



REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

Kiemelt közlemények

SZABOLCSI RÓBERT:

Pilóta nélküli légi jármű kis magasságú repülési pályáinak tervezése

DOMÁN LÁSZLÓ:

Helikopterek speciális vészelhagyási eszközei

GERVAI BÁLINT, SZILVÁSSY LÁSZLÓ:

Az Airbus H145M helikopter fegyverzete

**32. évf. (2020)
1. szám**

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



LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

Repüléstudományi Közlemények

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

Főszerkesztő

Dr. Békési Bertold (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

Szerkesztőség

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

Kiadó

Ludovika Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft.
1089 Budapest, Orczy út 1.
kiado@uni-nke.hu • +36 1 432 9000
A kiadásért felel: Koltányi Gergely ügyvezető igazgató

Borítókép

A képet a MH 86. Szolnok Helikopter Bázis munkatársai készítették.



Tartalom

Novoszáth Péter: A horvát regionális repülőterek működésének és fejlesztésének főbb jellegzetességei	5
Szabolcsi Róbert: Pilóta nélküli légi jármű kis magasságú repülési pályáinak tervezése . . .	29
Domán László: Helikopterek speciális vészelhagyási eszközei	51
Bagdi Zsolt, Bakó Gábor: Repülőterek felmérése, elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés	67
Tímár Félix, Szilvássy László: A JAS 39EBS HU harcászati repülő irányítható légiharc-rakétái	75
Gajdács László, Gervai Bálint, Major Gábor: A pilóta nélküli légi jármű-rendszerek és a honvédelem tegnap, ma és holnap	87
Gajdács László, Szűcs Viktor: A 3D-nyomatás gyártástechnológiai, felhasználási területei, illetve az ebben rejlő potenciál	101
Novoszáth Péter: A magyar regionális repülőterek fejlődése nemzetközi összehasonlításban.	111
Szabó László István: A repülést és a repülőterek működését veszélyeztető tényezők csoportosítása, alapvető jellemzői	125
Szabolcsi Róbert: UAV repülési magasságának mérése extrém alacsony repülési pályákon.	145
Gervai Bálint, Szilvássy László: Az Airbus H145M helikopter fegyverzete	161
Vránics Dávid Ferenc: Testing of a Cloud-Controlled Unmanned Aircraft System	175



Novoszáth Péter¹

A horvát regionális repülőterek működésének és fejlesztésének főbb jellegzetességei

E tanulmány legfőbb célja az, hogy megvizsgálja, Horvátország hol tart jelenleg a légi forgalom fejlesztésében. Milyen tényezők játszanak leginkább szerepet a horvát regionális repülőterek fejlődésében? Hogyan változott a horvát regionális repülőterek forgalma az elmúlt években? Milyen szerepet játszottak a regionális repülőterek ugrásszerű fejlődésében az alacsony költségvetésű légitársaságok? Milyen sarokpontjai vannak a horvát légiközlekedés-fejlesztési stratégiának? Melyik horvát repülőterek forgalma nőtt kiugróan és melyeké kevésbé? Igaz-e, hogy egyes horvát regionális repülőterek forgalma mára már jóval meghaladja vonzáskörzetük, gyűjtőterületük nagyságát?

Kulcsszavak: a vidéki régiók versenyképességének növelése, légiközlekedés-fejlesztési stratégia, regionális fejlesztések, regionális repülőterek, horvát regionális repülőterek, területi fejlesztések

Main Characteristics of the Operation and Development of Croatian Regional Airports

The main purpose of this study is to examine in what directions Croatia is currently developing its air traffic. What factors play the greatest role in the development of Croatian regional airports? Is it true that the air traffic of Croatian regional airports has grown remarkably in recent years? Did the air traffic of Croatian regional airports really develop much more dynamically over the last four years than the Hungarian or Austrian airports? What role did low-budget airlines play in the leaps and bounds of regional airport? Which Croatian airports saw a dramatic increase in traffic and which ones did not? Is it true that the air traffic of some Croatian regional airports is now well over the size of their catchment area and collection area? What are the cornerstones of the Croatian aviation development strategy?

Keywords: aviation development strategy, Croatian regional airports, increasing the competitiveness of rural regions, regional airports, regional development

¹ Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, ÁNTK, Közpénzügyi Tanszék; e-mail: Novoszath.Peter@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8755-6858>

1. Bevezetés

Az Amerikai Egyesült Államokból és Európából a legtöbben a hat legjelentősebb repülőteret (Zágráb, Split, Ragusa, Zára, Fiume, Póla) igénybe véve érkeznek Horvátországba,² amelyek az elmúlt években igazi üdülési és nyaralási gócpontok lettek. Egyre több ember fedezi föl az országban található egykori ókori városok történetét és szépségét, a különleges tengerpartok adta élményeket. A horvátországi repülőterek közvetlen összeköttetést biztosítanak számos európai városhoz, ezért turisták ezrei érkeznek ide naponta, különösen a nyári szezon csúcsidején. Az elmúlt négy év során jelentős mértékben nőtt az új járatok száma, és megfigyelhető, hogy tovább erősödött az egyes járatok gyakorisága és azok szezonális jellege.

Az elmúlt 15 évben az alacsony költségvetésű, fapados vagy alacsony díjszabással működő légi közlekedési hálózatok fejlődése Európában már több jelentős kutatás tárgyát képezte. Ezeknek a tanulmányoknak a többsége a teljes körű szolgáltatást nyújtó, hagyományos légitársaságok és az alacsony költségvetésű légitársaságok hálózatfejlesztési stratégiája közötti, az Európai Unióban meglévő különbségekkel foglalkozott leginkább, különös figyelmet szentelve a Nyugat-Európában lévő egyes repülőterek és a Nyugat- és Dél-Európa közötti eltérések okai megvizsgálásának. Mindazonáltal ezek a tanulmányok kizárólag az Európai Unió északi, déli és nyugati felére koncentráltak, és gyakorlatilag teljesen figyelmen kívül hagyták a kelet-közép-európai országokat, valamint az Európai Uniót kívüli országokban, így Horvátországban lezajló fejlemények értékelését. Ebben természetesen az is jelentős szerepet játszott, hogy ezekben az országokban az alacsony költségvetésű légitársaságok meglehetősen alulreprezentáltak voltak még az elmúlt évtizedekben, és csak 2010 óta indult meg robbanásszerű fejlődés ezen a területen. Ennek következtében csupán csak elvétve találkozhattunk olyan tudományos szintű elemzéssel, amely részletesebben értékelné e folyamat sajátosságait a kelet-közép-európai országokban. Mindezek többségét ráadásul az elemzők anyanyelvén publikálták és csak nagyon keveset idegen nyelven. Ezért érdemes először számba vennünk azokat az írásokat, amelyek e témában idegen nyelven születtek. Horvátországban kiemelkednek ezek közül Slaven Gašparović és társainak,³ Danijela Rabarnak és szerzőtársainak,⁴ valamint Stanislav Pavlinnak és szerzőtársainak⁵ a művei, Magyarországon jómagam publikáltam egy tanulmányt angol nyelven⁶ ebben a témában, míg Lengyelországban Wojciech Augustyniak és szerzőtársai⁷ cikke érdemel említést.

Ebben a tanulmányban először a horvát repülőterek legfontosabb jellemzőit vizsgálom meg, földrajzi elhelyezkedésüket, a főbb légitársaságokat, amelyek onnan járatokat indítanak, az elérhető legfontosabb úti célokat, az utas- és áruforgalom alakulását, valamint az utóbbi

² *Croatia Holiday Guide*. Elérhető: www.aiptravel.com/croatia/ (A letöltés dátuma: 2020. 11. 18.)

³ Slaven Gašparović – Martina Jakovčić – Mirela Vrbanc: Croatian airports in the European low-cost carrier network. *Geoadria*, 17. (2012), 1. 93–109.

⁴ Danijela Rabar – Robert Zenzerović – Josip Šajrić: An empirical analysis of airport efficiency: the Croatian case. *Croatian Operational Research Review*, 8 (2017), 2. 471–487.

⁵ Stanislav Pavlin – Igor Dimnik – Martin Starčević: Influence of low-cost carriers on airport infrastructure development. *Promet – Traffic & Transportation*, 19. (2007), 1. 49–54.

⁶ Novoszáth, Péter: Development of regional airports on Danube Area: On the basis of German, Austrian, Hungarian, Serbian and Romanian examples. In Lajos, Veres (szerk.): *Danube-Area Cohesion: I. EU Interregional International Scientific Conference*. Subotica, Cikos Stampa, 2008. 129–138.

⁷ Wojciech Augustyniak – Laura López-Torres – Sławomir Kalinowski: Performance of Polish regional airports after accessing the European Union: Does liberalisation impact on airports' efficiency? *Journal of Air Transport Management*, 43. (2015), 11–19.

években végrehajtott fejlesztéseiket és a jövőbeni kilátásaikat. Ezt követően az alacsony költségvetésű légitársaságok elterjedésének főbb állomásait mutatom be Kelet-Közép-Európában. Ezek után részletesen elemzem a horvát repülőterekről elérhető úti célokat járatkategóriánként. Ezután a horvát repülőterek elmúlt négy évbéli utasforgalmának alakulását értékelem. Majd mindezek után a Horvát Köztársaság légi közlekedés fejlesztésére vonatkozó stratégiájának (2017–2030) főbb elemeit vizsgálom meg. Végül összegezve értékelem a horvát repülőterek működésének és fejlesztésének Magyarország szempontjából is fontos tanulságait.

2. A horvát regionális repülőterek legfőbb jellemzői

Horvátországban 59 repülőtér és egy helikopter-leszállóhely található. Kilenc repülőtér (Brač, Eszék [Osijek], Fiume [Rijeka], Lošinj, Póla [Pula], Raguza [Dubrovnik], Split, Zára [Zadar] és Zágráb) rendszeresen fogad és indít nemzetközi menetrend szerinti, kereskedelmi járatokat. 12 nagyobb sportrepülőtér (Cepin, Cakovec, Ivanić Grad, Koprivnica, Otočac, Grobnicko, Sinj, Hvar, Slavonski Brod, Varazdin, Vrsar, Lucko) is van Horvátországban, amely időszakosan kisebb külföldi repülőgépeket fogad.



1. ábra

A horvát nemzetközi repülőterek és a nagyobb sportrepülőterek elhelyezkedése. Forrás: Airports Croatia. Elérhető: <https://croatia4travel.com/get-to-croatia/airports-croatia/> (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)

Ezen túlmenően három katonai repülőtér (Divulje, Udbina, Zaton) is található az országban.⁸ Ugyanakkor a NATO/SFOR bázisa és egyúttal a horvát légierők és légvédelem hazai bázisa a zágrábi repülőtéren van.

⁸ *List of Airports in Croatia*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_airports_in_Croatia (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)

2.1. A zágrábi Franjo Tuđman repülőtér – mérföldkő a régió számára

A zágrábi repülőtér mindössze 11 km-re található a horvát főváros délkeleti részétől. Nevét Horvátország első elnökéről kapta. A zágrábi repülőtérrel elsősorban nyugat-európai légitársaságok, mint az Air France, az Austrian Airlines, a British Airways, a KLM, a Lufthansa, a Swiss International Airlines, és néhány kelet-közép-európai légitársaság, mint az Aeroflot, az Air Serbia, a Croatia Airlines, a CSA, a LOT és a Wizz Air indít járatokat. A zágrábi repülőtérrel 59 úti cél érhető el közvetlenül. Jelenleg 30 légitársaság működik Zágrábban.⁹ Az utasforgalom 2018-ban 3 millió 336 ezer 310 fő volt. Ugyanebben az évben a repülőgépmozgások száma 43 ezer 688 volt. Az áruforgalom 13 ezer 675 tonnát tett ki ekkor.

A zágrábi nemzetközi repülőtéren új, korszerű utasterminált építettek a közelmúltban a meglévő korábbi terminál cseréjeként. Az új terminál építését 2014 májusában kezdték el körülbelül hat hónapos, 2013. decemberi kezdetű előkészítő munkálatok után. Az új terminált 2017 márciusában nyitották meg. A projektet a Zagreb Airport International Company (ZAIC) irányította, egy francia konzorcium, amely 30 évre megnyerte a horvát kormány által a repülőtér üzemeltetésére és bővítésére kiírt versenytárgyalást. A konzorciumot az Aeroports de Paris (20,77%), a Bouygues Batiment International (20,77%), a Marguerite Fund (20,77%), az International Finance Corporation (IFC) (17,58%), a TAV Airports (15%) és a Viadukt (5,11%) alkotják. Az új terminál kezdetben évente ötmillió utast lesz képes kezelni, és az elkövetkező években nyolcmillióra kívánják növelni a kapacitását. Az új utastermináltól, amely a legmodernebb infrastruktúrával és kortárs formatervezéssel épült, azt remélik építettői, hogy mérföldkő lesz a régió számára, és tovább növeli Horvátország turistaforgalmát és ezáltal a gazdaság növekedését is. Az új, 65 ezer m²-es épület négyszintes, kettő van az érkezőknek és kettő az indulásra. Egy négyszögletes főépülethez két aszimmetrikus móló kapcsolódik, a nyugati oldalon lévő móló a nemzetközi, míg a keleti móló a belföldi forgalom számára. Nyolc új légihid kapcsolódik az északi homlokzathoz. A terminálépítést a Bouygues Batiment International végezte a Viadukttal együtt. Az alvállalkozók közé tartozott a Kamgrad, amely betonszerkezeteket és a belső válaszfalakat építette, a Zagreb Montaza Grupa, amely a tetőszerkezetet és homlokzatot készítette, valamint a KFK Technika tetőfedő cég. A terminál kialakítását és architektúráját a horvát IGH és horvát építészek, Velimir Neidhardt és Branko Kincl készítették. A projekt a fenntartható építési gyakorlatot követve, a LEED minőségbiztosítás szabályai szerint épült. Az Arup cég látta el az új terminálépület építési projekt független mérnöki feladatait. A projekt becsült összköltsége 331 millió euró (355 millió dollár), amelyből 243 millió euró (261 millió dollár) az új terminál tervezéséhez és építéséhez és 88 millió euró (95 millió dollár) a repülőtér infrastruktúrájának fenntartásához szükséges a teljes koncessziós időszakban, 2042-ig. Az IFC kötelezettséget vállalt arra, hogy 47 millió dollár értékű kölcsönt és körülbelül 26 millió dolláros tőkebefektetést biztosít a projekthez. A ZAIC 65 millió euró (70 millió dollár) hitelt is felvett az Unicredit Grupa/Zagrebacka Banka és az Erste Banka által alkotott bankcsoporttól, valamint 120 millió eurót (129 millió dollárt) az Európai Beruházási Banktól (EBB) a projekt megvalósításához. A konzorcium további 4 millió eurót (4,3 millió dollárt) fektetett be a projektbe, míg az Aeroports de Paris és a Bouygues Bâtiment International

⁹ *Zagreb Airport*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Zagreb_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)

75,8 millió eurót (81,5 millió dollárt) helyezett letétbe és 20 millió eurót (21,5 millió dollárt) végrehajtási garanciaként.¹⁰

2.2. A horvátországi turizmus lebonyolításának légi központja – a spliti repülőtér

A spliti repülőtér 12 km-re fekszik Split ősi városától, amely még a görög kolonisták idejéből származik. A spliti repülőtéren jelenleg 44 légitársaság működik. Így például az Aeroflot, az Air France, a British Airways, a Croatia Airlines, az Easy Jet, az Eurowings, a Finnair, a Luxair, a Norwegian Air Shuttle, a Scandinavian Airlines, a Tomas Cook Airlines, a Volotea és a Wizz Air is indít innen járatokat. A spliti repülőtér volt 2018-ban Horvátország második legforgalmasabb repülőtere a zágrábi repülőtér után, több mint 3,1 milliós utasforgalmat bonyolított le ekkor. A repülőtér a horvát nemzeti légitársaság, a Croatia Airlines második legjelentősebb bázisa, a légitársaság innen repül Európa számos nagyvárosába, például Athénba, Frankfurtba, Londonba, Madridba, Párizsba és Zürichbe is. A repülőtér a nyári időszakban meghatározó szerepet játszik a horvátországi turizmus lebonyolításában. A spliti repülőtérről 113 úti cél érhető el közvetlenül.¹¹

Jelentősen bővült a légi utasforgalom 2020-ig a Covid-19-járvány kitöréséig, amely a 2015 és 2019 közötti öt évben majdnem megduplázódott, és várhatóan a járványt követően, a jövőben még magasabb szintet fog elérni. A folyamatban lévő fejlesztések célja a meglévő utasterminál korszerűsítése és bővítése, annak érdekében, hogy évente 3,5 millió utasra növelje annak kapacitását, valamint magasabb szintre emelje a repülőteret a biztonság és a szolgáltatások minősége terén. A terminál korszerűsítési és bővítési projektmunkái 2016-ban kezdődtek, és döntő részben 2019 júliusában fejeződtek be. A korszerűsítési projekt a meglévő utasterminál területét 34 500 m²-re bővítette. Az utasterminálon belül a beérkező és távozó utasok területeit elkülönítették a nagyobb működési rugalmasság és a biztonságosabb ellenőrzések érdekében. Új, automatizált poggyászkezelési terület jött létre, valamint az Európai Unió által meghatározott 3 EDS-szabványnak megfelelő poggyászellenőrzési terület. A projekt 105 ha-ra növelte a repülőtér teljes üzemeltetési területét, jelentősen javítva a személyszállítási szolgáltatások minőségét. Lehetővé tette továbbá a nemzetközi határátkelőhelyekre vonatkozó uniós szabványok alkalmazását, a schengeni megállapodásnak megfelelően. A bővítési projekt részeként egy új, 900 parkolóhelyet biztosító terület létesült a személyautók és a buszok számára. Egy új, zárt gyalogos felüljáró köti össze az utasterminált a közeli buszpályaudvarral. Az 50 millió dollár értékű korszerűsítési építési szerződést a Viadukt, a Kamgrad és KFK Tehnika által alkotott konzorcium nyerte el. A repülőtér a Vanderlande céggel kötött szerződést egy új poggyászkezelő rendszer beszerzésére, amelyet 2018 áprilisában telepítettek. A projekt finanszírozásának minden részletét nem hozták nyilvánosságra, de az ismertté vált, hogy a projekthez a nyertes konzorcium mintegy 17 millió dolláros kezdeti finanszírozást biztosított

¹⁰ *Zagreb International Airport's New Terminal*. Airport Technology, 2017. Elérhető: www.airport-technology.com/projects/new-terminal-zagreb-international-airport/ (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

¹¹ *Split Airport*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Split_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

saját forrásokból, míg a további részt fejlesztési bankok hiteleiből finanszírozták.¹² Így a horvát fejlesztési bank (HBOR) 40,4 milliós hitelt nyújtott a projekthez.¹³ A spliti repülőtéren ma már a megvalósított projekt eredményeként egy új, háromszintes terminálépület található, amely a személyszállítási szolgáltatások széles skáláját kínálja. A repülőtér egy futópályával rendelkezik, amely 2550 m hosszú és 45 m széles, beton és aszfalt felületű. A futópálya vizuális megközelítési lejtésjelző rendszerrel van ellátva, megközelítőlámpákkal és más világítóberendezésekkel van felszerelve. Különböző közlekedési elérési lehetőségek állnak rendelkezésre, a repülőtérre igyekvők és a repülőtérrel indulók számára, beleértve ebbe a közvetlen buszjáratokat, amelyeket a Pleso Prijevoz autóbustársasággal együttműködve szerveztek meg, valamint a tömegközlekedési buszokat, amelyek a repülőtér közelében található buszmegállókból vehetők igénybe, és a taxiszolgáltatásokat. A közeli szigetekre utazók számára kompkikötő áll rendelkezésre.¹⁴ Split repülőtere 2019-ben 3,3 millió utasra számított, 14 400 repülőgép-művelet mellett. A bevételek várhatóan eléri a 440 millió kunát, a kiadásokra 360 millió kunát terveztek. Ebben az évben a futópályára vezető repülőgéputak felújítását tervezik, új, függőleges jelátvitelre fognak áttérni, repülőgép-karbantartási berendezéseket is beszereznek, és folytatni kívánják a földvásárlást a repülőtér közelében.¹⁵

2.3. A raguzai (dubrovnikai) repülőtér – kitörés a geopolitikai és területi elszigeteltségből

A raguzai repülőtér 18 kilométerre fekszik a várostól. Raguzma az egyik legnépszerűbb úti cél Európában. A raguzai repülőtéren jelenleg 44 légitársaság működik.¹⁶ Ebben az évben kezdte meg működését az American Airlines a repülőtéren, a Philadelphia és Raguzma közötti közvetlen járat meghirdetésével hetente háromszor, ami nagy siker a repülőtér számára.¹⁷ A raguzai repülőtér a horvátországi Dubrovnik-Neretva megyében található, amely geopolitikai és területi elszigeteltséggel rendelkezik Horvátország többi részétől és az Európai Uniótól is a Bosznia-Hercegovinával (nem EU-tagállam) való határ miatt.¹⁸

A raguzai repülőtér kulcsszerepet játszik a nagy távolságok, a közlekedési infrastruktúra fejletlensége, valamint Dubrovnik-Neretva megye Horvátország többi részétől való elszigeteltsége miatt a régió külvilággal való folyamatos kapcsolatának biztosításában. A vasúti közlekedés gyakorlatilag nem létezik, és a tengeri közlekedés is meglehetősen korlátozott, Raguzma városát csak a környező szigetekkel (Šipán, Lopud, Koločep, Mljet, Korčula és Lastovo)

¹² *Split International Airport Terminal Rehabilitation and Expansion*. Airport Technology, 2017. Elérhető: www.airport-technology.com/projects/split-international-airport-terminal-rehabilitation-and-expansion/ (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

¹³ *Split Airport to receive Croatian development bank financing for upgrade project*. 2018. Elérhető: <https://staging.corporatetravelcommunity.com/split-airport-to-receive-croatian-development-bank-financing-for-upgrade-project> (A letöltés dátuma: 2020. 11. 19.)

¹⁴ *Split International Airport Terminal Rehabilitation and Expansion*. i. m. (12. l.)

¹⁵ Daniela Rogulj: *Plans and Expectations for Croatian Airports 2019: Dubrovnik, Split, Zadar*. Total Croatia News, 2019. Elérhető: www.total-croatia-news.com/travel/34386-croatian-airports (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

¹⁶ *Dubrovnik Airport*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Dubrovnik_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

¹⁷ Rogulj (2019) i. m. (15. l.)

¹⁸ *Transport Development Strategy of the Republic of Croatia (2017–2030) 2nd Draft*. Republic of Croatia, Ministry of the Sea, Transport and Infrastructure, 2017. 124.

köti össze.¹⁹ Csak a légi közlekedés képes biztosítani az emberek és áruk szabad mozgását minden nap. A Raguza és Zágráb közötti repülőgéppel való utazás költsége jelenleg hasonló, mint az autóutazás költségei, de az autóval való utazás ideje jóval hosszabb, több mint 6 óra, míg a repülőgép kevesebb mint egy óra alatt teszi meg ugyanezt az utat. A régió gazdasága főként a turizmusra épül, mivel Raguza városa a Földközi-tenger egyik legjelentősebb turisztikai célpontja. Emiatt a raguzai repülőtér kiemelt fontossággal bír a turisták számára, a város és környéke elérhetőségének biztosításában.²⁰ Az utasforgalom a nemzetközi repülőtéren évről évre növekszik. 2015-ben a repülőtéren az utasforgalom 1 693 934 fő volt, míg 2018-ban már meghaladta a két és fél milliót.²¹ A repülőtér üzemeltetője a Dubrovnik Airport Ltd. nagyszabású bővítési projektet hajtott végre 2014. január 1. és 2019. április 11. között, amelynek fő célja a személyszállítási kapacitás növelése volt. A projekt jelentős részben az Európai Unió társfinanszírozásával valósult meg, az Európai Regionális Fejlesztési Alap és az Európai Beruházási Bank (EBB) támogatásával. A horvát kormány 2015 májusában hagyta jóvá a teljes újjáépítési projektet. A bővítési projekt 2032-ig évente mintegy 3,98 millió utasra növeli a repülőtér kezelési kapacitását.²²

A projekt részeként többek között új repülőgép-üzemanyag tároló bázist alakítottak ki a hozzá kapcsolódó földalatti üzemanyag-csővezetékekkel együtt, új utasterminált építettek, amelyet integráltak a már meglévő utasterminálba. Új irodaépületet és új *general aviation* (kisgépes) terminált hoztak létre. A repülőtéren a projekt keretében létesült egy új áruterminál is, amely 10 ezer tonna rakomány kezelésére képes. E raktár területe 300 m². Az áruterminál része egy fűtött tároló, és beépítettek egy röntgenberendezést és a mechanikus kezelés végzéséhez kapcsolódó más berendezéseket is. A repülőtéren a fix bázisú logisztikai műveletek végrehajtását az Apogee Operations és az Euro Jet cégek irányítják. A Dubrovnik Airport 2020 újjáépítési és fejlesztési projektjévé válik, amely lehetővé teszi, hogy versenyezzen a régió más repülőtereivel a szolgáltatás, a foglalkoztatási ráta és a bejövő és a kimenő utasforgalom tekintetében. A rekonstrukciós és fejlesztési projekt második fázisa keretében egy többemeletes, 700 férőhelyes személyautó-garázst is megépítettek, valamint egy automatizált rendszert hoztak létre a poggyászok fogadására, biztonsági ellenőrzésére és szállítására, újabb utas hidakat építettek, és külön bázist hoztak létre a mentő és tűzoltó járművek számára.²³

2.4. A pólai (Pula) repülőtér – átjáró az isztriai régióba

A pólai repülőtér az Isztriai-félsziget délkeleti végén található Póla városában, amely római amfiteátrumáról is jól ismert. A repülőtér, amely 6 km-re található a városközponttól, átjáró az Isztria régióba a légi úton érkező látogatók számára. A repülőtér üzemeltetője összesen 9 millió kunát (1,3 millió dollár/1,2 millió euró) investált a repülőtér fejlesztésébe 2015-ben.

¹⁹ *Dubrovnik Airport*. i. m. (16. l.)

²⁰ *Transport Development Strategy of the Republic of Croatia (2017–2030)* i. m. (18. l.) 124.

²¹ *Dubrovnik Airport*. i. m. (16. l.)

²² *Croatia's Dubrovnik airport receives €17.5m from EIB*. Airport Technology, 2015. Elérhető: www.airport-technology.com/news/newscroatias-dubrovnik-airport-receives-175m-from-eib-4688716/ (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

²³ *Dubrovnik International Airport Reconstruction and Development*. Airport Technology, 2017. Elérhető: www.airport-technology.com/projects/dubrovnik-international-airport-reconstruction-and-development/ (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

Ezt az összeget főként a szennyvíztisztító-rendszer korszerűsítésére, tereprendezésre, a repülőteri vámmentes övezet bővítésére, és a repülőtér utastermináljának a schengeni előírásoknak megfelelő átalakítására költötték. A 2015-ös nyári szezont követően az állami tulajdonú repülőtér-üzemeltető további 4,5 millió kunát költött az EU által előírt szabványok teljesítésével kapcsolatos munkálatokra.²⁴

A pólai repülőtéren 25 légitársaság üzemeltet jelenleg járatokat 50 különféle úti cél irányába.²⁵ A pólai repülőtéren 2018-ban az utasforgalom 20,4%-kal emelkedett, a 2017. évi 595 ezer 812-ről 717 ezer 187-re.²⁶ A 2019-es évben a repülőtér a 770 ezres utasforgalmat tűzte ki célul. Az EasyJet alacsony költségvetésű légitársaság két új szezonális járatot nyitott meg Pulában, Genf és Amszterdam irányába. A Genfből érkező járatok szerdán és szombaton, míg az Amszterdamból érkezők kedden és vasárnap közlekedtek, és ez így folytatódott augusztus végéig. Az EasyJet ennek következtében a pólai repülőtér első számú szállítója lett. Összesen 11 különféle új úti célt terveztek kiszolgálni, és mintegy 150 ezer utas érkezését kalkulálták a repülőtérre a népszerű, fapados légitársaságnak köszönhetően 2019-re.²⁷

2.5. A zárai (Zadar) repülőtér – hosszú távú járatok meghonosítására törekedve

A zárai nemzetközi repülőtér a Horvát Köztársaság egyik legnagyobb repülőtere. Zemunik Donji településen található, 8 km-re Zadar városától. A repülőteret 1968-ban nyitották meg. A Ryanair légitársaság bázisrepülőtere lett 2013 áprilisában. Az új bázis 60%-kal növelte meg a repülőtér utasforgalmát. A Ryanair jelenleg 21 európai célállomás irányába üzemeltet járatokat, beleértve Németországot, Írországot, az Egyesült Királyságot, Franciaországot, Belgiumot, Dániát, Svédországot és Norvégiát. A bázis létrehozása 1,4 millió euróba (1,8 millió dollár) került.²⁸

A zárai repülőtéren 2018-ban az utasforgalom 20,4%-kal emelkedett, a 2017. évi 589 ezer 841-ről 603 ezer 819-re.²⁹ A repülőtér üzemeltetője 700 ezer utasra számított 2019-ben, 10 ezer 500 repülőgép-művelet mellett. A 2019-re tervezett bevételeknek 75 millió kunát kellett elérniük. Az üzleti eredményeket tekintve a 2018-as év nagyon sikeres volt a zárai repülőtér számára, 18%-os forgalomnövekedés mellett 6%-os bevételnövekedést értek el. Mindkét mutatószám meghaladja azt, amit terveztek. A 2019-es várakozások összhangban voltak a légitársaságok bejelentéseivel, ami azt jelenti, hogy a pozitív trendek folytatódhatnak 2019-ben is. A bevételek növekedésével a vállalat jövedelmeinek további növekedését várják. Az utasok számának folyamatos növekedése ugyanakkor további beruházásokat igényel

²⁴ Djorde Daskalovic: *Update 1. Croatia's Pola airport passenger numbers seen up 5% in 2015*. 2015. Elérhető: <https://seenews.com/news/update-1-croatias-pula-airport-passenger-numbers-seen-up-5-in-2015-472982> (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

²⁵ *Pula Airport*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Pula_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

²⁶ Az adatok forrása a *List of the busiest airports in Croatia*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_busiest_airports_in_Croatia (A letöltés: 2020. 09. 11.)

²⁷ Laura Simmonds: *Pula Airport Making Excellent Progress, Experiencing Growth in 2019*. Total Croatia News, 2019. Elérhető: www.total-croatia-news.com/travel/36822-pula-airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

²⁸ *Zadar International Airport*. Airport Technology, 2014. Elérhető: www.airport-technology.com/projects/zadar-international-airport/ (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

²⁹ Az adatok forrása: *List of the busiest airports in Croatia*. i. m. (26. lj.)

a repülőtér infrastruktúrájában és kereskedelmi létesítményeiben. A 2019-es szezon végére tervezték befejezni a repülőtér fő előterének meghosszabbítását, ami két további repülőgép-állóhelyet fog biztosítani. Folyamatban van egy étterem kialakítása is az utasterminálon belül. Az előtérbővítés első fázisának tervezett költsége 18 millió kuna. Az előtér-nagyobbítási projekten kívül az elkövetkező években az előtér további két fázisban történő bővítését tervezik, amelyek rendkívül fontosak a megnövekedett forgalom kiszolgálása érdekében.³⁰ A zárai repülőtéren 19 légitársaság üzemeltet járatokat 63 különféle úti cél irányába 2019-ben.³¹

A zárai repülőtéren, 2019. március 7-én, Andrej Plenković Horvátország miniszterelnökének jelenlétében megállapodást írt alá a tengeri, közlekedési és infrastrukturális miniszter és a zárai repülőtér üzemeltető társaság, amely részletesen szabályozza a repülőtér létesítményeinek átalakítására irányuló újabb projekt finanszírozását. A zárai repülőtér e projekt keretében 700 méterrel fogja meghosszabbítani a meglévő futópályát, bővíteni fogja az utasterminál épületét és az előtérét, hogy az képes legyen hosszú távú járatok (*long haul flights*) kezelésére is. A repülőtér két éve szeretné, ha járatokat fogadhatna Kínából. A projekt tervezett költsége 70 millió euró.³²

2.6. A fiumei (Rijeka) repülőtér – Közép-Európa szívében

A fiumei repülőtér mindössze 15 kilométerre van a várostól. Ez a repülőtér viszonylag kisebb repülőtérnek számít Horvátországban, jelenleg 13 légitársaság üzemeltet járatokat 24 különféle úti cél irányába.³³ A fiumei repülőtér rendkívül kedvező helyen található Közép-Európa szívében, 60 perces autótúnyira Pólától és Trieszttől, 90 percnyire Zágrábtól és Ljubljanától, 120 percnyire Zárától és Velencétől, valamint 180 percnyire Graztól és Splittől. A repülőtér közvetlen vonzókörzetében 120 perces autótúnyi távolságon belül a repülőtértől mintegy 3 millió ember él. A 2018-as év rekordév volt a fiumei repülőtér történetében, amikor az utasforgalom elérte a 183 ezer 606 utast (a korábbi rekordév 2006 volt 169 ezer 250 utassal), 5 460 repülőgép-művelet mellett. A 2019-es évtől kezdve 3 új légitársaság, az Air Serbia, a Lufthansa és Volotea indított rendszeres járatokat Belgrádba, Marseille-be és Münchenbe, és a világ egyik legnagyobb charter légitársasága a TUI Airways is megérkezett a repülőtérre.³⁴ A 2019-es évre 197 ezer utassal terveztek 5 800 repülőgép-művelet mellett. A tervezett bevételek és kiadások értéke mintegy 20 millió 600 ezer kunát tett ki 2019-ben. 8 millió kuna értékben kívántak beruházásokat végrehajtani. Ebből 7 millió 157 ezer 153 kunát különítettek el a terminálépület és a műszaki blokk külső felületeinek rekonstrukciójára, amely révén befejeződhet a terminálépület még 2012-ben megkezdett rekonstrukciója. A 2012 és 2019 közötti hét évben több mint 35 millió kunát fektettek be a fiumei repülőtér infrastrukturális fejlesztésébe, amelynek a 90%-át adta a Tengeri, Közlekedési és Infrastrukturális Minisztérium, míg

³⁰ Rogulj (2019) i. m. (15. lj.)

³¹ Zadar Airport. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Zadar_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

³² Daniela Rogulj: Zadar Airport Announces 70 million Euro Expansion for Long Haul Flights. Total Croatia News, 2019. Elérhető: www.total-croatia-news.com/travel/34593-zadar-airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

³³ Rijeka Airport. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Rijeka_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

³⁴ Daniela Rogulj: Rijeka Airport Hopes to Grow in 2019 from Year-round Flights, New Airlines. Total Croatia News, 2019. Elérhető: www.total-croatia-news.com/travel/34035-rijeka-airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

a további 10%-ot Primorje-Gorski Kotar megye. A terminálépületben említett beruházások jelentős része a közlekedésbiztonsági előírásoknak való megfelelés érdekében történt, valamint a gépek és berendezések korszerűsítésére irányult.³⁵

2.7. Az eszéki (Osijek) repülőtér – kínaiak fejlesztik a repülőteret

Eszék repülőtere 2017-ben 43 ezer 373 utast szolgált ki, ami 41%-os növekedést jelentett az előző évhez képest. E növekedés az Eurowingsnek köszönhető, amely új járatokat indított a városba. Ez a pozitív tendencia erősödött 2018-ban is, amikor az Eurowings új járatot indított Stuttgartba, majd a heti két járatát, heti háromra növelte.³⁶ 2019-ben 3 légitársaság üzemeltetett járatokat az eszéki repülőtéren 9 különféle úti cél irányába.³⁷ Az eszéki repülőtér utasforgalma 2018-ban 67 ezer 235 fő volt, 55%-kal nőtt 2017-hez képest. 2019-ben 74 ezer 357 utast vártak, ami 11%-kal lenne több mint 2018-ban, 3 022 repülőgép-művelet mellett (+14%). 2019-ben 14 millió 200 ezer kuna tervezett bevétellel és kiadással számoltak. A 2019-es év legnagyobb és legfontosabb tervezett beruházása az utasterminál rekonstrukciója volt. Ennek keretében tervezték bővíteni az utasterminál-épületet, átszervezni a meglévő létesítményeket, egyértelmű kommunikációval kívánták javítani az utasok jobb tájékoztatását. Hatékonyabbá kívánták tenni az épület fűtését és hűtését, valamint az épület energiahatékonyágát, a karbantartási költségek csökkentése mellett. Elkülönítették a hazai és nemzetközi járatok utasait az indulásoknál. Ezen túlmenően LED-es világítást és videofelügyeletet kívántak bevezetni az utasterminál-épületben. Továbbá a polgári légi közlekedés biztonságának biztosításához egyéb fejlesztéseket és jégmentesítő berendezés vásárlását is tervezték 2019-re.³⁸

Kínai vállalkozók érdeklődnek egy áru- és logisztikai központ építése iránt Eszék repülőterén. A horvát kormány abban bíz, hogy rövidesen sikerül e tekintetben szándéknyilatkozatot aláírni az érintett kínai vállalkozókkal, akikkel a kínai delegáció látogatása során folytattak erről tárgyalásokat, több releváns horvát minisztérium bevonásával a legnagyobb keleti horvát városban 2019 júniusában. A kínai delegáció vezetője, Jiang Yu üzletasszony szerint különösen azért érdekes számukra a repülőtér, mert az Osijek folyó kikötője által biztosított lehetőségekkel kombinálható.³⁹

2.8. A brači repülőtér

Brač repülőtere 2018-ban 30 ezer 170 utast szolgált ki, ami 39,7%-os növekedést jelentett az előző évhez képest. 2019-ben 3 légitársaság üzemeltetett járatokat a brači repülőtéren

³⁵ Daniela Rogulj: *Plans and Expectations for Croatian Airports 2019: Pula, Rijeka, Osijek*. Total Croatia News, 2019. Elérhető: www.total-croatia-news.com/travel/34356-croatian-airports (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

³⁶ *Osijek Airport sees strong growth*. Ex Yu Aviation News, 2018. Elérhető: www.exyuaviation.com/2018/01/osijek-airport-sees-strong-growth.html (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

³⁷ *Osijek Airport*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Osijek_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

³⁸ Rogulj (2019) i. m. (35. lj.)

³⁹ *Chinese Interested in Building Logistics Centre at Osijek Airport*. 2019. Elérhető: www.total-croatia-news.com/travel/36461-osijek-airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

8 különféle úti cél irányába.⁴⁰ Nagyszerű hír volt a brači repülőtér számára, amely az elmúlt évben rendkívüli növekedést mutatott, hogy a tavaly charterként közlekedő, ukrán alacsony költségvetésű légitársaság, a SkyUp Airlines bejelentette, hogy Kijev és Brač között tervezett járatokat indítani a következő turisztikai szezonban. A SkyUp hetente kétszer tervezett járatokat üzemeltetni Kijev és Brač között 2020. június 1. és szeptember között. A járatokat szombaton és vasárnap tervezték közlekedtetni. A SkyUp légitársaságnak három Boeing 737-800-as és egy B737-700-as repülőgépe van, és három B737 MAX 10 és két MAX 8 repülőgépre volt megrendelése.⁴¹

A brači repülőtér 2021-ig tartó korszerűsítése eredményeként a futópálya hosszúsága 1760-ról 2400 méterre bővül, és 30 méterről 45 méterre nő a szélessége. Egyúttal az utasterminál rekonstrukciójára szintén sor kerül, hogy megfeleljen három Boeing 737-800-as vagy Airbus 320-as repülőgép egyidejű kiszolgálása térbeli és kényelmi követelményeinek. A fejlesztéseket EU-forrásokból finanszírozzák, és várhatóan 12-18 millió euróba fog kerülni. A projektet 2021 májusáig tervezik befejezni. A repülőtér legfontosabb stratégiai partnerei a futópálya meghosszabbításában a TUI, a Titan Airways, Thomas Cook, az ASL Airlines, az Eurowings, az Air Serbia, a SAS, a JET2.COM, a Flybe és a Blue Air, amelyek komoly érdeklődést mutatnak a projekt iránt. A brači repülőtér 2019-ben mintegy 32 ezer utasra számított. Ez a terv kevésbé ambíciózus, mint a tavalyi növekedés, tekintettel arra, hogy a LuxAir korábbi bejelentése ellenére, hogy egy nagyobb repülőgéppel fog járatokat üzemeltetni Brač repülőterén, nem következett be. Hasonlóképpen, a korábban a repülőtéren működő SkyWork légitársasággal is megszűnt a kapcsolat, miután az csődbe ment, habár ez az esemény az elmúlt évben nem befolyásolta jelentősen az utasforgalmat. Ebben az évben várható még egy SkyUp-járat Kijevből, amelyet azonban még nem erősítettek meg, és tárgyalásokat folytatnak a LOT lengyel nemzeti légitársasággal. Idén mintegy 1700 kereskedelmi repülőgépre és 1500 kisgépre számítanak. A 2019-es évben 6 millió 700 ezer kuna bevétellel 5 millió 900 ezer kiadással és 750 ezer kuna hozammal számoltak.⁴²

2.9. A lošinj repülőtér – nagy törekvésekkel

A lošinj repülőtérre 2018-ban 6 ezer 939 utas érkezett, 14,8%-kal több mint 2017-ben. Jelenleg 3 légitársaság üzemeltet járatokat a lošinj repülőtéren 8 különféle úti cél irányába.⁴³ A lošinj repülőtér 2016-ban bejelentette, hogy több millió eurós összegű korszerűsítést fog végezni, amely egy új terminálpépület építését és a futópálya bővítését jelenti. A projekt 2017-ben kezdődött és 2018 nyarán fejeződött be. Magában foglalta a futópálya hosszabbítását a korábbi 900-ról 1800 méterre, ami lehetővé teszi, hogy nagyobb repülőgépeket is ki tudjon szolgálni a repülőtér, amelynek jelenlegi kapacitása 180 utas. A projekt Horvátország számára stratégiai jelentőségű, 35 millió euró értékű. A repülőtér fejlesztését a köz- és magánszféra

⁴⁰ Brač Airport. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Brač_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

⁴¹ Daniela Rogulj: *Flights to Croatia: SkyUp to Introduce Brač Service from Kiev*. Total Croatia News, 2019. Elérhető: www.total-croatia-news.com/travel/34145-flights-croatia (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

⁴² *The second phase of the upgrade of Airport Brač*. Airport Brač. Elérhető: www.airport-Brač.hr/en/the-second-phase-of-the-upgrade-of-airport-Brač (A letöltés dátuma: 2020. 11. 18.)

⁴³ Lošinj Airport. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Lošinj_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

közötti partnerség keretében hajtják végre, ahol egy magánvállalkozó, a Jadranka, több helyi szállodának és villának az üzemeltetője és Mali Lošinj önkormányzata a fő érdekeltek. A lošinj-i repülőtereprojekt legfőbb célja az volt, hogy jelentősen megnövelje érkezési kapacitását az utasforgalom terén, és új perspektívát adjon Mali Lošinj városának, Lošinj és Cres szigeteinek, valamint az Adriai-tenger horvát idegenforgalmi ipara jövőbeli fejlődésének. A repülőtér elsősorban az Egyesült Királyságból és Skandináviából érkező turisták felé szeretne nyitni.⁴⁴

Horvátország legkisebb kereskedelmi repülőtere 2019-ben újabb forgalmas évet regisztrált, mivel a következő hónapokban a Silver Air cseh légi fuvarozó bejelentette, hogy Lošinjból, Zágrábba és Luginóba fog új járatokat indítani. Továbbá a légitársaság július 1-jén új szolgáltatásokat fog bevezetni Velencébe. A repülőtér üzemeltetője számára a szárazfölddel való jobb kapcsolat az egyik fontos stratégiai cél, amelyen az elmúlt években aktívan dolgoztak annak érdekében, hogy Lošinj és a Földközi-tenger ezen része a turisztikai térképekre kerüljön. A Jadranka csoport szerint a lošinj-i repülőtér tervezett átalakítása és bővítése hozzá fog járulni majd a beérkező járatok számának növeléséhez és a teljes Cres–Lošinj-szigetcsoport látogatói számának növeléséhez. A projektet eredetileg 2016-ban kellett volna megkezdeni, de évről évre késett a földtulajdonlással kapcsolatos kérdések tisztázatlansága, valamint a megfelelő pénzeszközök hiánya miatt. A lošinj-i repülőtéren, amely 1985-ben nyílt meg kiscépes repülési célokra, jelenleg az év nagy részében még nincs menetrend szerinti forgalom, mivel ma még csak a Silver Air az egyetlen kereskedelmi ügyfele.⁴⁵

3. A légi közlekedés alacsony költségű modellje és elterjedése Kelet-Közép Európában

Az alacsony költségű közlekedés fejlesztése Európában a légi közlekedés liberalizációjának bővülésével kezdődött. A légi közlekedés liberalizációjának folyamata Európában az 1980-as évek közepén kezdődött, három csomag végrehajtásával 1987-ben, 1990-ben és 1992-ben. Az 1992-ben végrehajtott harmadik intézkedéscsomag a szükséges szállítási engedélyek beszerzésére, a tarifák liberalizációjára, a piacra való szabad hozzáférés és a „nyílt égbolt” megállapodás összehangolására vonatkozó intézkedésekre terjedt ki.⁴⁶ A légi közlekedés liberalizációját először Csehországban, Lengyelországban és Szlovákiában hajtották végre, Európának ezen a részén. Az első nem hagyományos, teljes szolgáltatást nyújtó légitársaságot a Travel Service-t még 1997-ben a cseh nemzeti légitársaság a CSA hozta létre, de ez a légitársaság hosszú ideig sokkal inkább mint charter légitársaság működött, mintsem alacsony költségű légitársaság. Csak 2017-óta vált valódi fapados légitársasággá, amikor a Travel Service-t átnevezték Smartwingsre, azaz felvette a CSA 2007-ben alapított korábbi alacsony költségű leányvállalata nevét 2018. decemberben.⁴⁷

⁴⁴ *Mali Lošinj Airport with big ambitions*. Ex Yu Aviation News, 2019. Elérhető: www.exyuaviation.com/2019/05/mali-Lošinj-airport-with-big-ambitions.html (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

⁴⁵ *Lošinj Airport (LSZ): Flights, Transfers, Tesla Speed Race*. Total Croatia, 2018. Elérhető: www.total-croatia.com/Lošinj-airport/ (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

⁴⁶ Gašparović–Jakovčić–Vrbanc i. m. (3. l.)

⁴⁷ *Czech Airlines has new owner as Travel Service ups stake*. Ch-aviation, 2017. Elérhető: www.ch-aviation.com/portals/news/60187-czech-airlines-has-new-owner-as-travel-service-ups-stake (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

A két első olcsó költségvetésű légitársaság 2001-ben alakult meg, Lengyelországban az Air Polonia és Szlovákiában a SkyEurope. Mindkét légitársaság pénzügyi problémák miatt megszűnt azóta. Ezt követően alakult meg a Blue Air Romániában, a Wizz Air Magyarországon, valamint az Austrian Airlines hozott létre alacsony költségvetésű leányvállalatokat. Az alacsony költségvetésű légitársaságok megalakulásának folyamatát mutatja be az alábbi, 1. táblázat.

1. táblázat

Alacsony költségvetésű légitársaságok Kelet-Közép-Európában. Forrás: a szerző szerkesztése a táblázatban szereplő légitársaságok honlapjai és List of low-cost airlines. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_low-cost_airlines (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.) alapján

Légitársaság	Székhely	Alapítás, megszűnés éve	Fő bázisai
Air Polonia	Varsó – Lengyelország	Alapítva: 2001-ben Megszűnt: 2004-ben	Gdańsk, Katowicze, Varsó, Wrocław
Albawings	Tirana – Albánia	Alapítva: 2016-ban	Tirana
Amira Air – Lauda Air	Bécs	Alapítva: 2004-ben	Bécs, Düsseldorf, Stuttgart
Blue Air	Bukarest – Románia	Alapítva: 2004-ben	Bákó, Jászvásár, Kolozsvár, Larnaca, Torinó
FlyOne	Kisinyov – Moldova	Alapítva: 2016-ban	Kisinyov
Sky Europe	Pozsony – Szlovákia	Alapítva: 2001-ben Megszűnt: 2009-ben	Bécs, Pozsony, Prága
SkyUp	Kijev – Ukrajna	Alapítva: 2016-ban	Harkov, Kijev, Ogyessza
Smartwings-Travel Service	Prága – Csehország	Alapítva: 1997-ben, illetve 2007-ben	Brno, Osztrava, Prága
Wizz Air	Budapest – Magyarország	Alapítva: 2003-ban	Budapest, London – Luton, Varsó – Chopin, Bukarest, Katowice

Az alacsony költségvetésű légitársaságok egy újabb alapítási hullámát hozta a 2016-os év, amikor több, az Európai Unión kívüli országban hoztak létre fapados légitársaságot. Albániában az Albawings-t, Moldovában a FlyOne-t és Ukrajnában a SkyUp-ot.

