejezés

Összegzésképpen kijelenthető, hogy a munkadrónok alkalmazhatósága és integrálása a repülőtér légi forgalmába kivitelezhető, ezt számos példa is bizonyítja. Költséghatékonyságuk és információkat biztosító képességük további távlatokat nyithat a légi közlekedés biztonságosabbá és hatékonyabbá tételében. A jövőben a feladatspecializált drónokra való javaslatok megfogalmazása és technológiai megvalósítások létrehozása a cél, amit innovatív környezetben kívánunk tesztelni. Mivel a légi forgalom növekedése és a drónok megjelenése predesztinálható, mindenképpen szükséges a döntéstámogató rendszer létrehozása, amely segítségével lesz a légi forgalmi irányítónak és a légi forgalom összes résztvevőjének is, ebből következően pedig a teljes légi forgalom biztonságosabbá tétele és folyamatossága is növekedni fog.

Felhasznált irodalom

- [1] A Bizottság (EU) 2019/947 végrehajtási rendelete a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról. Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02019R0947-20220404>
- [2] A Bizottság (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete a pilóta nélküli légi jármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légi jármű-rendszerek harmadik ország-beli üzembentartóiról. Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02019R0945-20200809&qid=1666269042905>
- [3] D. Annebicque, I. Crévits, T. Poulain, S. Debernard, „Decision Support Systems for Air Traffic Controllers Based on the Analysis of Their Decision-Making Processes,” *International Journal of Advanced Operations Management*, Vol. 4. No. 1/2. pp. 85–104. 2012. Online: <https://doi.org/10.1504/IJAOM.2012.045892>
- [4] Vas T., Fekete Cs. Z., „UAV az ellenőrzött repülőtér forgalmában, avagy egy szimuláció tapasztalatai,” *Repüléstudományi Közlemények*, 25. évf. 2. sz. pp. 371–383. 2013.
- [5] A. Lappi, *Comparison of Selected UAS Test Areas in Europe and America regarding Practical Aspects for Developers*. Master thesis, 2017. szeptember 13. Online: www.aig.at/wp-content/uploads/2017AAI_AlexanderLappi_MasterThesis_TestAreasUAS_OriginalFHJ.pdf
- [6] J-M. Flon, T. Tritscher, A. Guihard, „A First for Europe!” *Hindsight*, 24. sz. pp. 22–24. Online: <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/3661.pdf>
- [7] „Arnaud Guihard, Airfield Infrastructure & Air Navigation System Manager at Charles de Gaulle, ADP,” *Drone Talks*, 2022. március 5. Online: <https://dronetalks.online/dronetalks-arnaud-guihard-paris-airport-charles-de-gaulle/>
- [8] Dudás Z., Restás Á., „Nemzetközi példák az UAV repülés emberi tényezőit érintő jogi szabályozásra az RPAS 2012 konferencia tapasztalatai alapján,” *Repüléstudományi Közlemények*, 24. évf. 3. sz. pp. 1–10. 2012.
- [9] „NTU Developong Traffic Management System for Safe UAS Flight in Singapore,” *Inside unmanned systems* (é. n.). Online: <https://insideunmannedsystems.com/ntu-developing-traffic-management-system-safe-uas-flight-singapore/>
- [10] „Dronehub is the Autonomous Game-Changer for Inspection and Monitoring,” *Dronehub*, (é. n.). Online: <https://dronehub.ai>

The Role of Work Drones at the Integrated Aerodrome

The TKP IMA research of the integrated model airport project includes the examination and systematisation of the application areas in which unmanned aerial vehicles can appear as work drones in the airport area. In addition to the usability role, the work safety, infrastructure and service operation background of the workers, as well as the integrability and flight safety factors are also examined. The aim of the research is to formulate proposals for the type, drive and application characteristics of the work drones that can be used in each application areas.

Keywords: aerodrome, work drone, integrated operation, infrastructure, flight safety

<p>Vas Tímea (PhD) egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék</p> <p>vas.timea@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0082-0370</p>	<p>Tímea Vas (PhD) Associate Professor University of Public Service Faculty of Military Sciences and Officer Training Aerospace Controller and Pilot Training Department</p> <p>vas.timea@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0082-0370</p>
<p>Fodor Máté János BSc-hallgató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Állami Légiközlekedési Szak, Katonai Repülésirányító szakirány, légi forgalmi irányító modul</p> <p>mate.fodor16@gmail.com orcid.org/0000-0001-7787-2526</p>	<p>Máté János Fodor BSc student University of Public Service Faculty of Military Sciences and Officer Training State Aviation BSc, Military Aerospace Controller Specialization, Air Traffic Controller Module</p> <p>mate.fodor16@gmail.com orcid.org/0000-0001-7787-2526</p>

„A TKP2021-NVA-16 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.”



AZ NKFI ALAPBÓL
 MEGVALÓSULÓ
 PROJEKT

Tartalom

TIBA ZSOLT, GYŐRI GYULA, AILER PIROSKA, HUSI GÉZA: A Cessna 172 típusú repülőgép dízelüzem módra alakításának megtérülése	5
SCHUSTER GYÖRGY: Fejlesztésben alkalmazott szoftvereszközök minősítése	19
Mohammed Mudabbiruddin, László Pokorádi: Simulation of Ageing of Aircraft	29
HORVÁTH GÁBOR: A helyszíntől független katonai repülőtéri irányításhoz szükséges optikai rendszerre vonatkozó minimális teljesítménystandardok keretrendszere	37
TERPE CZ GÁBOR: Menekülés a levegőből	53
OMAR ALHARASEES, UTKU KALE: Air Transport Projects Quality Assessments by Analytical Hierarchy Process (AHP)	73
TÁBORSZKY JÓZSEF: A katonai repülőtereket érintő biztonsági kihívások változása a történelem során (1. rész)	83
HORVÁTH GÁBOR: A helyszíntől független repülőtéri irányítás katonai alkalmazhatóságának vizsgálata a kapcsolódó SESAR-projekt tapasztalatainak tükrében	95
MAJOR GÁBOR, TÓTH ZOLTÁN: A háborút is megjárt UAV-k pilótáinak mentális átfarmálódása	107
VAS TÍMEA, FODOR MÁTÉ JÁNOS: Munkadrónok szerepe az integrált repülőtéren	129