Manapság számos definíció létezik a fapados légitársaságokra. A legegyszerűbb a Pender és Baum definíciója, amely szerint az alacsony költségű légitársaságok azok, amelyek a szállítási szolgáltatásaikat sokkal alacsonyabb áron kínálják. Ahol az alacsonyabb árak a szolgáltatások teljesítése költségeinek csökkentéséből adódnak.⁴⁸ A légi közlekedés alacsony költségű modelljének jellemzőit összegezték Slaven Gašparović és társai a témában legtöbbet idézett cikkek alapján.⁴⁹

- szolgáltatások egyszerűsítése a repülés során;
- a kiváltságok felfüggesztése (például a frequent-flyer programoké);
- az elosztás és a jegyértékesítés egyszerűsítése;
- az utasosztályok egységesítése;
- közvetlen vonalak (pont–pont járatok);
- másodlagos repülőterek használata;
- a költségek csökkentése a repülőtereken;
- repülőgépflootta egységesítése;

⁴⁸ Lesley Pender – Tom Baum: Have the frills really left the European airline industry? *International Journal of Tourism Research*, 2. (2000), 6. 423–436.

⁴⁹ Gašparović–Jakovčić–Vrbanc i. m. (3. lj.)

- a repülőgép felkészítéséhez szükséges idő csökkentése;
- a repülőgépek kihasználtságának növelése (a repülőgépek gyorsabb fordulóideje és az azonos időre eső hosszabb kihasználási ideje révén).

Azonban az alacsony költségű fuvarozók között is vannak különbségek az üzleti modellek tekintetében. Az első csoportja a fapados légitársaságoknak a klasszikus fapados légitársaságok, amelyek az amerikai Southwest Airlines üzleti modelljét igyekeztek másolni. A Southwest pénzügyi sikereit elsősorban az a képessége eredményezte, hogy az üzemeltetési költségeit következetesen a bevételei alatt tudta tartani. Az egy utasra jutó bevételei nem sokkal voltak kisebbek, mint más ugyanazon az útvonalon járatot üzemeltető versenytárs légitársaságok bevételei. A nagy különbség az egy utasra jutó költségekben volt. A Southwest igazi teljesítménye az volt, hogy 25-40%-kal alacsonyabban tudta tartani költségeit a versenytársakénál.⁵⁰ A két leggyakrabban használt modell a Ryanair üzleti modellje és az EasyJet üzleti modellje, a két vezető alacsony költségvetésű légitársaság gyakorlata alapján.⁵¹ E két alacsony költségű modell mellett természetesen léteznek más modellek például a Wizz Air is több elemében eltérő modellt követ, mint versenytársai.⁵²

Horvátország számára az egyik legfontosabb intézkedés a „nyitott égbolt” megállapodás volt. Az alacsony költségvetésű légitársaságok által kínált olcsó utazások többnyire a turizmusban jó lehetőségeket kínáltak a horvát repülőtereken, különösen a tengerparton történő légi közlekedés fejlesztésére. A fapados légitársaságok elterjedése következtében a horvát repülőterek leszállásiidő-bevétele 2008-óta folyamatosan nő. Habár 2010-ben a légi közlekedés részesedése Horvátországban a közlekedésen belül mindösszesen 1,3% volt, 2000 óta ez a részesedés folyamatosan nőtt. Amíg a horvát repülőterek 2000-ben még csupán 1 millió 72 ezer utast regisztráltak, 2010-re azok száma már 1 millió 861 ezerre nőtt, ami 73,6%-os növekedést jelentett. Ma már a horvát repülőterek utasforgalma meghaladja a 10 millió 600 ezret, azaz a legutóbbi kilenc évben több mint 8 millió 700 ezerrel nőtt az éves utasforgalom.⁵³

4. A horvát repülőterek által kínált úti célok járatkategoróriáinként

Kutatásom részeként az egyes repülőterek által kínált úti célokat megvizsgáltuk különféle járatkategoróriáinként is. Ennek folyamán a nemzetközi gyakorlatban elterjedt különféle kategóriákat vettük alapul. Megkülönböztettem az alacsony költségvetésű légitársaságok (LCC – *Low Cost Carrier*), a teljes szolgáltatást nyújtó (FSC – *Full Service Carrier*) és a charterjáratokat. A teljes szolgáltatást nyújtó légitársaságokon belül megkülönböztettem a nemzeti légitársaságok

⁵⁰ A Southwest légitársaság *low-cost* üzleti modelljét ismerteti átfogóan Novoszátth Ágnes – Novoszátth Péter: Innovációs forradalom a légiközlekedésben: Az airline marketing újraalkotása a low-cost légitársaságok megjelenése után. In Kövesi János – Szalkai Zsuzsanna – Deli-Gray Zsuzsanna – Vasné Egri M. – Vágási M. (szerk.): *Marketing Oktatók Klubjának 12. Országos Konferenciája*. Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2006.

⁵¹ A Ryanair és az EasyJet üzleti modelljét elemzi részletesen: Graham Francis et alii: Where next for low-cost airline? A spatial and temporal comparative study. *Journal of Transport Geography*, 14. (2006), 2. 83–94.

⁵² A Wizz Air és a Sky Europe modelljének erősségeit és gyengeségeit értékeli részletesebben: Novoszátth Péter: Versenyben a világgal Közép- és Kelet Európáért: A Sky-Europe és a Wizzair rivalizálása In Dinya László (szerk.): *A Marketing Oktatók Klubjának 2007. évi konferencia: Globális marketingkihívások*. Gyöngyös, Károly Róbert Főiskola, 2007. 99–107.

⁵³ Gašparović–Jakovčić–Vrbanc i. m. (3. l.)

(*flag carrier*) által kínált járatokat. Azt is megnéztem, hogy az egyes felkínált járatokon belül mennyi volt a menetrend szerinti járat, a szezonális járat, illetve a szezonális charterjárat. A repülőterekre vonatkozó elemzésem egyik alapját a menetrendekben szereplő egyes járatokkal kapcsolatos összegyűjtött adatok képezték. A közérthetőség kedvéért az elemzésem eredményeinek bemutatása előtt fontos tisztázni néhány a tanulmányban használt fogalom pontos jelentését. Alacsony költségű, fapados légitársaság alatt azokat a légitársaságokat értjük, amelyek a hagyományos légitársaságokhoz képest alacsonyabb költségekkel üzemelnek, ennek megfelelően alacsonyabb jegyárakat alkalmaznak. Ezek a légitársaságok többnyire független társaságként vagy valamely nagyobb hálózatot működtető légitársaság részlegeként, vagy leányvállalataként, esetleg valamely légitársaság-csoport korábbi charterágazataként működnek. Charterjáraton az adott repülőterre nem rendszeresen közlekedő, a légiközlekedési hatóság által jóváhagyott menetrendben nem szereplő, időszakos, alkalmi járatot értem. Szezonális járat az olyan járat, amely csak egy adott menetrendi időszakban közlekedik, akár ismétlődően is egymást követő azonos nyári vagy téli időszakokban. A horvát repülőterek által kínált úti célokat mutatja be az alábbi, 2. táblázat.

2. táblázat

A horvát repülőterek által kínált úti célok különféle járatkategóriáinként 2019-ben. Forrás: a szerző szerkesztése a List of the busiest airports in Croatia. i. m. (26. lj.) alapján

Repülőtér	LCC	FSC	Charter	Összesen	Menetrend szerinti	Szezonális	Szezonális charter	Flag
Brač	2	0	6	8	0	4	4	5
Dubrovnik	45	60	20	125	7	117	1	36
Eszék	2	2	4	8	4	4	0	2
Lošinj	2	0	6	8	0	4	4	5
Pula	21	34	13	68	6	62	0	18
Rijeka	5	11	8	24	6	16	2	4
Split	39	56	18	113	12	100	1	35
Zadar	12	37	8	57	2	53	2	10
Zágráb	47	9	3	59	39	20	0	46
Összesen	175	209	86	470	76	380	14	161
	37,2%	44,5%	18,3%	100,0%	16,2%	80,9%	3,0%	

A horvát repülőterek esetében összesen 470 különféle járatot azonosítottam annak figyelembevételével, hogy az adott úti célt milyen típusú légitársaság kínálta fel és milyen úti cél elérése érdekében. A járatok legnagyobb részét, 44,5%-át a teljes szolgáltatást nyújtó légitársaságok kínálták, míg az alacsony költségvetésű légitársaságok által kínált járatok tették ki az összes felkínált járat 37,2%-át. A felkínált járatok 18,3%-a charterjárat. A teljes szolgáltatást nyújtó légitársaságok által kínált járatok döntő része valamely ország nemzeti légitársaságához kapcsolódott. De találtam néhány olyan charterként üzemeltetett járatot is, amelyet nemzeti légitársaság (például CSA) teljesít. A horvát repülőterekről 2019-ben a világ 110 városa volt elérhető valamilyen légitársaság járatával közvetlenül. Döntő részük természetesen Európában és azon belül Nyugat-Európában található. Ezen belül a legfrekvenciáltabb úti célok Nagy-Britannia, Németország, Svédország, Norvégia volt. De volt több járat más kontinensekre is, így például Kanadába, Torontóba, egy járat az Egyesült Államokba, Philadelphiába, egy másik Koreába, Szöulba. Viszonylag sok járat van arab országokba, Bejrútba, Dohába, Dubajba.

5. A horvát repülőterek utasforgalmának alakulása

A horvátországi repülőterek minden évben egyre több utast szolgálnak ki. A horvát repülőterekről a 2015 és 2018 közötti évekre vonatkozó hivatalos utasforgalmi adatait mutatja be az alábbi táblázat. A teljes horvátországi repülőtéri utasforgalom közel 85%-a, a három legnagyobb repülőtéren (Zágráb [31,6%], Split [29,45%] és Dubrovnik [23,9%]) bonyolódott le. A horvát repülőterek utasforgalmának alakulását mutatja be az alábbi, 3. táblázat.

3. táblázat

A horvát repülőterek utasforgalmának alakulása 2015 és 2018 között. Forrás: a szerző szerkesztése a List of the busiest airports in Croatia. i. m. (26. lj.) adatainak felhasználásával

		2015	2016	2017	2018	Változás
1.	Zágrábi repülőtér	2 587 798	2 776 087	3 092 047	3 366 310	130,1%
A horvát regionális repülőterek utasforgalma						
2.	Spliti repülőtér	1 955 400	2 289 987	2 818 176	3 124 067	159,8%
3.	Raguzai (Dubrovnik) repülőtér	1 693 934	1 993 243	2 323 065	2 539 412	149,9%
4.	Pólai (Pula) repülőtér	359 426	436 121	595 812	717 187	199,5%
5.	Zárai (Zadar) repülőtér	487 652	520 924	589 841	603 819	123,8%
6.	Fiumei (Rijeka) repülőtér	139 718	145 297	142 111	183 606	131,4%
7.	Eszéki (Osijek) repülőtér	28 651	30 605	43 373	67 235	234,7%
8.	Brač repülőtere	8 809	12 354	21 596	30 170	342,5%
9.	Lošinj repülőtere	12 287	6 402	6 042	6 939	56,5%
A horvát regionális repülőterek utasforgalma		4 685 877	5 435 583	6 540 016	7 272 435	146,3%
A horvát repülőterek utasforgalma		7 273 675	8 211 670	9 632 063	10 638 745	155,2%

Néhány közép-európai regionális repülőtér vonzaskörzetének és utasforgalmának összehasonlítását mutatja be az alábbi, 4. táblázat.

4. táblázat

Néhány közép-európai regionális repülőtér vonzaskörzetének és repülőtéri utasforgalmának összehasonlítása. Forrás: a szerző szerkesztése a Google Maps, az érintett repülőterek és települések honlapjainak és éves beszámolóinak alapján

	Város lakossága	Vonzaskörzet lakossága	Repülőtér utasforgalma	Repülőtér utasforgalma/ Vonzaskörzet lakossága
Ausztria				
Graz	269 997	1 237 000	959 098	77,53%
Linz	193 814	1 465 000	402 007	27,44%
Salzburg	146 631	549 263	1 890 164	344,13%
Innsbruck	124 579	746 153	1 092 547	146,42%
Klagenfurt	96 640	561 077	216 905	38,66%
Magyarország				
Debrecen	202 520	537 268	318 342	59,25%
Nyíregyháza	117 874	562 357	29 430	5,23%
Győr – Péter	129 435	463 201	22 785	4,92%
Sármellék	1 811	277 290	13 229	4,77%
Pécs – Pogány	145 011	371 110	4 595	1,24%

	Város lakossága	Vonzáskörzet lakossága	Repülőtér utasforgalma	Repülőtér utasforgalma/ Vonzáskörzet lakossága
Románia				
Cluj – Kolozsvár	303 047	691 106	2 782 401	402,60%
Timișoara – Temesvár	306 462	683 540	1 517 309	221,98%
Iasi–Jászvásár	318 871	772 348	1 256 640	162,70%
Sibiu – Nagyszeben	425 906	375 992	662 468	176,19%
Craiova	293 567	660 544	493 056	74,64%
Bacau – Bákó	172 952	737 512	447 531	60,68%
Suceava – Szucsáva	105 624	701 830	352 991	50,30%
Oradea – Nagyvárad	201 547	638 863	220 012	34,44%
Konstanca	297 503	748 769	129 235	17,26%
Satu Mare – Szatmár	109 728	329 079	75 692	23,00%
Târgu Mureș – Marosvásárhely	142 327	550 846	63 794	11,58%
Horvátország				
Split	178 192	452 841	3 124 067	689,88%
Raguza – Dubrovnik	42 615	122 257	2 539 412	2077,11%
Póla – Pula	57 053	207 939	717 187	344,90%
Zára – Zadar	75 082	169 853	603 819	355,50%
Fiume – Rijeka	128 624	290 579	183 606	63,19%

A horvát regionális repülőterek utasforgalma közel másfélszeresére nőtt 2015-óta, négy év alatt. A regionális repülőterek utasforgalma gyorsabb ütemben nőtt ebben az időszakban, mint a zágrábi repülőtéré. A horvát regionális légitársaságok amíg 2015-ben még valamivel több mint 4,6 millió utast fogadtak, addig 2018-ban az általuk lebonyolított utasforgalom már meghaladta a 7,2 milliót. A Horvátországban legforgalmasabbnak számító regionális repülőtérnek, a spliti repülőtérnek tavaly több mint 3,1 millió utasa volt. A legnagyobb növekedést Brač repülőtere érte el, ahol közel 3 és félszeresére nőtt a repülőtér utasforgalma 2015 és 2018 között. A második legnagyobb bővülést az eszéki repülőtér produkálta, ahol több mint 2,3-szeresére nőtt az utasforgalom négy év alatt.

Horvátországnál négy város (Split, Raguza, Póla, Zára) esetében tapasztaltuk azt, hogy a repülőtér utasforgalma nagyobb, mint közvetlen vonzáskörzetének lakossága. Románia esetében is négy város (Kolozsvár, Temesvár, Jászvásár és Nagyszeben) esetében nagyobb a repülőtér forgalma, mint a közvetlen vonzáskörzetének lakossága, Ausztria esetében két város esetében tapasztaltuk ugyanezt. Míg Magyarország esetében egyetlen egy városban sem nagyobb a repülőtér utasforgalma, mint a repülőtér vonzáskörzetének lakossága.

6. A Horvát Köztársaság légitársaság-fejlesztési stratégiája (2017–2030)

Az adriai repülőtereknek kulcsfontosságú szerepe van a horvát turisztikai szektor fejlődésében. A légitársaság-fejlesztési stratégia megállapításai ebben a vonatkozásban:⁵⁴ a) A légi

⁵⁴ *Transport Development Strategy of the Republic of Croatia (2017–2030)* i. m. (18. l.) 121.

közlekedési ágazat Horvátországban közvetlenül kapcsolódik az idegenforgalomhoz, amit a horvát légitársasági fejlesztési stratégia forgalmi modelljében szereplő keresleti táblázatok is alátámasztanak. b) Ezek szerint minden horvát repülőtéren májustól szeptemberig jelentősen nő a kereslet. c) Rijeka és Pula repülőterek forgalma a fő szezonon kívül marginális. d) Hiányzik egy átfogó integrált logisztikai koncepció a turisták szállítására.

Az utasok havi eloszlását elemezve megállapítható, hogy a horvátországi légi közlekedési ágazat közvetlenül kapcsolódik az idegenforgalomhoz. A kereslet jelentősen emelkedik májustól szeptemberig. Ez különösen igaz a spliti és a dubrovnikai repülőterre, ahol a nyári hónapokban, júliusban és augusztusban az utasforgalom 20-szor nagyobb, mint februárban. A legkiegyenlítettebb az utasforgalom eloszlása a zágrábi repülőtéren. Ennek ellenére a zágrábi Franjo Tuđman repülőtéren is az utasok mennyisége júliusban közel kétszerese a februári forgalomnak. Az összes repülőtér magas szezonálisitása azt sugallja, hogy elengedhetetlen lenne a szezon kibővítésére egy új idegenforgalmi koncepció kidolgozása.⁵⁵ A Franjo Tuđman repülőtér központi szerepet játszik a közép-horvát funkcionális régió elérhetőségében a fő európai központok felől. A stratégiai dokumentum főbb megállapításai ezen a téren:⁵⁶ a) A zágrábi Franjo Tuđman repülőtér a fő horvátországi kijárat/belépési pont az országból/országba, ezért a belföldi és a nemzetközi forgalom legfontosabb csomópontja. b) Az autópályák és az állami utak kulcsfontosságú szerepet töltenek be a fő európai központokhoz való hozzáférés terén Horvátország földrajzi elhelyezkedése miatt.

A Franjo Tuđman nemzetközi repülőtéren az utasforgalom 2 millió 588 ezer 798 utas volt, 39 ezer 854 járaton 2015-ben. A 2014-es évhez képest 6,45%-kal nőtt az utasok száma. Ekkor még 600 ezer utassal előzte meg a zágrábi repülőtér a spliti repülőteret, amely már ekkor is Horvátország második legforgalmasabb repülőtere volt. Ugyanakkor 2018-ra a különbség a két repülőtér utasforgalma között már csak 242 ezer 243 utas volt. Mindez annak köszönhető, hogy a spliti repülőtéren az utasforgalom sokkal dinamikusabban nőtt, mint a zágrábi repülőtéren.

A Franjo Tuđman repülőtér nemcsak Zágráb fővárosa, hanem a közép-horvát funkcionális régió más városai számára is hozzáférhető. Ezek a városok: Velika Gorica (≈3 km), Varaždin (≈87 km), Čakovec (6106 km), Koprivnica (≈98 km), Bjelovar (≈88 km), Virovitica (≈153 km), Daruvar (≈129 km), Zabok (≈51 km), Zaprešić (≈33 km), Kutina (≈83 km), Sisak (≈46 km) és Karlovac (≈59 km). E városok és a Franjo Tuđman repülőtér közötti kapcsolat számos autópályán (A1, A2, A3, A4, A11) és állami úton keresztül lehetséges, amelyek Zágrábban kezdődnek vagy végződnek. Horvátország hosszú távú közúti közlekedési rendszere jól kapcsolódik a környező országokhoz. Ez a régió sűrű autópálya-hálózattal és magas szintű szolgáltatást nyújtó állami utakkal rendelkezik.⁵⁷

- Az A3-as autópálya (E70): Belgrád – Zágráb – Ljubljana – München, Szlovénia és Szerbia között;
- Az A2-es autópálya (E59): Zágráb – Maribor – Bécs, Szlovénia között;
- Az A4-es autópálya (E65): Zágráb – Budapest, Magyarország között;
- Az A5-ös autópálya: Államhatár – Beli Manastir – Eszék – Svilaj, összekötve Magyarországot és Bosznia-Hercegovinát;

⁵⁵ *Transport Development Strategy of the Republic of Croatia (2017–2030)* i. m. (18. l.) 122.

⁵⁶ Uo. 126.

⁵⁷ Uo. 129.

- A7-es autópálya (E61): Križišće – Rijeka – Rupa, amely Szlovéniát összeköti;
- Elsődleges D2-es út: Dubrava Križovljanska határátlépés Szlovéniából, Újlak határátkelő Szerbia felé;
- Elsődleges D5-ös út: összekötő Magyarország és Nyugat-Bosznia-Hercegovina irányába;
- Elsődleges út D7: Duboševica – Beli Manastir – Eszék – Dakovo – Slavonski Šamac, összekötő Magyarország és Bosznia-Hercegovina irányába;
- Az A1-es autópálya Közép-Horvátországot és Bosznia-Hercegovinát köti össze a déli határon, Montenegrónál;
- Ugyanakkor Közép-Horvátországot az A6-as autópálya (E65) nyugati irányba kapcsolja össze a szomszéd országokkal.

Jelenleg a Franjo Tuđman repülőteret egy koncessziós társaság irányítja, amely egy új céget alapított a repülőtér üzemeltetésére, a Zagreb Airport Kft.-t. Ez a cég aktív és közvetítő szerepet tölt be a horvát kormány és a koncessziós társaság között azzal a céllal, hogy továbbfejlessze az infrastruktúrát és minden olyan forgalmi szegmensét, amely nem tartozik a koncessziós szerződés tárgyához. A repülőtér fejlesztési tervei közé tartozott többek között a kapacitás növelésére szolgáló új terminál építése. Az új utasterminál építése 2017-ben fejeződött be.

Ragusa repülőtere kulcsfontosságú funkciója a dél-dalmáciai régió nemzetközi és belföldi utasainak kiszolgálása. A stratégia főbb megállapításai ezzel összefüggésben:⁵⁸

- Dubrovnik megye részei nem rendelkeznek közvetlen kontinentális kapcsolattal Horvátország többi részével;
- Ragusa repülőtere kulcsszerepet játszik a Dubrovačko-Neretvanska megye turisták általi hozzáférhetőségének biztosításában;
- Ragusa repülőtere jelenlegi állapotában nem képes a várható forgalomnövekedés kiszolgálására, mivel nem rendelkezik fölös kapacitással;
- a repülőterek különböző alrendszerének állandó túlterhelése idővel a működésének megszakadásához vezethet;
- a zágrábi közúti utazás költsége ugyanannyi, mint egy repülőjegy, de az utazási idő jelentősen több (több mint 6 óra autóval, és kevesebb mint egy óra repülővel);
- az utasok napi elosztása a raguzai repülőtéren, szezonon kívül (február) azt mutatja, hogy az emberek többnyire szombaton és hétfőn használják csak a repülőteret.

A horvátországi repülőterek elérhetősége sokszor problémát jelent, különösen a turisztikai szezonban. A repülőterek regionális közlekedési rendszerbe történő integrálása ma még nem megfelelő. A stratégia főbb megállapításai ebben a vonatkozásban:⁵⁹ a) A horvát repülőtereken az utasok havi eloszlása nagyon szezonális. b) A zágrábi Franjo Tuđman repülőtérre történő közlekedésre vonatkozó statisztika azt mutatja, hogy az utasok 36%-a saját autóval, 33%-a busszal és 31%-a pedig taxival éri el a repülőteret. c) A hozzáférhető közlekedési módok a repülőterekhez nem biztosítanak megfelelő szolgáltatást a szezonban és a szezonon kívüli időszakban a városi közúti hálózat kapacitásszintje miatt. d) Bizonyos intézkedéseket kell végrehajtani a repülőterek megfelelő közlekedési szolgáltatásainak biztosítása érdekében, akár

⁵⁸ *Transport Development Strategy of the Republic of Croatia (2017–2030)* i. m. (18. l.) 123.

⁵⁹ Uo. 130.

a kapacitás kiterjesztésével, akár az úthálózat keresletmenedzsment révén történő keresletének csökkentésével, alternatív közlekedési módok bevezetésével és egyéb hasonló megoldásokkal.

A Horvát Statisztikai Hivatal adatai szerint a horvátországi utasforgalom havi megoszlása azt mutatja, hogy az utasok száma márciusban növekszik, a csúcsmennyiségek júliusban és augusztusban vannak, a szeptemberi volumen csökken, és a legalacsonyabb februárban. Ez különösen összefügg a nemzetközi járatokkal utazók eloszlásával, mivel a légi közlekedési ágazat szorosan kapcsolódik a nyári turisztikai szezonhoz Horvátországban. A horvát repülőtereken a nemzeti járatokon utazók havi elosztása ellenben nem ennyire szezonális. Horvátországban gyakorlatilag nincsenek a repülőtereknek a vasúti/villamos hálózatokhoz kapcsolódási pontjai. Az utasokat autóval, busszal vagy taxival szállítják el a repülőtérre, illetve viszik a repülőtérhez. Nem áll rendelkezésre elegendő információ a repülőterek elérésére vonatkozó modális felosztásról, ennél fogva a becslések a hasonló repülőterek (a madridi repülőtér, a barcelonai repülőtér, az alicantei repülőtér és a kuwaiti nemzetközi repülőtér) tényleges adatain alapulnak.

A repülőtér-fejlesztések döntő részét már az indokolta tette, hogy Horvátország Európai Unióhoz való csatlakozásakor a horvát repülőterek a biztonsági előírások vonatkozásában nem feleltek meg az uniós követelményeknek. Az ország az Európai Unióhoz való csatlakozásával 2013. július 1-jén az EASA teljes jogú tagja lett.⁶⁰ Az Ügynökség több mint hat éve szorosan együttműködött Horvátországgal, hogy teljes mértékben felkészítse Horvátországot az EASA szabályozási rendszerének átvételére, beleértve a kétoldalú munkaszerződéseket és technikai segítségnyújtási és támogatási programokat, például az EASA előcsatlakozási támogatási eszköz (IPA) megkötését.⁶¹

7. Összefoglaló megállapítások

A horvátországi repülőterek utasforgalma évről évre dinamikusan növekszik. A legforgalmasabb regionális repülőtér, a spliti repülőtér utasforgalma meghaladta a 3 milliót 2018-ban. A horvát regionális repülőterek utasforgalma együttesen gyorsabban nőtt az elmúlt négy évben, mint a fővárosi, zágrábi repülőtér. Horvátországban négy város (Split, Raguza, Póla, Zára) esetében a repülőtér utasforgalma ma már nagyobb, mint a repülőtér közvetlen vonzáskörzetének lakossága. A horvát regionális repülőterek rendkívül széles választékát nyújtják az utasok által elérhető járatoknak. Kutatásom során összesen 470 különféle járatot azonosítottam. A horvát repülőtereken üzemelő légitársaságokra sajátos mix jellemző. A járatok legnagyobb részét a teljes szolgáltatást nyújtó légitársaságok kínálják, ezen belül is a nemzeti légitársaságok, míg az alacsony költségvetésű légitársaságok által kínált járatok teszik ki a második legnagyobb részt. Charterjáratok adják a harmadik részt, ezek aránya elsősorban a kisebb utasforgalmat lebonyolító repülőtereknél nagyon magas. A horvát regionális repülőterek nagyon tudatosan igyekeznek bővíteni a repülőtereik elérhetőségét, járatválasztékát. Ennek keretében több repülőtér (Split, Zára, Eszék) is tengerentúli járatok hosszú távú meghonosítására törekszik.

⁶⁰ Az EASA – *European Aviation Safety Agency* – Európai Repülésbiztonsági Ügynökség, amit 2002. július 15-én hoztak létre, székhelye Köln, Németország. Teljes funkcióját 2008-ban érte el, amikor átvette az Egyesített Légügyi Hatóságok feladatát. *Európai Repülésbiztonsági Ügynökség*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://hu.wikipedia.org/wiki/Európai_Repülésbiztonsági_Ügynökség (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

⁶¹ *Transport Development Strategy of the Republic of Croatia (2017–2030)* i. m. (18. lj.) 133–136.

A horvát közlekedési kormányzat ebben a törekvésükben maximális segítséget igyekszik nyújtani ezeknek a repülőtereknek, például a lehetséges fejlesztési források felkutatásában, biztosításában, a repülőterek erőteljes külföldi reklámozásában, az ország turisztikai célú marketingje keretében. A horvát közigazgatás már korábban felismerte, hogy a regionális repülőterek kulcsszerepet játszanak a horvát idegenforgalom fejlesztésében. A horvát regionális repülőterek gazdálkodása többnyire nullszaldós vagy kis mértékben nyereséges. Ennek az oka elsősorban, hogy a fejlesztéseiket igyekeznek jó előre a piaci igényekhez igazítani, illetve a piaci szereplőkkel jó előre megállapodásokat kötni az új kapacitások igénybevételéről. A horvát repülőterek fő problémája jelenleg a repülőgépjáratok nagyfokú szezonalitása, a járatok közel 90%-a a nyári időszakban bonyolódik. Egy másik probléma, hogy a repülőterek ma még szigetként működnek az országban a zágrábi repülőtéren kívül, szembetűnő a multimodalitás teljes hiánya, nincsenek jól felépített vasúti, hajózási kapcsolataik, a tudatosan kiépített közúti kapcsolatok is csak néhány repülőterre jellemzők. A horvát repülőterek közül csak kevés igyekszik az utasforgalmi kapacitásai mellett az árufuvarozási kapacitásait is bővíteni.

A Covid-19-járvány 2020-ban megállította a horvátországi repülőterek magyarországinál intenzívebb fejlesztési és fejlődési folyamatát. De biztosak lehetünk abban, hogy a járvány elmúltával ismét új lendületet fog kapni ez a folyamat, amelyben a végrehajtott fejlesztések, valamint kiépített piaci kapcsolatok jelentős szerepet fognak kapni. Ez az időszak ugyanakkor egyúttal lehetőséget ad Magyarország számára, hogy, az e téren egyre szembetűnőbb lemaradásunkat pótolva és Horvátország tapasztalataiból is tanulva, felzárkózhassunk Horvátországhoz a regionális repülőtereink versenyképessége vonatkozásában.

Felhasznált irodalom

- Augustyniak, Wojciech – Laura López-Torres – Sławomir Kalinowski: Performance of Polish regional airports after accessing the European Union: Does liberalisation impact on airports' efficiency? *Journal of Air Transport Management*, 43. (2015), 11–19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2015.01.001>
- Daskalovic, Djorde: *Update 1. Croatia's Pola airport passenger numbers seen up 5% in 2015*. 2015. Elérhető: <https://seenews.com/news/update-1-croatias-pula-airport-passenger-numbers-seen-up-5-in-2015-472982> (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Francis, Graham – Ian Humphreys – Stephen Ison, – Michelle Aicken: Where next for low-cost airline? A spatial and temporal comparative study. *Journal of Transport Geography*, 14. (2006), 2. 83–94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2005.05.005>
- Gašparović, Slaven – Martina Jakovčić – Mirela Vrbanc: Croatian airports in the European low-cost carrier network. *Geoadria*, 17. (2012), 1. 93–109. DOI: <https://doi.org/10.15291/geoadria.239>
- Novoszáth Ágnes – Novoszáth Péter: Innovációs forradalom a légiközlekedésben: Az airline marketing újraalkotása a low-cost légitársaságok megjelenése után. In Kövesi János – Szalkai Zsuzsanna – Deli-Gray Zsuzsanna – Vasné Egri M. – Vágási M. (szerk.): *Marketing Oktatók Klubjának 12. Országos Konferenciája*. Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2006.
- Novoszáth, Péter: Development of regional airports on Danube Area: On the basis of German, Austrian, Hungarian, Serbian and Romanian examples In Lajos, Veres (szerk.): *Danube-Area*

Cohesion: I. EU Interregional International Scientific Conference. Subotica, Cikos Stampa, 2008. 129–138.

Novoszáth Péter: Versenyben a világgal Közép- és Kelet Európáért: A Sky-Europe és a Wizzair rivalizálása. In Dinya László (szerk.): *A Marketing Oktatók Klubjának 2007. évi konferenciája: Globális marketingkihívások*. Gyöngyös, Károly Róbert Főiskola, 2007. 99–107.

Pavlin, Stanislav – Igor Dimnik – Martin Starčević: Influence of low-cost carriers on airport infrastructure development. *Promet – Traffic & Transportation*, 19. (2007), 1. 49–54. DOI: <https://doi.org/10.7307/ptt.v19i1.935>

Pender, Lesley – Tom Baum: Have the frills really left the European airline industry? *International Journal of Tourism Research*, 2. (2000), 6. 423–436. DOI: [https://doi.org/10.1002/1522-1970\(200011/12\)2:6<423::aid-jtr240>3.0.co;2-r](https://doi.org/10.1002/1522-1970(200011/12)2:6<423::aid-jtr240>3.0.co;2-r)

Rabar, Danijela – Robert Zenzerović – Josip Šajrih: An empirical analysis of airport efficiency: the Croatian case. *Croatian Operational Research Review*, 8. (2017), 2. 471–487. DOI: <https://doi.org/10.17535/crrr.2017.0030>

Transport Development Strategy of the Republic of Croatia (2017–2030) 2nd Draft. Republic of Croatia, Ministry of the Sea, Transport and Infrastructure, 2017.

Internetes források

Brač Airport. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Brač_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

Chinese Interested in Building Logistics Centre at Osijek Airport. 2019. Elérhető: www.total-croatia-news.com/travel/36461-osijek-airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

Croatia Holiday Guide. Elérhető: www.aiptravel.com/croatia/ (A letöltés dátuma: 2020. 11. 18.)

Croatia's Dubrovnik airport receives €17.5m from EIB. *Airport Technology*, 2015. Elérhető: www.airport-technology.com/news/newscroatias-dubrovnik-airport-receives-175m-from-eib-4688716/ (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

Czech Airlines has new owner as Travel Service ups stake. *Ch-aviation*, 2017. Elérhető: www.ch-aviation.com/portal/news/60187-czech-airlines-has-new-owner-as-travel-service-ups-stake (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

Dubrovnik Airport. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Dubrovnik_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

Dubrovnik International Airport Reconstruction and Development. *Airport Technology*, 2017. Elérhető: www.airport-technology.com/projects/dubrovnik-international-airport-reconstruction-and-development/ (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

Európai Repülésbiztonsági Ügynökség. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://hu.wikipedia.org/wiki/Európai_Repülésbiztonsági_Ügynökség (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

List of Airports in Croatia. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_airports_in_Croatia (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)

List of low-cost airlines. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_low-cost_airlines (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

- List of the busiest airports in Croatia*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_busiest_airports_in_Croatia (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Lošinj Airport*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Lošinj_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Lošinj Airport (LSZ): Flights, Transfers, Tesla Speed Race*. Total Croatia, 2018. Elérhető: www.total-croatia.com/Lošinj-airport/ (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Mali Lošinj Airport with big ambitions*. Ex Yu Aviation News, 2019. Elérhető: www.exyuaviation.com/2019/05/mali-Lošinj-airport-with-big-ambitions.html (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Osijek Airport sees strong growth*. Ex Yu Aviation News, 2018. Elérhető: www.exyuaviation.com/2018/01/osijek-airport-sees-strong-growth.html (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Osijek Airport*. Wikipedia The Free Encyclopedia Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Osijek_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Pula Airport*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Pula_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Rijeka Airport*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Rijeka_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Rogulj, Daniela: *Flights to Croatia: SkyUp to Introduce Brač Service from Kiev*. Total Croatia News, 2019. Elérhető: www.total-croatia-news.com/travel/34145-flights-croatia (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Rogulj, Daniela: *Plans and Expectations for Croatian Airports 2019: Dubrovnik, Split, Zadar*. Total Croatia News, 2019. Elérhető: www.total-croatia-news.com/travel/34386-croatian-airports (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Rogulj, Daniela: *Plans and Expectations for Croatian Airports 2019: Pula, Rijeka, Osijek*. Total Croatia News, 2019. Elérhető: www.total-croatia-news.com/travel/34356-croatian-airports (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Rogulj, Daniela: *Rijeka Airport Hopes to Grow in 2019 from Year-round Flights, New Airlines*. Total Croatia News, 2019. Elérhető: www.total-croatia-news.com/travel/34035-rijeka-airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Rogulj, Daniela: *Zadar Airport Announces 70 million Euro Expansion for Long Haul Flights*. Total Croatia News, 2019. Elérhető: www.total-croatia-news.com/travel/34593-zadar-airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- The second phase of the upgrade of Airport Brač*. Airport Brač. Elérhető: www.airport-Brač.hr/en/the-second-phase-of-the-upgrade-of-airport-Brač (A letöltés dátuma: 2020. 11. 18.)
- Simmonds, Laura: *Pula Airport Making Excellent Progress, Experiencing Growth in 2019*. Total Croatia News, 2019. Elérhető: www.total-croatia-news.com/travel/36822-pula-airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Split Airport to receive Croatian development bank financing for upgrade project*. 2018. Elérhető: <https://staging.corporatetravelcommunity.com/split-airport-to-receive-croatian-development-bank-financing-for-upgrade-project> (A letöltés dátuma: 2020. 11. 19.)
- Split Airport*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Split_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)

- Split International Airport Terminal Rehabilitation and Expansion*. Airport Technology, 2017. Elérhető: www.airport-technology.com/projects/split-international-airport-terminal-rehabilitation-and-expansion/ (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Zadar International Airport*. Airport Technology, 2014. Elérhető: www.airport-technology.com/projects/zadar-international-airport/ (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Zadar Airport*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Zadar_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 11.)
- Zagreb International Airport's New Terminal*. Airport Technology, 2017. Elérhető: www.airport-technology.com/projects/new-terminal-zagreb-international-airport/
- Zagreb Airport*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Zagreb_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)

Szabolcsi Róbert¹

Pilóta nélküli légi jármű kis magasságú repülési pályáinak tervezése

A pilóta nélküli légi járművek (UAV-k) európai légtérhasználatával kapcsolatos jogalkotói tevékenység előrehaladtával, és a nemzeti szabályozások megalkotásával a közeljövőben az UAV-rendszerek robbanásszerű elterjedése várható. Az UAV, függetlenül az irányítási módjától, hasonlóan a hagyományos légi járművekhez, a repülési feladat megkezdése előtt felszáll, majd a repülési feladatát végrehajtva leszáll. Ezek a földközeli repülési üzemmódok sohasem veszélytelenek, a kezelők részéről is magas szintű tudást és nagy körültekintést igényelnek. Az UAV-k repülési feladataikat számos küldetésük során, kis magasságokon hajtják végre. Ily módon, amikor fokozottan kell számolni az UAV lehetséges ütközéseinek problémájával, az UAV kis magasságú repüléseinek repülési pályáit úgy kell megtervezni, hogy az ütközések elkerülhetőek legyenek, valamint a repülési pályán repülve megfelelő legyen a repülésbiztonság. A szerző célja bemutatni a kis magasságú repülések néhány lehetséges formáját és azok lehetséges repülési pályáit.

Kulcsszavak: kis magasságú repülések, terepkövetés, leszállás, repülési pálya tervezése, UAV

Planning of UAVs' Low Altitude Flight Paths

Regarding development of the UAV regulations at the EU, an intensive legislation process is expected in the EU Member Countries, too. Regardless of the UAV control principle, it must take off to execute missions, and, after successful flight mission, it must land. These flight regimes require from the UAV operators the highest skill levels. Besides there regimes there are many flight missions planned to be executed at low altitudes when UAV collision might happen. The UAV flight path must be planned in a way to avoid collisions, ensuring flight safety criteria. The purpose of the author is to introduce low altitude UAV flights and the paths best serving their flight missions.

Keywords: low altitude flights, terrain-following, landing, flight path planning, UAV

¹ Egyetemi tanár, Óbudai Egyetem; e-mail: szabolcsi.robert@uni-obuda.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2494-3746>

1. Bevezetés

A pilóta nélküli légi járművek (UAV) repüléseinek várható tömeges megjelenése és elterjedése épített környezetben, veszélyes, de nem elkülönített légterekben, és egyéb szenzitív alkalmazásokban előrevetíti annak igényét, hogy a kiemelten veszélyes repülési fázisokban UAV fedélzeti automatika segítse a kezelők és az üzemeltetők munkáját, főleg a kis magasságokon végrehajtott műveletek során.

Az UAV-repülések mára meglehetősen sokrétűek, de főleg a kis magasságokon végrehajtott műveletek szükségessé teszik, hogy a megfelelő repülésbiztonság elérése érdekében fedélzeti (vagy földi) automatika segítse a kezelő munkáját. Ilyen repülési üzemmódok lehetnek például a felszállás, a leszállás, a kis magasságú terepkövetés, kis repülési magasságokon a valós repülési magasság szabályozása.

A normál repülési üzemmódokat kiegészíthetik a következő vészhelyzeti repülési üzemmódok is: felszínnel történő ütközés megakadályozása, felszíni természetes vagy mesterséges tereptárgyakkal az összeütközés megakadályozása, légi összeütközés elkerülése UAV–UAV-, UAV–nem UAV-viszonylatban, összeütközés elkerülése nem kommunikáló célokkal (például madarak).

Az UAV vészhelyzeti kis magasságú repülésének automatizálása terén külön meg kell említeni a kényszerleszállások automatizálásának kérdéskörét. Az UAV kényszerleszállására számos ok (például kommunikáció elvesztése, adatkapcsolat minőségének leromlása, motor leállása, jegesedés, szélsőséges időjárási viszonyok, szélsőséges turbulenciák kialakulása stb.) miatt is sor kerülhet. Ilyen helyzetekben a vizuális látómezőn túlra tervezett repülések esetén a kezelőt nagyban segítheti, ha a vészhelyzet kialakulásakor adott logikai feltételek mellett, az UAV irányítását és leszállítását a fedélzeti automatika hajtja végre.

E repülések kritikus pontja a repülési pálya megtervezése, hiszen főleg a kis UAV-k esetén a vészhelyzeti repülési forгатókönyvek alkalmazásakor előre megtervezett és előre lemodellezett repülési pályákat használunk, amelyek biztosítják az UAV biztonságos földet érését, és igyekeznek minimalizálni a környezetben okozott károkat.

A szerző célja, hogy néhány kitüntetett kis magasságú repülési üzemmódra olyan repülési pályákat adjon meg, amelyek a gyakorlatban a megadott UAV-dinamikához illesztve jól szolgálgják a kis magasságú repülések automatizálását.

2. Szakirodalmi áttekintés

A légi járművek automatikus repülésszabályozásában régóta ismert a kis magasságú repülési pályákon a légi jármű automatikus irányítása. E témában korai munkának számít John H. Blakelock műve, aki légi járművek, és kifejezetten irányított rakéták szabályozástechnikájával foglalkozott.² Az optimális irányítások elmélete és gyakorlati alkalmazása a repülésszabályozásban is régóta áll a tudósok figyelmének középpontjában. Rabinovich a cirkálórakéták optimális repülési pályáinak tervezését 1966-ban mutatta be.³

² John H. Blakelock: *Automatic Control of Aircraft and Missiles*. New York, John Wiley & Sons, 1965.

³ Igor B. Rabinovich: *Optimal Flight Path Design for Cruising Missiles*. Moscow, Russia, Mashinostroenie, 1966.

A repülések során a légi járművek stabilitása, irányíthatósága és kormányozhatósága alapvető fontosságú úgy a mérnökök,⁴ mint a hajózók számára.⁵ Az automatikus repülésszabályozás rendszerszintű megközelítését Eduard A. Aszlanjan⁶ és Alekszandr A. Kraszovszkij⁷ mutatták be, amely források részletesen foglalkoznak a repülőgépek, helikopterek és repülő fedélzeti rakéták célba juttatásának lehetséges módszereivel. Donald McLean⁸ új alapokra helyezte az automatikus repülésszabályozó rendszerek tervezését és vizsgálatát. Művében a többváltozós irányítási rendszerek állapotterez tárgyalási módszerére hagyatkozik, és e modellekből az egyváltozós rendszermodellekhez csak elfogadott és megengedett egyszerűsítések után jut el.⁹ Az automatikus repülésszabályozó rendszerek tervezésével és vizsgálatával foglalkozik még Stevens, Lewis és Johnson könyve is.¹⁰

Az UAV-k repülési pályáinak tervezésével E. Beseda-Portas, L. de la Torre, J.M. de la Cruz és B. de Andrés-Toro¹¹ foglalkozik, míg E. Pillar¹² az UAV kényszerleszállásának automatizálását vizsgálja, és ad meg lehetséges robot viselkedési mintákat és vészhelyzeti viselkedési algoritmusokat. M. Vestergren¹³ posztmodern, légyszámítási módszereket vonultat fel a kis méretű UAV leszállása automatizálásának támogatására. Az általa javasolt lineáris leszállópálya két elemből állt, és alapvetően a nagyméretű leszállóhelyre történő leszállást vizsgálta.

Megemlíjtük, hogy az UAV-szabályozás területén számos szervezet, például a NATO is hosszú évek óta, meglehetősen kiforrott normarendszert alakított ki, és a NATO STANAG 4586 (2012)¹⁴ szabványban felsorolja a kis magasságú repülések fajtáit is.

Az Európai Unió pedig 2014-ben, széles körű társadalmi vitával egybekötött, aktív szabályozókészítési folyamatot indított el, majd 2019-ben,¹⁵ sikeres éveket maga mögött tudva rendeleteiben részletekbe menően szabályozta az UAV-k használatát.¹⁶

⁴ Brian Dickinson: *Aircraft Stability and Control for Pilots and Engineers*. London, Sir Isaac Pitman & Sons Ltd., 1968.

⁵ Tiberiu Hacker: *Flight Stability and Control*. New York, American Elsevier, 1970.

⁶ Эдуард А. Асланян: *Системы автоматического управления полётом летательных аппаратов, Часть I*. Киев, Киевское Высшее Военное Авиационное Инженерное Училище, 1984.

⁷ Алексадр А. Красовский – Юрий А. Вавилов – Алексадр И. Сучков: *Системы автоматического управления летательных аппаратов*. Москва, Издание ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1986.

⁸ Donald McLean: *Automatic Flight Control Systems*. New York – London – Toronto – Sydney – Tokyo – Singapore, Prentice-Hall International Ltd., 1990.

⁹ Robert C. Nelson: *Flight Stability and Control*. McGraw-Hill Companies, Inc., 1998.

¹⁰ Brian L. Stevens – Frank L. Lewis – Eric N. Johnson: *Aircraft Control and Simulation: Dynamics, Control Design and Autonomous Systems*. 3rd Edition, Wiley-Blackwell, 2015.

¹¹ Eva Beseda-Portas et alii: Evolutionary Trajectory Planner for Multiply UAVs in Realistic Scenarios. *IEEE Transactions on Robotics*, 26. (2010), 4. 619–634.

¹² Pillar C. S. Eng: *Path Planning, Guidance and Control for a UAV Forced Landing*. Queensland University of Technology, 2011.

¹³ Magnus Vestergren: *Automatic Takeoff and Landing of Unmanned Fixed Wing Aircraft. A System Engineering Approach*. MSc Thesis, Linköping University, 2016.

¹⁴ NATO STANAG 4586 (Ed. 3) – *Standard Interfaces of UAV Control System (UCS) for NATO Interoperability*. 9 November 2012.

¹⁵ A Bizottság (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete (2019. március 12.) a pilóta nélküli légi jármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légi jármű-rendszerek harmadik országbeli üzembentartóiról.

¹⁶ A Bizottság (EU) 2019/947 végrehajtási rendelete (2019. május 24.) a pilóta nélküli légi járműekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról.

Az UAV-k repülésdinamikai modelljeinek vizsgálatát, azok számára zárt szabályozási rendszerek tervezését, valamint a repülési pálya szimulációját a MATLAB® program¹⁷ és a Control System Toolbox¹⁸ támogatják.

3. Az UAV kis magasságú repülései

A NATO STANAG 4586 (2012) szabvány az UAV-repülések alábbi repülési üzemmódjainak automatizálását definiálja:

- indítás/felszállás;
- útvonalrepülés;
- megközelítés;
- tereppel való ütközés elkerülése;
- automatikus leszállás.

Hasonlóképpen, az automatikus repülésszabályozó rendszer egyéb fontos képességei az alábbiak:

- forgómozgás szögsebességeinek irányítása;
- térbeli szöghelyzet (dőlés, bólintás, irány) szabályozása;
- repülési magasság szabályozása;
- repülési sebesség szabályozása;
- függőleges sebesség szabályozása;
- útirányszög szabályozása;
- megközelítés (földrajzi szélesség, hosszúság) szabályozása.

Figyelmesen olvasva a fenti felsorolásokat, könnyű belátni, hogy az UAV-k automatikus repülésszabályozásában a szabályozni kívánt üzemmódok és repülési paraméterek nagyfokú hasonlóságot mutatnak a hagyományos légi járművek automatikus repülésszabályozó rendszereinek képességeivel. Másképpen fogalmazva, az UAV-szabályozásokban is érvényesül az igény, hogy az UAV-k repülésbiztonsága a legmagasabb szintű követelményeknek is megfeleljen. E követelmények elérésében segíti az UAV-kezelőket többek között az automatikus repülésszabályozás is.

4. Az UAV repülésimagasság-szabályozó rendszere

Ismeretes, hogy az UAV repülési magassága létfontosságú repülési paraméter. A korábban felsorolt lehetséges repülési üzemmódok közül a továbbiakban a két legfontosabb üzemmódot, az automatikus terepkövetést, valamint az automatikus leszállást vesszük górcső alá.

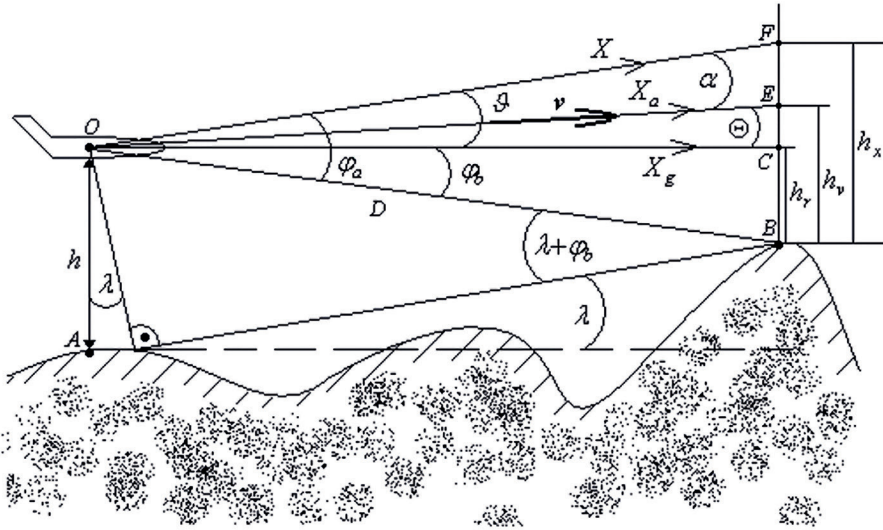
¹⁷ MATLAB R2020a, *User's Guide*. The MathWorks Inc., 2020.

¹⁸ MATLAB R2020a *Control System Designer/Control System Toolbox 10.8, User's Guide*. The MathWorks, Inc., 2020.

4.1. Az UAV automatikus terepkövető rendszere

Az UAV terepkövető képessége kiemelkedő fontosságú úgy a felderítési célú (például árvízvédelem, bozót- és erdőtüzek felderítése, precíziós mezőgazdasági alkalmazások, természetvédelem, környezetvédelem, határvédelem, csővezetékek és villamos távvezetékek monitoringja stb.) repülések, mint harcászati célú (cél megközelítése, ellenséges radarok és légvédelmi rakéta egységek elkerülése stb.) repülések esetén. Az UAV kis magasságú terepkövető képessége csökkenti az összeütközés veszélyét, így javítja a repülésbiztonságot.

Az UAV kis magasságú repülését vizsgáljuk meg az 1. ábrán.

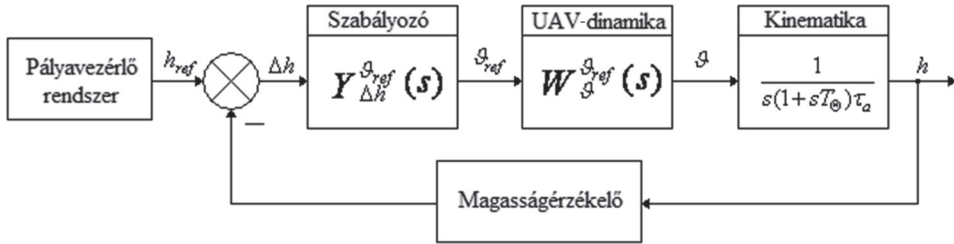


1. ábra

Légi jármű (UAV) kis magasságú repülése. Forrás: Асланян и. м. (6. l.) alapján a szerző szerkesztése

Az 1. ábrán alkalmazott jelölések: O – az UAV tömegközéppontja; A, B – felszíni magaslati pontok; D – az UAV és a földfelszíni magaslati pont között aktív (radar, lézer, infra, ultrahang) eszközökkel mért távolság; OX_g – az UAV normál koordináta-rendszerének tengelye; OX – az UAV testkoordináta-rendszerének hossz tengelye; OX_a – az UAV aerodinamikai koordináta-rendszerének hossz tengelye; ϑ – bólintó szög; α – állásszög; Θ – repülési pályaszög; λ – domborzati szög; $\varphi_a = \varphi_b + \vartheta$ – aktív eszköz sugárnyalábtengelyének az UAV hossz tengelyével bezárt szöge; φ_b – aktív eszköz sugárnyalábtengelyének az OX_g hossz tengellyel bezárt szöge.

Az UAV kis magasságú terepkövetése megvalósítható a földfelszíntől mért h valós repülési magasság irányítása révén. Az UAV automatikus szabályozórendszere ebben az esetben a bólintó szög stabilizálórendszerére épül, amelynek hatásvázlata a 2. ábrán látható.



2. ábra

UAV kis magasságú repülésének zárt szabályozórendszere. Forrás: McLean i. m. (8. lj.), Nelson i. m. (9. lj.), Stevens–Lewis–Johnson i. m. (10. lj.) alapján a szerző szerkesztése

A repülési magasság mérésére számos hagyományos és modern érzékelő és autonóm mérési rendszer áll rendelkezésre. Könnyű belátni, hogy a valós repülési magasság irányításának elvén alapuló rendszer csak és kizárólag abban az esetben használható, ha a földfelszín λ domborzati szöge kis értékű, más szóval, a földfelszínen nincsenek nagy egyenletlenségek. Ha a földfelszín túlzottan tördelt, például nagymértékű hirtelen emelkedések tartkítják, akkor fennáll a veszélye, hogy a valós repülési magasság stabilizálása során az UAV földfelszínbe csapódik, ami akár végzetes következményekkel is járhat. Ennek elkerülésére szolgálhat az a módszer, amikor nem az UAV valós repülési magasságát stabilizáljuk, hanem valamilyen előretartási pontig mérjük a távolságot, mintegy térképezve az UAV előtt elterülő domborzatot.

4.1.1. Terepkövetés az előretartási pontig mért D távolság tartása segítségével

Az 1. ábrát felhasználva az OAB háromszögre felírhatjuk, hogy:

$$\frac{D}{\sin(\pi/2 - \lambda)} = \frac{h}{\sin(\varphi_a - \vartheta + \lambda)}. \quad (1)$$

Az (1) egyenlet segítségével a D távolság már kifejezhető:

$$D = h \frac{\cos \lambda}{\sin(\varphi_a - \vartheta + \lambda)}. \quad (2)$$

A (2) egyenlet linearizálása a Taylor-sorfejtés módszerével (kis zavarások módszere) is elvégezhető. A távolság kis értékű megváltozása a következő alakban is felírható:

$$\Delta D = K_1 \Delta h + K_2 \Delta(\varphi_a - \vartheta) + K_3 \Delta \lambda. \quad (3)$$

A (3) egyenlet derivatív együtthatói most az alábbiak lesznek:

$$K_1 = \left(\frac{\partial D}{\partial h} \right)_O = \left(\frac{D}{h} \right)_O, \quad (4)$$

$$K_2 = \left(\frac{\partial D}{\partial \varphi_b} \right)_O = -[D \cdot \operatorname{ctg}(\varphi_a - \vartheta + \lambda)]_O, \quad (5)$$

$$K_3 = \left(\frac{\partial D}{\partial \lambda} \right)_O = - \left[D \frac{\cos(\varphi_a - \vartheta)}{\sin(\varphi_a - \vartheta + \lambda) \cos \lambda} \right]_O. \quad (6)$$

Az (5) és a (6) egyenletek alapján könnyű belátni, hogy kis értékű λ esetén $K_2 \cong K_3$. Ha az UAV fedélzeti aktív szenzor nagy sebességgel pásztázza a földfelszínt, azt mondhatjuk, hogy gyors térképezések esetén $\Delta \vartheta \cong 0$ és $\Delta h \cong 0$. Az aktív térképezőeszközök két mintavételezési időpontjában a keresett D távolságokra felírhatók az alábbi egyenletek is:

$$D_1 = h \frac{\cos \lambda}{\sin(\varphi_{a_1} - \vartheta + \lambda)}, \quad D_2 = h \frac{\cos \lambda}{\sin(\varphi_{a_2} - \vartheta + \lambda)}. \quad (7)$$

Osszuk el a (7) egyenlet első egyenletét annak második egyenletével. A következő kifejezést kapjuk:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{\sin(\lambda - \vartheta) \cos \varphi_{a_2} + \cos(\lambda - \vartheta) \sin \varphi_{a_2}}{\sin(\lambda - \vartheta) \cos \varphi_{a_1} + \cos(\lambda - \vartheta) \sin \varphi_{a_1}}. \quad (8)$$

A (8) egyenlet rendezése után kapjuk, hogy:

$$D_1 \operatorname{tg}(\lambda - \vartheta) \cos \varphi_{a_1} + D_1 \sin \varphi_{a_1} = D_2 \operatorname{tg}(\lambda - \vartheta) \cos \varphi_{a_2} + D_2 \sin \varphi_{a_2}. \quad (9)$$

A felszín λ emelkedési szöge a (9) egyenletből a következő lesz:

$$\lambda = \vartheta + \operatorname{arctg} \left(\frac{D_2 \sin \varphi_{a_2} - D_1 \sin \varphi_{a_1}}{D_1 \sin \varphi_{a_1} - D_2 \sin \varphi_{a_2}} \right). \quad (10)$$

Megmérve a D távolságot, az UAV számára már tervezhető olyan automatikus repülésszabályozó rendszer, amely képes a D_{ref} távolság automatikus tartására, illetve korlátozására. A zárt szabályozás D_{ref} referencia (előírt) értékét az eltérés elve alapján már könnyen megtarthatjuk. A távolságtartás hibajele most a következő alakban írható fel:

$$D_{ref} - D = \frac{\Delta D}{\tau_a \nu_o}, \quad (11)$$

ahol: $\tau_a = m/\rho \nu S$ az aerodinamikai időegység.

A fent vázolt módszer egyik fontos hiányossága, hogy az aktív távolságmérő rendszer visszavert jelének vétele sokszor nem megbízható, vagy nem kellő erősségű a visszavert jel, így előfordulhatnak nem megbízható távolságmérések. E hiányosság kiküszöbölésére jól használható az a módszer, amikor nem az UAV alatt a földfelszíntől mért valós repülési magasságot stabilizáljuk, hanem az UAV repülési pályáján a D előretartási pontban stabilizáljuk az előre számított, biztonságos repülési magasságot.

4.1.2. Terepkövetés a repülési magasság B előretartási pontban történő stabilizálásával

Az UAV repülési magassága előretartási pontban történő stabilizálását vizsgáljuk meg az 1. ábrán. Könnyen belátható, hogy az adott B előretartási pontban többféle repülési magasságot is értelmezhetünk. A h_v repülési magasságot az OEB derékszögű háromszögből az alábbi módon határozhatjuk meg:

$$\frac{h_v}{\sin(\varphi_a - \alpha)} = \frac{D}{\sin(\pi/2 - \Theta)}. \quad (12)$$

A (2) egyenletet helyettesítsük a (12) egyenletbe. Az egyenlet rendezése után kapjuk, hogy:

$$h_v = h \frac{\sin(\varphi_a - \alpha) \cos \lambda}{\sin(\varphi_a - \vartheta + \lambda) \cos \Theta}. \quad (13)$$

Repülésmechanikából ismeretes, hogy $\alpha = \vartheta - \Theta$, ezért a (13) egyenlet a következő alakban írható fel:

$$h_v = h \frac{\sin(\varphi_a - \vartheta + \Theta) \cos \lambda}{\sin(\varphi_a - \vartheta + \lambda) \cos \Theta}. \quad (14)$$

A (14) egyenletet zérus kezdeti feltételek mellett, a munkaponti linearizálás módszerével fejtsük Taylor-sorba. A magasabb rendű differenciálhányadosok teljes összegének elhanyagolásával, megtartva a sorban az elsőrendű deriváltakat kapjuk, hogy:

$$\Delta h_v = K_{1v} \Delta h + K_{2v} \Delta(\varphi_a - \vartheta) + K_{3v} \Delta \lambda + K_{4v} \Delta \Theta, \quad (15)$$

ahol a (15) egyenlet derivatív együtthatói az alábbiak lesznek:

$$K_{1v} = \left(\frac{\partial h_v}{\partial h} \right)_O = \left(\frac{h_v}{h} \right)_O \quad (16)$$

$$K_{2v} = \left(\frac{\partial h_v}{\partial \varphi_b} \right)_O = \left[h_v \frac{\sin(\lambda - \Theta)}{\sin(\varphi_a - \vartheta + \lambda) \sin(\varphi_a - \vartheta + \Theta)} \right]_O \quad (17)$$

$$K_{3v} = \left(\frac{\partial h_v}{\partial \lambda} \right)_O = - \left[h_v \frac{\cos(\lambda - \vartheta)}{\cos \lambda \cdot \sin(\varphi_a - \vartheta + \lambda)} \right]_O \quad (18)$$

$$K_{4v} = \left(\frac{\partial h_v}{\partial \Theta} \right)_O = \left[h_v \frac{\cos(\varphi_a - \vartheta)}{\cos \Theta \cdot \sin(\varphi_a - \vartheta + \Theta)} \right]_O \quad (19)$$

Az UAV szabályozórendszerében (lásd a 2. ábrát) a B előretartási pontban mért h_v repülési magasság irányításához (szabályozás alsó, veszélyes repülési magasságérték korlátozással) használhatjuk az alábbi hibajelet is:

$$h_{vref} - h_v = \frac{\Delta h_v}{\tau_a v_o} \quad (20)$$

ahol $\tau_a = m/\rho v S$ az aerodinamikai időegység.

A hibajel (15) egyenlettel megadott linearizált alakjában új tagként megjelent $\Delta \Theta$ pályaszögváltozás, ami kis értékű valós repülési magasságokon lényeges mértékben javítja az UAV repülésbiztonságát. Kis értékű Θ pályaszögek és a domborzat kis értékű λ emelkedési szögeire a (15) egyenlet a következő alakban adható meg:

$$\Delta h_v = K_{1v} \Delta h + K_{2v} \Delta(\varphi_a - \vartheta) + K_{3v} \Delta(\lambda - \Theta) \quad (21)$$

A (21) egyenlet alapján könnyen belátható, hogy az adott vezérlési törvény megvalósításához – ismert φ_a és λ szögek esetén – szükséges a h valós repülési magasság és a ϑ bólintási szög mérése, valamint a Θ pályaszög számításához szükséges még állásszög mérése is.

Az 1. ábrán jól látható, hogy az UAV terepkövetése megvalósítható a B előretartási pontban h_r repülési magasság irányítása, annak szabályozása és korlátozása útján is. Az OBC háromszög alapján igaz, hogy:

$$h_r = D \cdot \sin(\varphi_a - \vartheta) \quad (22)$$

A (2) egyenletet most helyettesítsük a (22) egyenletbe:

$$h_r = h \frac{\cos \lambda \cdot \sin(\varphi_a - \vartheta)}{\sin(\varphi_a - \vartheta + \lambda)} \quad (23)$$

A (23) nemlineáris egyenletet – zérus kezdeti feltételek mellett – a munkaponti linearizálás módszerével fejtjük Taylor-sorba. A magasabb rendű differenciálhányadosok teljes összegének elhanyagolásával kapjuk, hogy:

$$\Delta h_r = K_{1r} \Delta h + K_{2r} \Delta(\varphi_a - \vartheta) + K_{3r} \Delta \lambda \quad (24)$$

ahol a (24) egyenlet derivatív együtthatói az alábbiak:

$$K_{1r} = \left(\frac{\partial h_r}{\partial h} \right)_O = \left(\frac{h_r}{h} \right)_O \quad (25)$$

$$K_{2r} = \left(\frac{\partial h_r}{\partial \varphi_b} \right)_O = \left[h_r \frac{\sin \lambda}{\sin(\varphi_a - \vartheta) \sin(\varphi_a - \vartheta + \lambda)} \right]_O \quad (26)$$

$$K_{3v} = \left(\frac{\partial h_v}{\partial \lambda} \right)_O = - \left[h_v \frac{\cos(\varphi_a - \vartheta)}{\cos \lambda \cdot \sin(\varphi_a - \vartheta + \lambda)} \right]_O \quad (27)$$

Végezetül, az 1. ábrán a h_x repülési magasság az OBF háromszög segítségével, a B előretartási pontban felírható, mint:

$$\frac{h_x}{\sin \varphi_a} = \frac{D}{\sin(\pi/2 - \vartheta)} \quad (28)$$

A (2) egyenletet most helyettesítsük a (28) egyenletbe:

$$h_x = h \frac{\cos \lambda \cdot \sin \varphi_a}{\cos \vartheta \cdot \sin(\varphi_a - \vartheta + \lambda)} \quad (29)$$

A (29) egyenlet nemlineáris függvény, amit zérus kezdeti feltételek mellett a munkaponti linearizálás módszerével Taylor-sorba fejthetünk:

$$\Delta h_x = K_{1x} \Delta h + K_{2x} \Delta \varphi_a + K_{3x} \Delta \lambda + K_{4x} \Delta \vartheta \quad (30)$$

ahol a (30) egyenletben szereplő derivatív együtthatók az alábbi egyenletekkel adhatók meg:

$$K_{1x} = \left(\frac{\partial h_x}{\partial h} \right)_O = \left(\frac{h_x}{h} \right)_O \quad (31)$$

$$K_{2x} = \left(\frac{\partial h_x}{\partial \varphi_a} \right)_O = \left[h_x \frac{\sin(\lambda - \vartheta)}{\sin(\varphi_a - \vartheta + \lambda) \sin \varphi_a} \right]_O \quad (32)$$

$$K_{3x} = \left(\frac{\partial h_x}{\partial \lambda} \right)_O = - \left[h_x \frac{\cos(\varphi_a - \vartheta)}{\cos \lambda \cdot \sin(\varphi_a - \vartheta + \lambda)} \right]_O \quad (33)$$

$$K_{4v} = \left(\frac{\partial h_x}{\partial \vartheta} \right)_O = \left[h_x \frac{\cos(\varphi_a + \lambda)}{\cos \vartheta \cdot \sin(\varphi_a - \vartheta + \lambda)} \right]_O \quad (34)$$

A (15), a (24) és a (30) egyenletekkel megadott vezérlési törvények alkalmazása természetesen előnyös, mert azok nem az UAV alatt mért valós repülési magasság irányítására koncentrálnak, hanem prediktív, előrelátó képességűek, mert a repülési magasságot előretartási pontban számítják. Ily módon, az esetleges földfelszíni ütközés valószínűsége a megengedett érték alá csökkenthető, lényeges módon javítva a repülés- és vagyonsbiztonságot.

4.2. Repülési pálya tervezése az UAV automatikus leszállítórendszerére

A légi járművek, többek között az UAV-k repülésének egyik leginkább veszélyesnek mondható repülési fázisa a leszállás. A leszállást számos módon végre lehet hajtani. A legegyszerűbb leszállási mód talán a hasra szállás. Ez a leszállási eljárás az UAV-kezelőtől nagyfokú képzettséget és gyakorlatot igényel, de a megerősített törzsű UAV-k leszállása ily módon egyszerű körülmények mellett is sikeresen végrehajtható. A módszer sajátossága, hogy a törzs megerősítése lényeges mértékben növeli a felszálló tömeget, így csökkenti az UAV lehetséges hasznos terhének tömegét. Ha a leszállás során az UAV sérül, akkor rendszerint az orr-részen elhelyezett motor vagy a légcsavarlapát sérül, ami lényeges mértékben korlátozza, esetleg lehetetlenné teszi az UAV ismételt felszállását.

A kis és a közepes UAV-kategóriában gyakran alkalmazott az ejtőernyős leszállás is. E módszer sajátossága, hogy a leszálló-ejtőernyő kinyitása után a földet érésig az UAV gyakorlatilag irányítatlanul, szabadon ereszkedik. Bár ebben az esetben lényegesen csökkenthető a földet érés sebessége, de még így is fennáll a durva leszállás esélye és veszélye, amikor az UAV sárkányszerkezete megsérül. Könnyű belátni, hogy ez a módszer nem alkalmazható akkor, ha az UAV bevetése erősen tördelt felszíni (közepes és magashegységek, sziklás és kötörmelékes talaj) környezetben valósul meg.

Főleg haditengerészeti (hajófedélzeti) alkalmazású UAV-k esetén széles körben használt a hálós befogás, amikor az UAV szándékosan belerepül a megfogóhálóba, és a megfelelő helyen elhelyezett szerkezettel (kampóval) beleakad abba és fennakad azon. Ha ez nem történik meg, akkor az UAV a hajófedélzetre zuhan, és komolyan megsérülhet.

A leszállóhely megközelítését és a légi járművek leszállását gyakran műszeres leszállítórendszerek (ILS/MLS)¹⁹ segítik, amelyek főleg a hagyományos, nagy méretű légi járművek számára nyújtanak segítséget. E rendszerek jellemzője, hogy jelentős földi rádiótechnikai infrastruktúra (iránypálya adó, siklópálya adó, irányadó rádióállomások stb.) kiépítését követelik meg, és a légi járművek fedélzetén szintén ki kell építeni a szükséges közelnavigációs és leszállító vevőberendezéseket.

Könnyű belátni, hogy a kis méretű UAV-k a műszaki képességeik és a repülési teljesítményeik, valamint költségek miatt sem képesek a hagyományos rádiótechnikai leszállítórendszerek segítségével végrehajtani a leszállást.

A 3. ábrán a HM EI Zrt.²⁰ és a HM Currus Zrt.²¹ egy korábbi fejlesztése látható. Az Ikran felderítési célú UAV volt, amelynek a felszálló tömege 16-18 kg volt, ami még a kis UAV-kategória felső határa alatti. Az UAV merev futóművel rendelkezett, amelyről a felszállást, és amelyre a leszállást végrehajtotta.

¹⁹ Instrument Landing System/Microwave Landing System.

²⁰ Honvédelmi Minisztérium Elektornikai Logisztikai és Vagyonkezelő Zrt.

²¹ Honvédelmi Minisztérium Currus Gödöllői Harcjárműtechnikai Zrt.



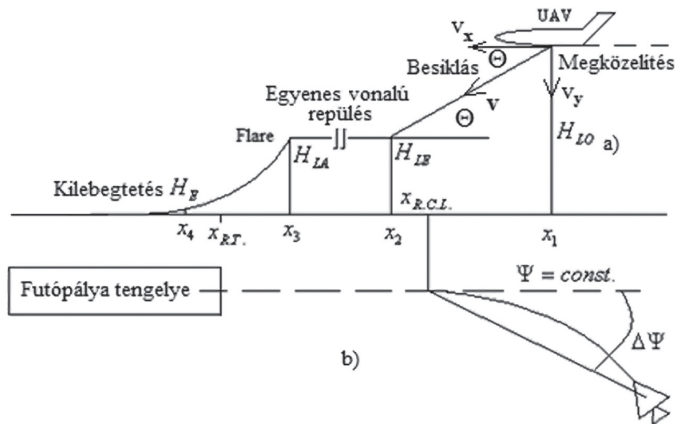
3. ábra

Az Ikran UAV leszállása. Forrás: PNR – Pilóta Nélküli Repülőeszközök. Elérhető: www.hmei.hu/kutatas-fejlesztes/#PNR (A letöltés dátuma: 2020. 03. 03.)

Mint az a 3. ábrán is látható, az UAV akár füves repülőterekről is üzemeltethető, és futóműve segítségével megbízhatóan manőverezik a repülőtéren, valamint felszállása és leszállása is könnyen és megbízhatóan automatizálható.

4.2.1. UAV leszállóhely-megközelítése és leszállása ívelt repülési pályán

Az UAV leszállóhely-megközelítő és leszállómanővere repülési pályájának egyik lehetséges formája, a leszállás egyik lehetséges stratégiája egy, a számítások alapját képező, hipotetikus UAV esetén a 4. ábrán látható. Vizsgálatainkat most az UAV hosszirányú irányítására korlátozzuk, és feltételezzük, hogy az UAV bedöntés nélkül ($|\gamma| = 0^\circ$) és megadott irányszögön ($\Psi = \text{const.}$) közelíti meg a leszállópályát.



4. ábra

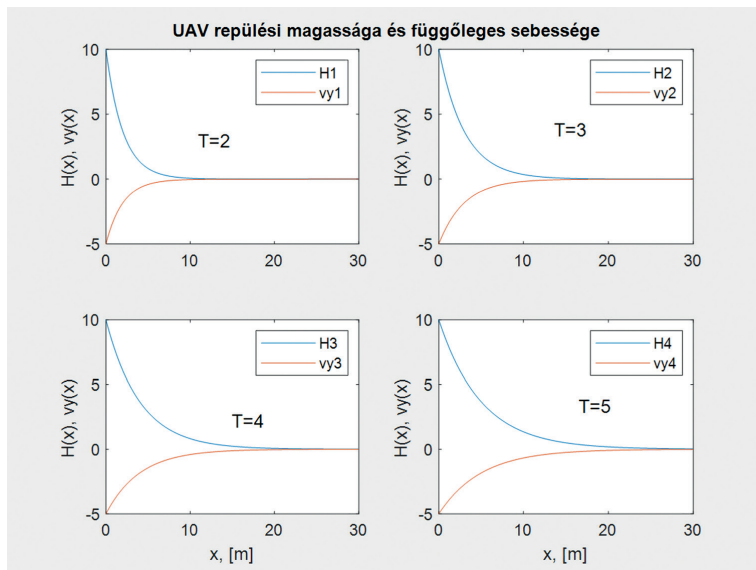
Az UAV-leszállópálya jellemzői és a leszállás repülési fázisai. Forrás: Асланян и. м. (6. l.) alapján a szerző szerkesztése

Az UAV a leszállást az alábbi gondolatmenet mentén hajtja végre:

- Az UAV a leszállóhelyet a $H_{LO} = 20 \text{ m}$ repülési magasságon közelíti meg. A leszállóhely megközelítésének vízszintes repülési sebessége $v = 20 \text{ m/s}$.
- A $H = H_{LO}$ repülési magasságon, a földet érés helyétől mért $x = x_1$ helyen a repülési sebesség csökkentésével, és az UAV megfelelő negatív értékű bólintási szögének létrehozásával elkezdődik a besiklás. A manőverbe belépéskor és közvetlenül azt követően az UAV repülési sebessége $v = 18 \text{ m/s}$ értékre csökken. Az $x_2 \leq x \leq x_1$ helyen az UAV magassága a $H(x) = H_{LO} (1 - kx)$ összefüggés szerint, lineárisan csökken a $H = H_{LE} = 10 \text{ m}$ repülési magasságig. Tekintettel arra, hogy a leszállóhely fizikai mérete rendszerint korlátozott, feltételezzük, hogy $\Delta x = x_1 - x_2 = 100 \text{ m}$. A besiklás $\Theta \cong 6^\circ$ pályaszögű repülési pályán történik. Ekkor az UAV vízszintes repülési sebessége, $v_x \cong 17,90 \text{ m/s}$, míg a függőleges repülési sebesség értéke $v_y \cong 1,89 \text{ m/s}$. Az UAV ezen a pályaszakaszon $t \cong 5,58 \text{ s}$ idő alatt halad végig.
- Az $x_3 \leq x \leq x_2$ helyen az UAV a $H = H_{LE} = H_{LA} = 10 \text{ m}$ állandó repülési magasságon $v = v_x \cong 17,90 \text{ m/s}$ repülési sebességgel egyenes vonalú, vízszintes repülést hajt végre.
- Ha korlátozott a rendelkezésre álló leszállóhely mérete, ami rendszerint előfordul, akkor az $x = x_3 = x_2$ koordinátájú helyen elkezdődik az UAV repülési magasságának a $H(x) = H_{LA} \cdot e^{-\frac{x}{T}}$ függvény szerinti csökkentése. Ebben az esetben a függőleges repülési sebesség $v_y(x) = H_{LA} \cdot \left(-\frac{1}{T}\right) e^{-\frac{x}{T}} = -v_{y_0} e^{-\frac{x}{T}}$ lesz. A kilebegtetés a $H(x) = 0,2 \text{ m}$ magasságon fejeződik be, amikor a hajtómű teljesítménye alapjáratú értékre csökken, és az UAV kis értékű pozitív bólintó szög mellett földet ér. A földet érés pillanatában az UAV függőleges repülési sebességének maximális értéke $v_{y_{max}}(x) = -0,1 \text{ m/s}$.

Az UAV leszállásának tervezésekor figyelembe kell venni a rendelkezésre álló leszállóhely fizikai méreteit is. Ha a leszálláshoz rendelkezésre álló hely mérete erősen korlátozott, akkor az UAV számára olyan pályát kell tervezni, amelyen az UAV repülése és viselkedése agresszív. Más szóval, az UAV leszállítórendszere nem enged meg nagy eltéréseket a referencia-leszállópályától, és az UAV repülési paramétereinek (függőleges terhelési többs, függőleges sebesség) felső értékei közelítik azok megengedett maximális értékeit. Az UAV exponenciális repülési pályaszakasa különféle T értékek mellett az 5. ábrán látható.²²

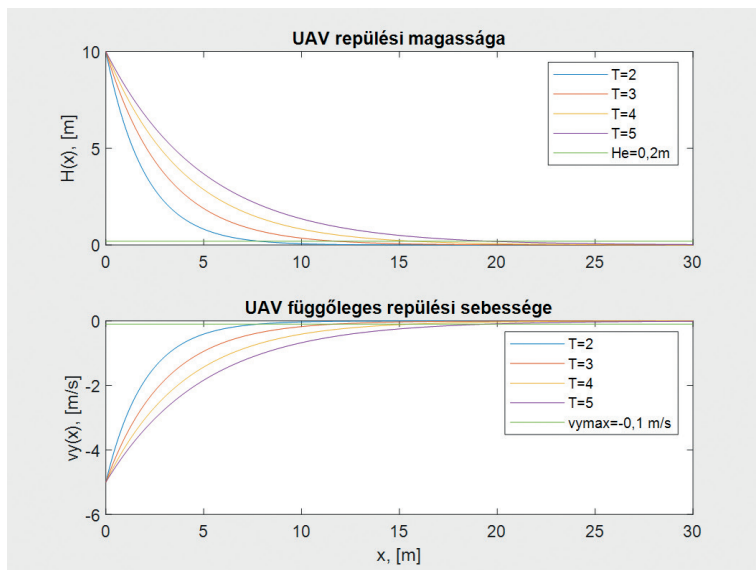
²² MATLAB R2020a, User's Guide. i. m. (17. l.)



5. ábra

Az UAV repülési paramétereit leszálláskor. Forrás: MATLAB-script: Szabolcsi R.

Az 5. ábrán látható UAV repülési pályaszakasz jellemzőinek jobb áttekintéséhez és megértéséhez tekintsük meg a 6. ábrát.



6. ábra

Az UAV repülési paramétereit leszálláskor. Forrás: MATLAB-script: Szabolcsi R.

Az 5. és 6. ábrákon jól látható, hogy a T paraméter megfelelő megválasztásával az UAV leszállásakor biztosítható a megfelelő repülési pálya. A T növelésével az exponenciális pálya meredeksége és a függőleges sebesség is csökken, viszont növekszik a megtett út, vagyis hosszabb futópályával kell számolnunk a leszállás során.

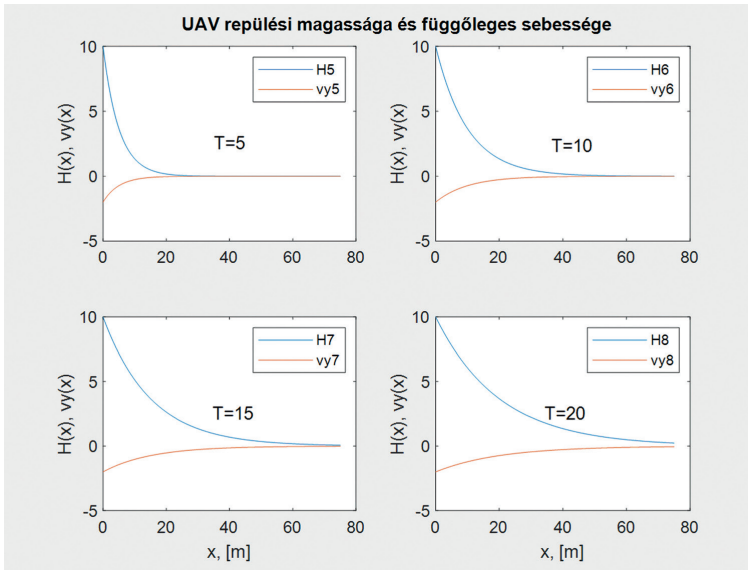
Az 5. és 6. ábrák alapján a repülési pálya exponenciális fázisában a $H(x) = 0,2$ m repülési magasság eléréséig megtett út már könnyen számítható:

1. táblázat
Leszállópálya adatai. Forrás: a szerző szerkesztése

T	2	3	4	5
x , [m]	7,6	11,6	15,7	19,7

Ha az UAV leszállásához rendelkezésre álló hely ezt lehetővé teszi, akkor olyan repülési pályaszakaszokat kell terveznünk, amelyeken az UAV nem agresszív módon viselkedik: a repülési pályától nagyobb eltérések is megengedettek, így módon az UAV irányítása során annak sárkányszerkezetére jóval kisebb légerők és jóval kisebb nyomatékok hatnak.

Az UAV exponenciális repülési pályaszakaszra különböző T értékeit most is heurisztikus úton választjuk meg. Követve az UAV korábban vázolt repülési pályájának viselkedését, növeljük meg az exponenciális repülési pálya T paraméterét. A számítógépes szimuláció eredményei a 7. ábrán láthatók.



7. ábra
Az UAV repülési paramétereire leszálláskor. Forrás: MATLAB-script: Szabolcsi R.

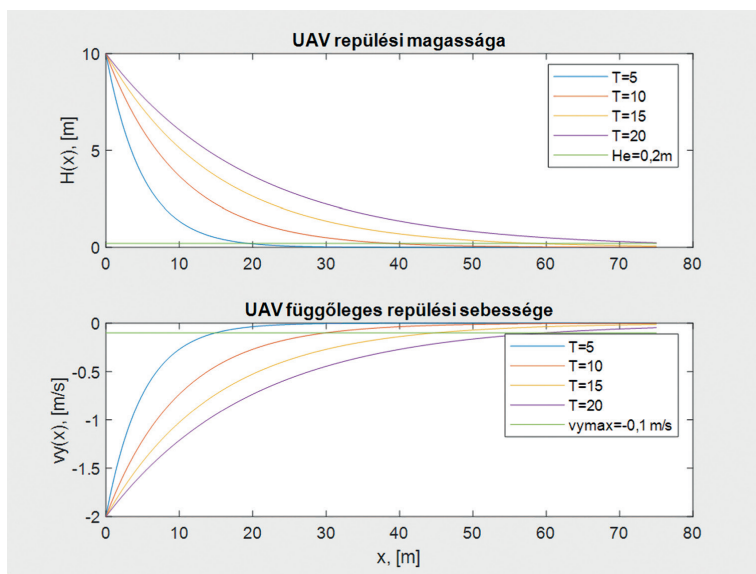
A 7. ábra alapján az UAV leszállása során a repülési pálya exponenciális fázisában a $H(x) = 0,2$ m repülési magasság eléréséig megtett út könnyen kiszámítható.

2. táblázat

Leszállópálya adatai. Forrás: a szerző szerkesztése

T	5	10	15	18
x , [m]	19,7	38,9	55,7	74,6

Az UAV exponenciális repülési pályaszakaszának földfelszínre vetített hossza a T paraméter növekedésével fokozatosan növekszik. A 7. ábrán látható UAV repülési pályaszakasz jellemzőinek jobb áttekintéséhez és megértéséhez tekintsük meg a 8. ábrát.



8. ábra

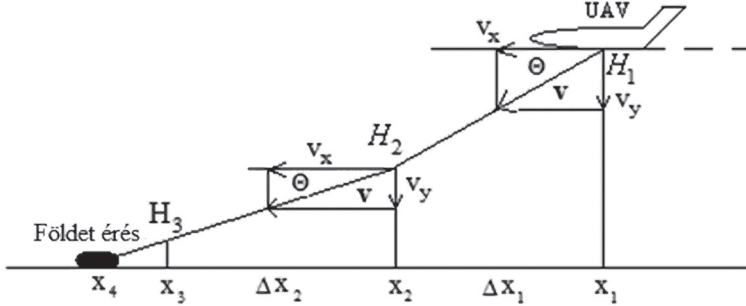
Az UAV repülési paramétereit leszálláskor. Forrás: MATLAB-script: Szabolcsi R.

A 7. és 8. ábrákon jól látható, hogy a T paraméter megfelelő megválasztásával az UAV leszálláskor biztosítható a megfelelő repülési pálya. A 6. és 8. ábrákon bemutatott UAV-pályák tovább változtathatók, és szükség, valamint igény szerint még módosíthatók.

Az UAV repülésszabályozó rendszere tervezőinek számos nyílt forráskódú UAV-robotpilóta áll rendelkezésre (például Paparazzi UAV Autopilot; UAV Arduino; Emberton Veronte UAV Autopilot, Airelectronics UAV Autopilot stb.), amelyek az UAV-üzemeltetők és -kezelők által szabadon kiegészíthetők, a beépített eszköztárai fejleszthetők, új pályageometriákat adhatunk az alapértelmezett meglévő repülési pályákhoz.

4.2.2. UAV leszállóhely-megközelítése és leszállása egyenes vonalú siklópályán

Az ívelt leszállópályák tervezésével kapcsolatos nehézségek elkerülése érdekében használhatunk két vagy több lineáris szakaszból álló siklópályát is.²³ A 9. ábrán egy három szakaszból álló leszállópályát láthatunk.



9. ábra

Az UAV földet érése. Forrás: Vestergren i. m. (13. lj.) alapján a a szerző szerkesztése

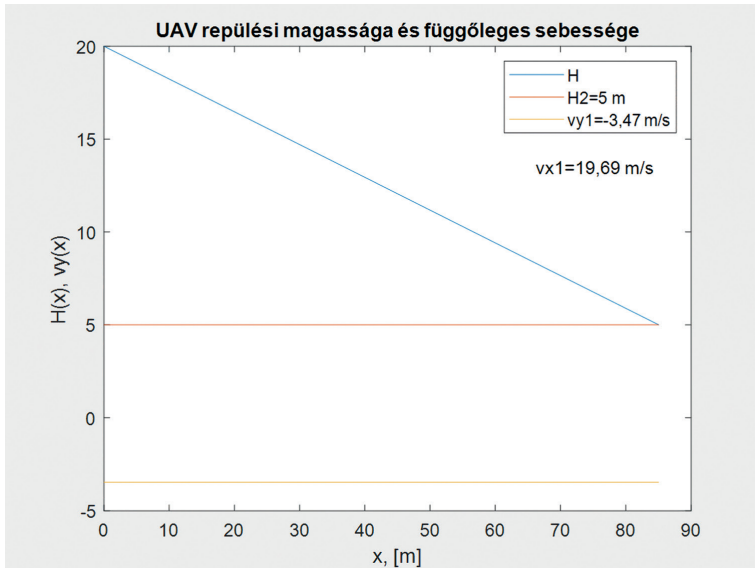
Az egyes pályaszakaszokon az UAV repülési paraméterei (sebesség, függőleges sebesség, megtett út) az elvárt módon változnak. Az UAV a leszállást most az alábbi módon hajtja végre:

- A földet érés helyétől mért $x \geq x_1$ távolsáig az UAV állandó $H = H_1 = 20 \text{ m}$ repülési magasságon, állandó $v = 20 \text{ m/s}$ sebességgel vízszintes repülést hajt végre.
- A földet érés helyétől mért $x = x_1$ távolságon és $H = H_1$ repülési magasságon, a megfelelő negatív értékű bólintó szög létrehozásával az UAV $\Theta_1 = 10^\circ$ értékű pályaszögön süllyedni kezd a függőleges tengely mentén. Az $x_2 \leq x \leq x_1$ koordinátájú helyeken az UAV mozgásegyenlete a következő alakban írható fel:

$$H(x) = H_1 \cdot (1 - k_1 x). \quad (35)$$

A függőleges repülési sebesség értéke a $H = H_2 = 5 \text{ m}$ -ig tartó pályaszakaszon $v_y \cong -3,47 \text{ m/s}$, a vízszintes repülési sebesség $v_x \cong 19,69 \text{ m/s}$. Az első pályaszakaszon megtett út $\Delta x_1 \cong 85 \text{ m}$, amelynek megtételéhez $t \cong 4,32 \text{ s}$ idő szükséges. A pálya meredekségét a $k_1 = 0,008823529$ értékű együttható határozza meg. Az első repülési pályaszakasz a 10. ábrán látható.

²³ Vestergren i. m. (13. lj.)



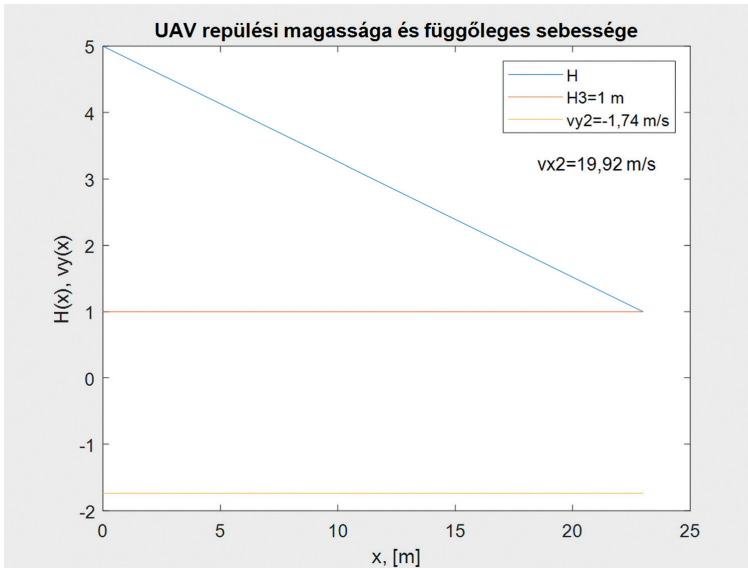
10. ábra

Az UAV egyenes vonalú síklópályája – 1. szakasz. Forrás: MATLAB-script: Szabolcsi R.

- b) A földet érés helyétől mért $x = x_2$ távolságon és $H = H_2$ repülési magasságon, a megfelelő negatív értékű bólintó szög létrehozásával az UAV most $\Theta_2 = 5^\circ$ értékű pályaszögön süllyed a függőleges tengely mentén. Az $x_3 \leq x \leq x_2$ koordinátájú helyeken az UAV mozgásegyenlete a következő alakban írható fel:

$$H(x) = H_2 \cdot (1 - k_2 x). \quad (36)$$

A függőleges repülési sebesség értéke a $H = H_3 = 1$ m-ig tartó pályaszakaszon $v_y \cong -1,74$ m/s, a vízszintes repülési sebesség $v_x \cong 19,92$ m/s. A második pályaszakaszon megtett út $\Delta x_2 \cong 23$ m, aminek megtételéhez $t \cong 1,15$ s idő szükséges. A pálya meredekségét a $k_2 = 0,034782608$ értékű együttható határozza meg. Az UAV-leszállópálya második repülési szakasza a 11. ábrán látható (MATLAB Control System Toolbox 10.8).



11. ábra

Az UAV egyenes vonalú siklópályája – 2. szakasz. Forrás: MATLAB-script: Szabolcsi R.

- c) A földet érés helyétől mért $x = x_3$ távolságon és $H = H_3$ repülési magasságon, a megfelelő negatív értékű bólintó szög létrehozásával az utolsó pályaszakaszon az UAV $\Theta_1 = 1,5^\circ$ értékű pályaszögön süllyed. Az $x_4 \leq x \leq x_3$ koordinátájú helyeken az UAV mozgásegyenlete a következő alakban írható fel:

$$H(x) = H_3 \cdot (1 - k_3 x) \quad (37)$$

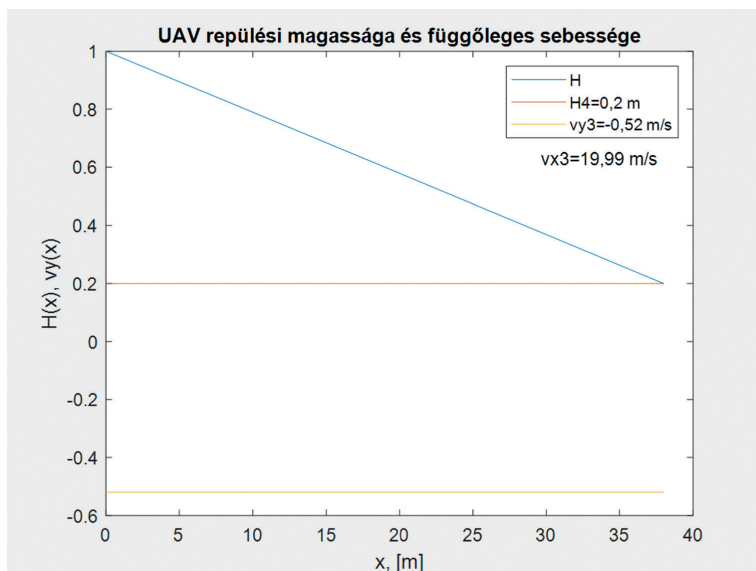
A függőleges repülési sebesség értéke a $H = H_3 = 1$ m-ig tartó pályaszakaszon $v_y \cong -0,52$ m/s, a vízszintes repülési sebesség $v_x \cong 19,99$ m/s. A harmadik pályaszakaszon megtett út $\Delta x_2 \cong 38$ m, amelynek megtételéhez $t \cong 1,92$ s idő szükséges. A pálya meredekségét a $k_3 = 0,021052631$ értékű együttható határozza meg. Az UAV-leszállópálya harmadik repülési szakasza a 12. ábrán látható (MATLAB Control System Toolbox 10.8).

A 12. ábrán jól látható, hogy a harmadik repülési pályaszakaszon már elég kicsi a függőleges sebesség ahhoz, hogy egy egyszerű gázlevétellel csökkentve a hajtómű vonó(toló)erejét, az UAV sikeres leszállása már végrehajtható.

A $H = H_4 = 20$ m repülési magasságról végrehajtva a leszállást az UAV vízszintes síkra vetített repülési pályahossza közel $L \cong 150$ m, és a megadott repülési magasságról a földet érésig a leszállás ideje $t \cong 7,5$ s. Ha az UAV repülését repülőterekről irányítják, ez a leszállópálya könnyen biztosítható.

Ha viszont a földrajzi környezet és annak korlátozott volta nem teszi lehetővé az UAV biztonságos leszállását, akkor csökkenteni kell a leszállópálya méreteit, például városi környezetben

UAV kényszerleszállásának automatizálásakor. A leszállóhelyigény csak akkor csökkenthető, ha az UAV lényegesen agresszívebb manővert hajt végre: nagyobb függőleges sebességgel süllyed a leszállópályán, és nagyobb függőleges sebességgel ér földet a leszállás helyén, ami nagyobb igénybevételnek teszi ki a futóműveket.



12. ábra

Az UAV egyenes vonalú síklópályája – 3. szakasz. Forrás: MATLAB-script: Szabolcsi R.

A gyakorlatban felmerül a kérdés, hogy milyen módszerrel mérhető a leszállópálya harmadik szakaszán a földfelszíntől mért repülési magasság?! E repülésimagasság-tartományban a valós repülési magasság mérésére jól használható például a HC-SR04 ultrahangos magasságmérő, amely $0,3\text{ cm}$ értékű felbontással, $2\text{ cm} \leq L \leq 400\text{ cm}$ tartományon képes érzékelni a távolságot. A HC-SR04 ultrahangos távolságmérő az Arduino vezérlővel képes együttműködni, mérete, tömege és villamosenergia-igénye kicsi, tehát távolság (valós repülési magasság) mérésére jól használható akár UAV-k fedélzetén is²⁴

5. Következtetések

A cikk az UAV-k kis magasságú repülésének automatizálásával foglalkozik. Napjainkban az UAV-k (felderítési célú UAV-k, autonóm légi taxik stb.) – várhatóan – egyre szélesebb körben nyernek majd alkalmazást városi környezetben is, ami magától értetődővé teszi, hogy az UAV-kezelők munkáját jól segítheti és a repülésbiztonságot is lényeges mértékben javíthatja az UAV fedélzeti robotpilóta.

²⁴ Complete Guide for Ultrasonic Sensor HC-SR04 with Arduino. Elérhető: <https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-ultrasonic-sensor-hc-sr04/> (A letöltés dátuma: 2020. 03. 09.)

Az UAV kis magasságú repülések egyik tipikus esete a kis magasságú terepkövetés, amely során az UAV igyekszik elkerülni az összeütközést a természetes vagy a mesterséges, épített tereptárgyakkal.

A kis magasságú repülések egy másik formája az a repülés, amikor a bevetési terület a lehető legkisebb, de még biztonságos repülési magasságban kell megközelíteni, mert az UAV-nek észrevétlennek kell maradnia (például határőrizeti járőröző repülések, katonai felderítési feladatok stb.). Könnyű belátni, hogy ebben az esetben is lényeges mértékben javulhat a repülésbiztonság, és javulhatnak az UAV bevetésének sikerességi mutatói.

Felhasznált irodalom

- Асланян, Эдуард А.: *Системы автоматического управления полётом летательных аппаратов, Часть I*. Киев, Киевское Высшее Военное Авиационное Инженерное Училище, 1984.
- Beseda-Portas, Eva – Luis de la Torre – Jesús M. de la Cruz – Bonifacio de Andrés-Toro: Evolutionary Trajectory Planner for Multiply UAVs in Realistic Scenarios. *IEEE Transactions on Robotics*, 26. (2010), 4. 619–634. DOI: <https://doi.org/10.1109/tro.2010.2048610>
- Blakelock, John H.: *Automatic Control of Aircraft and Missiles*. New York, John Wiley & Sons, 1965.
- Dickinson, Brian: *Aircraft Stability and Control for Pilots and Engineers*. London, Sir Isaac Pitman & Sons Ltd, 1968.
- Eng, Pillar C. S.: *Path Planning, Guidance and Control for a UAV Forced Landing*. Queensland, University of Technology, 2011.
- Hacker, Tiberiu: *Flight Stability and Control*. New York, American Elsevier, 1970.
- Красовский, Алексадр А. – Юрий А. Вавилов – Алексадр И. Сучков: *Системы автоматического управления летательных аппаратов*. Москва, Издание ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1986.
- MATLAB R2020a Control System Designer/Control System Toolbox 10.8, User's Guide. The MathWorks, Inc., 2020.
- MATLAB R2020a, User's Guide. The MathWorks Inc., 2020.
- McLean, Donald: *Automatic Flight Control Systems*. New York – London – Toronto – Sydney – Tokyo – Singapore, Prentice-Hall International Ltd., 1990.
- NATO STANAG 4586 (Ed. 3) – *Standard Interfaces of UAV Control System (UCS) for NATO Interoperability*. 9 November 2012.
- Nelson, Robert C.: *Flight Stability and Control*. McGraw-Hill Companies, Inc., 1998.
- Rabinovich, Igor B.: *Optimal Flight Path Design for Cruising Missiles*. Moscow, Russia, Mashinostroenie, 1966.
- Stevens, Brian L. – Frank L. Lewis – Eric N. Johnson: *Aircraft Control and Simulation: Dynamics, Control Design and Autonomous Systems*. 3rd Edition, Wiley-Blackwell, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119174882>
- Vestergren, Magnus: *Automatic Takeoff and Landing of Unmanned Fixed Wing Aircraft. A System Engineering Approach*. MSc Thesis, Linköping University, 2016.

Jogi források

A Bizottság (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete (2019. március 12.) a pilóta nélküli légi jármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légi jármű-rendszerek harmadik országbeli üzembentartóiról

A Bizottság (EU) 2019/947 végrehajtási rendelete (2019. május 24.) a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról

Internetes források

Complete Guide for Ultrasonic Sensor HC-SR04 with Arduino. <https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-ultrasonic-sensor-hc-sr04/> (A letöltés dátuma: 2020. 03. 09.)

PNR – Pilóta Nélküli Repülőeszközök. Elérhető: www.hmei.hu/kutatas-fejlesztes/#PNR (A letöltés dátuma: 2020. 03. 03.)

Domán László¹

Helikopterek speciális vészelhagyási eszközei

A különböző speciális vészelhagyást biztosító és segítő eszközök a helikopter személyzetének, esetleg az utasainak és a légi jármű egészének a túlélőképességét hívatottak biztosítani, amennyiben a helikoptert olyan találat éri, vagy olyan jellegű meghibásodás következik be, hogy az esetleges azonnali kényszerleszállás elkerülhetetlen. A cikkben ezeket az eszközöket kívánom bemutatni.

Kulcsszavak: vészelhagyás, helikopter, túlélés, ejtőernyő, katapultülés

Special Equipment for Abandonment of Helicopters

In this article I would like to introduce special tools for abandonment of helicopters. Devices which provide and assist successful emergency abandonment of an aircraft are designed to ensure the survival of the helicopter staff, or passengers and the whole aircraft, if the helicopter is hit or a malfunction occurs, such that an immediate forced landing is unavoidable.

Keywords: emergency abandonment, helicopter, survival, parachute, ejection seat

1. Bevezetés

A sérült, katasztrófát szenvedett polgári helikopterek utasainak, személyzetének mentési, menekülési eljárásai teljesen megegyeznek a hasonló rendeltetésű merev szárnyú repülőgépekével. Ez a katonai helikopterek egy részénél is alkalmazható, de a komplex védelem vizsgálatához mindenképpen figyelembe kell venni a harci alkalmazás sajátosságait is; e légi járművek tevékenységük jelentős részét az ellenség tűzhatáskörzetében folytatják, így egy esetleges találat esetén bekövetkezhet jelentős sérülésük, illetve ennek következményeként irányíthatóságuk teljes vagy részleges elvesztése.² Ekkor a személyzet túlélése érdekében biztosítani kell a vészelhagyás lehetőségét.

A hajtómű meghibásodásakor biztosítani lehet valamilyen más erőt a forgószárnylapátok forgásának fenntartásához és így a vezérelt/irányított repülés folytatásához egészen a földet

¹ Őrnagy, Nemzeti Közszerológiai Egyetem. Katonai Műszaki Doktori Iskola; e-mail: doman.laszlo79@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4472-2609>

² Óvári Gyula: Autorotálni, katapultálni vagy lezuhanni? *Haditechnika*, 28. (1992), 4. 3–4.

érésig. A helikopter süllyedése közben az áramló levegő szolgáltatja azt az energiát, amely szükséges a lapátok aerodinamikai ellenállásának leküzdésére és a forgatására. A helikopter ilyen jellegű süllyedését autorotációnak nevezzük,³ az ilyen kényszerleszállást, még kedvező magasság és sebesség mellett sem lehet kockázatmentesen végrehajtani. Függésből, nagy repülési sebességen és földközeli magasságban pedig nem is végezhető el biztonságosan.⁴ Az autorotáció mellett (amely a helikopterekkel végrehajtott kényszerleszállások leggyakoribb formája) olyan eszközök, illetve berendezések kialakítására is van lehetőség, amelyek megnövelik a személyzet és a légi jármű túlélőképességének esélyeit.

2. Ejtőernyő mint mentőeszköz

2.1. Személyi mentőernyő alkalmazása

A helikopterek repüléseiket a harctevékenység során rendszerint kis magasságon és a feladat függvényében általában a legnagyobb sebességgel hajtják végre. Többek között a nagy vízszintes sebesség mellett könnyebb alkalmazni a nemirányítható fegyverzetet, illetve a légvédelemnek a földközeli (körülbelül 5 és 15 m között) repülő helikoptert nehezebb felderíteni. A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy a feladatokat földközeli repülési magasságon teljesítő, sérült, kormányozhatatlanná vált katonai helikopterek személyzete számára az ejtőernyővel történő kiugrás nem jelent reális védelmet, mivel az nem képes működésbe lépni. Emellett az ejtőernyő alkalmazását korlátozza, hogy csak az erre kiképzett személyek használhatják, a gép utasai nem, valamint zuhanáskor történő kiugráskor fennáll a helikopterrel való ütközés veszélye.⁵

Az ejtőernyő felhasználhatóságának korlátját az jelenti, hogy a légi jármű nagy sebessége, bonyolult mozgása és az ebből adódó erőhatások miatt a biztonságos gépelhagyás lehetetlenné válik.

2.2. Katapultálás helikopterből

Az előzőekben felsorolt hiányosságok elvben kiküszöbölhetők lennének a lefelé történő katapultálással, ekkor azonban az ernyő kinyílásához, a függésből történő kiugráskor is minimálisan szükséges 50–60 m-es magasság több mint kétszerese kellene. Számottevően csökkentené a vészelhagyás minimális repülési magasságát, ha az ülésel történő katapultálás vagy vontatórakétával történő kiemelés a forgószárny forgássíkjával párhuzamosan, esetleg azt megkerülő pályán történne. E módzatokkal sem küszöbölhető azonban ki az alábbi hiányosságok legalább egyike: a) földközeli, bedöntött helyzetű helikopterből történő katapultáláskor fennáll a talajhoz csapódás veszélye; b) szerkezetileg nehéz az oldalirányba

³ Botta András: *A repülés szerelmesei, autorotáció*. Aerofriends, 2009. Elérhető: www.aerofriends.hu/repules-technikai-uzemeltetesi-okosságok/autorotacio (A letöltés dátuma: 2019. 10. 27.)

⁴ Óvári Gyula: Biztonság és repüléstechnikai megoldások katonai helikopterek harci túlélőképességének javítására. *Repüléstudományi Közlemények*, (2005), 2. 1–14. 12.

⁵ Óvári (1992) i. m. (2. lj.) 5–10.

repülő ülés előre és oldalra történő pörgésének kiküszöbölése; c) nem kellően tisztázottak az oldalirányú túlterhelés emberi szervezetre gyakorolt kedvezőtlen hatásai.

A fentiek alapján belátható, hogy a korszerű követelményeknek megfelelő, nulla repülési magasság és sebesség mellett történő katapultálás csak felfelé történhet. Ennek azonban elengedhetetlen feltétele az egész forgószárny, vagy csak lapátjainak, előzetes eltávolítása (lerobbantása). Az elvégzett vizsgálatok szerint a forgószárnyat (vagy lapátokat), valamint a fülketetőt lerobbantó és az ülést kilövő rendszer szinkronizálása, valamint a véletlen működésbe lépésének megakadályozása meglehetősen költséges, bonyolult feladat. Működtethető bepördült helikopterből is, több ülés elhelyezése esetére pedig rendelkezik a kilövési sorrendet programozó és a repülési pályákat elkülönítő vezérlőrendszerekkel. Az elvégzett kísérletek alapján megállapítható, hogy valamennyi technikai nehézség megoldása után is, egy ejtőernyő-gyorsnyitó mechanizmussal ellátott katapultülés használhatósága extrém repülési helyzetekben a repülési magasság és sebesség szerint korlátozott. Vagyis földközélen, intenzíven süllyedő vagy bedöntött helikopterből a katapultálás megfelelő biztonsággal nem hajtható végre.⁶

A rendszer alkalmazásának legerősebb korlátját a pilóta gyorsulásából adódó túlterhelése jelenti, mivel az a gépelhagyás során néhány tizedmásodpercre elérheti akár a 16-20-as értéket is. Az elviselhetőségét jellemző módon a légijármű-vezető fizikai képességei, a terhelés iránya és ideje befolyásolja. A katapultálás technikai megvalósítása jelentős technikai feltételrendszer biztosítását igényli. Az ejtőernyővel történő vészelhagyáshoz hasonlóan, kizárólag a helikoptert vezető személyzet esetében lehet megoldás, amennyiben utasok is tartózkodnak a helikopteren, akkor etikai megfontolásból nyilvánvalóan már nem.⁷

Eddig egyedül a Ka-50/52-es típusú harci helikoptereken rendszeresítettek a K-37-800M típusú katapultülést (1. ábra), amelyet az orosz ZVEZDA cég fejlesztett ki 2007-ben.⁸

2.2.1. A K-37-800M típusú katapultülés jellemzői

A K-37-800M két alrendszerből áll: egy ülésből és egy fedélzetiből. Ezeket úgy tervezték, hogy a Ka-50 és a Ka-52 típusú helikopterek pilótái számára számos, a repülés során elvégzendő feladat végrehajtását segítse és – a ZSH-7BS sisakkal és a KKO-VK-LP oxigénellátó berendezéssel együtt – biztonságos vészelhagyást biztosítson a használat során. Vészhelyzetben történő leszállás során az ülések energiaelnyelő-képessége miatt csökken a személyzetre nehezedő túlterhelés. Vészelhagyáskor maga az ülés a fülkében marad.

A folyamat beindításakor elsőként lerobbantják a forgószárnyak lapátjait, majd ezt követően megfelelő mechanizmusok oldják a személyzet üléshez rögzítő hevedereit és elsőként a fülketetőt, majd rugós mechanizmussal a katapultrakétát vetik ki a fülkéből. Az utóbbi vontatókötéllel kapcsolódik a helikoptervezető ejtőernyő-rögzítő hevederéhez. A fülkén kívülről kezd a vontatókatapult rakétahajtóműve, amely a kötélszál segítségével kiemeli a helikoptervezetőt ejtőernyőjével együtt az üléséről, és eltávolítja az irányíthatatlan helikoptertől.

⁶ Óvári (1992) i. m. (2. lj.) 12–13.

⁷ Hennel Sándor – Ozsváth Sándor: Légijárművek mentőberendezései és azok jövőbeni fejlesztési irányai. *Katonai Logisztika*, 21. (2013), 1. 216–234. 222–223.

⁸ *The Manufacturers*. The ejection site. Elérhető: www.ejection-site.com/emakers.htm (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)

A töltet teljes kiégése előtt a rakéta leoldódik a hajózóról és továbbrepül, megakadályozva így az esetleges összeütközést.⁹

A katapultülést a következő eszközökkel együttesen alkalmazzák:

- hajózó repülési ruha;
- KKO-VK-LP fedélzeti oxigénellátó berendezés;
- ZSH-7BS (ZSH-7B) sisak, beleértve az éjjellátó szemüveget;
- NAZ-Ir túlélő készlet;
- MSK-5 merülőruha;
- ASP-74 mentőmellény;
- víz alatti légzőkészülék.

A K-37-800M típusú katapultülés műszaki adatai:

- repülési sebesség tartománya: 90 és 350 km/h között;
- repülési magasság tartománya: 0 és 5000 m között;
- pilótafelszerelés teljes tömege: 6,5-12,8 kg;
- személyzet megengedett tömege: 57,0-91,4 kg;
- ülések függőleges állíthatósága: 810 és 980 mm között;
- pirotechnikával feltöltött ülés tömege: legfeljebb 57,25 kg.¹⁰



1. ábra

K-37-800M katapultülés. Forrás: Ejection & Shock-Absorbing System K-37-800M. Zvezda. i. m. (10. l.)

⁹ Óvári (1992) i. m. (2. l.) 14.

¹⁰ Ejection & Shock-Absorbing System K-37-800M. Zvezda. Elérhető: www.zvezda-npp.ru/en/node/695 (A le-töltés dátuma: 2019. 10. 20.)

2.3. A teljes helikopter ejtőernyővel történő földet érése

Ugyancsak az alkalmazhatóság magassági és sebességi korlátai miatt nem várható az – egyébként nagy anyagi értékek mentésére alkalmas – teljes helikoptert vagy annak csak a fülkerészét leszállító ernyőrendszerek elterjedése. A módszer hátránya, hogy a beépítendő leválasztó- és ernyőegység a helikopter tömegét jelentősen megnövelheti.

Jelenleg a Zefhir típusú helikopter (2. ábra), az egyetlen, amely ejtőernyőrendszerrel rendelkezik. Amennyiben az autorotáció nem kivitelezhető, és a személyzet ejtőernyővel történő vészelhagyása sem lehetséges vagy nem indokolt, lehetséges az egész helikopter ejtőernyővel történő földet érése is, ezt azonban csak kis tömegű gépeknél alkalmazzák.



2. ábra

Zefhir típusú helikopter ejtőernyővel. Forrás: A big step forward in the history of flight safety. Zefhir. Elérhető: <http://zefhir.eu/2018/09/27/a-big-step-forward-in-the-history-of-flight-safety/> (A letöltés dátuma: 2019. 09. 20.)

2.3.1. Zefhir helikopter ejtőernyős rendszere

A Zefhir az első helikopter a világon, amely innovatív ballisztikus ejtőernyős mentőrendszerrel van felszerelve (3. ábra). Az eszköz kifejlesztésének fő célja az olyan esetek megelőzése volt, amikor a repülésvezérlés meghibásodik, vagy a manőverezőképesség elvesztése miatt kényszerleszállásra van szükség, de a repülés olyan területen történik, ahol várhatóan a vészhelyzeti

leszállás nem hajtható végre biztonságosan, mert olyanok a repülési feltételek, amelyek megakadályozzák az autorotáció kivitelezését.

2018. június 22-én Szardínia Oristano-Fenosu repülőterén sikeresen tesztelték a ballisztikus ejtőernyős rendszert egy Zefhir típusú helikopteren. Ez volt az első olyan tesztrepülés, amelyet egy ilyen rendszerrel ellátott légi járművel hajtottak végre.¹¹

A fő forgószárny fölé telepített ejtőernyőt úgy tervezték, hogy amennyiben az autorotáció nem hajtható végre, a helikopter biztonságosan le tudjon szállni. Az eljárás során, miután a helikopter elérte a körülbelül 55 km/h sebességet és a 300 méteres repülési magasságot, a hajtóművet lekapcsolták, hogy szimulálják a hajtómű-meghibásodást. A helikopter süllyedési sebessége kevesebb mint 7,5 méter/másodperc (27 km/h) volt. A földet érés során fellépő túlterhelések az emberi életet nem veszélyeztető határok között mozogtak. Az eszközt valójában úgy tervezték, hogy a maximális sebesség (185 km/h) esetén is működésbe kell lépnie, és fő célként nem a helikopter szerkezeti épségét, hanem a személyzet életét kell megmentenie.



3. ábra

Zefhir ejtőernyőrendszer a forgószárny agyon. Forrás: Helicopter Parachute Rescue System Demonstrated. Aero-news, 2018. Elérhető: www.aero-news.net/images/content/commav/2018/Zefhir-parachute-1018b.jpg (A letöltés dátuma: 2019. 11. 20.)

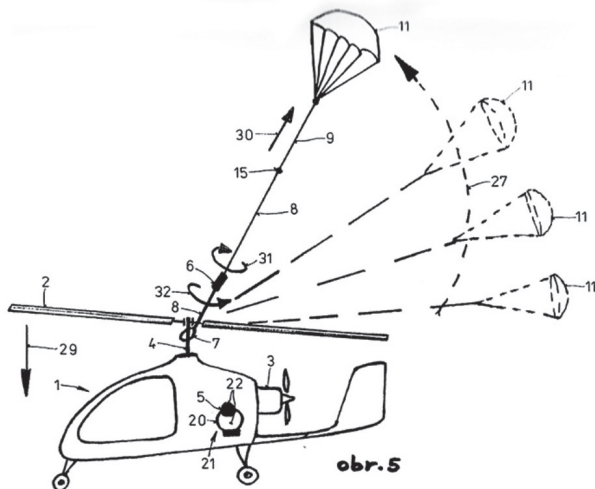
Az innovatív forgószárnyféknek köszönhetően a hajtómű leállítása után a forgószárnyak gyors leállítása határozza meg az előrepülés és a függőleges süllyedés közötti átmenetet. Ennek következtében a helikopter, amelynek megengedett maximális felszálló tömege 700 kg, a hajtómű és a forgószárnyak teljesen megállt állapotában száll le.¹²

¹¹ Frank Wolfe: *Italian Manufacturer Tests 'First' Ballistic Parachute System for Helicopters*. Elérhető: www.rotorandwing.com/2018/10/17/italian-manufacturer-tests-first-ballistic-parachute-system-helicopters/ (A letöltés dátuma: 2019. 09. 27.)

¹² *Helicopter Parachute Rescue System Demonstrated*. Aero-news, 2018. Elérhető: www.aero-news.net/images/content/commav/2018/Zefhir-parachute-1018b.jpg (A letöltés dátuma: 2019. 11. 20.)

Galaxy GRS ejtőernyőrendszer

Az ejtőernyő-alapú mentőrendszerek egy speciális változata a GRS,¹³ amely a teljes repülőgépet és nem csak a személyzetet védi. A GRS ernyőjét, egy zárt konténerben, a repülőgéptől 15-18 méterre lövik ki, amely állapotban a teljes felfüggesztőrendszer feszített helyzetbe kerül (4. ábra).



4. ábra

Galaxy GRS ejtőernyő működése. Forrás: Gyro & Helicopters. Galaxy GRS. i. m. (15. l.)

A konténer csak ezután nyílik ki, így a kupola elkerüli a repülőgép sárkányszerkezeti elemeit. Az egész egység úgy lett kialakítva, hogy az adott körülményeknek megfelelő, lehető leggyorsabb nyílást tegye lehetővé, így biztosítva a biztonságos üzemelést az elérhető legkisebb repülési magasságból. Amikor a kupola a helikopter felett 18 méter magasan kinyílik, a rakéta mozgási energiájánál fogva továbbrepül és leválik róla. A repülési sebességtől függően a teljes folyamat 1,5-6 másodperc alatt megy végbe. Ennek megfelelően a biztonságos repülési, nyitási magasság a repülési sebességtől, a kilövés irányától, a repülőgép mozgásától és az eszköz beszerelésétől függően 60-150 méter földfeletti magasságon már megvalósítható (5. ábra). A rakéta bármilyen irányba kilőhető, de legcélszerűbb azt a légi jármű hossz tengelyével szög bezáróan elvégezni.¹⁴ A GRS-rendszer csak olyan helikoptereknél használható, amelynek maximális felszálló tömege 750 kg alatt van és a sebessége legfeljebb 270 km/h. Katonai alkalmazása egyelőre nem ismert.¹⁵

¹³ Galaxy Rescue System.

¹⁴ Hennel–Ozsváth i. m. (7. l.)

¹⁵ Gyro & Helicopters. Galaxy GRS. Elérhető: www.galaxysky.cz/gyro-amp-helicopters-s65-en (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)



5. ábra

Galaxy GRS-szel felszerelt helikopter. Forrás: Gyro c Helicopters i. m. (15. l.j.)

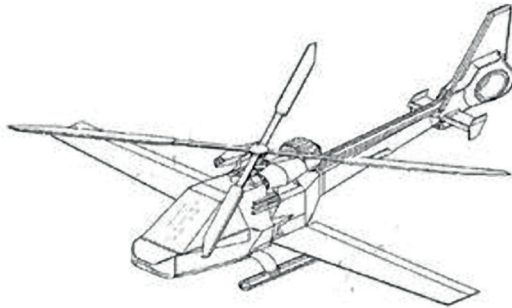
3. Helikopter felfújható szárnyakkal történő leszállása

Egyhajtóműves helikopterek vészhelyzetben történő leszállása esetén a repülésbiztonsági kockázatok csökkentésére az Egyesült Államokban egy speciális rendszer kutatás-fejlesztésével foglalkoztak az 1990-es évek második felében. Jelenleg a szabadalmi jogok a dél-koreai Korea Aerospace Research Institute tulajdonában vannak (6. ábra).¹⁶

Az előzőekben ismertetett berendezések csak abban az esetben működnek, amikor a helikopter forgószárnya már nem forog. Ennek az az oka, hogy amikor az ejtőernyőket olyan helyzetben működtetik, mint az autorotáció, amikor forog a forgószárny, az ejtőernyős zsinórt érintő másodlagos balesetek is bekövetkezhetnek. Ezért azok a technikai megoldások csak olyan helyzetekben, mint például a hajtóművek leállítás, illetve a forgószárnyak és a farok-légcsavar megállása után használhatók biztonságosan.

¹⁶ *Inflatable wing for rotary-wing aircraft.* KARI Korea Aerospace Research Institute, US9821907B2. Elérhető: <https://patents.google.com/patent/US9821907B2/en> (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)

A rendszer a következő részekből áll: a) helikopter oldalaira felrögzített felfújható rekeszekből álló elem; b) szárnyak optimális felfúvódását irányító egység; c) levegőellátó berendezés, amely a repülés alatt tárolja, és szükség esetén eljuttatja a megfelelő mennyiségű és nyomású levegőt a helikopterben elhelyezett tartályokból a szárnyak rekeszeibe.



6. ábra

Felfújható szárnyak. Forrás: Inflatable wing for rotary-wing aircraft i. m. (16. l.)

4. Biztonságos földet érés

A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy a földközeli magasságból lezuhant helikopterek mozgása során a becsapódás függőleges sebesség-összetevője 6 és 15 m/s közé esik. Ebből adódóan a megfelelő védelmet az jelentheti, ha a helikopterek szerkezetét alkalmassá tesszik az ilyen irányú terhelések elviselésére. Ez nem történhet a sárkányszerkezet merevségének növelésével, mivel az jelentős szerkezeti tömegnövekedést okozna, és a függőleges túlterhelés a rövid fékezési úthossz miatt az emberi szervezet számára elviselhetetlen mértékben megnövekedne. A lezuhanásból származó ütközési energia elnyelését a leghosszabb fékezési úthosszon (azaz a legkisebb lassulással és így a legkisebb túlterheléssel) kell biztosítani. Ez csak a sárkányszerkezet meghatározott elemeinek egymást követő, irányított deformációjával lehetséges, elsődleges energiaelnyelőként a helikopter-futómű szolgál. Ezért, az ilyen repülőeszközökön – a kézenfekvő aerodinamikai megfontolások ellenére – hosszúlökétű, nem behúzható, karos futóműveket alkalmaznak, mivel a berugózás függvényében növekvő erőátviteli képességük kedvezőbb, mint a teleszkópikus rugóstagé. Ezt követően további energiaelnyelés a futómű kitérése, a törzs alsó részének irányított, rugalmatlan deformációja és a megfelelően kialakított energiaelnyelő ülések alkalmazása által lehetséges, amelyek megfelelnek például az EASA ETSO-C127a és a MIL-S-58095 szabványoknak (7. ábra).



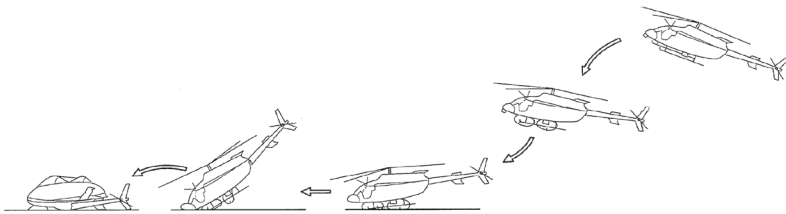
7. ábra

Martin-Baker helikopter személyzeti ülése. Forrás: Armoured Crew Seat. Martin-Baker. Elérhető: <http://martin-baker.com/products/armoured-crew/> (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)

Ugyancsak konstrukciósan megelőzendő feladat, hogy sérült tüzelőanyag, hidraulikaolaj vagy gázvezetékek tartalma a fülkébe jusson, illetve hogy ott szakadt, törött elektromos vezetékek, berendezések szikraképződést ne okozzanak.¹⁷

5. Külső ütközéscsillapító légszak alkalmazása

A külső ütközéscsillapító légszakokat tartalmazó rekeszek a helikopter törzse alatt helyezkednek el (8. ábra). A helikopter zuhanása során a helikopteren elhelyezett szenzorok adatai alapján, még a becsapódás előtt automatikusan vagy személyzet által manuálisan irányítva felfújódnak és elnyelik az ütközés során keletkező energia nagy részét, így biztosítva a személyzet számára a túlélés lehetőségét.¹⁸



8. ábra

Külső ütközéscsillapító légszak elvi működése. Forrás: Crash attenuation system for aircraft. Bell Helicopter Textron Inc., EP2200852B1. i. m. (18. lj.)

¹⁷ Óvári (2005) i. m. (4. lj.) 12–13.

¹⁸ *Crash attenuation system for aircraft.* Bell Helicopter Textron Inc., EP2200852B1. Elérhető: <https://patents.google.com/patent/EP2200852B1/en?q=Crash&q=attenuation&q=system&q=aircraft&oq=Crash+attenuation+system+for+aircraft> (A letöltés dátuma: 2019. 10. 30.)

6. Felfújható vészhelyzeti úszórendszer alkalmazása

A katonai helikopterek gyakran használják a víz felett végzett műveletekhez. A legtöbb esetben ezek a repülőgépek nem rendelkeznek olyan rendszerrel, amely elegendő úszóképességet biztosít a helikopterek felszínen tartásához, ami problémát okoz, ha a légi jármű a vízbe zuhan. Ez jelentős kockázatot jelent a helikopterek és a személyzet számára a víz feletti művelet során.

A helikopterekre felszerelhető külső úszó ballonok segítségével biztosítható a vízfelszínre történő leszállás esetén az állandó úszóképesség, azonban ezek a rendszerek jelentősen növelik a helikopterek méretét és légellenállását, növelve ezzel a vizuális felderíthetőséget és csökkentve a manőverezőképességet. Továbbá növelik az üzemanyag-fogyasztást, ami csökkenti a helikopterek hatósugarát, a szállítandó hasznos teher tömegét, ezáltal a légi jármű teljes hatékonyságát.

Ennek következtében a tervezők és gyártók a felfújható úszóegységek (EFS)¹⁹ fejlesztésére fókuszáltak. A 9. és 10. ábrán látható a H145M típusú helikopter felfújható úszó ballonja, ahol a csúszótalpas futóművekre felszerelték a felfújható ballonokat. A törzs alsó részén pedig az a tartály található, amely a felfújáshoz szükséges gázt tartalmazza.



9. ábra

Airbus H145M helikopter felfújható úszó ballonja. Forrás: Safety information notice H145M Emergency floatation system. Airbus. Elérhető: www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/safety/SIN-3061-00-Rev0-EN.pdf (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)

A legtöbb esetben a helikopterek felfújható úszó ballonja vagy a sárkányszerkezet alsó részén, a helikopter belsejében vagy a légijármű külső részén, felfüggesztve helyezkedik el (11. ábra). Mivel a legtöbb esetben a törzs felett elhelyezkedő hajtóműveknek és a forgószárnyaknak köszönhetően magasan van a súlypont, a felfújható úszó rendszerek a víz felszínén úszó helikopter felborulását eredményezhetik, ami problémákat okoz a kimentésre szoruló személyzet és az utasok számára. A rendszereket gyakran károsítja az ütközés és teljesen hatástalanná válik²⁰.

¹⁹ EFS – Helicopter Emergency Floatation Systems.

²⁰ *Helicopter Emergency Floatation Systems (EFS).* Sky Brary. Elérhető: [www.skybrary.aero/index.php/Helicopter_Emergency_Floatation_Systems_\(EFS\)](http://www.skybrary.aero/index.php/Helicopter_Emergency_Floatation_Systems_(EFS)) (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)



10. ábra

Airbus H145 helikopter felfújható úszóballonja felfújt helyzetben. Forrás: Safety information notice H145M Emergency floatation system. Airbus. Elérhető: www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/safety/SIN-3061-00-Rev0-EN.pdf (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)



11. ábra

Helikopter vészhelyzeti felfújható úszóballon. Forrás: Helicopter Emergency Floatation Systems (EFS). Sky Brary. Elérhető: [www.skybrary.aero/index.php/File:Emergency_Floatation_Systems_\(EFS\).jpg](http://www.skybrary.aero/index.php/File:Emergency_Floatation_Systems_(EFS).jpg) (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)

6.1. Pegasus (Aircraft Buoyancy System)

A Pegasus rendszert úgy alakították ki, hogy a vízfelszínnel történő ütközés során felfújódnak az úszókamrák gázzal, így lebegve tartva a helikoptert a víz felszínén. A jelentősebb mechanikai

és környezeti hatásoknak való ellenállásra tervezték. A Pegasus esetében a tervező úgy oldotta meg az előzőekben említett, a helikopterek magasabban elhelyezkedő súlypontja miatti problémákat, hogy olyan gázellátórendszert használ, amelyben nincs szükség a nehéz gázpalackok alkalmazására, és emiatt a helikopter sárkányszerkezete olyan helyzetben tartható, hogy nem fog felborulni (12. ábra).²¹



12. ábra

Pegasus rendszer. Forrás: Pablo Vinales: Life-saving helicopter flotation technology to be developed for Australian Defence Force in Tasmania. ABC News. Elérhető: www.abc.net.au/news/2016-03-10/adf-helicopter-flotation-technology-to-be-developed-tasmania/7237516 (A letöltés dátuma: 2019. 10. 27.)

Az eszköz, amelyet számos katonai és polgári helikopteren alkalmaznak, ellenáll egy 20-as túlterhelésnek, kis tömegű, illetve emellett aerodinamikai szempontból előnyös a geometriai kialakítása.

Többek között az ausztrál haditengerészet helikopterein a Tiger ARH²², MRH²³-90, illetve a Sea Hawk típusokon, de emellett számos egyéb rendőrségi, tűzoltó és mentőhelikopteren is rendszeresítették. A legnagyobb polgári felhasználása az olaj- és gáziparágban történik, ahol a nagyszámú tengeri repülésnek nagyfokú a repülésbiztonsági kockázata.²⁴

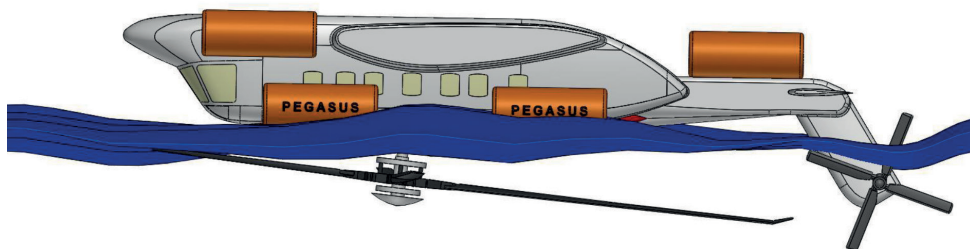
A Tiger, a Sikorsky S-92 (13. ábra) és a kisebb Agusta Westland AW109 típusú helikoptereken hajtották végre a tesztek. Az eszköznek csak két mechanikus rögzítési pontja van a sárkányszerkezethez, és úgy lett tervezve, illetve elhelyezve a helikopteren, hogy illeszkedjen a légi jármű teherviselő rendszeréhez.

²¹ *Navy diver turns expertise into life-saving device.* Australian Government, IP Australia, 2016. Elérhető: www.ipaustralia.gov.au/tools-resources/case-studies/navy-diver-turns-expertise-life-saving-device (A letöltés dátuma: 2019. 10. 22.)

²² ARH – Armed Reconnaissance Helicopter.

²³ MRH – Mulri Role Helicopter.

²⁴ *New Buoyancy System for Helicopter Emergencies.* The Maritime Executive, 2014. Elérhető: www.maritime-executive.com/article/New-Buoyancy-System-for-Helicopter-Emergencies-2014-09-10 (A letöltés dátuma: 2019. 11. 20.)



13. ábra

Pegasus rendszer egy Sikorsky S-92 helikopterre felszerelve. Forrás: Post-Crash Emergency Buoyancy System. One Atmosphere. Elérhető: www.caa.co.uk/uploadedFiles/CAA/Content/Standard_Content/Safety_initiatives_and_resources/Safety_projects/Helicopter_Safety_Research_Management_Committee/One%20Atmosphere%20HSRMC%20Presentation.pdf (A letöltés dátuma: 2019. 11. 20.)

A rendszer legalább két pirotechnikai eszközt tartalmaz, amelyek együttes működése biztosítja az úszóegység gyors működtetését, anélkül, hogy maga is megsérüljön.

A használt gázok némelyike rendkívül nagy hőt adhat le, így a tartályok olyan anyagból készülnek, amelyek ellenállnak a nagy hőmérsékletnek. Az eszközt alkotó szálak nagy szakítószilárdságúak, hogy ellenálljanak a dinamikus terheléseknek, miközben az a víz alól felemeli a helikoptereket. Emellett jelentős ütésálló tulajdonságokkal is rendelkezik, biztosítva az úszórendszer működőképességét a változatos környezeti körülmények között.²⁵

Elektronikus ütközésésszelő rendszerét úgy tervezték, hogy automatikusan beindítja az eszközt, amennyiben a légi jármű a víz felszínére csapódik be, emellett a hajózó személyzet manuálisan is tudja működtetni, ha szabályozott leszállást kell végrehajtani. Ezenkívül a belső diagnosztikai áramkörök segítségével folyamatosan ellenőrzik a rendszer elemeit.

A Pegasus külső borítása könnyű kompozit, amely ellenál a mechanikai hatásoknak, az elektromágneses sugárzásnak, a repeszeknek és emellett ellenáll a magas hőmérsékletnek. A borítás megóvjá az eszközt a tengeri környezet káros hatásaitól és a hajtóművek kiáramló gázaitól.²⁶

7. Összegzés

Jelen cikkben a helikopterek speciális vészelhagyási lehetőségeit mutattam be. Látható, hogy a kutatás-fejlesztéssel foglalkozó vállalatok számos olyan technikai megoldást terveztek és dolgoztak ki, amelyek egy esetleges légiközlekedési esemény vagy hadműveleti terület feletti találat esetén növelik a légi járművek és főként a személyzet túlélési esélyeit.

²⁵ *Additional buoyancy for offshore helicopters.* One Atmosphere. Pegasus. Elérhető: www.caa.co.uk/uploadedFiles/CAA/Content/Standard_Content/Safety_initiatives_and_resources/Safety_projects/Helicopter_Safety_Research_Management_Committee/Pegasus%20EASA%20Briefing%20Sheet.pdf (A letöltés dátuma: 2019. 11. 20.)

²⁶ *Aviation PEGASUS (Aircraft Buoyancy System).* One Atmosphere. Elérhető: <http://oneatmosphere.com.au/services/aviation-pegasus.html> (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)

Az elemzett berendezések többsége nemcsak a tervezőasztalon létezik, hanem a különböző típusú helikopterekre már fel is szerelték, és számos esetben már az előírt tesztrepüléseket követően a hatósági engedélyek birtokában az alkalmazásuk is megtörtént.

Felhasznált irodalom

- Additional buoyancy for offshore helicopters.* One Atmosphere. Pegasus. Elérhető: www.caa.co.uk/uploadedFiles/CAA/Content/Standard_Content/Safety_initiatives_and_resources/Safety_projects/Helicopter_Safety_Research_Management_Committee/Pegasus%20EASA%20Briefing%20Sheet.pdf (A letöltés dátuma: 2019. 11. 20.)
- Armoured Crew Seat.* Martin-Baker. Elérhető: <http://martin-baker.com/products/armoured-crew/> (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)
- Aviation PEGASUS (Aircraft Buoyancy System).* One Atmosphere. Elérhető: <http://oneatmosphere.com.au/services/aviation-pegasus.html> (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)
- A big step forward in the history of flight safety.* Zefhir. Elérhető: <http://zefhir.eu/2018/09/27/a-big-step-forward-in-the-history-of-flight-safety/> (A letöltés dátuma: 2019. 09. 20.)
- Botta András: *A repülés szerelmesei, autorotáció.* Aerofriends, 2009. Elérhető: www.aerofriends.hu/repulestechnikai-uzemeltetesi-okosagok/autorotacio (A letöltés dátuma: 2019. 10. 27.)
- Crash attenuation system for aircraft.* Bell Helicopter Textron Inc., EP2200852B1. Elérhető: <https://patents.google.com/patent/EP2200852B1/en?q=Crash&q=attenuation&q=system&q=aircraft&oq=Crash+attenuation+system+for+aircraft> (A letöltés dátuma: 2019. 10. 30.)
- Ejection & Shock-Absorbing System K-37-800M.* Zvezda. Elérhető: www.zvezda-npp.ru/en/node/695 (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)
- Gyro & Helicopters.* Galaxy GRS. Elérhető: www.galaxysky.cz/gyro-amp-helicopters-s65-en (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)
- Helicopter Emergency Floatation Systems (EFS).* Sky Brary. Elérhető: [www.skybrary.aero/index.php/Helicopter_Emergency_Floatation_Systems_\(EFS\)](http://www.skybrary.aero/index.php/Helicopter_Emergency_Floatation_Systems_(EFS)) (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)
- Helicopter Parachute Rescue System Demonstrated.* Aero-news, 2018. Elérhető: www.aero-news.net/images/content/commav/2018/Zefhir-parachute-1018b.jpg (A letöltés dátuma: 2019. 11. 20.)
- Hennel Sándor – Ozsváth Sándor: *Légijárművek mentőberendezései és azok jövőbeni fejlesztési irányai. Katonai Logisztika*, 21. (2013), 1. 216–234.
- Inflatable wing for rotary-wing aircraft.* KARI Korea Aerospace Research Institute, US9821907B2. Elérhető: <https://patents.google.com/patent/US9821907B2/en> (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)
- The Manufacturers.* The ejection site. Elérhető: www.ejection-site.com/emakers.htm (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)
- Navy diver turns expertise into life-saving device.* Australian Government: IP Australia, 2016. Elérhető: www.ipaustralia.gov.au/tools-resources/case-studies/navy-diver-turns-expertise-life-saving-device (A letöltés dátuma: 2019. 10. 22.)
- New Buoyancy System for Helicopter Emergencies.* The Maritime Executive, 2014. Elérhető: www.maritime-executive.com/article/New-Buoyancy-System-for-Helicopter-Emergencies-2014-09-10 (A letöltés dátuma: 2019. 11. 20.)
- Óvári Gyula: *Autorotálni, katapultálni vagy lezuhanni? Haditechnika*, 28. (1992), 4. 3–24.

- Óvári Gyula: Biztonság és repüléstechnikai megoldások katonai helikopterek harci túlélőképességének javítására. *Repüléstudományi Közlemények*, (2005), 2. 1–14.
- Post-Crash Emergency Buoyancy System*. One Atmosphere. Elérhető: www.caa.co.uk/uploaded-Files/CAA/Content/Standard_Content/Safety_initiatives_and_resources/Safety_projects/Helicopter_Safety_Research_Management_Committee/One%20Atmosphere%20HSRMC%20Presentation.pdf (A letöltés dátuma: 2019. 11. 20.)
- Safety information notice*. H145M Emergency floatation system. Airbus. Elérhető: www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/safety/SIN-3061-00-Rev0-EN.pdf (A letöltés dátuma: 2019. 10. 20.)
- Vinales, Pablo: *Life-saving helicopter flotation technology to be developed for Australian Defence Force in Tasmania*. ABC News, 2016. Elérhető: www.abc.net.au/news/2016-03-10/adf-helicopter-flotation-technology-to-be-developed-tasmania/7237516 (A letöltés dátuma: 2019. 10. 27.)
- Wolfe, Frank: *Italian Manufacturer Tests 'First' Ballistic Parachute System for Helicopters*. Elérhető: www.rotorandwing.com/2018/10/17/italian-manufacturer-tests-first-ballistic-parachute-system-helicopters/ (A letöltés dátuma: 2019. 09. 27.)

Bagdi Zsolt,¹ Bakó Gábor²

Repülőterek felmérése, elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés

A repülési ágazat fejlődése folyamatos jellegű. A repülésbiztonság egyik alappillére az akadály-adatokat tartalmazó adatbázis, amelyet a nemzetközi irányelveknek megfelelően nem elég csupán tartani, hanem fokozni is kell annak megbízhatóságát. A legmodernebb technológiák ehhez nagymértékben hozzájárulnak. Ilyen például az elektronikus terep- és akadály-adatgyűjtés, angol nyelven és rövidítve eTOD (electronic Terrain- and Obstacle Data Collection). A folyamat alapja merevszárnyú repülőgéppel történő légi távérzékelés. A repülőgéppel gyűjtött adatokból előállított pontfelhő és a geoinformatikai szoftverek segítségével kinyert információk a szigorúan definiált terep- és akadályadatok adatbázisaiba rendezhetők, amelyek jellegét olyan nemzetközi szabványok és dokumentumok szabályozzák, amelyeknek megfelelően nemzetközi szinten alkalmazható lesz az akadály-adatbázis. Az adathalmazokra nemcsak amiatt van szükség, mert rendeletek megkövetelik azok meglétét, hanem azért, mert különféle repülőgépes eljárások tervezésének alapját képezik, és nagymértékben hozzájárulnak a biztonságos légi közlekedéshez.

Kulcsszavak: ICAO, repülőtér, AIP, eTOD, akadály, ADQ, repülőtér felmérés, OLS

Airport Survey, Electronic Terrain and Obstacle Data Collection

The development of the aviation sector is continuous. One of the pillars of aviation safety is the database containing obstacle data, which, in accordance with international guidelines, is not only to be maintained, but also its reliability is to be improved. State-of-the-art technologies contribute greatly to this, for example electronic Terrain and Obstacle Data Collection (eTOD). The process is based on remote sensing of a fixed wing aircraft. The point cloud generated from aircraft and GIS information can be organised into strictly defined terrain- and obstacle databases, governed by international standards and documents, that will make the obstacle database applicable internationally. These data sets are needed not only because regulations require their existence, but also because they form the basis for the design of various flight procedures and make a major contribution to aviation safety.

Keywords: ICAO, Airport, AIP, eTOD, obstacle, ADQ, airport survey, OLS

¹ Ügyvezető igazgató, Erenfield Consulting Kft; e-mail: zsolt.bagdi@erenfield.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3467-7995>

² Ügyvezető igazgató, Interspect Kft; e-mail: bakogabor@interspect.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3649-6007>

1. Bevezetés

Az ICAO- (*International Civil Aviation Organization*) tagállamok valamennyi repülőterének nagyszámú előírásnak kell megfelelnie. Például a fizikai berendezések működése, a futópályák és felületek minősége és felfestése, vagy a repülőtér körzetében lévő akadályobjektumok kezelése.³ Akadály lehet fix vagy mobilis tárgy is. Sok repülőtér mellett halad például főút vagy vasútvonal. A futópálya meghosszabbított középvonalának körzetében közlekedő magas járművek, ha ideiglenesen is, de akadályokként viselkednek, így előfordulásukat, űrszelvényüket az adatbázis szintén rögzíti.⁴ Fix objektumok lehetnek például fák, épületek, tornyok, de ide tartoznak a domborzat kimagasodó részei is. Utóbbit hívjuk terepakadálynak.⁵ Légi távérzékelés nélkül a jelenlegi követelményeknek nehéz megfelelni, hiszen több száz m²-nyi területet kell „átvizsgálni” és minden akadályt begyűjteni.⁶

Jelen cikkben a Debreceni Nemzetközi Repülőtér számára készített felmérésünk és adatbázisuk tapasztalataiból ismertetünk. A munka során a repülőtér Runway Strip téglalap alapú területe mentén kiindulva, 10 km-es körzetében gyűjtöttük a repülési akadályokat, nemzetközi jogszabályoknak és előírásoknak megfelelően (1. ábra).⁷ Az eljárások tervezésében a 2.5D-t egyre inkább ki fogja váltani a 3D.⁸ Ezért nagy jelentősége van a jövő kihívásainak is megfelelő adatgyűjtésnek.⁹

2. Módszer

A kutatás a Debreceni Nemzetközi Repülőtér felmérésének tapasztalatain alapul, amely a város déli területén fekszik (ARP WGS 84 koordináta: 472920N 0213655E).

Az ICAO-dokumentumokban leírt, megkövetelt numerikus kritériumokat ki kellett elégténnünk (pontosság, felbontóképesség, integritási követelmények). A terület több kisebb részegységre bontandó. A terület felosztását a repülőtér futópályája határozza meg. A megközelítés irányában, tehát a futópálya középvonalának hosszabbításában található térszögekben az akadályok besorolása szigorúbb magassági előírásokon alapul, ugyanis a légi járművek ezen területek fölött repülnek rendszeresen. A futópálya középvonalra merőleges, tehát oldalirányban elhelyezkedő „areák” más kritériumokon alapuló adatgyűjtést tesznek lehetővé.

³ *Annex 15*. Montreal, Canada, International Civil Aviation Organization, ICAO, 2018c; *Annex 14, Volume I*. International Civil Aviation Organization, ICAO, Montreal, Canada, 2013.

⁴ *Annex 11, Air Traffic Services*. International Civil Aviation Organization, ICAO, Montreal, Canada 2011; *Annex 5, Units of Measurement to be Used in the Air and Ground Services*. International Civil Aviation Organization, ICAO, Montreal, Canada 2010.; *Annex 14, Volume I*. i. m. (1. lj.); *Annex 15*. i. m. (1. lj.)

⁵ *Guidelines for Electronic Terrain, Obstacle and Aerodrome Mapping Information ICAO Doc 9881*.; *Aeronautical Information Services Manual*. International Civil Aviation Organization, ICAO Doc 8126, 2003; *World Geodetic System – 1984 (WGS-84) Manual*. International Civil Aviation Organization, ICAO Doc 9674, 2002; *Terrain and obstacle data manual*. European Organization for the Safety of Air Navigation, Brussels, Eurocontrol, 2015.

⁶ *Terrain and obstacle data collection surfaces*. International Civil Aviation Organization, 2017. Elérhető: www.researchgate.net/figure/Obstacle-Limitation-Surfaces-OLS-Source_fig3_309358595 (A letöltés dátuma: 2019. 02. 09.)

⁷ ICAO Doc 9881 i. m. (3. lj.); ICAO Doc 9674 AN/946 i. m. (3. lj.); ICAO Doc 8126 AN/872 i. m. (3. lj.); *Terrain and obstacle data manual* i. m. (3. lj.)

⁸ *Terrain and obstacle data manual* i. m. (3. lj.)

⁹ *EUROCONTROL Specification for Electronic Aeronautical Information Publication*. EUROCONTROL-SPEC – 146, 2015.

Table A8-1. Terrain data numerical requirements

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
Post spacing	3 arc seconds (approx. 90 m)	1 arc second (approx. 30 m)	0.6 arc seconds (approx. 20 m)	0.3 arc seconds (approx. 9 m)
Vertical accuracy	30 m	3 m	0.5 m	1 m
Vertical resolution	1 m	0.1 m	0.01 m	0.1 m
Horizontal accuracy	50 m	5 m	0.5 m	2.5 m
Confidence level	90%	90%	90%	90%
Integrity classification	routine	essential	essential	essential
Maintenance period	as required	as required	as required	as required

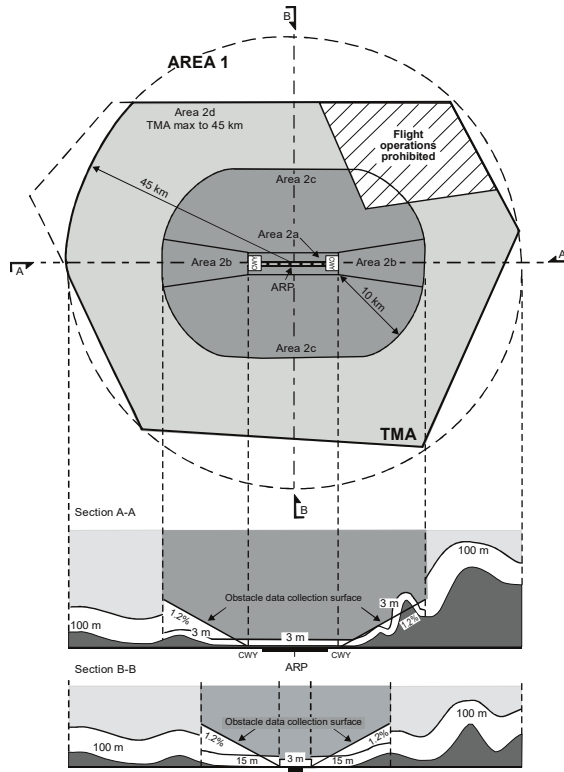
1. ábra

Terepakadály-adatok numerikus követelményei valamennyi területen. Forrás: Terrain data numerical requirements. Annex 15, Appendix 8, Table A8-1, Montreal, Canada, International Civil Aviation Organization, ICAO, 2018.

A légi távérzékeléshez merevszárnyú repülőgépet alkalmaztunk, belső elhelyezésű digitális mérőkamerával, D-GPS/ins által biztosított direkt tájékoztatási adatgyűjtő rendszerrel. A pontfelhő és a felvételek 2018. februárjában készültek, amikor a besugárzás mértéke optimális volt a passzív optikai távérzékeléshez, légi fotogrammetria alkalmazásához. A közel 320 négyzetkilométeres terület szakszerű lerepülését két nap alatt sikerült teljesítenünk folyamatosan egyeztetve az AFIS- (*Aerodrome Flight Information Service*) szolgálatokkal. A légi felvételezés a nyújtott kör alakú terület fölött (2. ábra) speciális légijármű-irányítást követelt meg, amelyet a precíziós repülésekben szakavatott pilótánk hajtott végre.

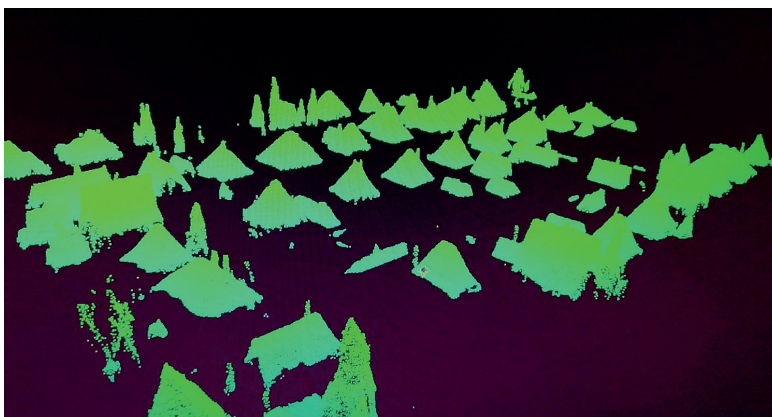
A repülőtér és definiált körzetében több mint 20 terület, több mint 20 felületét szerkesztettük térinformatikai szoftverben. Eredményül több mint 30 adatbázist kaptunk, amelyben helyet foglaltak a gyűjtött terep- és akadályadatok, valamint azokat az adatbázisokat is feltöltöttük, amelyek adathalmazai meghatározzák a repülőtér térségében lévő, potenciálisan veszélyes objektumokat. Mindemellett a gyűjtési területhez tartozott hazánk második legnagyobb városa is. Debrecen majdnem teljes egészében része a felmérendő területnek. A pontfelhőszűrés eredményeként hozzájutunk a felületek fölötti pontokhoz, ezáltal ki tudjuk értékelni a terep- és akadályobjektumokat és azok metaadatait (3. ábra). A komplex (terepi felméréssel kiegészített automatizált pontfelhőszűrésű és manuális térfotogrammetriai kiértékelési) adatgyűjtési módszertan különböző felbontású és módszerű légi távérzékelési eljárásokkal történő kivitelezésének megbízhatósági eredményeit korábbi cikkeinkben publikáltuk.¹⁰

¹⁰ Gábor Bakó et alii: The GSD dependency of the eTOD photogrammetric survey. *CEAS Aeronautical Journal*, 11. (2020), 1. 137–143.



2. ábra

Repülőtér-specifikus, néhány gyűjtési terület felülnézeti rajza a 10 és 45 km-es körzetben. Forrás: Coverage areas and requirements for data provision. Annex 15, Chapter 10.1, Montreal, Canada, International Civil Aviation Organization, ICAO, 2018.



3. ábra

Pontfelhő, szoftverben történő vágása utáni állapot, amely tükrözi az akadályok meglétét. Forrás: a szerzők szerkesztése

3. Eredmények

Előzetes felmérésekből láthattuk (például a Szegedi Repülőtér számára készített adatbázisunk tapasztalataiból), hogy csupán a terepi geodézia alkalmazása nem garantálja az akadályok biztonságos gyűjtését.

A több mint öt hónapig tartó debreceni munkavégzés eredményeképp, az adatbázisba pluszban bekerült sok ezer terep- és akadályobjektum. A repülések által generált pontfelhő és a kidolgozott módszer alkalmazása eredményezte a térségben mintegy 5500 akadály adatbázisba gyűjtését, ami a korábbi adatbázisokhoz hasonlóan nagyságrendekkel pontosabb adatokat szolgáltatott a légiforgalmi irányító szolgálatok irányába. Érdemes volt utánajárni, hogyan lehet ekkora különbség a korábbi akadály-adatgyűjtések során feltárt akadályok száma, és jelen felmérés sokszorosán több akadálytalálata között. Számos olyan terep- és akadályadat gyűjtése történt meg, amelyeket csupán hagyományos terepi geodéziával – helyszíni tapasztalatainkra hagyatkozva, illetve a korábbi adatbázisok hiányosságaira alapozva – nem lehetett volna felmérni. Ily módon a közel 320 km²-es terület felmérése számos komplikációt eredményezne. Ilyen például az objektumok takarása, a földfelszínről nem látható akadály-csúcspontok és akadályegyüttesek bemérése, valamint a nehezen megközelíthető helyszíneken hiányosnak tapasztalt terepi adatbázisok. Az optimális megoldás a légi távérzékelés és utólagos terepi geodéziai mérések együttes alkalmazása a munkavégzés során.

A délnyugati pályavégnél a felület kezdőmagasságát követően csak néhány akadály található. Ennek magyarázata a domborzat tengerszint feletti magasságának csökkenése. Így az objektumok magassága nem haladta meg a felületek magasságát, azaz nem metszették azokat, így e felületek és területek adatbázisai jóval kevesebb akadályt tartalmaztak. A Debreceni Nemzetközi Repülőtér esetében az északkeleti futópálya küszöb feletti megközelítési területek a domborzat emelkedésének köszönhetően jóval több akadályt emelnek a felületek fölé, mint az átellenes oldalon tapasztalható. Az egyes területek fölötti akadályfelületek kezdő magassága fix és maguk a felületek nem domborzatkövetők, így az akadályelfordulási sűrűség viszonylag homogén felszínborítás mellett is változhat. Az objektumok száma megnőtt a domborzat tengerszint feletti magasságának növekedésével. Így eredményezte ez közel 5500 akadály adatbázisokba integrálását. A felbontóképességnek, pontosságának és egyéb vonatkozó numerikus követelményeknek való megfelelést is ezzel a technológiával tudtuk elérni. 40% sávok közötti és 70-90% felvételek közötti átfedést és 3, 5, 7,5, 10 cm-es térbeli felbontást alkalmazva, 0,5 km² és 0,4 km² méretű mintaterületen teszteltük az alkalmazott módszert. A merevszárnyú repülőgép 220–340 km/h sebességtartományban és 640–860 méteres magasságtartományban gyűjtötte az adatokat.

A folyamat során kijelöltük a vonatkozó akadálykorlátozási felületeket is. E felületek részadatbázisai tartalmazzák azokat az akadályokat, amelyeket elemeztünk. Ugyanis az az akadály, ami metsz valamilyen releváns akadálykorlátozási felületet, könnyen lehet a repülésre potenciálisan veszélyt jelentő objektum. További vizsgálat szükséges az akadályjelzés megléte szempontjából. Akadály festése, zászlóval jelölése és akadályfény használata. Kutatásunk eredménye igazolja azt, hogy optimális távérzékelési módszer megválasztása nélkül az adatbázisok nagy valószínűséggel hiányosak lehetnek. Tőlünk független korábbi felmérés eredményezte azt a 9 akadályt, ami előzetes adatbázisokban szerepelt. Ezzel szemben, terepi geodézia és légi távérzékelés együttes alkalmazása generálta azt a 276 darab akadályobjektumot, amelyeket az akadálykorlátozási felületek alatt gyűjtöttünk be. A különbség szignifikáns (1. táblázat).

Megállapítható, hogy a nagy felbontású fotogrammetriai kiértékelés és a kombinált módszer (automatizált és manuális légi fotogrammetria és ellenőrző terepi geodézia) a legmegbízhatóbb módszernek tekinthető amellett, hogy jelen pillanatban a technológia használata ekkora területeken gazdaságos és időhatékony.

1. táblázat

Korábbi és jelen kutatás tárgyát képző, akadálykorlátozási felületek adatbázisainak összehasonlítása. (A táblázatban „-” jelölés esetén az adott felület adatbázisát nem közölték.) Forrás: Korábbi, más szervezet által végzett akadály-adatgyűjtés és jelen kutatás tárgyát képző, akadálykorlátozási felületek adatbázisainak összehasonlítása

	Korábbi adatbázis (darab)	Jelenlegi adatbázis (darab) (légi fotogrammetria + terepi geodézia)
Megközelítési felület(ek)	5 akadály	34 akadály
Kúpos felület	1 akadály	6 akadály
Belső vízszintes felület	2 akadály	37 akadály
Átmeneti felület(ek)	1 akadály	36 akadály
Felszállási emelkedési felület	-	156 akadály
Belső átmeneti felület(ek)	-	2 akadály
Megszakított megközelítési felület	-	0 akadály
Belső megközelítési felület	-	5 akadály
Külső vízszintes felület	-	0 akadály

4. Következtetések

Optimális időjárású és besugárzási körülmények mellett az itt bemutatott eszközökkel 5 cm GSD-vel (*Ground Sampling Distance*) képesek vagyunk megközelítőleg mintegy 350 m²-nyi területet biztonsággal felmérni. Szubszonikus repülőgéppel (tipikusan 500–1000 km/h) ez a terület 1000 km²-re is növelhető. Modern digitális CMOS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*) kamerák segítségével és relatíve magas repülési sebesség mellett, FMC (kameraberendezést exponáláskor visszasiklató, mozgáskompenzáló mechanizmus) és TDI (digitális képstabilizátor) nélkül is éles, legalább 5 cm terepi felbontású felvételek érhetők el.

A munkánk során bebizonyosodott, hogy az alkalmazott légi távérzékelés alkalmazása nagyságrendekkel pontosabb és nagyobb repülésiakadály-adatbázisokat szolgáltat. A differencia a hagyományos terepi geodéziai adatbázis és a kombinált (terepi geodézia és légi távérzékelés) gyűjtési módszer adatbázisában szereplő akadályok mennyisége között, több mint 30-szoros. A magassági rálátás eredményezte, hogy adott esetben olyan potenciálisan veszélyes akadályokat is sikerült begyűjtenünk, amelyeket a terepi és kulturális adottságokból fakadóan igencsak nehéz lett volna észlelni vagy éppen könnyűszerrel a mérést végző személyzet figyelmét is elkerülni. Ez a repülési ágazatban elképzelhetetlen, hiszen a cél a mindenkor repülésbiztonság fenntartása és annak folyamatos fokozása a gazdasági és időtényezőt is figyelembe véve. A közös módszerrel az együttműködő Erenfield Consulting Kft. és az Interspect Kft. az akadály-adatbázist Magyarországon is sikeresen elkészítette két repülőterre, amelyet a légiforgalmi irányító szolgálat dolgozott fel és tett elérhetővé érvényes, nemzetközi adatbázisokban.

Felhasznált irodalom

- Annex 5, Units of Measurement to be Used in the Air and Ground Services.* International Civil Aviation Organization, ICAO, Montreal, Canada 2010.
- Annex 11, Air Traffic Service.* International Civil Aviation Organization, ICAO, Montreal, Canada 2011.
- Annex 14, Volume I.* International Civil Aviation Organization, ICAO, Montreal, Canada, 2013.
- Annex 15, Aeronautical Information Services.* International Civil Aviation Organization, ICAO, Montreal, Canada, 2018.
- Aeronautical Information Services Manual.* International Civil Aviation Organization, ICAO Doc 8126, 2003.
- Bakó, Gábor – Szilágyi, Zsófia – Bagdi, Zsolt – Molnár, Zsolt – Góber, Eszter – Molnár, András: The GSD dependency of the eTOD photogrammetric survey. *CEAS Aeronautical Journal*, 11. (2020), 1. 137–143. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13272-019-00407-z>
- EUROCONTROL Specification for Electronic Aeronautical Information Publication.* EUROCONTROL-SPEC – 146, 2015.
- Guidelines for Electronic Terrain, Obstacle and Aerodrome Mapping Information.* ICAO Doc 9881.
- Terrain and obstacle data collection surfaces.* International Civil Aviation Organization, 2017. Elérhető: www.researchgate.net/figure/Obstacle-Limitation-Surfaces-OLS-Source_fig3_309358595. (A letöltés dátuma: 2019. 02. 09.)
- Terrain and obstacle data manual.* European Organization for the Safety of Air Navigation, Brussels, Eurocontrol, 2015.
- World Geodetic System – 1984 (WGS-84) Manual.* International Civil Aviation Organization, ICAO Doc 9674, 2002.



Tímár Félix,¹ Szilvássy László²

A JAS 39EBS HU harcászati repülő irányítható légiharc-rakétái

A cikk tárgyalja a Magyar Honvédség által 2007-ben rendszeresített JAS 39EBS HU négy és feledik generációs harci vadászgép irányított légiharc-rakétáit, a repülőgép fejlesztésének rövid történetét, az irányított légiharc-rakéták általános irányítási alapelveit.

Kulcsszavak: JAS 39EBS HU, aktív, félaktív, passzív önirányítás, infravörös, AIM-9L/I-1, AIM-120C-5

JAS 39EBS HU Fighter Plane's Guided Missiles

This article discusses the JAS 39EBS HU fighter plane's guided missiles: the AIM-9L/I-1 and the AIM-120C-5; furthermore, the guided missiles systems, the brief history of aircraft development, and the general guiding principles for guided missiles.

Keywords: JAS 39EBS HU, active, semi-active, passive homing, infrared, AIM-9L/I-1, AIM-120C-5

1. A JAS 39 Gripen fejlesztése

A JAS 39 Gripen egy svéd gyártású és fejlesztésű könnyű vadászbombázó, amely harcászati lag négy és feledik generációs repülőgépnek tekinthető. A különböző modifikációk gyártását az Industrigruppen JAS folytatja a mai napig. Az eszköz fejlesztése az 1970-es évek végén kezdődött, amikor a vietnámi háború tapasztalataiból merítve, egy új, korszerűbb, négy és feledik generációs harci repülőgép fejlesztését irányozták elő Svédországban. A II. indoknai háborúban és annak befejeztével, nyilvánvalóvá vált, hogy lényegesebben jobb manőverezőképességű, könnyebb és hatékonyabb elektronikával felszerelt vadászgépek kellenek a modern kor hadszíntereire, ezt a kihívást a svéd mérnökök is belátták, így kezdtek bele a SAAB 35 Draken és a SAAB 37 Viggen vadászgépeken alapuló új és korszerű eszköz kifejlesztésébe.

De mit is jelent az oly sokszor említett négy és feledik generációs harci repülőgép? A válasz a fejlett elektronikában, a rendkívül jó manőverezőképességben, a kis méretekben

¹ BSc hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztviselőképző Kar, Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék; e-mail: felixtimar@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8653-4374>

² Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztviselőképző Kar, Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék; e-mail: szilvassy.laszlo@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0455-4559>

és a multifunkcionalításban található meg. Nem szabad viszont szem elől téveszteni azt a tényt, hogy ezek az repülőeszközök, habár fejlettebbek, mint korábbi riválisaik, nem érik el az ötödik generációs repülőgépek műszaki színvonalát. Békési–Szegedi a következőket írja: „A világ legmodernebb, szolgálatban álló harci repülőgépei, az amerikai F-22A Raptor mellett szépen lassan megjelent az új generáció többi tagja: az amerikai Lockheed-Martin F-35 Lighting II., az orosz Szuhoj PAK-FA (T-50), illetve a kínai Chengdu J-20-as és a Japán Mitsubishi ATD-X.”³

Ilyen repülőgép például az Eurofighter Thyphoon, a francia Dassault Rafale, a Szu-34, a J-10, valamint az F-16AM/BM/E/F/I, az F/A-18E/F Super Hornet és EA-18G Growler, a korszerűsített F-15C/D/E-k, az F-15I/K/SG-k és az orosz Szu-35.⁴ Ezekre a típusokra a többfeladatuság jellemző, amire a JAS betűszó is utal: Jakt (vadász), Attack (támadó), Spaning (felderítő) szavakból áll össze a repülőgép típusjelzése. Fontos képesség a multifunkcionalitás ezekben az eszközökben. A svédok által kifejlesztett prototípus először 1988-ban emelkedett a levegőbe, és a különböző tesztek után 1996-ban állították rendszerbe a Svéd Légierőnél az F7 Skaraborg Flyflottilj repülőezrednél. Egy érdekesség az ezredről, hogy a mai napig ez az ezred végzi a típusra való átképzést és a külföldi pilóták oktatását is.⁵

2. A JAS 39 Gripen változatai

Mint minden repülőgép esetében, a Gripen is egy nagyobb repülőgépcsaládból áll. Az alkalmazás közbeni tapasztalatok, a megrendelők kritériumai, a folyamatosan fejlődő technika megkövetelte, hogy létrehozzanak az alapváltozathoz kiinduló, de jóval fejlettebb, nagyobb teherbírású, korszerűbb harci vagy akár kiképző repülőgépet. Jelenleg 11 változatát ismerjük az eszköznek, de ebbe a számba a fejlesztés alatt lévők is beletartoznak. Az A variánstól egészen F betűig tart a különböző típusok megjelölése, és van néhány, amelynek feladatkörére jellemző szó adja a megjelölését. Illetve érdemes megemlíteni az együléses és a kétüléses típusok közötti különbséget is, amely a változatot jelentő betűből könnyen kivehető: az A, C, E változat együléses, a B, D, F pedig kétüléses, általában harci-gyakorló.

Az A változat a fent már említett 1996-os rendszerbe állításkor repülő alaptípus, a svéd légierő időközben átépítette a C típusnak megfelelő képességűre.

A B változat az A változat kétüléses verziója. Kifejezetten típusismereti oktatásra és olyan feladatok végrehajtására, amelyhez két pilóta szükséges. Fontos megemlíteni: ahhoz, hogy a Life Support Systems és a második hajózó elférjen, a gép sarkányát meg kellett hosszabbítani 0,66 m-rel, továbbá a fedélzeti gépágyút el kellett távolítani és az egyik belső tüzelőanyag-tartály méretét csökkenteni kellett.

³ Békési Bertold – Szegedi Péter: *Trendek a vadászipülőgépek legújabb generációinak fejlesztésére alkalmazására*. XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem (NYME), 2015b. 151–162.; Békési Bertold – Szegedi Péter: *Ötödik generációs vadászipülőgépek fejlesztésének filozófiái*. In Bodzás Sándor (szerk.): *Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban*. Debrecen, 2015a. 194–206.

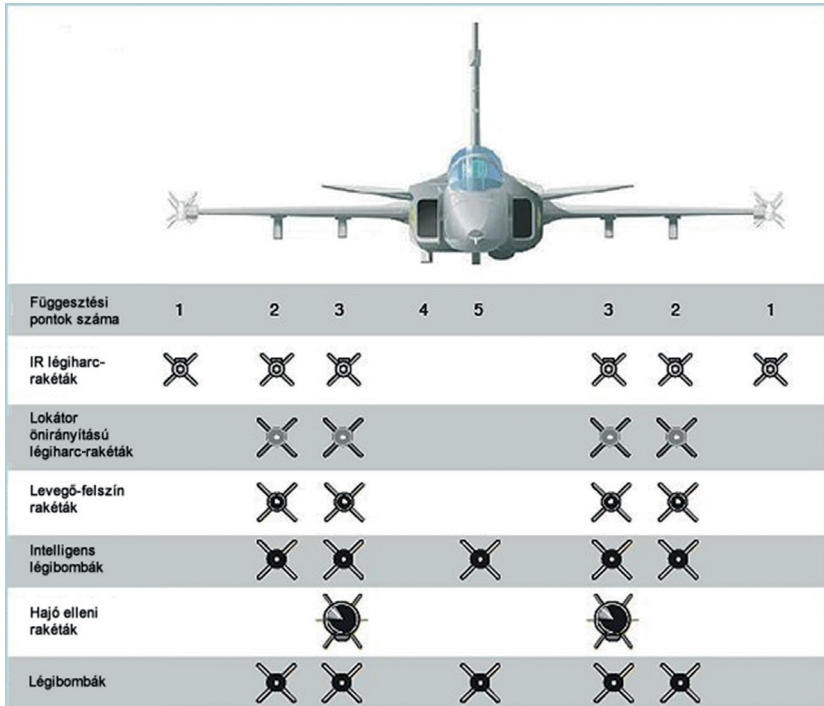
⁴ Uo.

⁵ *JAS 39 Gripen*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Saab_JAS_39_Gripen (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.); *A JAS-39C/D Gripen repülőgépek fegyverzete, modernizációs lehetőségei*. Military Technology, 2019. Elérhető: https://military-technology.blog.hu/2019/12/28/a_jas-39c_d_gripen_repu-logepek_modernizacios_lehetosegei?fbclid=IwAR3gG9fdXlnZecUJuwSwGcutMyEtTkJ05mEpzxVG79H-ITM8-gEjJgGcM (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

A C változat a NATO kompatibilitás feltételeinek megfelelő, amely alatt a megnövekedett harcértéket értjük, ez a változat képes a légi utántöltésre is.

A D változat a C változat kétüléses verziója, hasonló kialakítással, mint az előbb már tárgyalt B típus.

A további változatok már egy adott ország igényeihez lettek igazítva, mint például a Gripen NG, a JAS 39 E/F vagy akár az Agressor, amely a kiképzés keretén belül a légiharc oktatásakor a „Red-team” tehát az ellenség szerepét tölti be.⁶



Függesztési pontok száma	1	2	3	4	5	3	2	1
IR légiharc-rakéták	✘	✘	✘			✘	✘	✘
Lokátor önirányítású légiharc-rakéták		✘	✘			✘	✘	
Levegő-felszín rakéták		✘	✘			✘	✘	
Intelligens légbombák		✘	✘		✘	✘	✘	
Hajó elleni rakéták			✘			✘		
Légbombák		✘	✘		✘	✘	✘	

1. ábra

A JAS 39 függesztési változatai (nem teljes). Forrás: Thai Military and Asian Region. Elérhető: <https://thaimilitaryandasianregion.wordpress.com/2017/04/27/gripen-multirole-fighter-aircraft/> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

2.1. A JAS 39 EBS HU változat

Ez a típus kifejezetten a magyar fél igényeinek megfelelően kialakított verzió, amelyről érdemes tudni, hogy az első szerződés módosítás után ajánlotta fel a svéd partner. Az eszköz sárkányszerkezete a korai A típuson alapszik olyan átalakítással, hogy a törzs már a későbbi C/D változat kialakítását követi. Ezáltal a magyar repülőgépeket felszerelték légiutántöltő-képességgel, viszont a szárny szerkezete az A típus öröksége, így a külső függesztmények

⁶ JAS 39 Gripen. i. m. (5. l.); A JAS-39C/D Gripen repülőgépek fegyverzete, modernizációs lehetőségei. i. m. (5. l.)

tömege kisebb, mint a C/D esetében. Erre azért került sor, mert a svéd fegyvertörvények értelmében már nem lehetett egy teljesen új változatot megrendelni a szerződés módosítás keretein belül. Emiatt érdekességképpen megfigyelhető, hogy a magyar Gripenek között megtalálhatjuk az A és a B függőleges vezérsíkokat, mert egyes gépek az egyiket, a többi a másikat kapta meg. Így az eszközök felszereltségi szintje a NATO kompatibilis C/D-t követi, míg a sárkányában inkább az A/B-re hasonlítanak a Nemzet Szárnyai. Ezáltal a modernnek számít, minden légtérből indítható légiharc-rakétákkal lehet felszerelni.⁷

3. Általánosságban az irányítható légiharc-rakétákról

A Szilvássy László korábbi tanulmányai⁸ részletesen bemutatták a különböző rakéta-önirányítási módokat, amelyek jellemzőek az összes repülőfedélzeti rakétára.

Attól függően, hogy a rakéta röppályáját lehetséges-e megváltoztatni az indítás után, irányítható (IR) és nemirányítható (NIR) rakétákról beszélhetünk. Általánosságban e két csoportba tartozó rakéták nagyon sok dologban megegyezhetnek. Ilyen például a hajtómű, a harci rész a gyújtóval, a stabilizáló berendezés. Az irányítható rakétákat viszont valamilyen irányítóberendezéssel is fel kell szerelni, hogy megfeleljenek például a légi harc követelményeinek is, és változtatni tudják a térbeli pozíciójukat a cél mozgásának megfelelően.

Az irányítás típusa szerint megkülönböztethetünk táv-, ön-, program- és kombinált irányítású rendszereket.

Az első kategóriába azok az eszközök tartoznak, amelyek az irányításhoz szükséges jeleket egy külső helyről kapják, például egy rávezető állomásról, és parancsjel formájában dolgozza fel a rakéta az irányítás paramétereit.

Önirányításról akkor beszélhetünk, amikor az irányítás paramétereit a rakéta magának dolgozza ki és határozza meg különböző eszközök segítségével, ilyen például az optikai célkoordinátor.

Programvezérlés esetében egy előre meghatározott útvonalat, röppályát fog a rakéta bejárni, ezeket általában állandó koordinátájú célok leküzdésére használják.

A kombinált irányítást általában a közepes és nagy hatótávolságú légiharc-rakéták esetében alkalmazzák. Gyakorta ez egy aktív vagy félaktív irányítást és a program szerinti, vagy az inerciális irányítást kombinálják.

Továbbá fontos megkülönböztetni az eszközöket a cél kiválasztásának módszere szerint: aktív és félaktív önirányítási, passzív önirányítási és programirányítású rendszer.

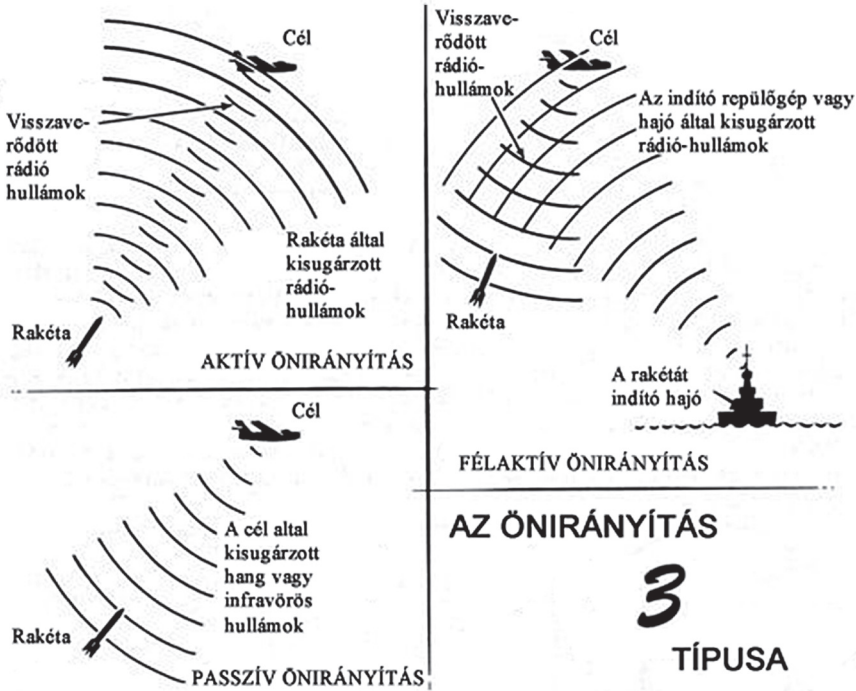
Az aktív és félaktív rendszer lényege az, hogy a célt elektromágneses hullámokkal „megvilágítják”, a visszavert elektromágneses energiát a rakéta célkoordinátora veszi, és a beérkező jelek alapján a fedélzeti számítógység kidolgozza a mozgásra és a cél helyzetére vonatkozó paramétereiket. Az aktív és a félaktív rendszer között a különbség annyi, hogy az aktív irányítási

⁷ A JAS-39C/D Gripen repülőgépek fegyverzete, modernizációs lehetőségei. i. m. (5. l.)

⁸ Szilvássy László: A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben. Doktori (PhD-) értekezés. Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2008. 96–104.; Szilvássy László: Meteor rakéta. In Szilvássy László (szerk.): *Repüléstudományi Szemelvények*. Szolnok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet, 2018. 119–142. Elérhető: www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2018.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

rendszerben a sugárzó és a vevőberendezés, míg a félaktív rendszerben csak a vevőberendezés található meg a rakéta fedélzetén.

A passzív önirányítási módszer esetében a célok által kisugárzott jeleket érzékelik a különböző célkoordinátorok, ilyen jelek lehetnek például: rádió, hang, fény, hő stb. A leginkább az infravörös célkoordinátorok terjedtek el, amelyek a hajtómű által kiáramló forró gázok viszonylag magas hőmérsékletét érzékelik, de a repülőgép belépőelein, a sebességtől kialakuló felmelegedést is érzékelhetik. Az ilyen rendszerek előnye a magas zavarvédelem, illetve az, hogy az indítás után a repülőgép kiválhat a légi harcból („tüzeld és felejtsd el”). Viszont alkalmazásuknak a kedvezőtlen időjárás és a Nap sugárzása erősen korlátot szabhatnak.⁹



2. ábra

A 3 irányítási módszer. Forrás: Palash Choudhari: Prahaar Short Range Tactical Ballistic Missile. 2017. Elérhető: <http://fullafterburner.weebly.com/terrain-battle-machines/prahaar-short-range-tactical-ballistic-missile> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

⁹ Szilvássy (2008) i. m. (8. lj.) 96–104.; Kakula János: *Rakéták szerkezetana*. Kilián György Repülő Műszaki Főiskola, Szolnok, 1989. Papp, István – Óvári, Gyula – Szilvássy, László: Derivation of the Fundamental Missile Guidance. *Academic and Applied Research in Military Science – AARMS*, 14. (2015), 4. 341–348. Óvári Gyula – Papp István – Szilvássy László: Rakéta mozgásegységek. *Hadmérnök*, 10. (2015), 3. 56–63.; Szilvássy László: *A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédség-ben*. (A tanulmány a szerző ZMNE Katonai Műszaki Doktori Iskolában megvédett doktori [PhD-] értekezésének főbb eredményeit mutatja be). *Elektronikus Műszaki Füzetek X*. Debrecen, MTA DAB Műszaki Szakbizottsága, 2011. Elérhető: https://szilvacsi.hu/pub/2011-35_A_HH_fvrensz_mod_lehet_a_MH-ben.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

3.1. A JAS 39 EBS HU irányítható légiharc-rakétái

A Diehl Defence szállította a magyar Gripen-flotta passzív infravörös légiharc-rakétáját. A svédek és csehek a viszonylag korszerű AIM-9M változatú Sidewinder rakétát rendszeresítették. A svédek már az A/B változathoz is, a csehek pedig a Gripen rendszeresítése előtt már az L-159 ALCA repülőgépekhez is alkalmazták az említett típust. Magyarország olcsóbb megoldásként még az 1982-es falklandi konfliktus idején korszerűnek számított AIM-9L változatot választotta, amelyből szinte minden nyugati ország jelentős felesleges készlettel rendelkezett. Ennek a változatnak fő hibája, hogy csak a Gripen szárnyának törővégéről lehet indítani, mivel nem rendelkezik folyékonynitrogén-tartállyal, ami a rakéta célkoordinátorát hűti, ezért azt a törővégre szerelt tartállyal rendelkező indítósinről lehet alkalmazni.¹⁰ A rakéta hossz tengely körüli forgását rolleronokkal – pörgettyűs csúrókkal – maximalizálják. Ez közel légiharc-rakétákon gyakran alkalmazott megoldás. Lényege, hogy a rakéta minden egyes szárnyán található egy rolleron, amelyeknek az a feladata, hogy repülés közben az x-tengely körüli forgásokat egy bizonyos maximum-szögsebesség alatt tartsa. Ez a megoldás passzívnak tekinthető az irányítás szemszögéből, hiszen a megfűvás sebességétől a szélkerék úgy fog viselkedni, mint egy giroszkóp, ami megakadályozza, hogy a rakéta kontrolálhatatlanul elkezdjen fogorni az x-tengely körül, és ezáltal rontsa a célkoordinátor hatáskörét. A valóságban ez a forgás nem képes teljesen lecsökkenteni és meggátolni, de könnyen két érték ($\pm \omega_{\max.}$) közé fogja beállítani a rakéta forgását, amit már a célkoordinátor le tud követni.¹¹

3.1.1. AIM-9 L I-1 irányítható légiharc-rakéta

Az AIM-9 Sidewinder légiharc-rakétának a fejlesztése egészen az 1950-es évekre nyúlik vissza. Először az Amerikai Egyesült Államok Tengerészete állította rendszerbe 1956-ban, és ezután a légierő is hamar felvette fegyverarszenáljába. Az infravörös önirányítás gondolata már a II. világháborúban felvetődött a németeknél és a kor technikai színvonalához képest óriási előrehaladást értek el egyetlen infravörös fényelemmel. Habár a németek ezt a technológiát a siklóbombáknál alkalmazták, végül a parancsvezérelt Fritz X bombát alkalmazták teherszállító hajók ellen. A háború befejeztével a kétpólusú világrend képviselői elkezdtek rohamos ütemben továbbfejleszteni a németek kutatási eredményeit, és az amerikaiak az AIM-4 Falcon megépítésével bebizonyították, hogy van létjogosultsága az infravörös önirányításnak. Mint ahogy már említettem, az AIM-9 család az 1956-os évben állt rendszerbe. Ezzel párhuzamban a szovjet oldal is kifejlesztette a saját „Sidewinderét” R-3Sz (az AIM-9B-re hasonlít), majd az R-13 néven (ez pedig az AIM-9M/L változatokra), ez a rakéta lényegében teljesen megegyezik a nyugati társával olyannyira, hogy a függesztési pontok is ugyanúgy lettek elhelyezve. Az AIM betűszó az *Aircraft Interception Missile* (repülőfedélzeti elfogó rakéta) szavakból áll össze. A nevét (*Sidewinder*) a szarvas csörgőkígyóról kapta, mert ez a kígyó is

¹⁰ A JAS-39C/D Gripen repülőgépek fegyverzete, modernizációs lehetőségei. i. m. (5. l.)

¹¹ *Rolleron*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: <https://en.wikipedia.org/wiki/Rolleron> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

testhőmérséklet alapján találja meg az áldozatát.¹² Ennek a családnak közel 7 tagját ismerjük, a Magyar Honvédségben az L változat lett rendszeresítve.¹³

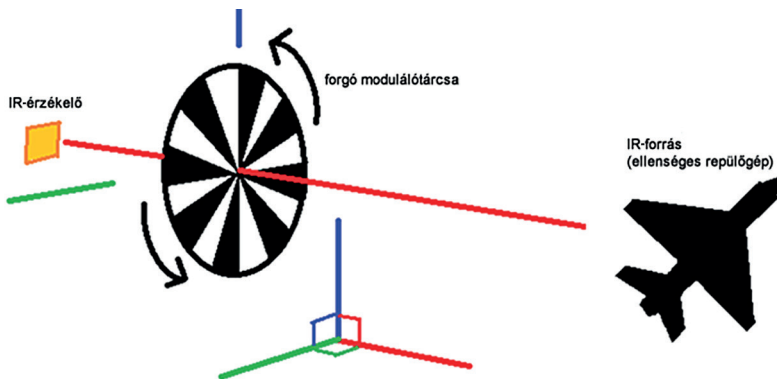
Az L változat

A „Lima” változat gyártását 1977 után kezdték meg. Ez volt az első minden légtérből indítható, beleértve a találkozó légi harcot is, ahol a rakétára akár ötvenszeres túlterhelés is hathat. Az első harci alkalmazása az L változatnak az 1981-es sidra-öbölbeli incidens során történt meg, mikor is két amerikai F-14 Tomcat és kettő líbiai Szu-22 a nemzetközi víz határainak feszegetése közben légi harcba bocsátkoztak. Összefoglalva, az F-14-ek sikeresen lelőtték a líbiai gépeket. A rakéta első nagyobb harci alkalmazása az 1982-es falklandi háborúban volt, mikor is ezekkel az eszközökkel már elérték a 80%-os találati arányt, megjegyezvén, ez a típus 10–15%-kal növelte a találati arányt a korábbiakhoz képest. Továbbá az is óriási fejlesztés volt, hogy hétszeres túlterhelés esetén is indítható volt, így egy manőverező légi harcban is alkalmazhatóvá vált. A sikeres harci alkalmazásnak az lett az eredménye, hogy körülbelül 16 000 db-ot rendeltek meg belőle, így licenz alapján gyártották Japánban és Németországban is. Elrendezése alapján fordított vagy más néven „kacsa”, tehát a kormányfelületek a rakéta elején találhatóak. A kormányfelületek méretét megnövelték a korábbi típusokhoz képest. Ekkor jelent meg a jellegzetes kettős nyilazási szögű belépő él. A rakéta tömege 86 kg, átmérője 127 mm, amely alumínium-ötvözetből készült, hossza 2,85 m. A rakéta orrán az infravörös sugárzás számára átlátszó magnézium-fluorid-burkolatot helyeztek el, e mögött található a gömbcsuklós felfüggesztésű, elektromágneses mozgatású „Cassegrain” célkoordinátor. A maximális kitérése eléri a 40°-ot, de a rakétát csak a hossz tengelyhez képest $\pm 27,5^\circ$ -os szögtartományon belül lévő célok ellen lehet indítani. A célkövetés során már a maximális 40° tartomány is kihasználható, amennyiben a megtámadott ellenséges gép intenzíven manőverezik. A célmegjelölés többféle módon történhet. A gömbcsuklós tükör kúpos letapogatást végez, és ha hőforrást észlel, akkor ezt hangjelzéssel tudatja a pilótával. A fedélzeti radarral felderített célra is rávihető a célkoordinátor, végül sisakcélzóval is megoldható a dolog, mindhárom lehetőség rendelkezésre áll. Pontosabban az utóbbi, vagyis a sisakcélzó csak átmeneti ideig állt szolgálatban az US NAVY Phantomjain (a világon elsőként), mert a rakéta és a fedélzeti radar együttműködése egyszerűbb volt. A fókuszált infravörös sugárzás a mélyhűtött, akár csak az R-13 esetében, 4 mikronos hullámhosszúságú sugárzásra, ami Celsius fokban olyan 500–600 °C, leginkább érzékeny indium-antimon ötvözetből készült detektorra jut, a másodpercenként 125 fordulattal pörgő modulálótárcsán keresztül. Ezen váltakozva helyezték el a sugárzást áteresztő és visszaverő sávokat.¹⁴

¹² *Thai Military and Asian Region*. Elérhető: <https://thaimilitaryandasianregion.wordpress.com/2017/04/27/gripen-multirole-fighter-aircraft/> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

¹³ *AIM-9L Sidewinder légiharc-rakéta*. Elérhető: www.superfighter.hu/Article/AzAIM9LSidewinderlgiharcraketa/index.html (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

¹⁴ *AIM-9 Sidewinder*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/AIM-9_Sidewinder (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.); *Az AIM-9L Sidewinder légiharc-rakéta*. i. m. (13. lj.); Békési–Szegedi (2015b) i. m. (3. lj.)



3. ábra

A modulálótárcsa működési alapelve. Forrás: Damien Perrier: Fox Two – Infrared Missile Target Tracking. 2017. Elérhető: <https://medium.com/@OpenSeason/1946-germany-has-been-defeated-and-its-military-technology-put-under-the-microscope-the-west-e60b82926b40> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

Mivel a kör alakú tárcsa szélein nagyobb a kerületi sebesség, az ott átjutó infrajel intenzíven pulzál. A tárcsa közepe felé egyre kisebb a frekvencia, ami arányos azzal, hogy a cél a rakéta hossz tengelyéhez képest merre helyezkedik el. Hogy a tárcsa melyik részére kerül az infrásugár, az attól függ, hogy a gömbcsuklós felfüggesztésű „Cassegrain” gyűjtőtükör merre „látja” azt. A DSQ-29 kormányparancs-kidolgozó egység elektromos jelekké alakítja a detektorra jutott szaggatott sugárzást, de még további tényezőket is figyelembe vesznek. Közvetlenül az indítás után még „csillapított” a rendszer, mivel a rakétának ekkor még túl alacsony a sebessége a manőverezéshez. Keresztező irányon haladó cél esetében automatikusan kiszámítja a rendszer a szükséges előretartást, vagyis a rakéta nem közvetlenül a cél felé, hanem egy elméleti találkozási pont felé repül. A legintenzívebb infravörös forrás változatlanul a hajtómű, vagyis a célba vett repülőgép hátsó része. A tapasztalatok azt mutatták, hogy a törzsvégben bekövetkező találat az esetek egy részében nem okozott végzetes sérülést, így a gép vissza tudott térni bázisára, de legalábbis pilótájának volt ideje felkészülni a katapultálásra. Az AIM-9L vezérlőegységét ezért kiegészítették, a rakéta a találat előtti pillanatokban előbbre helyezi a találkozási pontot, vagyis a cél középső részén következik be a találat, ami nagyobb rombolást eredményez. Az argentin légierő a falklandi háború után sérelmezte is, hogy számos pilótájuk a találat következtében életét veszítette, mert nem volt módja a katapultálásra. Ha cinikusan, de racionálisan nézzük a kérdést, akkor háborúban éppen ez a cél, hiszen a pilóta elvesztése sokkal érzékenyebben érint minden légierőt. A kiképzett pilótát ugyanis nehezebb pótolni, mint a repülőgépet, számos háborúban előfordult, hogy a katapultálást követő napon már újra bevetésre küldték a lelovást túlélő hajózót. Az infravörös érzékelő mélyhűtésének többféle módját alkalmazzák. Mivel a USAF és a US NAVY eltérő típusú indítósinéket alkalmaz, ezért meg kellett oldani a hűtőközeg rakétában történő elhelyezését. A légierő módszere az egyszerűbb, a rakéta alsó felén a kormányfelületek közötti részen három csavarral rögzített kis fedél alatt található a kézzel, szerszám nélkül behelyezhető kis argontartály. A haditengerészetnél a LAU-7 indítósinben található a 6 l-es, tehát nagyobb kapacitású, akár 2,5 órányi mélyhűtést biztosító palack. Ennek azonban hátránya is van, ugyanis a rakétához

vezetett elektromos kábelkötegben kellett elhelyezni a vékony gázvezetékét, amely könnyen eltömődhet. Az elektronikus blokk mögött található a kormányzórekesz. A kereszt alakban elhelyezett négy kormányfelület közül a szemben lévők közös tengelyen vannak, így két forrógázos munkahenger elegendő a mozgatásukhoz. Számukra egy gázgenerátor biztosítja egy percen keresztül a nyomást, a rakéta aktív szakasza is ettől függ, hiszen csak addig van értelme a fedélzeti rendszerek működésének, amíg a rakéta kormányozható. A kormányfelületek síkjában (vagyis négy helyen) lézerdíódákat helyeztek el, amelyek az indítás után megkezdik az impulzusok kibocsátását. Közvetlenül mögöttük találhatóak a vevőoptikák, amelyek a visszaverődéseket érzékelik. A cél közelébe tíz méteren belül kerülve a közelségi gyújtó jelet küld a 9,4 kg-os WDU-17/B harci résznek, amelyben felrobban a PBXN-3 típusú töltet, és a 194 db két rétegben hengerpalást mentén elhelyezett titánpálcát kúposan előrefelé szétszórja.¹⁵



4. ábra

AIM-9L/I-1. (Jól láthatók a közelségi gyújtó optikai érzékelői.) Forrás: Analysis: The AIM-9L Sidewinder Purchase and Its Responsible Use. i. m. (15. lj.)

A több ponton gyengített pálcák darabokra törnek és többszörös hangsebességgel csapódnak a célba. A gyakorló lövészetben felhasznált rakétáknak nincs szüksége ekkora romboló erejű harci részre, ezért azt lecserélik a WDU-9A/B változatra, amely a robbanásakor nagyot villan és füstöt képez, jelezve a találatot. A csere könnyen elvégezhető, ugyanis a Sidewinder rakéták négy különálló rekeszeit három, egy-egy csavarral rögzített acélbilincs tartja össze. A rakéta hátsó kétharmadában található a Hercules-Bermite Mk-36 típusú szilárd hajtóanyagú rakétahajtómű. A 27 kg Flexadyne típusú töltet hat másodperces égésidő alatt a hangsebesség 2,5-szeresére gyorsítja fel a rakétát. Az eredeti változatoknál még csak 2,2 másodperc volt az égésidő, ami az indítás sebességéhez mindössze plusz 1,7 Mach-ot tett hozzá. A megnövelt érzékenységű infraérzékelő és a szemből történő indítás lehetősége miatt volt szükség az azonos méretű, de sokkal nagyobb impulzusú hajtóműre, amely akár 17 km-es kinematikai hatótávolságot is biztosíthat. A gyakorlati indítási távolság azonban szemből nem haladja meg a 10 km-t, míg hátulról még a felénél is kevesebb.¹⁶

¹⁵ Az AIM-9L Sidewinder légiharc-rakéta. i. m. (13. lj.); *The AIM-9L Sidewinder Purchase and Its Responsible Use*. 2017. Elérhető: <https://pitzdefanalysis.blogspot.com/2017/11/the-aim-9l-sidewinder-purchase-emphasis-roe.html> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.); Papp–Óvári–Szilvássy i. m. (9. lj.)

¹⁶ AIM-9 Sidewinder i. m. (14. lj.); Gripen: Az AIM-9L Sidewinder légiharc-rakéta. i. m. (13. lj.); *The AIM-9L Sidewinder Purchase and Its Responsible Use*. i. m. (15. lj.); Damien Perrier: *Fox Two – Infrared Missile Target Tracking*. 2017. Elérhető: <https://medium.com/@OpenSeason/1946-germany-has-been-defeated-and-its-military-technology-put-under-the-microscope-the-west-e60b82926b40> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.); Szilvássy László – Békési Bertold: Rakéta hajtóművek. *Repüléstudományi Közlemények*, 11. (1999), 1. 263–271.; Szilvássy László – Békési Bertold: Repülőfedélzeti rakéták hajtóművei. *Bolyai Szemle*, (2002), 1–11.; Szilvássy László – Szabó László: Rakéták reaktív hajtóművei. *Repüléstudományi Közlemények*, 18. (2006), 1. 209–216.

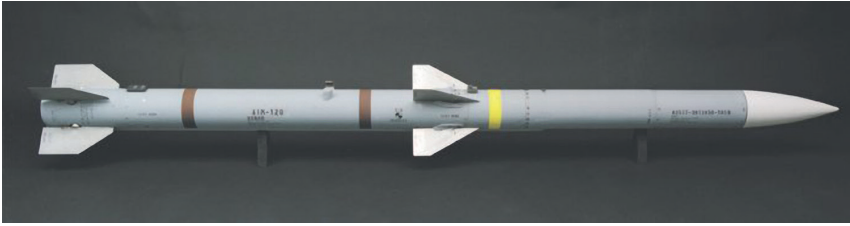
3.1.2. AIM-120C-5 közepes hatótávolságú légiharc-rakéta

Az AIM-120C-5 egy az Egyesült Államokban kifejlesztett AMRAAM-rakéta, amely az Advanced Medium Range Air-to-Air Missile szavak kezdőbetűiből áll, magyarul a felett közepes hatótávolságú levegő–levegő (légiharc-) rakétának felel meg. Az eszközt az 1980-as években fejlesztették ki az AIM-7 Sparrow leváltására, hogy képes legyen a rakéta látóhatáron túli célok leküzdésére is. Népszerűségének legjobb példája az, hogy több mint 14 000 db-ot gyártottak belőle az Amerikai Egyesült Államok légierőjének, haditengerészetének, és közel 33 más hadsereg légierői számára. 30 év alatt 10 légi győzelmet értek el a típussal. Irányítási rendszere szerint aktív lokátoros önirányítással van felszerelve, amelyet kiegészít egy tehetetlenségi navigációs rendszer. Ennek a rendszernek lényege az, hogy külső segítség nélkül képes a hordozóeszköz helyzetének megállapítására olyan formán, hogy az indítási helyet kell csak betáplálni az eszközbe. A mozgás közben bekövetkező változásokat, gyorsulásokat és elfordulásokat méri és azok alapján számítja ki a kiindulási pozícióból az aktuális helyzetét. Pontatlansága és viszonylagos bonyolultsága ellenére tengeralattjárókon, hajókon, űreszközökön és a fent említett rakétán is alkalmazzák.¹⁷ Az AIM-120 tömege 148 kg, amely nem nevezhető nehéznek a látóhatáron túli rakéták kategóriájában, hossza 3670 mm, törzsének átmérője 178 mm, szilárd hajtóanyagú, szuperszónikus rakétahajtóművel szerelt. A C-5 változattól csökkentették a szárnyfesztávolságot, hogy az F-22 belső fegyverteréből is indítható legyen. Sebessége közel négyszerese a hangsebességnek, a C-5-ös változat hatótávolsága pedig meghaladja a 105 km-t, harci része pedig 18 kg. Az indítást követően a rakéta és a hordozó rádióösszeköttetés segítségével pályamódosítást képes végrehajtani, amennyiben a cél helyzete jelentősen megváltozott az indítás előtti paraméterekhez képest. A rákurzus¹⁸ végén a tehetetlenségi navigáció helyébe az aktív rádiólokációs irányítási rendszer lép, és ez fogja az elfogást végrehajtani. Ez a kettős irányítási módszer adja meg a lehetőségét a „tüzelj és felejtse el” elvnek. Továbbá megkönnyíti a több célra való rakétaindítást is. Fontos megjegyezni, hogy az AIM-120 fel van szerelve egy olyan berendezéssel, amely érzékeli a cél által kibocsátott zavaró jeleket, és azok hatására az aktív rádiólokációs rendszerét átkapcsolja passzív önirányításúvá, hogy ne lehessen zavarni, de továbbra is a célra tartson. Érdekes, hogy ezeknek a rakétáknak bevetetősége részben amerikai jóváhagyással történhet, elvileg nélküle a rakéta nem bevethető. Pakisztán 2019-ben AMRAAM-rakétával lelőtt egy indiai MiG-21 BISON-t, és valószínűleg megrongált egy Szu-30 MKI harcászati repülőgépet. A fegyverhasználatáért az Egyesült Államok tiltakozó jegyzéket küldött decemberben a pakisztáni kormánynak.¹⁹

¹⁷ A tehetetlenségi navigációs rendszer. Wikipédia A szabad Enciklopédia. Elérhető: https://hu.wikipedia.org/wiki/Tehtetlens%C3%A9gi_navig%C3%A1ci%C3%B3s_rendszer (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

¹⁸ A cél rákurzusának nevezzük a cél haladási irányja és az irányzóvonal által bezárt szöveget, a cél irányszövegként is használatos.

¹⁹ A JAS-39C/D Gripen repülőgépek fegyverzete, modernizációs lehetőségei i. m. (5. l.); A tehetetlenségi navigációs rendszer. i. m. (17. l.); AIM-120 AMRAAM. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/AIM-120_AMRAAM (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.); AIM-120. Directory of U.S. Military Rockets and Missiles. Elérhető: www.designation-systems.net/dusrm/m-120.html (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)



5. ábra

AIM-120C. Forrás: AIM-120. Directory of U.S. Military Rockets and Missiles. Elérhető: www.designation-systems.net/dusrm/m-120.html (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

4. Összegzés

Ebben a publikációban a JAS 39 Gripen légiharc-rakétái közül csak azokat tárgyaltuk, amelyek a Magyar Honvédségben is rendszerben vannak. Ezeken a rakétákon kívül számos más típust is integráltak a repülőgép fedélzetére. Néhány ismertebb típus: a) METEOR; b) AIM-9X; c) IRIS-T; d) AIM-120D.

Ezek a rakéták a legkorszerűbbeknek számítanak jelenleg a fegyverpiacon. Természetesen ez meghatározza a beszerzési költségeiket is. A jelenleg rendszerben álló Gripenjeink esetében, ha fejleszteni kellene a légvédelmi/légiharc-képességünket, célszerű lenne az említett típusok közül választani.²⁰

Felhasznált irodalom

Békési Bertold – Szegedi Péter: Ötödik generációs vadászipülőgépek fejlesztésének filozófiái. In Bodzás Sándor (szerk.): *Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban*. Debrecen, 2015a. 194–206.

Békési Bertold – Szegedi Péter: *Trendek a vadászipülőgépek legújabb generációinak fejlesztésére alkalmazására*. XIV. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem (NYME), 2015b. 151–162.

Choudhari, Palash: *Prahaar Short Range Tactical Ballistic Missile*. 2017. Elérhető: <http://fullafterburner.weebly.com/terrain-battle-machines/prahaar-short-range-tactical-ballistic-missile> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

Kakula János: *Rakéták szerkezetana*. Kilián György Repülő Műszaki Főiskola, Szolnok, 1989.

Papp, István – Óvári, Gyula – Szilvássy, László: Derivation of the Fundamental Missile Guidance. *Academic and Applied Research in Military Science – AARMS*, 14. (2015), 4. 341–348.

Óvári Gyula – Papp István – Szilvássy László: Rakéta mozgásegyenletek. *Hadmérnök*, 10. (2015), 3. 56–63.

Szilvássy László: A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben. Doktori (PhD-) értekezés. Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2008.

²⁰ A JAS-39C/D Gripen repülőgépek fegyverzete, modernizációs lehetőségei. i. m. (5. lj.); Szilvássy (2018) i. m. (8. lj.)

- Szilvássy László: *A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben*. (A tanulmány a szerző ZMNE Katonai Műszaki Doktori Iskolában megvédett doktori [PhD] értekezésének főbb eredményeit mutatja be). Elektronikus Műszaki Füzetek X. Debrecen, MTA DAB Műszaki Szakbizottsága, 2011. Elérhető: http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/musz_fuz_jo_04.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- Szilvássy László: Meteor rakéta. In Szilvássy László (szerk.): *Repüléstudományi Szemelvények*. Szolnok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet, 2018. 119–142. Elérhető: www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2018.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- Szilvássy László – Békési Bertold: Rakéta hajtóművek. *Repüléstudományi Közlemények*, 11. (1999), 1. 263–271.
- Szilvássy László – Szabó László: Rakéták reaktív hajtóművei. *Repüléstudományi Közlemények*, 18. (2006), 1. 209–216.
- Szilvássy László – Békési Bertold: Repülőfedélzeti rakéták hajtóművei. *Bolyai Szemle*, (2002), 1–11.

Internetes források

- AIM-120 AMRAAM. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/AIM-120_AMRAAM (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- AIM-120. Directory of U.S. Military Rockets and Missiles. Elérhető: www.designation-systems.net/dusrm/m-120.html (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- Az AIM-9L Sidewinder légiharc-rakéta. Elérhető: www.superfighter.hu/Article/AzAIM9LSidewinderlégiharcraketa/index.html (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- The AIM-9L Sidewinder Purchase and Its Responsible Use. 2017. Elérhető: <https://pitzdefanalysis.blogspot.com/2017/11/the-aim-9l-sidewinder-purchase-emphasis-roe.html> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- AIM-9 Sidewinder. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/AIM-9_Sidewinder (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- A JAS-39C/D Gripen repülőgépek fegyverzete, modernizációs lehetőségei. Military-Technology, 2019. Elérhető: https://military-technology.blog.hu/2019/12/28/a_jas-39c_d_gripen_repulogepek_modernizacios_lehetosegei?fbclid=IwAR3gG9fdXlnZecUCjuwSwGcutMyEtTKJO5mEpzxVG79H-ITM8-gEjJjGcM (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- JAS 39 Gripen. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Saab_JAS_39_Gripen (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- Perrier, Damien: *Fox Two – Infrared Missile Target Tracking*. 2017. Elérhető: <https://medium.com/@OpenSeason/1946-germany-has-been-defeated-and-its-military-technology-put-under-the-microscope-the-west-e60b82926b40> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- Rolleron. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: <https://en.wikipedia.org/wiki/Rolleron> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- A tehetetlenségi navigációs rendszer. Wikipédia A szabad Enciklopédia. Elérhető: https://hu.wikipedia.org/wiki/Tehetetlens%C3%A9gi_navig%C3%A1ci%C3%B3s_rendszer (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- Thai Military and Asian Region. Elérhető: <https://thaimilitaryandasianregion.wordpress.com/2017/04/27/gripen-multirole-fighter-aircraft/> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

Gajdács László,¹ Gervai Bálint,² Major Gábor³

A pilóta nélküli légitársaság-rendszerek és a honvédelem tegnap, ma és holnap

Minden kornak megvannak azok az eszközei, amelyek megindítják az emberek, különösképpen a fejlesztők, feltalálók fantáziáját, befolyásolják a hétköznapokat, sőt nem kis számban olyanok is akadnak, amelyek merőben megváltoztatják a hétköznapokat. Az alábbi publikációban a szerzők azt mutatják be, hogy a drónfelhasználás egy speciális területén, mint a honvédelem, milyen eszközökkel találkozunk a „drónhasználó”, mire képesek ezek a járművek értő kezek szakszerű felhasználása során. A cikkből az olvasó megismerheti a honvédelem területén alkalmazott UA⁴ repülési paramétereit, feladatrendszerét, majd ezen keresztül lehetőséget ad az olvasó kezébe, hogy szárnyaló fantáziája újabb és újabb területekre képzelje a hasznos és hatékony bevetését ezeknek a rohamosan fejlődő „technikai organizmusoknak”.

Kulcsszavak: pilóta nélküli légitársaság-rendszerek, drón, honvédelem, UAV-történelem

Unmanned Aircraft Systems and National Defence Yesterday, Today and Tomorrow

Every era has the tools which are capable to move the imagination of people, especially that of developers and inventors. These factors have an effect on everyday life; what is more, there is a significant number of factors which change it radically. In the publication below the authors present what tools the operators of drones come across when using them in a special field, like national defence, furthermore, what these vehicles can do if used by experts in a professional way. From the article, the reader has the chance to gain information about the flight parameters and mission system of UA used in the field of defence, and the reader is given the opportunity to imagine the useful and effective deployment of these rapidly evolving 'technical organisms' in newer and newer areas.

Keywords: unmanned aircraft systems, drone, national defence, UAV history

¹ Gyakorlati oktató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék; e-mail: gajdacs.laszlo@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2334-6859>

² BSC-hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék; e-mail: blintgervai@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7000-2691>

³ Tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék; e-mail: major.gabor@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2927-127X>

⁴ *Unmanned Aircraft Systems. ICAO Circular 328. International Civil Aviation Organization, 2011.*

1. Bevezetés

Minden kort, korszakot az jellemez igazán, hogy abban az időben mi történt a természetben, az embercsoportok viszonyában, a technika és tudomány produktumaiban. A természet „gondoskodik” arról, hogy a geológiai, hidrológiai, klimatikus, légköri, tűz- és földön kívüli eredetű katasztrófák „segítségével” meghatározza az adott kor viszonyulását, gondolkodását és a technikai fejlesztések irányát. Talán pontosan e váratlan, kivédhetetlennek tűnő események okán, vissza-visszatérnek a népcsoportok közti összecsapások, amelyek minden esetben megújulásra és fejlesztésre sarkallják a nagyobb tudás, nagyobb terület, több természeti kincs, nagyobb hatalom érdekében a technikai fejlesztésben részt vevő érdekcsoportokat.

„A napjainkban ismert repülőeszközök közül talán a legdinamikusabb fejlődés a pilóta nélküli repülőgépek esetében tapasztalható. Szinte nem telik el nap, hogy ne olvashatnánk a médiában olyan feladatokról, amelyeket ezekkel az eszközökkel hajtottak végre. Néhány évvel ezelőtt ez még nem volt túl gyakori, ritkán egy-két mondatos híradás jelent csak meg róluk, többnyire felderítő tevékenységük eredményéről, később földi célok sikeres (néha kevésbé sikeres) megsemmisítéséről szolt. Ezek a repülések azonban gyakran fontos harci sikerek, eredményes katasztrófavédelmi feladatok, mentések és beavatkozások alapvető feltételei voltak.

A pilóta nélküli légi járművek fejlődése azonban az utóbbi évtizedekben is töretlen, sőt viharos.”⁵

2. A hon védelmében szerepet vállaló UAV⁶-k

A magyar pilóta nélküli légi járművek fejlődése, története szorosan összekapcsolódik a Magyar Honvédséggel, hiszen a Honvédség volt az a szervezet, ahol a képesség létrejöttéhez szükséges igények megszülettek. Elméletben minden adott volt ahhoz, hogy ez a képesség létrejöhesse, azonban a rendszerváltást követően a Magyar Honvédség anyagi lehetőségei szűkösek voltak, ami miatt a kezdeti próbálkozások nem vezettek eredményre.

2.1. Egy kis UAV-történelem a Magyar Honvédségnél

Elsők között említhetjük a Szojka néven ismertté vált, csehszlovák–magyar együttműködés keretein belül megszületett pilóta nélküli repülőt. A Szojka azonban nem felelt meg a kor elvárásainak, a repülőt kezelő szakemberek nehéz vezethetőségi tulajdonságára panaszkodtak, a leszállási manővert gyakorta kritikussá téve, amely sokszor a géptörzs törésével végződött. „Kortársaihoz” képest üzemeltetése rendkívül magas költségekkel járt. A program végül közös megegyezéssel megszűnt, a cseh hadsereg azonban az eszközt továbbfejlesztette, majd rendszerbe is állította, de elavultsága miatt később kivonták a repülőt.

Említésre méltó a teljes mértékben hazai fejlesztésű és építésű Denevér pilóta nélküli repülő, szintén az 1990-es évek terméke, katonai célra készült. A tesztek sikeresen teljesítette, de anyagi nehézségek miatt, az áttörést nem hozta el. 1999 óta folyamatos fejlesztés,

⁵ Major Gábor: Etikus-e a drónok használata? *Honvédségi Szemle*, 144. (2016), 2. 100–106. 100.

⁶ Unmanned Aerial Vehicle/Unmanned Aerial System – pilóta nélküli légi jármű/pilóta nélküli légitáncmű-rendszer.

üzemeltetés és gyártás jellemzi az Aero-Target Bt. és annak jogelődje az Aero-Metal Kft. által forgalmazott Meteor célrepülőgép-családot. A későbbiekben külön kitérek a Meteor-3MA TUAV-eszközre.

A Honvédelmi Minisztérium 2006-ban pályázatot írt ki kis hatótávolságú pilóta nélküli repülőgép beszerzésére. A győztes (ma már vesztes) cég a lengyel WB Electronics és annak SOFAR 250 névre keresztelt eszköze volt, azonban a kezdeti sikereket különböző problémák árnyékolták be. A problémák súlyossága odáig vezetett, hogy a szerződést a magyar fél felbontotta és a megrendelt eszközöket visszaküldte a lengyel cégnek. A pályázat kiírásakor volt egy másik jelentkező is, méghozzá az izraeli Elbit Systems Ltd. és az általa fejlesztett Skylark I-LE, ami a lengyel eszközzel átélt kudarcok után győztesként került ki, és amiről a későbbiekben írni fogunk.

2007-ben a HM Elektronikai, Logisztikai és Vagyonkezelő Zrt. (HM EI Zrt.) a gödöllői székhelyű HM Currus Zrt.-vel együttműködve a Meteor-3MA TUAV-repülőgépet alapul véve, saját légitársaság-család fejlesztésébe kezdett. Így jöttek létre a Bora, illetve az Ikran névre keresztelt felderítő repülőgépek. Mind a két típus esetén elmondható, hogy azok képesek önálló, távirányított, vagy előre programozott felderítő feladatok végrehajtására is. Az irányítás egy különleges, „mozgó vezetési pontból” (MVRP) megy végbe. A Bora jóval kisebb méretekkel rendelkezik, mint az Ikran, indítása hasonló módon történik, mint a Skylark I-LE repülő, azaz erre a célra kialakított kilövő szerkezet indítja el az eszközt. Az Ikran már futóművel rendelkezik, így le- és felszállásához kifutópályára van szükség. Fontos megemlíteni, hogy mivel a két eszköz teljes mértékben magyar fejlesztésű, így az erre a célra felhasznált költségek jóval alacsonyabbak, mintha hasonló eszközöket külföldről szereznének be.⁷

A 2010-es évek vége felé a Magyar Honvédség két új eszközt rendszeresített, így a pilóta nélküli repülő képességfejlesztése tovább folytatódott. 2016-ban állították rendszerbe az MV-03 Milvércse forgószárnyas eszközt, valamint 2018-ban az RQ-11 Raven drónt.⁸ Szintén 2016-ban állt rendszerbe a Trimble UX5 RPAS légi geodéziai és térképészeti célok felderítésére kifejlesztett pilóta nélküli repülő.⁹

2.2. Meteor-3MA TUAV

„A lánctalpas SzPU-król pedig – 2013 óta először – a 3M9M3 típusú rakétákkal lőttek a HM EI Zrt. által továbbfejlesztett, új fény- és füstelemekkel felvértezett Meteor-3MA távirányítású célgépekre.” – olvasható a Magyar Honvéd¹⁰ magazin 2019. július 12-én megjelent számában.¹¹

⁷ Rátónyi Krisztián Ferenc: Pilótánélküli felderítő repülők a Magyar Honvédségben. *Repüléstudományi Közlemények*, 15. (2013), 2. 675–683.

⁸ *Zrínyi 2026 „részdő jelentés”*. 2018. Elérhető: https://jetplanes.blog.hu/2018/12/13/zrinyi_2026_reszido_jelentes (A letöltés dátuma: 2020. 06. 07.)

⁹ Kovács Mónika: Légi képességfejlesztés az MH Geoinformációs Szolgálatnál. 2016. Elérhető: <https://honvedelem.hu/cikk/legi-kepességfejlesztés-az-mh-geoinformációs-szolgálatnál/> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

¹⁰ Pontosítás: A 2K12 KUB közepes hatótávolságú csatlékvédelmi rakétakomplexummal hajtották végre a célfogást és a rakétaindítást, ugyanis a rakétát nem kilőjük, hanem indítjuk, továbbá a lánctalpas 2P25 indítóállvány önállóan nem képes a leírt feladat végrehajtásra, szükséges rendszerem az 1SZ91 felderítő és célmegjelölő lokátor (a szerző megjegyzése).

¹¹ Trautmann Balázs: Jöttek, láttak, lőttek. *Magyar Honvéd*, 30. (2019), 7. 14–19.

A Meteor-3MA TUAV fejlesztése egészen a 2000-es évek elejéig nyúlik vissza, amikor is a Magyar Honvédség részéről felmerült az igény a magyar gyártású célrepülőgép továbbfejlesztésére, újjáéledt a Meteor-program és az új típusú légi cél kifejlesztésével új korszak köszöntött be a Meteor-család életébe.



1. ábra

Mistral rakéták célanyaga. Meteor-3MA TUAV. Forrás: Tóth Gyula: Éleslövészetre készülnek a győri rakétások. 2013. Elérhető: www.kisalfold.hu/gyor-es-kornyeke/elesloveszetre-keszulnek-a-gyori-raketasok-3449443/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

A Meteor-3MA típusú távirányítású célrepülőgép fedélzetén elhelyezett vezérlőberendezéseknek köszönhetően a hatótáv – vizuális kapcsolat nélkül is – elérheti a 40-50 km-t.

Az új típus kifejlesztésekor az alkalmazó részéről a következő igények merültek fel:

- legyen többször felhasználható a célrepülőgép;
- légvédelmi célkövetési gyakorlatok biztosításához is alkalmazható legyen;
- a korábbi típusokhoz képest jelentős sebességnövelés (~250 km/h);
- biztosítható legyen a folyamatos infrasugárzás;
- alacsony beszerzési ár;
- alacsony üzemeltetési költség.

A Meteor-3MA (lásd 1. ábra) áttörő sikert aratott, nemcsak az eszköz robotizálásának köszönhetően, hanem az akkortájt érvényben lévő hazai és nemzetközi jogszabályokhoz való illesztés miatt is.

A kiképzéstechnikai eszközök mint a Meteor-3MA feladata nem más, mint a lehető leghatékonyabban imitálni az ellenséges légi jármű manővereit, mindezt úgy, hogy a költségeket minimális szinten tarthassák az alkalmazásuk során.

Mivel a típus a Nemzeti Légügyi Hatóság (NLH), akkori állásfoglalása szerint már nem a modell kategóriába volt sorolandó, mert a rá jellemző tulajdonságai, paraméterei alapján

közelebb állt a valódi légi járművekhez, ezért minden olyan engedélyeztetésen át kellett esnie, mint bármelyik személyek szállítására is alkalmas légi járműnek.

Azoknak a pilóta nélküli légitársaság-rendszereknek, amelyek rendeltetésük szerint állami feladatokat látnak el, az üzemeltetésükhöz, amely hatóság által engedélyezett, a következő okmányok megléte szükséges:

- működési engedély a gyártó, javító, karbantartó szervezetek részére;
- a kezelőszemélyzetek részére kiadott hatósági engedély;
- típusalkalmassági bizonyítvány, amely tartalmazza a légi jármű, valamint a földi be-
rendezések tanúsítását;
- a fenntartó, illetve az üzemeltető szervezet(ek) részére kiadott működési engedély;
- frekvenciahasználati engedély;
- az eszköz fedélzeti azonosítójának és felségjelzésének engedélye;
- légi alkalmassági bizonyítvány;
- állami légitársaság-nyilvántartásba vételi bizonyítvány.

Az új Meteor fő feladata a hazai célkövetési gyakorlatok kiszolgálása, ezért többször felhasználhatóvá kellett alakítani, valamint az ehhez szükséges anyagokat felhasználni, mindezt úgy, hogy a nagy értékű elektronika, hajtómű és a radarviszaverő felületet növelő Luneberg-lencse védve legyen. A fejlesztés során számoltak az esetleges hajtóműleállításokkal, valamint vezérlési hibákkal, ezért a sárkányszerkezet kialakítása során egy kiváló siklószámmal rendelkező vitorlázó repülőgépre esett a választás.

A hajtóműválasztás során két követelménynek kellett megfelelni: a sebesség és a megfelelő infrakisugárzás legyen biztosított. A szakértők arra a következtetésre jutottak, hogy egyidejűleg e két feltétel akkor biztosítható, ha axiálkompresszoros sugárhajtóművet alkalmaznak. A választott sugárhajtómű gyártásával a H-FÉM Kft.-t bízták meg. A hajtómű névleges fordulatszáma 32 000–118 000 n/min, statikus tolóereje sugárterelővel 160 N, sugárterelő nélkül 180 N. A további adatokat az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

A Meteor-3MA TUAV fontosabb adatai. Forrás: Méhes Lénárd: A magyar fejlesztésű pilótánélküli repülőgép-család II. rész. Haditechnika, 48. (2014), 4. 42–45.

Fesztávolság (mm)	5000
Tömeg (kg)	18
Hosszúság (mm)	2160
Maximális tolóerő (N)	180
Tüzelőanyag-fogyasztás (dl/min)	2,5
Tüzelőanyag típusa	JET A1
Végsebesség (km/h)	250
Hasznos teher	1 db – Luneberg-lencse 4 db – piropatron
Üzemidő (min)	35
Csúcsmagasság (m)	4100

A robotpilótát a kezdeti típusverziókban a korábbi Meteor célgépeknél is alkalmazott nyílt forráskóddal rendelkező, kereskedelemben is beszerezhető rendszerrel építették be, amit később a HM EI Zrt. által kifejlesztett rendszer váltott fel. A C4S névre keresztelt robotpilóta-rendszer a gép stabilitását egy 3 tengelyű giroszkóp- és gyorsulásérzékelővel biztosítja. A navigáció GPS-helymeghatározás alapján történik. A magasság meghatározása elsődlegesen barometrikus szenzorral történik, mivel kis magasságban pontosabb értékekkel szolgál, mint a GPS.

A robotpilóta tulajdonságai a következők: a) előre programozott útvonal repülése megadott GPS-koordináták alapján; b) repülés közbeni útvonal módosítás lehetősége; c) repülési adatok megjelenítése.

2.3. Skylark I-LE

Az izraeli Elbit cég által gyártott és forgalmazott Skylark (Pacsirta) I-LE beszerzésére 2009-ben került sor, és azóta is szerves részét képezi a 24. Bornemissza Gergely Felderítő Ezred mindennapjainak. A 2009-es beszerzés során nem véletlenül esett a választás a felderítőezredre, akkor is és most is a honvédség egyetlen felderítő alakulata, így nem volt kérdés, hogy a távolról irányított felderítő repülőgép alkalmazása hol lehetne a legmegfelelőbb. A beszerzést követően a Skylark-rendszer operátorai első csoportjának képzése, felkészítése Izraelben történt.

Előzményként fontos megemlíteni, hogy a Magyar Honvédség pilóta nélküli képességeinek fejlesztésére és kibővítésére tett lépések háttérben az afganisztáni szerepvállalás adott új lendületet. A repülőgépeket elsősorban a közép-ázsiai országban tevékenykedő tartományi újjáépítési csoport (PRT) számára szereztek be.

A 2006-ban kiírt pályázaton azonban nem az Elbit Systems és ezáltal nem a Skylark I-LE volt a befutó. A pályázatot a lengyel WB Electronics cég jóval drágább eszköze, a SOFAR-250 nyerte meg, azonban a többletköltség fejlettebb, jobb technológiai jellemzőkkel kecsegtetett. Azonban az eszköz tesztelése során súlyos problémák merültek fel, aminek részleteire azóta sem derült fény, de a lengyel eszközöket visszaküldték a WB Electronics cég számára. Ekkor esett a választás a Skylark I-LE felderítőgépre, amit azóta is alkalmaz a felderítőezred.

A felderítőgép nem csak az afganisztáni külszolgálatok során teljesített szolgálatot, hazai terepen is megállja a helyét, akár országvédelmi (határvédelmi), ipari vagy természeti katasztrófák esetén is. A Mercedes Benz G-270 terepjáró gépjárműben kialakított mobil vezetési ponttal költséghatékonyabb reptetni a Skylarkot, mint egy Mi-8 szállítóhelikoptert, vagy akár a JAS 39 Gripen vadászrepülőgépet. A távolról irányított felderítő repülőgép olyan helyeken is képes végrehajtani feladatokat, ahová más módon a bejutás veszélyt jelenthet a katonákra.



2. ábra

A Skylark I-Le Afganisztánban is jól teljesített. Forrás: Trautmann Balázs: Hangtalan Pacsirta. 2014. Elérhető: <https://honvedelem.hu/hatter/hangtalan-pacsirta/> (A letöltés dátuma: 2020. 05. 14.)

A Skylark I-LE szállítása kis tömegének köszönhetően – mindössze 7,5 kg – gyalogosan is szállítható, össze-, illetve szétszerelése szerszámok nélkül is megoldható, így az adott katonának nem kell plusz teherként szerszámokat is magával vinnie. Indítása történhet kézből, vagy az erre a célra kialakított „csúzlival” is. Halványszürke festése és a villanymotor meghajtású vonólégsavarnak köszönhetően a repülőgép kifejezett halk, repülés közben nehezen észrevehető. 4500 m magasságig képes feladatokat végrehajtani, legyen nappal vagy éjszaka, hiszen az eszköz felszerelhető nappali és éjszakai (infravörös) kamerával. Hasznos teherrel 1,1 kg-ig terhelhető. A kamera képe valós idejű, amit a hordozható ütés-, por- és vízálló irányítóállomás operátora és az állomásparancsnok is lát.

Az eszköz legfeljebb háromórás repülésre képes, hatótávolsága a terepviszonyoktól és a repülési feladat típusától függően 20–40 km közé tehető. Leszállása a lehető legegyszerűbb módon történik; a fedélzeti számítógép az előre meghatározott pont felett, kis sebességgel és nagy állásszöggel repülési manőverbe kezd, így a gépre ható felhajtóerő megszűnik, és a törzs alá beépített felfújható légsákra érkeznek, ezzel elkerülve a géptörzs sérülését. Köszönhetően a modulrendszerű kialakításnak, a gép által elszenvedett sérülések gyorsan és könnyedén orvosolhatók.¹²

¹² Skylark I. Wikipedia A szabad enciklopédia. Elérhető: https://hu.wikipedia.org/wiki/Skylark_I (A letöltés dátuma: 2020. 06. 15.)

2.4. Trimble UX5 RPAS

„Az MH Geoinformációs Szolgálat (MH GEOSZ) a »légi geodéziai és térképészeti« *képesség-fejlesztés egy fontos eseményéhez érkezett, amikor megkezdte a Trimble UX5¹³ RPAS¹⁴ tesztelését a Magyar Honvédség központi gyakorlóterén*”, ahogyan a 3. ábrán látható.¹⁵

Az eszköz jócskán megkönnyíti a geodéziai feladatok végrehajtását, szemben a hagyományos földmérésnél alkalmazott technológiákkal, könnyen telepíthető és szállítható, tömege csupán 2,5 kg, a repülőeszközbe beépítettek egy 24 megapixeles kamerát, amely függőleges tengelyű digitális fényképeket készít. Az útvonalat, amit a repülőeszköz berepül, előre meg kell tervezni, mindezt úgy, hogy a közel 50 perces repülési idő be legyen tartva. Katapulttal történő indítás után (maximum 30°-os szögben) a már előre meghatározott útvonalon robotpilóta irányítja a repülést és a manővereket. Leszállása is automatizált, amelyhez sík, akadálymentes terepet kell kiválasztani, ahova a repülőeszköz lapos szögben (14°) lesiklik.



3. ábra

Trimble UX5 RPAS. Forrás: James Andrews: Drone gives pin-sharp picture of crop progress. Farmers Weekly, 2014. Elérhető: www.fwi.co.uk/machinery/drone-gives-pin-sharp-picture-of-crop-progress (A letöltés dátuma: 2020. 05. 12.)

A Trimble UX5 RPAS kamerarendszere által alkotott fényképek utófeldolgozása során nem csak a berepült terület magassági és felszínmodelljének színezett pontfelhő formájában állítható elő, hanem ortofotó-mozaik formában is. Szemben más távérzékelési eszközökkel, amelyek csupán 20 cm/pixel felbontásra képesek, az ortofotó-mozaik felbontása akár 3 cm/pixel is lehet, amely jóval nagyobb részletgazdagságot tesz lehetővé. A 2. táblázat az eszköz fontosabb adatait foglalja össze.

¹³ A Magyar Honvédség Geoinformációs Szolgálata által légi geodéziai és térképészeti célokra beszerzett és rendszeresített eszköze.

¹⁴ Remotely Piloted Aircraft System – Távirányított légitársrendszer.

¹⁵ Kovács i. m. (9. l.)

2. táblázat

Trimble UX5 RPAS fontosabb jellemzői. Forrás: Trimble UX5 Unmanned Aircraft System. Elérhető: www.kmcgeo.com/Datasheets/UX5.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

Tömeg	2,5 kg
Szárnyfesztávolság	1 m
Akkumulátor	14,8 V 6000 mAh
Maximális repülési idő	50 min
Hatótávolság	60 km
Maximális repülési magasság	5000 m
Repülés előtti telepítés ideje	5 min
Ajánlott leszállási felület	50 × 30 m
Időjárás okozta korlátozások	szélsebesség: 65 km/h gyenge eső

A 2016-ban elkezdett kis területek geodéziai pontosságú felmérése meggyorsításának érdekében tett képességfejlesztések még a mai napig is tartanak.

2.5. MV-03 Milvércse

Kategóriáját tekintve kis méretű pilóta nélküli repülőeszköz (Miniature UAV), kis hatótávolságú, hordozható, forgószárnyas eszköz.

A Magyar Honvédségnél 2016-ban állt rendszerbe, és azóta is a 24. Bornemissza Gergely Felderítő Ezred Pilótanélküli Felderítő Repülő Század alkalmazza az eszközt.



4. ábra

MV-03 Milvércse. Forrás: Honvédelem napja 2019: pillanatok a levegőben. Air Power Blog. Elérhető: https://m.blog.hu/le/legiero/image/Magyar_legiero/Altalanos/2019_altalanos/190517_bors_honvnap/190517_bors_honvnap_1177s.jpg (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

A Milvércse (4. ábra) pilóta nélküli légitáncmű-rendszer mobilitása és gyors telepíthetősége kompakt kialakításának köszönhető. Képes nappali és éjszakai feladat ellátására is. Különleges

kialakításának és a kifinomult vezérlési rendszernek köszönhetően kezelése könnyen elsajátítható. Időjárástűrő-képességének köszönhetően nagy népszerűségnek örvend; ellenáll a szélnek, beleértve a heves széllekedéseket, a csapadéknak és a magas hőmérsékletnek is (működéséhez ideális hőmérséklet-tartomány: 0–40 °C).

2.5.1. Kamerarendszer

A Milvércse három kamerával van felszerelve: egy pilótakamera felel a valós idejű képközvetítésért a kezelőszemélyzet számára, így az eszköz irányítása akkor is lehetséges, ha a kezelőszemélyzetnek nincs vizuális kontakta az eszközzel; rendelkezik még nappali, illetve hőkamerával. Hőkamera segítségével az eszköz rossz látási viszonyok között, akár éjszaka is bevethető. Határvédelmi feladatok során nem egyszer fogtak már el illegális határsértőket a Milvércse bevetésével, nemcsak nappal, hanem éjszaka is.

2.5.2. Alkalmazási területek

Széles körben alkalmazható, többek között kutató-mentő feladatok támogatására, objektumvédelemre, területbiztosításra, stratégiai pont megfigyelésre, célkiválasztás támogatására, harcászati mélységű légi felderítésre.¹⁶

3. Mit tartogat a jövő?

Mint azt már korábban említettük, a Magyar Honvédség már az 1990-es évek óta folyamatosan azon dolgozik, hogy a pilóta nélküli repülőképeségét fejlessze, szembevetve a nagy hatótávolságú eszközök hiánya, ezért fontos, hogy a későbbiekben ilyen eszköz beszerzésére is sor kerüljön, valamint a kis méretű (Miniature UAV) mellett el kell gondolkozni a mikro-méretű eszközök beszerzésén is.

3.1. *Black Hornet Nano*

2015-ben mutatták be a norvégiai székhelyű Prox Dynamics cég által kifejlesztett eszközt, a Black Hornet Nano-t. Az eszköz egy átlagos ember tenyerében elfér, és nagy segítséget nyújthat felderítő feladatok során; kicsi, könnyű és nehezen észrevehető.

Az eszköz rendkívül kis méretekkal rendelkezik, ebből adódóan a nehezen észlelhetőségét kihasználva az ezeket a járműveket használó csapatokat képes az esetleges ellenséges tevékenységre figyelmeztetni. Tömege nem haladja meg a 16 g-ot, a működéshez szükséges elemekkel együtt. Körülbelül 20–25 percet képes a levegőben tölteni, maximum 18 km/h sebességgel halad.

¹⁶ MV03/MV04. Elérhető: <https://rotorsandcams.com/mv03-mv04> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 17.)



5. ábra

Tenyérben is elfér a Black Hornet Nano. Forrás: Black Hornet Nano. Wikipedia. i. m. (17. lj.)

Az 5. ábrán bemutatott Black Hornet Nano kamerarendszere valós idejű videó és állókép rögzítésére is képes 3 kamerájának köszönhetően: egy kamera egyenesen előre, egy merőlegesen lefelé és egy 45°-os szögben szintén lefelé „néz”.

Az eszközt kezelő operátor képzésének ideje is szinte a nullára csökkent, maximum 20 perc alatt kiképezhető a kezelőszemély a Black Hornet Nano irányítására.¹⁷

Megfontolás tárgyát képezhetné a Black Hornet Nano beszerzése, mivel a rendszeresítése és a megfelelő darabszám beszerzése előrelendítené a Magyar Honvédség pilóta nélküli repülőképeségét, és többek között határmenti és külszolgálati feladatok során is megállná a helyét.

3.2. Elbit Hermes 900

„Az új Hermes 900 UAV-t a Hermes 450 alapjain fejlesztették ki, amely típus már meghaladta a 170 000 repült órát. A két robotrepülőgép sokban hasonlít egymásra, földi irányítóberendezésük mindkét típusra kompatibilis. Az Elbit Systems újdonsága 2009 decemberében teljesítette első repülését, szárnyainak fesztávolsága 15 m, maximális felszállótömege 1100 kg, hasznos teherként 300 kg-ot szállíthat. Több mint 9100 m-es magasságban is repülhet, és egyhuzamban akár 30 órát is képes a levegőben eltölteni. A 6. ábrán látható Hermes 900 elsődleges feladata a felderítés és az információgyűjtés lesz, de várhatóan a harci változatát is kifejlesztik majd.” – olvasható a Magyar UAV-portál honlapján.¹⁸

¹⁷ *Black Hornet Nano*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Black_Hornet_Nano (A letöltés dátuma: 2020. 05. 14.)

¹⁸ *Megérkezett az első megrendelés az új izraeli Hermes 900 robotrepülőgépre*. Elérhető: www.uav.hu/megerkezett-az-elso-megrendeles-az-uj-izraeli-hermes-900-robotrepulogepre (A letöltés dátuma: 2020. 06. 17.)

Az Elbit Systems Ltd. cég és annak termékei nem ismeretlenek a Magyar Honvédség számára, mint korábban említettük, a honvédség és az izraeli cég már korábban is kötött szerződést, nem lenne meglepő, ha a nagy hatótávolságú pilóta nélküli légi jármű választása során is az Elbit Systemsre esne a választás.



6. ábra

Elbit Hermes 900. Forrás: Megérkezett az első megrendelés az új izraeli Hermes 900 robotrepülőgépre. i. m. (18. l.)

Mivel nagy hatótávolságú eszközről beszélünk, így annak üzemeltetéséhez nem elegendő egy kisebb, sík terület és egy indítóberendezés, az ilyen eszközök már kifutópályát és ahhoz tartozó hangárépületet is igényelnek. Az eszköz fő profilja a felderítés, így a legmegfelelőbb alakulat az eszköz üzemeltetéséhez a 24. Bornemissza Gergely Felderítő Ezred lehetne, lévén, hogy az ezred Debrecenben található, a fel-, illetve leszálláshoz, valamint tároláshoz adott lenne a város tőszomszédságában elterülő Debreceni Nemzetközi Repülőtér. A repülőtér kettős üzemeltetése esetén a kereskedelmi repüléstől nem kellene megválnia a városnak, de a Hermes 900 üzemeltetése is megoldható lenne.

4. Konklúzió

A technika terén elért jelentős fejlődés eredményének köszönhetően, e speciális repülőeszközök megjelenése, elterjedése jelentősen átalakítja a hadviselés szabályait, de ezzel párhuzamosan a bűnüldöző szervek és a nemzetbiztonsági ügynökségek eszköztárában is megjelennek,

ami az információ- és bizonyítékszerzés, megfigyelés, és az adott helyzethez legmegfelelőbb stratégiaalkotás új lehetőségeit adja az említett területeken.¹⁹

Egy publikációnak elvárt célja lehet, hogy válaszokat, megoldásokat keres az adott problémára, ám jelen esetben a kérdés maradjon nyitva!

Teszünk elegendő és megfelelő lépést a fejlesztések terén? Akarjuk a pilóta nélküli repülőeszközök mind nagyobb számú elterjedését, ami garantálhatja a gazdaságos fenntartást, a rentábilis feladatvégrehajtást, valamint a humán tőke hatékony kihasználását? További fontos, vizsgálatra szoruló kérdés, hogy ezek a légi eszközök méretüknek, feladataiknak megfelelően hogyan integrálhatók a jelenlegi logisztikai ellátórendszerbe.

Felhasznált irodalom

Andrews, James: *Drone gives pin-sharp picture of crop progress*. Farmers Weekly, 2014. Elérhető: www.fwi.co.uk/machinery/drone-gives-pin-sharp-picture-of-crop-progress (A letöltés dátuma: 2020. 05. 12.)

Honvédelem napja 2019: pillanatok a levegőben. Air Power Blog. Elérhető: https://m.blog.hu/le/legiero/image/Magyar_legiero/Altalanos/2019_altalanos/190517_bors_honvnap/190517_bors_honvnap_1177s.jpg (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

Kovács Mónika: *Légi képességfejlesztés az MH Geoinformációs Szolgálatnál*. 2016. Elérhető: <https://honvedelem.hu/cikk/legi-kepesssegefejlesztes-az-mh-geoinformacios-szolgalatnal/> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

Major Gábor: *Etikus-e a drónok használata? Honvédségi Szemle*, 144. (2016), 2. 100–106.

Major Gábor: *Ésszerű szabályozás vagy tiltás, avagy mit lehet kezdeni a drónokkal? Repüléstudományi Közlemények*, 27. (2015), 1. 167–176.

Megérkezett az első megrendelés az új izraeli Hermes 900 robotrepülőgépre. Elérhető: www.uav.hu/megerkezett-az-első-megrendeles-az-új-izraeli-hermes-900-robotrepulogepre (A letöltés dátuma: 2020. 06. 17.)

Méhes Lénárd: *A magyar fejlesztésű pilótánélküli repülőgép-család II. rész. Haditechnika*, 48. (2014), 4. 42–45.

Rátonyi Krisztián Ferenc: *Pilótánélküli felderítő repülők a Magyar Honvédségben. Repüléstudományi Közlemények*, 15. (2013), 2. 675–683.

Tóth Gyula: *Éleslövészetre készülnek a győri rakétások*. 2013. Elérhető: www.kisalfold.hu/gyor-es-kornyeke/elesloveszetre-keszulnek-a-gyori-raketasok-3449443/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

Trautmann Balázs: *Hangtalan Pacsirta*. 2014. Elérhető: <https://honvedelem.hu/hatter/hangtalan-pacsirta/> (A letöltés dátuma: 2020. 05. 14.)

Trautmann Balázs: *Jöttek, láttak, lőttek. Magyar Honvéd*, 30. (2019), 7. 14–19.

Unmanned Aircraft Systems. ICAO Circular 328. International Civil Aviation Organization, 2011.

¹⁹ Major Gábor: *Ésszerű szabályozás vagy tiltás, avagy mit lehet kezdeni a drónokkal? Repüléstudományi Közlemények*, 27. (2015), 1. 167–176. 168–169.

Internetes források

Black Hornet Nano. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Black_Hornet_Nano (A letöltés dátuma: 2020. 05. 14.)

MV03/MV04. Elérhető: <https://rotorsandcams.com/mv03-mv04> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 17.)

Skylark I. Wikipedia A szabad enciklopédia. Elérhető: https://hu.wikipedia.org/wiki/Skylark_I (A letöltés dátuma: 2020. 06. 15.)

Trimble UX5 Unmanned Aircraft System. Elérhető: www.kmcgeo.com/Datasheets/UX5.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

Zrínyi 2026 „résziidő jelentés”. 2018. Elérhető: https://jetplanes.blog.hu/2018/12/13/zrinyi_2026_reszido_jelentes (A letöltés dátuma: 2020. 06. 07.)

Gajdács László,¹ Szűcs Viktor²

A 3D-nyomtatás gyártástechnológiái, felhasználási területei, illetve az ebben rejlő potenciál

A 3D-nyomtatás korunk egyik legforradalmibb technológiájának bizonyul. Alkalmazásának és elterjedésének ékes bizonyítéka, hogy szinte minden iparágban megtalálható, legyen szó autó- vagy repülőgéppalkatrész-gyártásról egyaránt. Felhasználásuk a pilóta nélküli repülőgépek gyártása, illetve kiegészítése terén is jelentősen megmutatkozik. A technológia gyors elterjedésének oka az alacsonyabb előállítási költség, a gyorsabb végrehajtás és a precízebb munkavégzés. A cikkben bemutatjuk a nyomtató által használt anyagok típusait, különféle gyártástechnológiákat, illetve ezeknek a folyamatoknak a felhasználási területeit, valamint lehetőségeit a jövőre nézve.

Kulcsszavak: UAV, 3D-nyomtatás, gyártástechnológia

3D Printing Production Technologies, its Areas of Application and its Potential

3D printing is one of the most revolutionary technologies of our time. The proof of its application and spread is that it can be found in almost every industry from car production through production of aircraft parts. Their use is also significant in the production of unmanned aerial vehicles. The reason for the rapid spread of the technology is lower production costs, faster execution and more precise work. The article describes the types of materials used by the printer, the different manufacturing technologies, the areas of use of these processes and the possibilities for the future.

Keywords: UAV, 3D printing, production, technology

¹ Gyakorlati oktató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék; e-mail: gajdacs.laszlo@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2334-6859>

² BSc egyetemi hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék; e-mail: szucsviktor69@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9408-0360>

1. Bevezetés

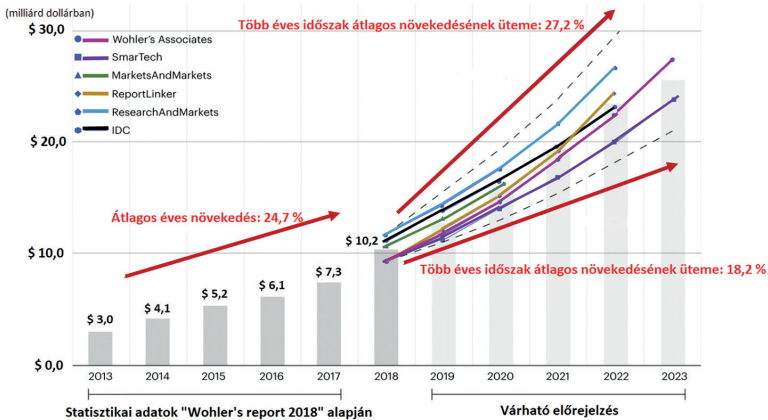
A három dimenzióban való nyomtatás egyre szélesebb területeken érezheti hatását. Napjainkban ez a viszonylag új gyártástechnológia számos iparágban jelenik meg egyre intenzívebben.³

A 2018-ban publikált Wohler-jelentés szerint, ez a 3D-nyomatási iparág globális szinten meghaladja a 20 milliárd dollár bevételt 2021-re.³ Ennek a robbanásszerű növekedésnek többek között az egyik oka az, hogy sikerült olyan mintadarabokat létrehozni ezzel a technológiával – anyagát és összetételét illetően –, amelyet korábban elképzelni sem tudtunk.³

Az adalékanyagokkal való gyártástechnológia egy olyan technológiai folyamat, amely során egy tervezőprogrammal elkészített tárgyat közvetlenül nyomtatnak ki 3D-nyomtatón keresztül. A tervezőprogram megalkotja a nyomtató által értelmezhető kódnnyelvet, amelyet az felhasznál, így különféle eljárásokkal elkészíthető a számítógépen létrehozott modell. Például megalkotunk egy adott szoftverrel egy kockát, amit ki szeretnénk nyomtatni. A program a kockát „lefordítja” arra a nyelvre, amit a nyomtató is megért, így ezt felhasználva készíti el a testet.

2. A 3D-nyomatás piaci mérete és várható előrejelzése

Az eddigi statisztikai adatok és várható adatok előrejelzése szerint a jövőben növekvő tendencia prognosztizálható e technológiák felhasználását illetően. Az alábbi diagramon (1. ábra) több neves piaci elemző jelentéseinek az összesítése látható, és egyben megfigyelhető, hogy a viszonylag monoton fejlődést 2017-ig egy ugrásszerű növekedés követte. Ennek következtében 2018-ban a 3D-technológiát alkalmazó cégek rendelésszáma megugrott, ami miatt jelentős profitnövekedést könyvelhettek el. Az 1. ábrán feltüntetett adatok tartalmazzák a gyártáshoz szükséges anyagokat, technológiákat, szoftvereket és a különböző szolgáltatásokat egyaránt.



1. ábra

3D-nyomatás piaci elemzése és előrejelzése. Forrás: Gajdács László szerkesztése 3D Printing Trends Q1 2019. 3D HUBS. Elérhető: https://downloads.3dhubs.com/3D_Printing_Trends_Q1_2019.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 05. 08.) alapján

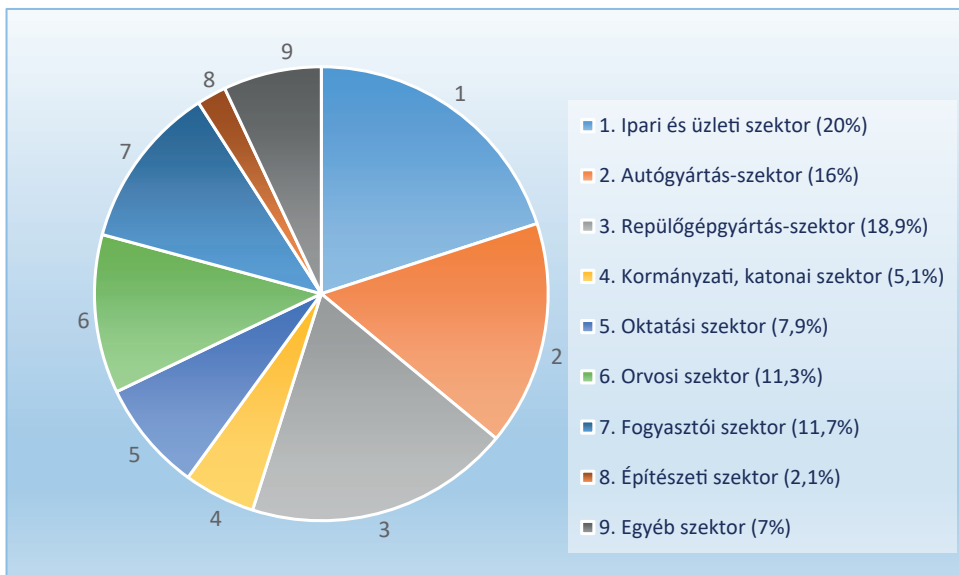
³ Daniel Leong: *Introduction to 3D Printing*. Elérhető: <https://markforged.com/learn/3d-printing-introduction/> (A letöltés dátuma: 2020. 05. 03.)

Milyen megállapítások vonhatók le a fenti adatok alapján, illetve milyen irányban várható az említett technológia felhasználása? Ahogy korábban már említettük, a 2018-as évben egy nagy ugrás volt észlelhető a felhasználásukat illetően. Jelentős különbség a korábbi évek felhasználásával kapcsolatban, hogy már nemcsak prototípusdarabok gyártása a fő cél, hanem egyre inkább a sorozatgyártás felé tendálnak az iparágak. Felhasználásukat illetően elsősorban az autóipar és a repülőgépipar a legfőbb szegmensek.

Legnagyobb megrendelői ezen iparágnak jelenleg az amerikaiak, angolok, németek és a hollandok. Az elkövetkezendő öt éves ciklusban ezen üzleti ágon mintegy 24%-os piaci növekedés várható.

3. A 3D-nyomtatás alkalmazásának fontosabb területei

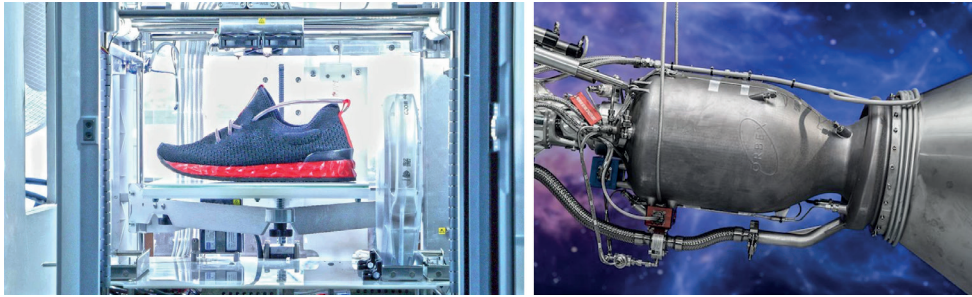
Adalékanyagokkal készült gyártástechnológiák felhasználásának főbb területei a 2. ábrán láthatók. Az ipar és az élet számos területén is jelen van ez a dinamikusan növekvő technológia.



2. ábra

Az adalékanyagokkal való gyártástechnológia alkalmazása. Forrás: Gajdács László szerkesztése Investors meet additive manufacturing. 2019. Elérhető: www.market-steel.com/assets/images/8/Wohlerst-6f4c35d5.jpg (A letöltés dátuma: 2020. 05. 20.) alapján

A 2. ábrán megfigyelhetjük a 3D-nyomtatás szerteágazó alkalmazási területeit. A kördiagramon jól látható az a három fő felhasználási terület, ahol a legjelentősebb a 3D-technológia megjelenése és felhasználása, úgymint az autó-, repülőgép- és egyéb ipari, továbbá üzleti szegmens. A következőkben (3. ábra) szemléltetünk egy párat 3D-nyomtatással kinyomtatott mintadarabok közül.



3. ábra

3D-nyomatástechnológiákkal készült termékek. Forrás: Carolo, Lucas: 3D Printed Shoes in 2020: Big Brands Are on Board. Elérhető: https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1284,h=722,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2020/02/14145234/3D_Printed_Shoes1.jpg; www.3dnatives.com/en/wp-content/uploads/sites/2/Orbex_cover.jpg (A letöltés dátuma: 2020. 05. 25.)

A bal oldali képen innovatív megoldásként vezette be az Adidas a 3D-nyomatással készült sportcipőket. A jobb oldali képen pedig szintén egy 3D-technológiával készített termék látható a brit Orbex repülőgépgyártó cégtől, amely a világ legnagyobb 3D-nyomatással készített rakétahajtóműve. Maga a hajtómű egy német cég – az SLM Solutions – által gyártott fém alapanyagot felhasználó SLM800 3D-nyomatóval készült. Az Orbex különböző kis méretű műholdakat indít Föld körüli pályára rendszeresen. Az így előállított hajtómű mintegy 50%-os költségmegtakarítást eredményezett a cégnek, a hagyományos CNC-megmunkálásokhoz képest.⁴

4. A 3D-nyomatásban leggyakrabban használt gyártástechnológiák bemutatása

Az adalékanyagokkal történő gyártástechnológia vagy más néven 3D-nyomatás egy olyan folyamat, amelyben egy számítógépes tervezői programmal létrehozott mintadarabból, egy 3D-s modellt alkotunk egymásra épülő rétegrendekkel. Ennek kivitelezése különböző technológiák megválasztásával és alkalmazásával valósulhat meg. A 3D-nyomatók egyik legfontosabb jellemzője, hogy nyomatótípustól és gyártástechnológiától függetlenül készül el egy tárgy három dimenzióban. Így kijelenthető, hogy egy termék gyártásánál alapvetően csak a gyártástechnológiák és az alapanyagok között van különbség. A „végtermék” minden esetben egy látható, éllel körülvárolt, beazonosítható nyomatott termék.⁵

A gyártástechnológiai folyamatok közös jellemzői: a) A nyomatandó tárgy 3D-s modelltől készül, amit tervezőprogramban való szerkesztés előz meg. b) A gyártás folyamán a megolvasztott adalékanyag kerül hozzáadásra a már kinyomatott rész elemekhez. c) A nyomatás folyamán a tárgy egymásra épülő rétegekből készül.

⁴ Orbex unveiled largest 3D printed rocket engine in the world. 2019. Elérhető: www.3dnatives.com/en/orbex-3d-printed-engine-130220195/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 02.)

⁵ 3D printing. Wikipedia the Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing (A letöltés dátuma: 2020. 06. 05.)

5. 3D-nyomtatás gyártástechnológiák csoportosítása

Munkánkban alapvetően három gyártástechnológiai módszert szeretnénk részletesebben bemutatni, amelyek a leginkább használatosak ezen a területen. A 4. ábrán szemléltettük egy kinyomtatott termék különböző gyártástechnológiával készült változatait, amelyekről első ránézésre nem állapítható meg egyértelműen, hogy melyik milyen technológiával készült.



4. ábra

Síszemüvegkeret nyomtatva FDM-, SLA-, SLS-technológiával (balról, jobbra). Forrás: 3D Printing Technical Guide O1A1. (2017) i. m. (6. lj.)

5.1. FDM- (*Fused Deposition Modelling*) gyártástechnológia

Az egyik leggyakrabban és széles körben használt gyártástechnológia az olvasztott lerakódás modellezése vagy FDM (*Fused Deposition Modelling*). Ezt a módszert a későbbiekben részletesen ismertetjük.

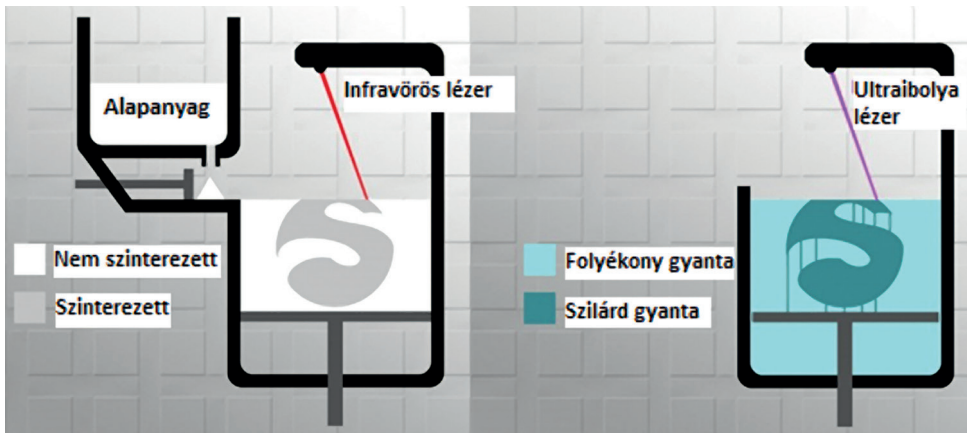
5.2. SLS- (*Selective Laser Sintering*) gyártástechnológia

A szelektív lézeres megolvasztás technológia kidolgozása az 1980-as évekhez köthető. Ennél a technológiánál a szinterezés a kulcs, ami lényegében az anyag szilárd tömegének tömörítését jelenti, amit úgy érnek el, hogy az anyagot adott nyomáson és hőmérsékleten tartják. Majd irányított lézernyaláb segítségével egy 2D-s metszetet alakítanak ki egy rétegben (síkban), ezt követően minden egymást követő réteggel ez történik, amelyek egymásra épülnek, végül elkészül a nyomtatott termék. Ehhez az adalékanyag nem merev formájú, mint a PLA (PLA, vagy más néven *polylactic acid*, egy olyan műanyagfajta, amelyet kukoricakeményítóből és cukornádból készítenek) vagy az ABS (ABS, vagy *acrylonitrile buta dienestyrene*, tulajdonképpen ugyanaz az anyag, amelyből a LEGO-építőköcskák is készülnek) az előzőekben, hanem egyfajta granulátum. Ezt a granulátumréteget megolvasztva szintenként alakul ki

végeredményképpen egy 3D-s szilárd forma. A folyamat végén a nyomtatott darab felhevül, amire fokozottan figyelni kell.

Az SLS-gyártástechnológiának előnyei a következők: a) nyomtatás folyamán nem igényel a nyomtatandó darab segédstruktúrákat (ideiglenes megtámasztásokat – *support materials*), mivel teljesen önhordó; b) anyagfelhasználást tekintve gazdaságosabb eljárás; c) alkalmas több alkatrész összekapcsolására; d) komplex, bonyolult darabok is készíthetők.

Az 5. ábrán az SLS és SLA nyomtatási technológiák működéséhez szükséges alapösszetevők láthatók.



5. ábra

SLS- és SLA-technológiák nyomtatásának folyamata. Forrás: Gajdács László szerkesztése 3D printing technology: SLA vs SLS. Elérhető: www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/3d-printing-technologies/sla-vs-sls/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 17.)

5.3. SLA – sztereolitográfias gyártástechnológia

Ez a technológia is az 1980-as évekhez vezethető vissza. Lényege abban rejlik, hogy a nyomtatni kívánt modelleket fényre keményedő műgyanta-alapanyagból állítják elő rétegről rétegre. A technológiához folyékony fotópolimer-gyantát használnak fel, amely érintkezve az ultraibolya lézersugárral, megszilárdul. Hasonlóan, mint a többi technológiánál itt is rétegenként történik a 2D-metszet leképezése. Megismételve a folyamatot – amelynek folyamán egymásra helyeződnek a gyantarétegek – alakul ki a végleges 3D-s forma. Ezt követően már csak a tisztázása marad a kinyomatott testnek, amikor is folyékony gyantába mártják a formát, aminek következtében eltávolíthatóvá válnak a felesleges anyagok, élék.

Az 1. táblázatban összefoglaljuk az SLS- és az SLA-technológiákra jellemző tulajdonságokat.

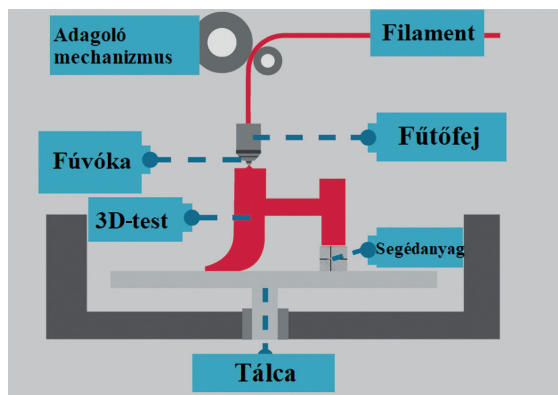
1. táblázat

SLS- és SLA- gyártástechnológiák jellemzői. Forrás: Gajdács László szerkesztése 3D printing technology: SLA vs SLS. Elérhető: www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/3d-printing-technologies/sla-vs-sls/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 17.)

	SLA	SLS
Alapanyag	Fényérzékeny gyanták	Ált. poliamid (nejlon)
Végtermék minősége	Kiváló	Magas
3D-forma felszíne	Sima	Kissé durva
Támaszték	Szükséges	Nem szükséges
Kopásállóság	Változó	Kiváló
Gazdaságosság	Nyomató • olcsóbb Alapanyag • drágább	Nyomató • drágább Alapanyag • olcsóbb

6. A Fused Deposition Modeling (FDM-) technológia

Az otthoni 3D-nyomatók döntő többsége műanyag filamentet használ. Ezt a nyomtatási módszert FDM- (*Fused Deposition Modeling*) technológiának nevezzük. FDM-módszerrel készült az általunk létrehozott UAV-be integrálható szenzorcsatorna is, amelyet a következő fejezetben mutatunk be. Ez az eljárás azt jelenti, hogy a nyomtató hőre lágyuló (200-215°C) polimer anyagot extrudál egy fűtött fűvókán keresztül, amely ezt követően lerakódik a nyomtató tálcájára. Az FDM-technológia 3D-modell (elsősorban STL – *stereolithography file*) fájlból készít valós objektumokat úgy, hogy az olvasztott műanyagot rétegről rétegre lehelyezi a tálcára. A lehelyezés előtt a nyomtató egy parancssort azonosít, amelyet GCODE-nak nevezünk. Ez a kódsorozat határozza meg a nyomtató számára, hogy mikor, milyen sebességgel, mekkora rétegvastagsággal, kitöltéssel végezze el az adott nyomtatást. A GCODE generálásához szükség van egy szoftverre, amely matematikailag feldarabolja a 3D-modellt és megtervezi a nyomtatási folyamatot. Időnként, ha szükség van rá, a szoftver képes támogató struktúrákat létrehozni abban az esetben, ha a 3D-modell azt megkívánja. Legtöbbször tehát a nyomtatási eljárás során nemcsak a kívánt modell igényel filamentet, hanem a szükséges segédstruktúrák megalkotása is. Ezért úgy kell a CAD-szoftveren beállítani a 3D-modell állászatát, hogy az a nyomtatás során a lehető legkevesebb segédanyagot vegye igénybe. Maga az eljárás egy műanyag szál megvezetésével indul, amelyet két fogaskerék továbbít a fűtött fűvókához, ahol az anyag cseppfolyósodik, és ezzel az olvasztott anyaggal „rajzol” a nyomtató. Amint az olvasztott anyag hozzáér a szintén felfűtött tálcához, megkeményedik, miközben fokozatosan rakódnak rá az újabb és újabb rétegek. Az eljárás során a fűvóka mellett üzemel három ventilátor is, amelyből a középső a fűvóka túlmelegedését gátolja, a két szélső pedig az olvasztott műanyag megkeményedését segíti elő. Amint a nyomtató végez egy réteggel, a tálca egy szintet leereszkedik, hogy teret adjon az újabb réteg kialakítására. A folyamat a 6. ábrán látható.



6. ábra

Az FDM-technológia. Forrás: Szűcs Viktor szerkesztése 3D Printing Technical Guide O1A1. (2017) i. m. (6. lj.) alapján

Az FDM-eljáráshoz számos különböző anyag használható. A felhasználás célja szempontjából megkülönböztethetünk otthoni és ipari felhasználású anyagokat. A leggyakrabban használt anyagok között szerepel az ABS, a PLA (poliaktinsav), illetve a nejlon, de más egzotikusabb anyagokat is lehet 3D-nyomatásra használni, mint például a fát, a műanyag és fa keverékét vagy a szenet.⁶

Az alábbiakban egy táblázatban összefoglalva láthatók a PLA- és ABS-anyagfajtákra jellemző technikai adatok.

2. táblázat

PLA- és ABS-anyagok összehasonlítása. Forrás: Gajdács László szerkesztése 3D Printing Technical Guide O1A1. i. m. (6. lj.) alapján

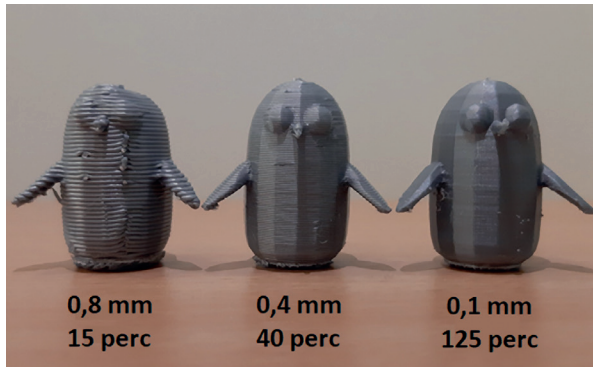
PLA		ABS	
Nyomatási hőmérséklet:	190–220°C	Nyomatási hőmérséklet:	230–250°C
Asztal hőfok:	0–70°C	Asztal hőfok:	70–100°C
Keménység:	magas	Keménység:	közepes
Rugalmasság:	alacsony	Rugalmasság:	alacsony
Nyomtathatóság:	kitűnő	Nyomtathatóság:	közepes

Az FDM-technológia egyik legnagyobb előnye, hogy kiválóan alkalmazható nem funkcionális, illetve funkcionális modellek, prototípusok, gyártási szerszámok megalkotásához. Ez az eljárás alkalmas szélturbinák elkészítésére, valamint az orvosi szektorban használatos anatómiai modellek létrehozására is. Valószínűnek tűnik, hogy a jövőben sebészeti célokra is felhasználják a 3D-nyomatást olyan eszközök készítésére, amelyeket a kórházakban napi szinten használhatnak.

Ahhoz, hogy a technológia eljusson erre a szintre, megfelelő precizitás szükséges. A 3D-nyomatás egyik legfontosabb paramétere a rétegvastagság. Ez határozza meg a nyomtatás idejét, valamint a nyomtatott test minőségét. A rétegvastagság figyelembevételkor

⁶ 3D Printing Technical Guide O1A1. 2017. Elérhető: www.e3dplusvet.eu/wp-content/docs/O1A1-EN.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 06. 12.)

a nyomtató fúvókarészét is szükséges cserélni. Sajnálatos tény azonban, hogy a felhasználók csupán 22%-a tartja fontosnak a fúvóka cseréjét.⁷ Gondoljunk csak bele: van egy fényképezőgépünk, amelyen sohasem cseréljük ki az optikát. A gép tökéletesen működik, azonban korlátok közé szorulunk. Ugyanez a helyzet a 3D-nyomtatóval is. A megfelelő fúvóka kiválasztása nagyban javíthat az eredményen. A 7. ábra szemlélteti a rétegvastagságok közötti különbségeket.



7. ábra

A rétegvastagság közti különbségek szemléltetése. Forrás: Szűcs Viktor szerkesztése

A kiválasztott testnek az Adventure Time (Kalandra fel!) című rajzfilmsorozat Gunter nevű szereplőjét választottuk. A 3 objektum jól szemlélteti a rétegek vastagsága és a nyomtatás időtartama közti fordított arányosságot. A nagyobb precizitás hatványozottan több időt vehet igénybe, mint a gyengébb minőségű testek elkészítése.

A 3D-nyomatás témáját azonban szükséges pénzügyi oldalról is megközelíteni. Általánosságban elmondhatjuk, hogy az anyagok hosszú távú használata magas költségekkel járhat, éppen emiatt kerülnek előnyös helyzetbe azok, akik elköteleződnek az FDM-technológia mellett, mivel ma már az FDM-nyomtatók a legolcsóbb 3D-nyomdagéptípusok a piacon. Tökéletes különösen azok számára, akik otthoni környezetben szeretnék alkalmazni. Napjainkban már több neves cég is árusít FDM-nyomtatókat a lehető legkedvezőbb áron. A MakerBot, valamint az Ultimaker a két legnépszerűbb cég az asztali 3D-nyomtatók terén.

Pozitívum, hogy összetett geometriákat és üregeket is képes előállítani, ami más (3D-nyomtatáson kívüli) gyártástechnológiával igen bonyolult folyamat lenne. Ami a pontosságot illeti, az FDM nem éri el azt a pontosság–minőség–szintet, mint a korábban említett SLA-metódus, ennek ellenére az eredmény, függetlenül attól, hogy milyen ágazatban alkalmazzák, így is figyelemreméltó.

7. Összegzés

A 3D-nyomatás különböző gyártástechnológiai módszerei évről évre nagyobb teret hódítanak a különböző szektorokban. Mind a három metódus, az FDM-, SLS-, SLA-technológiák

⁷ *Everything about NOZZLES with a different diameter.* Elérhető: www.youtube.com/watch?v=XvSNQ7rVDio (A letöltés dátuma: 2020. 06. 25.)

a jövőben a gyártási folyamatok leggyakrabban használt eljárásaivá válhatnak. Cikkünkben azt szeretnénk volna igazolni, hogy a 3D-nyomatás nemcsak saját célra felhasználható figurák, tárgyak készítésére alkalmas, hanem hasznos, az iparágakat fellendíteni képes eszközök gyártására is képes. Amikor a laikus olvasó először hall a 3D-nyomatásról, könnyen lehet, hogy a „haszontalan játékok” gyártása jut először eszébe. Célunk, hogy cikkünk elolvasása után a 3D-gyártástechnológia mint kifejezés a hasznos, a közösség érdekeit nagymértékben szolgáló eszközök előállítását jelentse.

Felhasznált irodalom

- 3D Printing Technical Guide O1A1*. 2017. Elérhető: www.e3dplusvet.eu/wp-content/docs/O1A1-EN.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 06. 12.)
- 3D printing technology: SLA vs SLS*. Elérhető: www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/3d-printing-technologies/sla-vs-sls/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 17.)
- 3D Printing Trends Q1 2019*. 3D Hubs. Elérhető: https://downloads.3dhubs.com/3D_Printing_Trends_Q1_2019.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 05. 08.)
- 3D printing*. Wikipedia the Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing (A letöltés dátuma: 2020. 06. 05.)
- Carolo, Lucas: *3D Printed Shoes in 2020: Big Brands Are on Board*. Elérhető: <https://all3dp.com/2/3d-printed-shoes/> (A letöltés dátuma: 2020. 05. 25.)
- Everything about NOZZLES with a different diameter*. Elérhető: www.youtube.com/watch?v=X-vSNQ7rVDio (A letöltés dátuma: 2020. 06. 25.)
- Investors meet additive manufacturing*. 2019. Elérhető: www.market-steel.com/news-details/investors-meet-additive-manufacturing.html (A letöltés dátuma: 2020. 05. 20.)
- Leong, Daniel: *Introduction to 3D Printing*. Elérhető: <https://markforged.com/learn/3d-printing-introduction/> (A letöltés dátuma: 2020. 05. 03.)
- Orbex unveiled largest 3D printed rocket engine in the world*. 2019. Elérhető: www.3dnatives.com/en/orbex-3d-printed-engine-130220195/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 02.)

A GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légiközlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közzolgálati Egyetemen – VOLARE” című projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A kutatás a fenti projekt „UAS_ENVIRON” nevű kiemelt kutatási területén valósult meg.

Novoszáth Péter¹

A magyar regionális repülőterek fejlődése nemzetközi összehasonlításban

Az Európai Unióban a polgári és a katonai repülés fejlesztése kiemelt célkitűzés. Az európai kormányok kiemelt módon támogatják a repülőtéri infrastruktúrák fejlesztésére irányuló befektetéseket tekintettel azok egyre növekvő szerepére az egyes régiók iparának és turizmusának fejlesztésében és védelmében, végső soron az ország gazdasági fejlődésében. Magyarországon, a regionális repülőtereinken az utas- és áruforgalom jelenleg még alacsony szinten folyik, de jelentős növekedés remélhető a jövőben az erre vonatkozó nemzetközi trendek alapján, különösen az üzleti célú és az alacsony költségvetésű repülőgépek egyre növekvő ütemű elterjedésével. A legtöbb európai uniós országban a regionális repülőterek fejlesztése kulcsszerepet játszik az egyes régiók és az ország fejlesztésében.

Kulcsszavak: Ausztria, Horvátország, légi utas- és áruforgalom, Magyarország, regionális repülőterek, Románia

Development of Hungarian Regional Airports in International Comparison

The development of civil and military aviation is a priority objective in the European Union. European governments are particularly supportive of investments in the development of airport infrastructure in view of their growing role in the development and protection of industry and tourism in each region, and ultimately in the economic development of the country. Passenger and freight traffic at our regional airports in Hungary is currently at a low level, but significant growth can be expected in the future based on relevant international trends, especially with the increasing deployment of business and low budget aircraft. In most EU countries, the development of regional airports plays a key role in the development of individual regions and countries.

Keywords: Austria, Croatia, Hungary, passenger and freight traffic, regional airports, Romania

¹ Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, ÁNTK, Közpénzügyi Tanszék; e-mail: Novoszath.Peter@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8755-6858>

1. Bevezetés

Magyarországon a regionális repülőterek számos nehézséggel küzdenek. Az általuk lebonyolított áruforgalom az ország fejlettségi szintjéhez képest is alacsony szinten van. A területfejlesztésben betöltött szerepük jóval kisebb, mint az Európai Unió legtöbb országában, ugyanakkor a szomszéd országokban, Ausztriában, Horvátországban, Romániában és Szerbiában kiemelt célkitűzés a regionális repülőterek fejlesztése. Elmaradásunk egyre nyilvánvalóbb ezen a területen. Magyarországon az összes légi forgalom 97,12%-a kapcsolódott Budapesthez az elmúlt években, és csupán csak a forgalom maradék 2,88%-a a magyarországi regionális repülőterekhez. Eközben lassan a működőképessége határához közelít a budapesti repülőtér, és a fejlesztések Ferihegyen minden eddiginél sürgetőbbek. A budapesti repülőtér kiugró haszonnal egyre nivótlanabb szolgáltatásokat nyújt, és a teljesítménye is folyamatosan lemarad az osztrák és a román főváros repülőtereitől. Érdemes-e és lehet-e változtatni ezen, és ha igen, akkor hogyan? Tanulmányomban ezt a kérdéskört kívánom körüljárni nemzetközi és hazai példák alapján.

2. Néhány gondolat az Európai Unió regionális repülőtereinek jövőjéről

A regionális repülőterek és légi járatok – amelyek az EU egységes piacának zökkenőmentes működését segítik elő a személyek és áruk régiók közötti mozgatásával – nemcsak közlekedési csomópontként alapvető fontosságúak, hanem a gazdasági növekedés kiváltóiként önmagukban is alapvető fontosságúak. Együttesen kiterjesztik a hagyományos kereskedelmi útvonalak távlatait, és jelentősen serkentik az általuk kiszolgált városok és régiók növekedését. Mivel ezek az infrastruktúrák és szolgáltatások a nagyobb városi területeken kívül élő emberek, illetve az EU egésze számára nagy jelentőséggel bírnak, a szakemberek mély aggodalmukat fejezik ki amiatt, hogy a légi közlekedési jogszabály-javaslatokban az Európai Bizottság rendszerint a nagyobb, csomópontként működő repülőterekre irányítja kizárólag a figyelmét. Ezért az Európai Uniónak olyan ajánlásokat, támogatási szabályokat kell hoznia, amelyek kísérletet tesznek az egyensúly helyreállítására, és felhívják a figyelmet arra, hogy az uniós jogszabályok milyen – nem szándékos, de mégis aránytalan – hatással vannak a regionális repülőterekre és légi járatokra. Egyúttal nyitottnak kell lennie minden olyan vitára és egyéb szakpolitikai megközelítésekre, amelyek javíthatják a regionális repülőterek és légi járatok üzemeltetési és gazdasági hatékonyságát, illetve növelhetik a létesítményeket és szolgáltatásokat igénybe vevő utasok elégedettségét.² A légi közlekedés kis árréssel működő iparág, így életbevágó fontosságú, hogy erős, versenyképes és gazdaságilag életképes uniós légiteret alakítsanak ki. Ez különösen igaz regionális szinten, ahol a legkisebb az árrés. A regionális repülőterek előtt álló gazdasági akadályokon túl nehézségekbe ütközik a légi közlekedés környezetre, zsúfoltságra, védelemre kifejtett hatása is, annak ellenére, hogy a jelenleg kapacitási határuk alatt működő regionális repülőterek vélhetőleg akár jelentősen is csökkenthetnék a zsúfoltságot néhány túlzásfolt csomópontként működő repülőtér esetében, különösen a regionális szolgáltatásokat

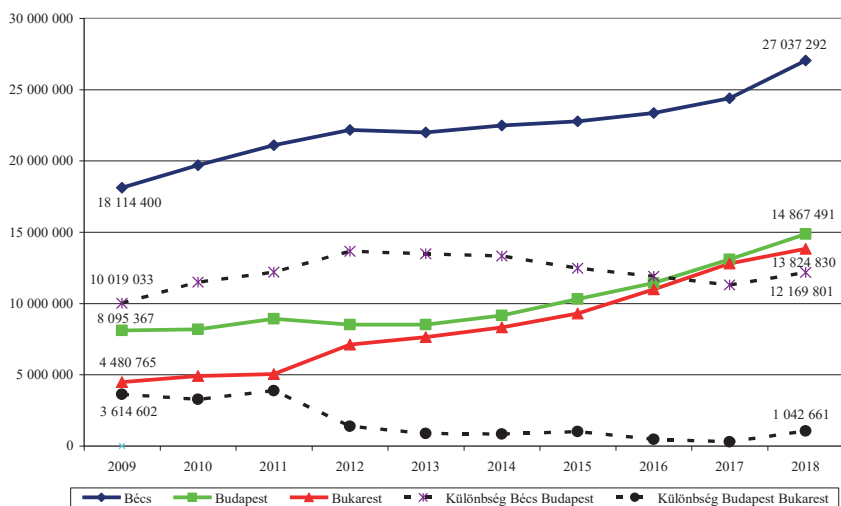
² *Report on the future of regional airports and air services in the EU (2011/2196[INI]).* A7-0094/2012. European Parliament. Elérhető: www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+REPORT+A7-2012-0094+0+DOC+PDF+VO//EN (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)

illetően, és ennek következtében az uniós közlekedési hálózatok alapvetően hatékonyabban és a jelenleginél kiegyenlítettebben és zökkenőmentesebben működhetnek.

Az európai regionális repülőtereket és légi járatokat kulcsfontosságú tényezőnek kellene tekinteni egy olyan hatékony és jól működő uniós közlekedési hálózat létrehozásában, amely ösztönzi a kereskedelmet és nagyobb közönség számára biztosít mobilitást. A regionális légi közlekedés létfontosságú szerepet játszhat annak biztosításában, hogy az EU-ban a szabad mozgás ne csak a jelentősebb városokban élő lakosság kiváltsága legyen, hanem az e területeken kívül élő uniós lakosság számára is elérhető legyen, így biztosítva, hogy ezek a városok és régiók nemcsak a nagyobb mobilitás, hanem a növekvő idegenforgalom, az új piacokhoz való hozzáférés és nagyobb beáramló gazdasági beruházások előnyeit is élvezhessék.

3. A bécsi, a budapesti és a bukaresti repülőtér utas- és áruforgalmának alakulása 2009 és 2018 között

Az elmúlt 10 évben a budapesti repülőtér utasforgalma nem felzárkózott, hanem lemaradt a bécsi repülőtér utasforgalmához képest. A két repülőtér utasforgalmában lévő különbség a 2009-es 10 millió 19 ezerrel 2018-ra mintegy 12 millió 170 ezerre nőtt. Ugyanekkor a budapesti és a bukaresti repülőtér utasforgalma közötti eltérés jelentősen több mint 2,5 millióval, mintegy 3 millió 615 ezerrel 1 millió 43 ezerre csökkent. A budapesti repülőtér utasforgalma 2018-ban 14 millió 867 ezer 491 fő volt, a bécsi repülőtér utasforgalma 14 évvel ezelőtt, 2005-ben lépte át a 15 milliót, vagyis jelenleg már 14 év a lemaradásunk az utasforgalom tekintetében a bécsi repülőtérhez képest.

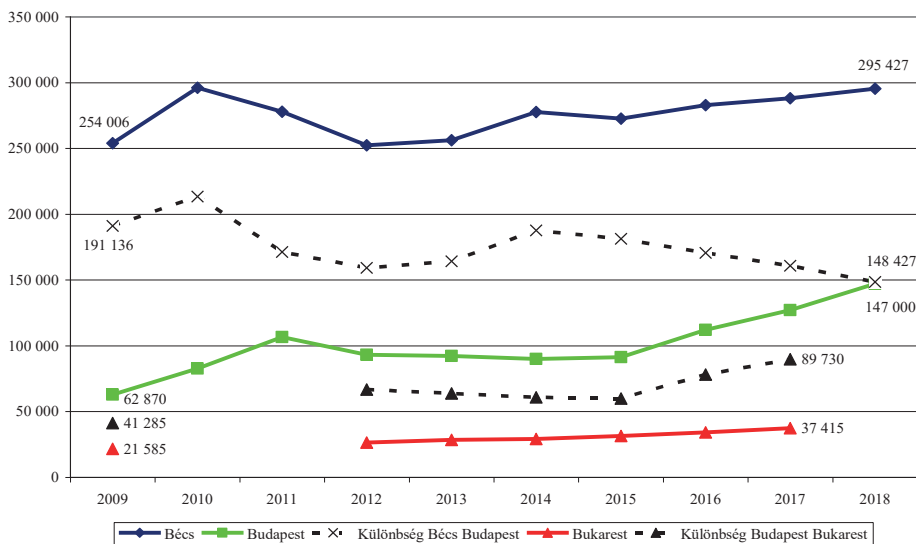


1. ábra

A bécsi, a budapesti és a bukaresti repülőtér utasforgalmának alakulása (fő). Forrás: a szerző szerkesztése a bécsi, budapesti és a bukaresti repülőtér hivatalos utasforgalmi adatainak a felhasználásával: *Traffic results*. Vienna International Airport. Elérhető: www.viennaairport.com/en/company/investor_relations/news/traffic_results; *Henri Coandă International Airport*. Wikipedia the Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Henri_Coand%C4%83_International_Airport; *Forgalmi statisztikák 2020*. Elérhető: www.bud.hu/budapest_airport/letoltheto_dokumentumok/statisztikak/forgalmi_jelentesek (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)

Ha ez így folytatódik, mikor fogjuk utolérni ezen a téren Ausztriát? Valószínűleg sohasem. A budapesti repülőtér hasznosítási jogainak privatizációja 2006-ban nemhogy javította volna az esélyeinket a felzárkózásra, éppen ellenkezőleg, csökkentette. Vagyis ma már kimondható, hogy a budapesti repülőtér összes hasznosítási jogának privatizációja egy teljesen elhibázott döntésnek bizonyult. Az osztrákok máig megtartották a többségi állami tulajdoni ellenőrzést a bécsi repülőtér fölött, és mégis növelni tudták velünk szemben megszerzett előnyüket a repülőtéri utasforgalom terén. A románok is megtartották a többségi állami tulajdoni ellenőrzést a bukaresti repülőtér fölött, és mégis jelentős mértékben csökkenteni tudták a lemaradásukat a budapesti repülőtérrel szemben az utasforgalom területén.

A repülőtéri áruforgalom esetében annyiban kétségtelenül más a helyzet, hogy a budapesti repülőtér áruforgalma nem távolodott, hanem közeledett a bécsi repülőtér áruforgalmához.



2. ábra

A bécsi, a budapesti és a bukaresti repülőtér áruforgalmának alakulása (tonna). Forrás: a szerző szerkesztése a bécsi, budapesti és a bukaresti repülőtér hivatalos utasforgalmi adatainak a felhasználásával: Traffic results. Vienna International Airport. Elérhető: www.viennaairport.com/en/company/investor_relations/news/traffic_results; Henri Coandă International Airport. Wikipedia the Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Henri_Coand%C4%83_International_Airport; Forgalmi statisztikák 2020. Elérhető: www.bud.hu/budapest-airport/letoltheto_dokumentumok/statisztikak/forgalmi_jelentesek (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)

A különbség a bécsi és a budapesti repülőtér között 2009-ben még 191 ezer 136 tonna volt, míg 2018-ra ez a különbség 148 ezer 427 tonnára csökkent. Ugyanakkor a két repülőtér áruforgalma közötti eltérés ma nagyobb, mint a budapesti repülőtér teljes 2018. évi áruforgalma, amely 147 ezer tonna volt. A bécsi repülőtér áruforgalma 1998-ban már meghaladta az évi 150 ezer tonnát, tehát az elmaradásunk ezen a téren több mint 20 év a bécsi repülőtérhez képest. Vagyis a repülőtéri áruforgalom esetében nagyobb a budapesti repülőtér elmaradása a bécsitől, mint az utasforgalom esetében. És egyáltalán nem jelent gyógyírt számunkra az sem, hogy az áruforgalom területén a bukaresti repülőtér nem felzárkózott a budapesti repülőtérhez,

hanem leszakadt attól. A budapesti és bukaresti repülőtér közötti különbség a repülőtéri áruforgalom esetében a 2009. évi 41 ezer 285 tonnáról 2017-re 89 ezer 730 tonnára nőtt.

4. A budapesti repülőtér főbb jellemzői napjainkban: javuló jövedelmezőség ellenére romló szolgáltatások

A budapesti repülőtér azonban nem csupán a forgalmi teljesítmény vonatkozásában nem zárkózott föl Európa élvonalához, hanem a repülőtéren uralkodó állapotok vonatkozásában sem. A magyar és külföldi utasok beszámolóiból, értékeléseiből lesújtó, áldatlan, Európához nem méltó állapotok rajzolódnak ki, de a magyar légiközlekedési és turisztikai szakmában is hasonló vélemény alakult ki. Ezt támasztja alá többek között az is, hogy dr. Schneller Domonkos, a Miniszterelnökség Budapest és a fővárosi agglomeráció fejlesztésének végrehajtásáért felelős helyettes államtitkára súlyos kritikát fogalmazott meg az Airportal.hu internetes kiadványban erről: „Könnyen juthat arra a következtetésre az egyszerű ember, hogy mi, magyarok mintha kevésbé lennénk fontosak. Mintha a kétsebességes Európa leállósávjában vesztgelnénk. Nekünk nem jár építészeti minőség, nem jár tiszta WC és benne szappan, papír, tisztaság. Nekünk bádogváros, karám jár, folyamatos és bosszantó zsúfoltság mindenütt. Nekünk babakocsival vagy csomagokkal is csak a lépcsőzés jár a karámig vagy a karámtól a kijáratig, se lift, se mozgólépcső, ahogy bárhol Európában. Nekünk kerozingózós várakozás a tűző napon, csapó eső és tumultus jár, meg kiabálás, az jár. Hallottunk már olyat máskor is persze, hogy nekünk minőségben kevesebb is elég [...]”³

A forgalomnövekedést Ferihegy nem tudta kezelni, a zsúfoltság egyre csak nőtt és mára már szinte elviselhetetlen állapotok alakultak ki. Ezt csak úgy tudják kezelni, hogy egyre inkább áttevődik a forgalom éjszakára. Am ez jelentősen megnöveli a zajterhelést. Folyamatosan beszállásra várakozó utasok állnak sorban a pult előtt a diszkont-légitársaságok járataival utazó utasok számára kiépített könnyűszerkezetes csarnokban, bádogterminálban. A diszkont-légitársaságok utasait kiszolgáló bádogépületeket immáron több mint öt éve, 2014 májusában nyitották meg Ferihegyen. Azóta a magyar és a külföldi utasok panaszáradata mellett kormányzati oldalról is egyre több kifogás történt a budapesti repülőteret üzemeltető Budapest Airport felé a bádogépülettel kapcsolatban. A 270-277-es számú nyolc repülőgép-állóhelyet és a 2A terminált összekötő, részben fedett folyosókból és az utasok várakozására szolgáló „csarnokból” álló komplexum szigetelése, klimatizálása és szellőzése nem megfelelő, nyáron hőség, télen pedig hideg van az „ideiglenesnek” szánt épületben. Intenzívebb esőzéskor a víz befolyik a forgalmi előtér egykori gurulóútjának és állóhelyeinek betonjára felhúzott komplexumba. Az épületben nincs elegendő ülőalkalmatosság, és kulturált mellékhelyiség sem áll rendelkezésre. A csúcsidejakokban az épület kapacitása szűkös, az utasok embertelen körülmények között, kigyózó sorokban kénytelenek várakozni a kordonok között hidegben, hőségben.⁴ A kormány 2019. áprilisában ultimátumot adott a repülőtér üzemeltetőjének. Amennyiben 2019. december 31-ig nem távolítják el a bádogterminált, akár rendeleti úton

³ Így látja a budapesti repülőtér állapotát a Miniszterelnökség helyettes államtitkára. [Airportal](https://airportal.hu/igy-latja-a-budapesti-repter-allapotat-a-miniszterelnokseg-helyettes-allamtitkara/), 2019. Elérhető: <https://airportal.hu/igy-latja-a-budapesti-repter-allapotat-a-miniszterelnokseg-helyettes-allamtitkara/> (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)

⁴ A vártnál hamarabb tűnhetnek el a budapesti repülőtér bádogtermináljai. [Origo](http://www.origo.hu/gazdasag/20190801-ferihegy-badogterminal-uj-fejlemeny.html), 2019. Elérhető: www.origo.hu/gazdasag/20190801-ferihegy-badogterminal-uj-fejlemeny.html (A letöltés dátuma: 2019. 10. 02.)

is be fogják tiltani az épület használatát.⁵ Lett volna ugyan forrás a szükséges korszerűsítésekre, hiszen a repülőteret üzemeltető társaság mérlegadatai szerint, 2018-ban a cég mintegy 25 milliárd forintos eredményt ért el. A tulajdonosok azonban a teljes adózott eredményt osztalékként kivették a cégből.

1. táblázat

A Budapest Airport Zrt. főbb eredményadatainak alakulása (ezer €). Forrás: Kiegészítő melléklet a Budapest Airport Zrt. 2018. december 31-i éves beszámolójához. Budapest Airport Zrt. 2019. április 9.

Év	Értékesítés nettó árbevétele	Üzleti tevékenység eredménye	Adózás előtti eredmény	Adófizetési kötelezettség	Adózott eredmény
2008	149 804	22 869	-112 546	-	-112 546
2009	155 063	52 440	-35 403	-	-35 403
2010	162 675	50 671	-35 964	418	-36 383
2011	179 836	54 380	-36 239	-	-36 239
2012	176 682	53 709	-36 288	-	-36 288
2013	183 062	72 111	-31 091	50 521	-31 142
2014	195 656	61 292	-44 756	-3 917	-44 752
2015	213 402	99 929	-3 266	2 419	-5 686
2016	235 261	116 598	18 002	3 562	14 440
2017	260 965	132 707	35 447	2 964	32 483
2018	297 081	170 592	79 689	3 295	76 394

A Budapest Airportot még az akkori MSZP–SZDSZ kormány adta el egy brit befektetői csoportnak 2006-ban, mivel az államadósság és a költségvetési hiány kiugróan magas volt, és csak ilyen privatizáció útján tudtak akkor pénzt szerezni. A brit befektető, a BAA International Ltd. ekkor 75 évre szerezte meg a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér üzemeltetési jogát 464,5 milliárd forintért. A Budapest Airport Zrt. privatizációját később az Országgyűlés erre a célra létrehozott bizottsága is vizsgálta. Ez a bizottság többek között megállapította, hogy a szocialista–szabad demokrata kormányzás idején fel sem merült a 2005-ben 11 milliárdos eredményt produkáló társaság állami kézben tartása lehetőségként. A privatizáció révén a későbbi tulajdonos számára a szükséges fejlesztések átütemezésének szankció (kötbér) nélküli lehetősége teremtődött meg. A privatizációt követően a korábban megfogalmazott célokkal ellentétben a Ferihegyi Nemzetközi Repülőtér a környező országok repülőtereivel szembeni lemaradása jelentősen nőtt. A repülőtér nem vált forgalomelosztó (*hub*)⁶ repülőtérre, a várt fejlesztések egy jelentős része elmaradt, mint például a repülőtér és a városközpont közötti vasúti összeköttetés, avagy csak évtizedes késéssel valósult meg így a stratégiai fontosságú cargobázis és az alacsony költségvetésű légitársaságokat kiszolgáló színvonalas utasterminál is.⁷

⁵ A kormány szabadulna a fapadosoknak épített bádogtermináltól Ferihegyen. Origo, 2019. www.origo.hu/gazdasag/20190426-a-kormany-szabadulna-a-fapadosok-miatt-epített-badogterminaltol-ferihegyen.html (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)

⁶ A repülőtéri „hub”-konceptió azt jelenti, hogy a különböző repülőterek hálózatából kiinduló járatok a központi repülőtérre nagyjából egyidőben érkeznek, így az egymás mellett álló repülőgépeknél gyorsan megoldható az utasok és poggyászok cseréje a repülőgépek között. Lásd bővebben: Erdei Tamás – Farkas József – Novoszáth Péter: *Repülőterek működése és fejlődése*. Budapest, Dunaprint, 1998.

⁷ Jelentés a MALÉV Zrt. és a Budapest Airport Zrt. szocialisták és szabad demokraták általi privatizációjának körülményeit, továbbá a MALÉV Zrt. visszaállamosításának folyamatát, valamint jelenlegi fizetéseképtelenségét és felszámolását előidéző, 2002–2010 között meghozott intézkedéseket, illetve az ebben az időszakban felmerülő döntéshozói felelősség kérdéskörét vizsgáló bizottság vizsgálatának eredményéről. Országgyűlés Hivatala 9/9530 2012. december 20.

A privatizációt követően alig egy év múlva a BAA eladta a tulajdonrészét a német Hochtief AirPort GmbH-nak. Ezt követően 2013 szeptemberében egy kanadai állami nyugdíj-alap, a Public Sector Pension Investment Board (PSP Investments) vásárolta meg a Hochtief Csoport részesezésének 100%-át. Jelenleg a budapesti repülőteret irányító konzorciumnak (Airport Holding Kft.), három tagja van: az AviAlliance GmbH (PSP Investments), a Caisse de dépôt et placement du Québec és a Malton Investment Pte. Ltd.⁸

A repülőtér jelenlegi vezetését nem különösebben érdekli, hogy a kormány vagy az önkormányzat mit tervez a repülőtérrel. Hosszú éveken át fennálló tűrhetetlen állapotok közül indultak el és érkeznek meg az utasok a repülőtérre. Pedig a repülőtér jelenleg Magyarország kapuját jelenti minden nagyobb magyarországi esemény, mint a vizes világbajnokság, avagy a futball Európa-bajnokság alatt és minden turisztikai szezonban. Emiatt ha az a repülőtér vezetőin múlik, az utasok beléptetésénél vagy a schengeni övezetből kilépve az útiokmánykezelésre várakozva még hosszú éveikig óriási sorokban vesztegeltek volna. Miközben azt látták, hogy a csomagjukat a rakodók játékszerként dobálják le és föl, vagy éppen ki is fosztják. Az egyik panasz például arról szólt, hogy az illető utas még a gépen ült, amikor az ablaka alatt megkezdődött a csomagok kirakodása, így mobiltelefonjával felvehetette, ahogy a bőröndjét dühösen hajítja a targoncára a rakodó. Mások tapasztalatai szerint is erősen kifogásolható a földi kiszolgálást végző alvállalkozók, elsősorban a csomagkezelést végzők munkája. A lopások pedig akkor is bosszantók és elfogadhatatlanok, ha évente mindössze 100-120 csomag kifosztása miatt indult nyomozás a repülőtéren.⁹

5. A magyar regionális repülőterek utas- és áruforgalmának alakulása

A magyar regionális repülőterek többségénél a teljes utasforgalom jelentősen lecsökkent 2008 és 2018 között. Leginkább szembetűnő ez a tendencia a sármelléki repülőtér esetében, amely esetében a 2007-es 106 ezer főről 2018-ra 12 ezer fő alá csökkent az éves utasforgalom. Mindez azért különösen szomorú, mivel a Hévíz – Balaton Airport közelsége az ország leglátogatottabb attrakcióihoz jelentős részben hozzájárulhatna a repülőtér fenntartható fejlődéséhez. A közelben lévő gyógyfürdők és a Balaton akár az egész éven át tartó légi forgalmat is biztosítani tudnák. De ezzel szemben ma még a bécsi repülőtér forgalmát növelik.¹⁰

Kedvező ugyanakkor, hogy jelentős növekedésnek indult az utasforgalom a debreceni repülőtéren 2012-től, ennek eredményeképpen a 2011. évi 19 ezer főről 2018-ban már több mint 376 ezerre emelkedett a debreceni repülőtér utasforgalma. A többi magyar nagyobb regionális repülőtéren ugyanakkor évek óta stagnál az utasforgalom növekedése. Lásd részletesebben az alábbi táblázatban!

⁸ Kiegészítő melléklet az Airport Hungary Tanácsadó Kft. 2018. december 31-i éves beszámolójához. Airport Hungary Tanácsadó Kft. 2019. április 11.

⁹ Varga István: *Gyurcsány Ferenc hagyatéka – Botrányos állapotok Ferihegyen – a tulajdonosok kitalicskazzák a rekordhasznót*. Pesti Srácok, 2019. Elérhető: <https://pestisracok.hu/gyurcsany-ferenc-hagyateka-botranynos-allapotok-ferihegyen-a-tulajdonosok-kitalicskazzak-a-rekordhasznot/> (A letöltés dátuma: 2019. 10. 02.)

¹⁰ Novoszát Péter: *A regionális repülőterek szerepe és fejlődése Magyarországon*. In Szilvássy László (szerk.): *Repüléstudományi Szemelvények*. Szolnok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet, 2018. 79–118. Elérhető: www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2018.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)

2. táblázat

A magyar regionális repülőterek utasforgalmának alakulása (fő). Forrás: a szerző szerkesztése a Szállítás, közlekedés. Repülőterek forgalmi adatai című táblázata utasforgalmi adatai alapján. Központi Statisztikai Hivatal. Elérhető: www.ksh.hu/szallitas-kozlekedes (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

Év	Debrecen	Nyíregyháza	Győr – Pár	Sármellék	Pécs – Pogány
2008	42 650	n. a.	14 177	102 131	n. a.
2009	25 060	31 345	8 770	15 075	6 791
2010	24 415	29 591	11 112	14 828	6 201
2011	19 135	13 488	18 976	18 191	7 200
2012	47 746	17 137	30 314	18 831	5 400
2013	129 231	15 863	31 274	25 015	3 946
2014	145 709	7 840	33 817	28 588	2 341
2015	172 212	27 320	29 437	15 748	2 582
2016	284 965	34 313	21 454	17 663	3 644
2017	318 342	29 430	22 785	13 229	4 595
2018	376 041	22 030	20 076	11 466	5 345

Ha az áruforgalom alakulását vizsgáljuk meg részletesebben, akkor szembeűnő az, hogy míg a magyar regionális repülőterek utasforgalma tekintetében még öt hazai repülőtér esetében van meglehetősen gyér, de már értékelhető forgalom, addig ugyanez az áruforgalom vonatkozásában már csak három magyar regionális repülőtérrel mondható el. Dinamikus fejlődést ezen a téren kizárólag csak a Győr – Pár repülőtér áruforgalma mutat, ahol 2018-ban az összes áruforgalom már megközelítette az 598 ezer kg-ot. A debreceni repülőtéren 2014-ben 115 kilogrammra csökkent az összes áruforgalom. Kedvező, hogy 2015-óta újra növekedésnek indult, de máig meglehetősen szerény maradt. 2015-ben már meghaladta az éves forgalom a 13 ezer kg-ot, de jócskán elmaradt a debreceni repülőtér esetében mindeddig csúcshatár számító 2011. évi 270 ezer 956 kg-tól. A sármelléki repülőtéren az áruforgalom 3 128 kg volt 2018-ban, ami szintén jóval kevesebb, mint e repülőtér vonatkozásában máig csúcshatár számító 2007. évi 695 ezer 295 kg. Összehasonlításképpen a magyar regionális repülőterek összes áruforgalma 2018-ban csupán 600 906 kg volt, vagyis még meg sem közelítette a sármelléki repülőtér 2007. évi teljesítményét.

A debreceni repülőtér célja, hogy Debrecen is felkerüljön a légi teherszállítás térképére, mivel Budapest mellett bőven elférne egy ilyen szolgáltatás, amely a debreceni és a közeli városokban működő vállalkozások mellett a távolabbi, akár a határ túloldalán lévő – ukrainai vagy romániai – cégek ilyesfajta igényeit is ki tudná elégíteni. A fuvaroztatók szempontjából ehhez arra lenne szükség, hogy csaknem napi szinten közlekedjenek áruszállító gépek Debrecenből az európai nagyvárosokba.

Sok esetben a speciálisan áruszállító repülőgépek mellett a személyszállító járatokon is fuvarozhat üzletszerűen árukat. Akár egy ilyen megoldás is elképzelhető, legalábbis kezdeti lépésként Debrecenben, ahová a Lufthansa heti három alkalommal indít járatokat Münchenből. Amennyiben a német légitársaság növelné kapacitását, illetve a gépei méretét, az is nagy lendületet adhatna a debreceni légi teherszállítás beindításának.

3. táblázat

A magyar regionális repülőterek áruforgalmának alakulása (kg). Forrás: a szerző szerkesztése a Szállítás, közlekedés. Repülőterek forgalmi adatai című táblázata áruforgalmi adatai alapján. Központi Statisztikai Hivatal. Elérhető: www.ksh.hu/szallitas-kozlekedes (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

Év	Győr – Pér	Sármellék	Debrecen
2004	2 690		
2005	17 473		13 430
2006	18 629	3 500	
2007	101 519	695 295	6 508
2008	171 620	502 560	3 770
2009	274 578	46 500	145 803
2010	528 331	264 773	107 020
2011	252 130	317 150	270 956
2012	90 839	7 787	6 088
2013	119 579	19 086	500
2014	146 300	28 065	115
2015	173 770	15 293	13 512
2016	111 350	11 268	–
2017	345 811	15 092	–
2018	597 778	3 128	–

Az áruk Debrecenen keresztüli légi fuvarozása a szállítási idő és a költségek szempontjából a kedvezőbb lenne több régiós importörnek, exportörnek.¹¹

6. A román és horvát regionális repülőterek utasforgalmának alakulása

A romániai regionális repülőterek utasforgalma megkétszereződött 2015 óta, négy év alatt. A romániai vidéki repülőterek utasforgalma gyorsabb ütemben nőtt ebben az időszakban, mint a bukaresti repülőtéré. A romániai regionális légi kikötők, amíg 2015-ben még valamivel több mint 4 millió utast fogadtak, addig 2018-ban az általuk lebonyolított utasforgalom már meghaladta a 8 milliót. A Romániában legforgalmasabbnak számító regionális repülőtérnek, a kolozsvári Avram Iancu repülőtérnek tavaly csaknem 2,8 millió utasa volt. A legnagyobb növekedést Konstanca repülőtere érte el, ahol több mint 7 és félszeresére nőtt a repülőtér utasforgalma 2015 és 2018 között. A második legnagyobb bővülést a marosvásárhelyi repülőtér produkálta, ahol közel ötszörösére nőtt az utasforgalom négy év alatt.¹²

¹¹ Diószegi József: A vidéki repterek is szeretnének felkerülni a cargotérképre. Ferihegyen szárnyal a légiáru-szállítás. *Világ gazdaság*, 2017. Elérhető: www.vg.hu/vallalatok/a-vedeki-repterek-is-szeretnenek-felkerulni-a-cargoterkepre-521011/ (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)

¹² Novoszáth Péter: A román regionális repülőterek működésének és fejlesztésének főbb jellemzői. *Repüléstudományi Közlemények*, 31. (2019), 2. 95–113.

4. táblázat

A román regionális repülőterek utasforgalmának alakulása (fő). Forrás: a szerző szerkesztése a List of the busiest airports in Romania. Wikipedia the Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_busiest_airports_in_Romania (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.) adatainak felhasználásával.

		2015	2016	2017	2018	Változás
1.	Cluj Avram Iancu International Airport	1 485 652	1 884 645	2 688 388	2 782 401	187,3%
2.	Traian Vuia International Airport	924 459	1 161 612	1 621 529	1 517 309	164,1%
3.	Iasi International Airport	381 000	881 157	1 146 218	1 256 640	329,8%
4.	Sibiu International Airport	364 492	414 676	503 906	662 468	181,8%
5.	Craiova International Airport	336 694	366 065	447 227	493 056	146,4%
6.	George Enescu International Airport	276 533	287 412	425 733	447 531	161,8%
7.	Stefan cel Mare International Airport	116 947	222 320	262 165	352 991	301,8%
8.	Oradea Airport	63 329	94 594	162 902	220 012	347,4%
9.	Mihail Kogalniceanu International Airport	17 212	57 063	127 635	129 235	750,8%
10.	Satu Mare International Airport	17 169	41 867	60 795	75 692	440,9%
11.	Transilvania Airport	12 925	23 796	10 817	63 794	493,6%
12.	Arad International Airport	8 530	5 375	5 645	11 367	133,3%
13.	Aurel Vlaicu International Airport	8 118	1 057	4 232	5 690	70,1%
14.	Baia Mare Airport	2 359	–	566	2 621	111,1%
15.	Danube Delta Tulcea Airport	394	*	*	158	40,1%
	Összesen	4 015 813	5 441 639	7 467 758	8 020 965	199,7%

A horvátországi repülőterek utasforgalma évről évre dinamikusan növekszik. A legforgalmasabb regionális repülőtér, a spliti repülőtér utasforgalma meghaladta a 3 milliót 2018-ban. Az egyes repülőterek utasforgalmának változására vonatkozó adatokat az alábbi, 5. táblázat tartalmazza.

A horvát regionális repülőterek utasforgalma együttesen gyorsabban nőtt az elmúlt négy évben, mint a fővárosé, a zágrábi repülőtéré. A horvát regionális repülőterek rendkívül széles választékát nyújtják az utasok által elérhető járatoknak. Kutatásom során összesen 470 különféle járatot azonosítottam. A horvát repülőtereken üzemelő légitársaságokra egy sajátos mix a jellemző. A járatok legnagyobb részét a teljes szolgáltatást nyújtó légitársaságok kínálják, ezen belül is a nemzeti légitársaságok, míg az alacsony költségvetésű légitársaságok által kínált járatok teszik ki a második legnagyobb részt. Charterjáratok adják a harmadik részt ezek aránya elsősorban a kisebb utasforgalmat lebonyolító repülőtereknél nagyon magas.

5. táblázat

A horvát regionális repülőterek utasforgalmának alakulása (fő). Forrás: a szerző szerkesztése a List of the busiest airports in Croatia. Wikipedia The Free Encyclopedia adatainak felhasználásával: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_busiest_airports_in_Croatia (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)

		2015	2016	2017	2018	Változás
1.	Zágrábi repülőtér	2 587 798	2 776 087	3 092 047	3 366 310	130,1%
A horvát regionális repülőterek utasforgalma						
2.	Spliti repülőtér	1 955 400	2 289 987	2 818 176	3 124 067	159,8%
3.	Raguzai (Dubrovnik) repülőtér	1 693 934	1 993 243	2 323 065	2 539 412	149,9%
4.	Pólai (Pula) repülőtér	359 426	436 121	595 812	717 187	199,5%
5.	Zárai (Zadar) repülőtér	487 652	520 924	589 841	603 819	123,8%

		2015	2016	2017	2018	Változás
6.	Fiumei (Rijeka) repülőtér	139 718	145 297	142 111	183 606	131,4%
7.	Eszéki (Osijek) repülőtér	28 651	30 605	43 373	67 235	234,7%
8.	Brač repülőtőre	8 809	12 354	21 596	30 170	342,5%
9.	Lošinj repülőtere	12 287	6 402	6 042	6 939	56,5%
	A horvát regionális repülőterek utasforgalma	4 685 877	5 435 583	6 540 016	7 272 435	146,3%
	A horvát repülőterek utasforgalma	7 273 675	8 211 670	9 632 063	10 638 745	155,2%

A horvát regionális repülőterek nagyon tudatosan igyekeznek bővíteni a repülőterek elérhetőségét, járatválasztékát. Ennek keretében több repülőtér (Split, Zára, Eszék) is tengerentúli járatok hosszú távú meghonosítására törekszik. A horvát közlekedési kormányzat ebben a törekvésükben maximális segítséget igyekszik nyújtani ezeknek a repülőtereknek, például a lehetséges fejlesztési források felkutatásában, biztosításában, a repülőterek erőteljes külföldi reklámozásában, az ország turisztikai célú marketingje keretében. A horvát közigazgatás már korábban felismerte, hogy a regionális repülőterek kulcsszerepet játszanak a horvát idegenforgalom fejlesztésében.¹³

Horvátországnál négy város (Split, Raguz, Póla, Zára) esetében tapasztaltuk azt, hogy a repülőtér utasforgalma nagyobb, mint közvetlen vonzaskörzetének lakossága. Románia esetében is négy város (Kolozsvár, Temesvár, Jászvásár és Nagyszeben) esetében nagyobb a repülőtér forgalma, mint a közvetlen vonzaskörzetének lakossága, Ausztria esetében két város esetében tapasztaltuk ugyanezt. Míg Magyarország esetében egyetlen egy város esetében sem nagyobb a repülőtér utasforgalma, mint a repülőtér vonzaskörzetének lakossága.

6. táblázat

A horvát, a magyar, a román és az osztrák regionális repülőterek utasforgalmának és vonzaskörzetének az összehasonlítása (fő). Forrás: a szerző szerkesztése a Google Maps, az érintett repülőterek és települések honlapjainak és éves beszámolóinak alapján

	Város lakossága	Vonzaskörzet lakossága	Repülőtér utasforgalma
Ausztria			
Graz	269 997	1 237 000	959 098
Linz	193 814	1 465 000	402 007
Salzburg	146 631	549 263	1 890 164
Innsbruck	124 579	746 153	1 092 547
Klagenfurt	96 640	561 077	216 905
Magyarország			
Debrecen	202 520	537 268	318 342
Nyíregyháza	117 874	562 357	29 430
Cyőr – Pér	129 435	463 201	22 785
Sármellék	1 811	277 290	13 229
Pécs – Pogány	145 011	371 110	4 595
Románia			
Cluj – Kolozsvár	303 047	691 106	2 782 401

¹³ Novoszát Péter: *A regionális repülőterek működésének és fejlesztésének főbb jellegzetességei Közép-Európában*. Kézirat. Budapest, HHK Katonai Műszaki Doktori Iskola, 2019.

	Város lakossága	Vonzáskörzet lakossága	Repülőtér utasforgalma
Timișoara – Temesvár	306 462	683 540	1 517 309
Iași – Jászvásár	318 871	772 348	1 256 640
Sibiu – Nagyszeben	425 906	375 992	662 468
Craiova	293 567	660 544	493 056
Bacau – Bákó	172 952	737 512	447 531
Suceava – Szucsáva	105 624	701 830	352 991
Oradea – Nagyvárad	201 547	638 863	220 012
Konstanca	297 503	748 769	129 235
Satu Mare – Szatmár	109 728	329 079	75 692
Targu Mures – Marosvásárhely	142 327	550 846	63 794
Horvátország			
Split	178 192	452 841	3 124 067
Raguza – Dubrovnik	42 615	122 257	2 539 412
Póla – Pula	57 053	207 939	717 187
Zára – Zadar	75 082	169 853	603 819
Fiume – Rijeka	128 624	290 579	183 606

7. Összefoglaló megállapítások, javaslatok

E cél elérése érdekében a jövőben az intermodalitás javítását kiemelten kellene kezelni, előnyben részesítve a nemzeti és regionális hatóságok, valamint a légitársaságok által támogatott partnerségi megállapodások megkötését. A regionális repülőterek, amelyek gyakran az egyedüli hatékony összeköttetést biztosítják az adott régió és az Európai Unió többi része között, igen fontosak. Regionális repülőterekre Európa kevésbé fejlett, korszerű út- vagy vasúthálózattal nem, vagy nem a legkorszerűbb és leghatékonyabb rendszerekkel rendelkező régiókban is szükség van.

A megfelelő légi közlekedési összeköttetések fontosak a helyi gazdaság és az idegenforgalom fejlődése, a befektetők odavonzása és az utasok és áruk gyors szállítása szempontjából. A regionális repülőterek a mobilitás növekedésében és az interregionális kapcsolattartásban, az egyes régiók vonzóbbá tételében különösen jelentős szerepet töltenek be. Az idegenforgalom a gazdasági válsággal szemben nagyobb ellenállóképességet mutat, emiatt kiemelt figyelmet kellene fordítani minden olyan gazdaságpolitikai tényezőre és intézkedésre, mint amilyen a légi közlekedés és a repülőtéri infrastruktúrák, amelyek annak fejlődését vagy megfelelő működését elősegíthetik.

Rendkívül jelentősek a regionális repülőterek innovációs klaszterek létrejöttének mozgatórugójaként betöltött szerepük miatt is, különösen a fejlett régióktól földrajzilag távoli területeken csökkentik az induló vállalkozások földrajzi fekvésből adódó költségeit. A regionális repülőterek gazdasági jelentősége a regionális gazdasági növekedés és a munkahelyteremtés szempontjából, különösen a kevésbé fejlett vagy hátrányos helyzetű régiókban kiemelkedő.

Rendkívül fontos lenne az intermodális közlekedési megoldások alkalmazása. Fejleszteni kellene a regionális repülőterek közötti vasúti vagy közúti tömegközlekedési összeköttetéseket, a regionális repülőterek a nemzeti és európai közlekedési hálózatokba való jobb integrációjuk elősegítése, valamint a központi repülőterek kapacitásproblémáinak enyhítése érdekében is.

A regionális repülőterek és a környező városok közötti vasúti vagy városi vasúti összeköttetés fejlesztése előnyös lehet környezeti szempontból, és egyúttal elősegítheti a regionális közlekedési rendszerek egészének észszerűsítését is. A regionális repülőterek hozzájárulhatnak az utas- és áruszállítás torlódásainak elhárításához – ezáltal is tehermentesítve a túlsúlyolt repülőtereket, valamint a légi közlekedési összeköttetések diverzifikálását. Ezért az illetékes hatóságoknak olyan tervekre kellene javaslatokat tenniük, amelyek a meglévő regionális repülőterek fejlesztését és hatékonyabbá tételét célozzák.

Felhasznált irodalom

- Diószegi József: A vidéki repterek is szeretnének felkerülni a cargotérképre. Ferihegyen szárnyal a légiáru-szállítás. Világgazdaság, 2017. 05. 17. Elérhető: www.vg.hu/vallalatok/a-videki-repterek-is-szeretnenek-felkerulni-a-cargoterkepre-521011/ (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)
- Erdei Tamás – Farkas József – Novoszáth Péter: *Repülőterek működése és fejlődése*. Budapest, Dunaprint, 1998.
- Jelentés a MALÉV Zrt. és a Budapest Airport Zrt. szocialisták és szabad demokraták általi privatizációjának körülményeit, továbbá a MALÉV Zrt. visszaállamosításának folyamatát, valamint jelenlegi fizetéképtelenségét és felszámolását előidéző, 2002–2010 között meghozott intézkedéseket, illetve az ebben az időszakban felmerülő döntéshozói felelősség kérdéskörét vizsgáló bizottság vizsgálatának eredményéről. Országgyűlés Hivatala 9/9530/2012. december 20.
- Kiegészítő melléklet a Budapest Airport Zrt. 2018. december 31-i éves beszámolójához*. Budapest, Airport Zrt., 2019. április 9.
- Kiegészítő melléklet az Airport Hungary Tanácsadó Kft. 2018. december 31-i éves beszámolójához*. Airport Hungary Tanácsadó Kft. 2019. április 11.
- A kormány szabadulna a fapadosoknak épített bádogtermináltól Ferihegyen*. Origo, 2019. Elérhető: www.origo.hu/gazdasag/20190426-a-kormany-szabadulna-a-fapadosok-miatt-epített-bádogterminaltól-ferihegyen.html (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)
- Novoszáth Péter: *A regionális repülőterek működésének és fejlesztésének főbb jellegzetességei Közép-Európában*. Kézirat. Budapest, HHK Katonai Műszaki Doktori Iskola, 2019.
- Novoszáth Péter: A regionális repülőterek szerepe és fejlődése Magyarországon. In Szilvássy László (szerk.): *Repüléstudományi Szemelvények*. Szolnok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet, 2018. 79–118. Elérhető: www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2018.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)
- Novoszáth Péter: A román regionális repülőterek működésének és fejlesztésének főbb jellemzői. *Repüléstudományi Közlemények*, 31. (2019), 2. 95–113. DOI: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.2.7>
- Report on the future of regional airports and air services in the EU (2011/2196(INI))*. A7-0094/2012. European Parliament. Elérhető: www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+REPORT+A7-2012-0094+0+DOC+PDF+V0//EN (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)

Internetes források

- Forgalmi statisztikák 2020*. Elérhető: www.bud.hu/budapest_airport/letoltheto_dokumentumok/statisztikak/forgalmi_jelentesek (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)
- Henri Coandă International Airport*. Wikipedia the Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Henri_Coand%C4%83_International_Airport (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)
- Így látja a budapesti repülőtér állapotát a Miniszterelnökség helyettes államtitkára*. AIRportal, 2019. Elérhető: <https://airportal.hu/igy-latja-a-budapesti-repter-allapotat-a-miniszterelnokseg-helyettes-allamtitkara/> (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)
- List of the busiest airports in Croatia*. Wikipedia the Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_busiest_airports_in_Croatia (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)
- List of the busiest airports in Romania*. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_busiest_airports_in_Romania (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)
- Szállítás, közlekedés*. Repülőterek forgalmi adatai című táblázata utasforgalmi adatai alapján. Központi Statisztikai Hivatal. Elérhető: www.ksh.hu/szallitas-kozlekedes (A letöltés dátuma 2019. 08. 18.)
- Traffic results*. Vienna International Airport. Elérhető: www.viennaairport.com/en/company/investor_relations/news/traffic_results (A letöltés dátuma: 2020. 09. 10.)
- Varga István: *Gyurcsány Ferenc hagyatéka – Botrányos állapotok Ferihegyen – a tulajdonosok kitalicskázzák a rekordhasznót*. Pesti Srácok, 2019. Elérhető: <https://pestisracok.hu/gyurcsany-ferenc-hagyateka-botranynos-allapotok-ferihegyen-a-tulajdonosok-kitalicskazzak-a-rekordhasznot/> (A letöltés dátuma: 2019. 10. 02.)
- A vártnál hamarabb tűnhetnek el a budapesti repülőtér bádogtermináljai*. Origo, 2019. Elérhető: www.origo.hu/gazdasag/20190801-ferihegy-badogterminal-uj-fejlemeny.html (A letöltés dátuma: 2019. 10. 02.)

Szabó László István¹

A repülést és a repülőterek működését veszélyeztető tényezők csoportosítása, alapvető jellemzői

Annak ellenére, hogy napjainkban mindenki számára elérhető utazási forma lett a repülés, a legtöbben úgy ítélik meg, hogy ez továbbra is rendkívül veszélyes, biztonsága számtalan veszélyeztető tényezőtől függ. Hasonló vélemény alakult ki a repülőterek működésével kapcsolatban is, különösen az utóbbi évtizedben a terrorizmus elterjedésével, a repülőgépek és a repülőterek elleni támadások számának növekedésével. Természetesen a teljes biztonság ezen a területen sem valósítható meg, annak ellenére, hogy a repülés technikai fejlődése, valamint a repülőterek korszerűsítése, az alkalmazott új üzemeltetési, őrzés-védelmi eljárások, módszerek, csökkentik a veszélyeztetettség nagyságát. A szerző ebben a cikkben feltárja és rendszerezi azokat a veszélyforrásokat, amelyek hatással vannak a repülésre, a repülőterek működésére, valamint az embereknek a repüléssel szembeni biztonság megítélésére. Továbbá ismerteti a különböző veszélyek alapvető jellemzőit, várható hatásait és következményeit, javaslatot tesz az átlagember repüléssel szembeni fenntartásának, pozitív irányba történő befolyásolásának lehetőségeire.

Kulcsszavak: repülés, repülőtér, veszélyforrás, veszélyeztető tényező, biztonság, védelem, üzemeltetés, szabályok, terrorizmus, repülőbaleset

Essential Features and Grouping of Hazards of Aviation and Airports Operation

Aviation has become an accessible form of travel for everyone by now, yet most people still think that it is extremely dangerous, and its safety depends on several hazards. A similar view has emerged regarding the operation of airports, too, especially with the spread of terrorism and the increased number of attacks against aircrafts and airports in the last decade. Of course, complete security can't be achieved in this area either, even if the technological development of aviation, the modernisation of airports, the newly introduced operating and security procedures and methods reduce the possibility of the threats. The author of this article explores and systematises the sources of danger which affect aviation, the operation of airports and people's judgment on the security of flying. Furthermore, he describes the basic features, expected effects and

¹ Doktorandusz, helikopter-másodpilóta, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola; e-mail: laci-szabo@freemail.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7672-4959>

consequences of the various hazards, and offers suggestions on how to positively influence the average people's attitude towards flying.

Keywords: aviation, aerodrome, threats, risk factor, protection, operating, rules, terrorism, flying accident

1. Bevezetés

Az átlagemberek megítélése szerint a repülés még ma is veszélyek sorozatát rejt magában, mivel a repülőgépek többsége jelenleg is ember által irányított szerkezet. Bár egyre sűrűbben találkozhatunk pilóta nélküli, úgynevezett UAV-kel is (UAVs: *Unmanned Aerial Vehicles*: Pilóta nélküli légi járművek). Pilóta nélküli légijármű-rendszerek, amelyeket pilóták távolról üzemeltetnek, és elsősorban felderítésre használnak. A katonai UAV-k üzemeltetői felderítő katonák, céljuk az ellenséges erők helyének és létszámának meghatározása, valamint az általuk végzett mozgások ellenőrzése stb.² repülőgépekkel, de ezek az utasforgalom szempontjából nem töltenek be meghatározó szerepet. A légi forgalom fejlődése és az országok légtereinek³ folyamatos átalakítása minden esetben a repülés biztonságának fejlődését szolgálja.

A repülés megszervezése bonyolult folyamat, mert minden mindennel összefügg. Például a repülőgépek és a kiszolgálóeszközök műszaki állapota, a repülés kiszolgálásának és üzemeltetésének szakszerűsége, a hajózőszemélyzet képzettsége, lelki és fizikai állapota, vagy az utasok megfelelő tájékoztatása stb. Napjainkban, a technika fejlődésének köszönhetően a repülés meghatározó közlekedési formává vált. Az utasforgalom folyamatos növekedése egyben a repülőgépek számának megnövekedését eredményezte, amely jelentősen befolyásolja a repülésirányítás biztonságát, a repülőterek méreteit, fogadóképességüket, valamint működésüket és üzemeltetésüket. A légi forgalom növekedése miatti fejlesztés elsősorban a polgári repülőtereket érinti, de több országban megkezdődött a vegyes üzemeltetésű, katonai és polgári repülés egyidejű kiszolgálására alkalmas repülőbázisok kiépítése vagy a meglévők átalakítása.

A repülés és a környezet kapcsolatáról viszonylag sok tudományos közlemény található a különböző szakmai kiadványokban, de ezek többnyire a repülés környezetterhelését vizsgálják. Kevés olyat találni közöttük, amelyek vizsgálják és rendszerezik a repülés biztonságát és a repülőterek működését veszélyeztető tényezőket, csoportosítják és feltárják ezek összefüggéseit, valamint ismertetik alapvető jellemzőiket.

A cikk aktualitását az adja, hogy az emberek többsége már elfogadja és igénybe veszi a repülést mint tömegközlekedést, de sokan vannak olyanok is, akik valamiért nem tartják biztonságosnak, ezért nem élnek a repülés által adott utazási lehetőségekkel. Biztonságérzetüket hátrányosan befolyásolják az utóbbi években bekövetkezett légi katasztrófák, amelyek

² *Unmanned Aircraft Systems Operator (15W)*. Elérhető: www.goarmy.com/careers-and-jobs/browse-career-and-job-categories/transportation-and-aviation/unmanned-aerial-vehicle-operator.html (A letöltés dátuma: 2020. 03. 14.)

³ Légtér: „Magyarország államhatára által körbezárt terület feletti, légiközlekedési célra kijelölt légtér meghatározott kiterjedésű légiforgalmi légtérre, amely időszakosan korlátozott, veszélyes és tiltott légterekre oszlik.” 26/2007. (III. 1.) GKM-HM-KvVM együttes rendelet a magyar légtér légiközlekedés céljára történő kijelöléséről. 1 § (1) bek. Elérhető: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A0700026.GKM> (A letöltés dátuma: 2020. 03. 20.)

karbantartási hiányosságokra, légi irányítási problémákra, vagy a repülőgép személyzetének hibáira vezethetők vissza.

A szerző célja, hogy ebben a cikkben bemutassa azokat a területeket és veszélyforrásokat, amelyek befolyással vannak a repülés és repülőterek működésének biztonságára, ismertesse ezek összefüggéseit, alapvető jellemzőit, lehetséges csoportosítását és hatásait. Továbbá javaslatot tegyen olyan megoldásokra, amelyekkel az embereknek a repülés biztonságával szembeni fenntartása, negatív véleménye csökkenthető.

2. A repülés biztonságát veszélyeztető tényezők csoportosítása, alapvető jellemzői

Napjainkban a repülés egyik alapvető feltétele az üzembiztos repülőgépek használata, valamint olyan repülőterek megléte, amelyek képesek biztosítani a légi járművek problémamentes fogadását, kiszolgálását és felszállását. Ez azt bizonyítja, hogy szoros kapcsolat van a biztonságos repülés és a repülőterek zavartalan működése között, amely a katonai és a polgári repülésre egyaránt vonatkozik.

Ebben a fejezetben azoknak a veszélyeztető tényezőknek az alapvető csoportjait és várható hatásait, következményeit mutatom be, amelyek a biztonságos repülésre negatív hatással vannak. Bizonyos veszélyekre fel lehet készülni, viszont vannak olyanok is, amelyekre nem, ezek hatásait csak szigorú szabályokkal, korlátozásokkal lehet csökkenteni. A repülés biztonságát számtalan tényező befolyásolja, amelyeket tíz alapvető csoportba soroltam, és hatásait, várható következményeiket ez alapján mutatom be.

2.1. A légterek használatával kapcsolatos veszélyeztető tényezők

A légtér nem más, mint a repülőforgalom által használt terület, amelynek szerkezetét a 26/2007. (III. 1.) GKM-HM-KvVM együttes rendelet a magyar légtér légiközlekedés céljára történő kijelöléséről szóló rendelet és mellékletei határozzák meg.⁴ A légiforgalmi légterek mérete, használhatósága időben, magasságban stb. egymástól eltérők, ezeket szintén e rendelet szabályozza. [„(2) A légiforgalmi légterek és az időszakosan korlátozott légterek térbeli kiterjedését (oldal- és magassági határait) a 2. melléklet, a korlátozott, veszélyes és tiltott légterek térbeli kiterjedését (oldal- és magassági határait) a 3. melléklet tartalmazza.”⁵] A légterekben való közlekedés bejelentésköteles, amelynek elmulasztása szankciókat von maga után.

Az országok által kijelölt légterekben, egy időben, különböző kategóriájú repülőeszközök, fedélzetükön eltérő nemzetiségű, képzettségű személyzetekkel tartózkodnak, amelyek irányítása, elkülönítése komoly koordinációt igényel. A veszélyes megközelítések és összeütközések elkerülése a hajózószemélyzetek és a repülésirányító szolgálatok közös felelőssége.

⁴ 26/2007. (III. 1.) GKM-HM-KvVM

⁵ Uo.

2.2. A repülés irányításával összefüggő veszélyeztető tényezők

A repülésirányítók feladata kulcsfontosságú a repülőtéren és a repülőtér körzetében zajló légi forgalom szervezésében, koordinálásában és lebonyolításában. Munkájukat a légi és a földi irányítás szabályai és követelményei szerint végzik.

Olyan képességekkel kell rendelkezniük, mint például a *forgalmi konfliktus kezelése, figyelemmegosztás és a stressz alatt végzett munka*.⁶ Ezek hiánya veszélyes helyzetek kialakulásához vezethet, balesetet vagy légi katasztrófát okozhat. Bár ritkán fordul elő, de ilyen hiba okozta például 2016-ban a svájci légierő egy F/A-18C típusú vadászbombázó repülőgépeinek lezuhanását, mert az egyik repülésirányítótól hibás magassági adatokat kapott. A biztonságos „régiónban előírt 14 000 láb (4300 méteres) minimummagasság alatti, 10 000 lábas (3050 méteres) repülésre utasította a 27 éves pilótát, aki az erős felhőzet miatt a saját *érzékszerveire nem hagyatkozhatott és vakon követte a torony útmutatását*.”⁷ Emlékezetes az a tragédia is, amely 2002-ben történt a Bodén-tó közelében, amelynek következtében „71 ember, főleg baskíriai iskolás gyerek vesztette életét”.⁸ („A légiirányító süllyedésre utasította az orosz gép pilótáját, jöllehet a gép saját ütközéshárító-rendszere emelkedést javasolt a DHL szállítógépének közelsége miatt. A pilóta ennek ellenére követte a légiirányító utasítását, és ráereszkedett a szintén süllyedő szállítógépre. A német vizsgálat szerint a baleset olyan hibák és rossz döntések együttes fellépése miatt történt, amelyek egyenként »csak kismértékben veszélyeztetnék a légiközlekedés biztonságát.«”) Ezért a hibáért később, feltehetően bosszúból, a repülésirányítót megkéselték.⁹

További veszélyt jelent a légterek rádiófrekvenciáinak zsúfoltsága, valamint nem megfelelő minőségű rádióberendezések használata. Az irányításban fontos a pontos adatközlés, a helymeghatározás, mert ahol egyszerre több repülőeszköz végez besorolásokat és várakozási eljárásokat, ott megengedhetetlen, hogy a hajózó és az irányító személyzet ne lássa át a forgalom helyzetét, ne tudja meghatározni a repülőgép pontos pozícióját, mert ez összeütközéshez vezethet. Ilyen baleset történt 1993-ban a világhírű moszkvai Zsukovszkij Intézet gépeivel és személyzetével, egy nemzetközi repülőnapon, Fairfordban. A szerencsés kimenetelű repülőbalesetben mindkét pilóta katapultált, a gépek a nézőktől távol csapódtak be, személyi sérülés nem történt (1. ábra).

⁶ Sági Lajos Zoltán: Három fontos katonai repülésirányítói kulcskompetencia. *Repüléstudományi Közlemények*, 20. (2008), 1–6. Elérhető: http://epa.oszk.hu/02600/02694/00044/pdf/EPA02694_rtk_2008_01_Sapi_Lajos.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 02. 18.)

⁷ Liszcai János: *Hibás utasítást kapott az elhunyt pilóta*. HTKA 2016. Elérhető: <https://htka.hu/2016/09/07/hibas-utasitast-kapott-az-elhunyt-pilota/> (A letöltés dátuma: 2020. 02. 24.)

⁸ *A légiirányítók miatt zuhant le Svájcban egy repülő*. 2004. Elérhető: www.origo.hu/nagyvilag/20040520elismerte.html (A letöltés dátuma: 2020. 02. 24.)

⁹ Uo.



1. ábra

Mig-29-es repülőgépek ütközése a fairfordi nemzetközi repülőnapon. Forrás: Márványi Péter: Fairford 1993: Ütközés a levegőben. 2013. Elérhető: <http://iho.hu/hir/fairford-1993-utkozes-a-levegoben-130727> (A letöltés dátuma: 2020. 02. 24.)

Ki kell emelni az angol nyelvű rádiólevelezés fontosságát is, amely szigorúan szabályozott keretek között zajlik. A könnyebb kommunikáció érdekében a forgalmazás rövid, tömör, előre lefektetett formulákat tartalmaz. A félreértések vagy -értelmezések miatt szabálysértések történhetnek, amelyek baleseteket, katasztrófákat okozhatnak.

2.3. A repülőgépek személyzetével kapcsolatos veszélyeztető tényezők

A repülőgép-személyzetek kötelező és rendszeres alkalmassági szűrővizsgálatokon vesznek részt, amelynek célja az egészség és fizikai állapot, valamint a pszichikai és lelki problémák feltárása. De ez nem zárja ki például egy pilóta repülés közbeni hirtelen rosszulletének fellépését. Ez korlátozza a cselekvőképességét, mert megnő a reakcióideje, romlik a figyelemmegosztása, a helyzetfelismerő-képessége, valamint a teljesítőképessége. Rosszabb esetben, amikor elveszíti az eszméletét, repülőkatasztrófa is bekövetkezhet. Fokozottan igaz ez a katonai, ezen belül is a hangsebesség feletti repülésre, ahol egy légi harc során, 1–9 G közötti túlterhelést kell a hajózószemélyzetnek elviselni. (G erő: „A »G« a gravitáció szóból származik; ez a Föld tömegvonzása, mely mindannyiunkra hat, értéke tengerszinten $9,81 \text{ m/s}^2$ Például 4,7 G „Ennél az értéknél egy 70 kg-os embert csaknem 330 kg-nak megfelelő erő szorítja a pilótaülésbe.”)¹⁰

További veszélyeztető tényező lehet a kialvatlanság, a gyenge stressztűrő képesség, a nem megfelelő képzettség és tapasztalat, de veszélyt jelent a rutinból történő munkavégzés is. Potenciális veszélyt jelent a biztonságra az a hajózó személyzet, aki nem képes felismerni a váratlan helyzeteket, nem tudja azokat kezelni, vagy lelkileg labilis lesz a repülés során adódó stresszhelyzetektől, a folyamatos és szigorú munkafegyelemtől. Arra is volt már példa, hogy

¹⁰ Váli Béla Edgár: *A misztikus „G” – ami a torz arc mögött van*. 2005. Elérhető: <https://orvosilexikon.hu/cikkek/a-misztikus-g-ami-a-torz-arc-mogott-van> (A letöltés dátuma: 2020. 02. 24.)

felderítetlen maradt a pilóta öngyilkossági hajlama. Tehát a hajózőszemélyzetekre is igaz mindaz, amit Sági Lajos munkájában a repülésirányítói képességekre megállapított, a *forgalmi konfliktus kezelése, figyelemmegosztás és a stressz alatt végzett munka*.¹¹

2.4. Repülésre veszélyes meteorológiai viszonyok és körülmények

A meteorológiai viszonyok nagymértékben befolyásolják a repülés körülményeit, de kihatással vannak az emberi teljesítőképességekre is. A repülőgép személyzetének képesnek kell lennie az egyszerű és bonyolult időjárási viszonyok közötti feladatok végrehajtására.

Az egyszerű időjárási viszonyok (EIV) általában nyáron fordulnak elő, amelyre jellemző a felhőtlen égbolt, a csapadékmentes környezet, magas napi átlaghőmérséklet, a jó látási viszonyok. De gyakran okoznak nehézséget az erős széllelőések, a szélnyírások¹², a hirtelen kialakuló zivatarok, villámlások, amelyeket el kell kerülni. Ezek késéseket, vagy alternatív repülőterre történő leszállást eredményezhetnek. A hőmérséklet és páratartalom gyakori ingadozása befolyásolja a repülőgép-személyzet és az utasok komfortérzetét, rosszulletet és dekoncentrációt okozhat.

A bonyolult időjárási viszonyok (BIV) a késő ősz és kora tavasz közötti téli évszakra jellemző. Itt a legnagyobb veszélyt a látás korlátozottsága (köd) és a jegesedési viszonyok jelentik. Ez az időjárási helyzet próbára teszi a pilóták repüléstechnikai, pszicho-fiziológiai és navigációs képességeit. Ilyen viszonyok között a repülés csak komoly jogi szabályozások és korlátozások mellett végezhető, figyelembe kell venni a repülőgépek alkalmasságát, valamint a pilóták képzettségi szintjét is. A repülőterek körzetén belül és kívül, a terep domborzati, valamint a rajtuk található magas épületek és akadályok miatt a minimális kötelező magasságokat be kell tartani, amelyek megtalálhatók az eljárási térképeken, de a GPS-ek adatbázisaiból is megjeleníthetők.

2.5. Véletlen vagy szándékos gépellátás, repülőgép lelövés

A terrorizmus az egyik legkomolyabb bűnözési forma, amelynek felderítése nehéz, megakadályozásához pedig nagy erőket kell mozgósítani. A fenyegetettségi szintet növeli a kiszámíthatatlanság, az ismeretlen célpontok, a váratlan, meglepetésszerű támadás, valamint az alkalmazott eszközök fajtáinak és hatékonyságának ismeretlensége. A terroristák célja, hogy rombolással, túszejtéssel, akár emberi életek kioltásával, a váratlanság erejével zavart és félelmet keltsenek, hogy ezzel segítsék elő a politikai vagy más célkitűzéseik elérését.

Ilyen célra kiválóan alkalmasak a polgári repülőterek elleni támadások, a repülőgép-ellátások, robbantások vagy gépellövés, az utasok nagy száma és kiszolgáltatottsága miatt. Ennek elrettentő példája 2001. szeptember 11-e, amikor az al-Káida terrorszervezet három

¹¹ Sági (2008) i. m. (6. l.) 1–6.

¹² Szélnyírás: „A szélnyírás a szélesebbég vektor térbeli megváltozását jelenti. A gyakorlatban legjobban úgy szemléltethető, hogy két, általában különböző magasságú pont szélesebbég vektorának különbségét képezzük. Miatán a szélesebbég vektor mennyiség, ezért az irányszöge és az abszolút nagysága is számít. A szélnyírás kimutatására, mérésére toronyméréseket, meteorológiai léggömböket, valamint úgynevezett windprofilert alkalmaznak.” Szélnyírás. 2020. Elérhető: www.metnet.hu/kislexikon/szelynyiras (A letöltés dátuma: 2020. 02. 18.)

eltérített repülőgéppel támadást intézett az USA New York-i Világkereskedelmi Központ iker tornyai, valamint a Pentagon Virginia állambeli arlingtoni épülete ellen. A merénylet a gépeltérítőkkal együtt 3031 emberéletet követelt.¹³

Hasonló veszélyt jelent a repülőgépek szándékolt vagy tévedésből történő lelövése, amelynek bizonyítása nehéz, különösen akkor, ha a katasztrófa hadműveleti terület felett történt. Jó példa erre a 2. ábrán látható Irán által 2020. január 8-án lelőtt, Teheránból Kijevbe tartó Boeing 737-es ukrán utasszállító repülőgép esete.¹⁴



2. ábra

Teheránból Kijevbe tartó, lelőtt Boeing 737-es egy darabja. Forrás: Carol Hills: Evaluating video of the deadly Ukraine Airlines crash. The World, 2020. Elérhető: www.pri.org/programs/world/evaluating-video-deadly-ukraine-airlines-crash (A letöltés dátuma: 2020. 04. 15.)

2.6. A repülőterek megközelítésével összefüggő veszélyeztető tényezők

A repülőterek megközelítése előre kidolgozott, a repülőterrendekben meghatározott módon történik. A katonai és a polgári repülőterek egyaránt rendelkeznek VFR (*Visual Flight Rules* – látva repülési szabályok) és IFR (*Instrument Flight Rules* – műszeres repülési szabályok) bejöveteleli eljárások rendjével, amelynek szabályait be kell tartani. A körzetbe való belépéskor a személyzetnek helyzetjelentést kell adni a körzetben jogosultsággal rendelkező irányító- vagy a repüléstájékoztató szolgálat felé. A repülőgép személyzetének ismernie kell az induló és érkező repülőterek elhelyezkedését, méreteit, fogadóképességét, a forgalmi körök nagyságát és irányát. A legnagyobb veszélyt a biztonságos megközelítési magasság be nem tartása jelenti, amelyet a terepakadályok (rádióadó-tornyok, átjátszó állomások, gyárkémények, magasfeszültségű vezetékek stb.) határoznak meg. Ezeket a repülőterre érkező repülőgép-vezetőnek ismernie kell. A fel- és leszállás a legbonyolultabb, legösszetettebb manőver egy repülés folyamán, amit a repülésirányítás által kiadott utasítások figyelembevételével kell végrehajtani. Téves információk és adatok közlése vagy azok félreértelmezése, esetleg a repülőtéri rend szabályainak megsértése könnyen okozhat repülőbalesetet, katasztrófát. A leszállásokat

¹³ 2001. szeptember 11-i terrortámadás. Elérhető: <http://tortenelem.tlap.hu/magazin/2001-szeptember-11-i-terortamadas/> (A letöltés dátuma: 2020. 02. 24.)

¹⁴ Németh András: Repülőrejtély – amit a Teheránnál szerencsétlenül járt ukrán gépről tudni lehet. HVG, 2020. Elérhető: https://hvg.hu/vilag/20200110_iran_ukrajna_kanada_legibaleset_teheran_raketatamadas (A letöltés dátuma: 2020. 02. 18.)

a repülésirányító-szolgálat mellett irányadók, radarok és egyéb leszállítórendszerek segítik, amelyek meghibásodása, áramellátásának hiánya a leszállás sikertelenségéhez vezethet.

Napjainkban új veszélyforrást jelentenek a drón repülőgépek, amelyek szabálytalan, engedély nélküli repültetése, összeütközéses kockázatot jelent.

Külön ki kell emelni a repülőterek megközelítése közben, vagy a fel- és leszállás során történő madarakkal vagy más nagy testű állatokkal való ütközés veszélyét, amely gyakran okoz kisebb vagy nagyobb balesetet, de katasztrófát is eredményezhet.

2.7. Repülőgépek madarakkal és nagy testű állatokkal történő ütközésének veszélye

A repülés során gyakran előfordul a madarakkal történő ütközés, amely történhet nagy és kis magasságban, valamint fel- és leszállás közben. Az utóbbiak a legveszélyesebbek, mert az elkerülés esélye minimális, valamint a kényszerleszállás lehetősége is korlátozott, különösen hajtóműleállás esetén. Nagy magasságban és nagy sebesség mellett történő ütközés esetén számolni kell a repülőgép sárkányszerkezetének és hajtóműveinek sérüléseivel. Rosszabb esetben az üvegezett felületek betörése hermetizációs problémát okozhat, és ez beláthatatlan következményekkel járhat.

Landolás és felszállás közben vagy földi gurulás során lehetséges nagy testű állatokkal (őz, szarvas, vaddisznó stb.) történő ütközés, amely a repülőgépek futóművében vagy más szerkezeti elemében okozhat sérülést. Az ilyen veszélyek elkerülése érdekében a repülőtereken, vad- és madárriasztó rendszerek kiépítésével védekeznek. Egy madárral való ütközés eredménye látható a 3. ábrán.



3. ábra

Madárral ütközött utasszállító repülőgép. Forrás: Alig láttak ki a vértől az utasszállító pilótái. Origo, 2018. Elérhető: www.origo.hu/utazas/20181210-alig-lattak-ki-a-vertol-az-utasszallito-pilotai-madar-utkozes.html (A letöltés dátuma: 2020. 02. 24.)

2.8. A repülőgépek technikai színvonalával és karbantartottságával összefüggő veszélyeztető tényezők

Ezek összetett veszélyforrások és gyakran gazdasági okokra vezethetők vissza. Ilyen veszélyeztető tényezők lehetnek például, ha a gépeket egyes alkatrészek vagy hajtóművek üzemidejének lejártá után is repültetik, vagy az előírt technológiai előírásokat megsértve, később hajtják végre a felülvizsgálatokat és nagyjavításokat stb. Több olyan légitársaság is létezik, amely nem tudja repülőgépeit leváltani modernebb típusokra, így a technológia elavultsága és szerkezeti elöregedése miatt az átlagosnál több műszaki meghibásodással, balesettel, katasztrófával végzik mindennapos tevékenységüket. Az is előfordulhat, hogy az olcsóbb cserealkatrészeket vagy berendezéseket építik be a gyári alkatrészek helyett. Nem lehet kizárni az emberi hanyagságból adódó javítási és üzemeltetési hibákat sem. A fenti veszélytényezőkkel működő légitársaságokat az emberek többsége igyekszik elkerülni, amely további üzemeltetési költségmegerősítésként eredményezhet. Amennyiben nincs anyagi fedezet a modernizációra, a gyári alkatrészek beszerzésére, a technológia szerinti javításokra, olyan légi meghibásodások következhetnek be, amelyek súlyos következményekkel járhatnak.

2.9. A repülőgépek légi meghibásodásaival összefüggő veszélyforrások

A gondos, szakszerű üzemeltetés és javítások ellenére is előfordulhatnak különböző légi meghibásodások, amelyek hatása és következménye eltérő lehet. Beláthatatlan következményekkel járhatnak például a kormányrendszerek szerkezeti elemeinek anyaghibáiból adódó törései, különböző maradandó alakváltozások, a hidraulika és a levegőrendszerek meghibásodása, elektromos és hajtóműtüzek, a futóművek kiengedésének és rögzítésének hibája, a kommunikációs, navigációs berendezések meghibásodása, a robotpilóta és a vezérlés működőképzetlensége stb. Katonai gépeknél rendkívül veszélyes a fegyverrendszerek meghibásodása, a függesztmények elvesztése, a változtatható szárnynyílazású repülőgépek esetében az állító mechanizmus hibái¹⁵ stb.

Nem minden légi meghibásodás okoz katasztrófát, gyakran a tartalék és vészrendszerek segítségével a repülés és a leszállás végrehajtható.

2.10. Meggondolatlan emberi cselekedet okozta veszélyeztető tényezők

Egyre gyakrabban hallani olyan esetekről, hogy fel- és leszállás közben, vagy hazatérve a megközelítési eljárás végrehajtása alatt, a pilótákat lézerfényvel elvakítják. Ide sorolandók még a nagy teljesítményű reflektorok szabálytalan használata, a drónok tiltott helyen, szabályellenesen történő repültetése, valamint más repülőeszközökkel (hőlégballonok, sárkányrepülő, sportrepülő), a szabályosan közlekedő repülőgépek útvonalának felelőtlen keresztezése stb. Ezek általában meggondolatlan emberek cselekedeteivel függenek össze, akik nem számolnak a következményekkel. Megakadályozásuk és felderítésük – a szabálytalankodó repülőgép-vezetőket kivéve – nem egyszerű feladat, gyakran nem találják meg az elkövetőket.

¹⁵ Katonai repülésben használatos, a nagyobb sebességi tartományban repülés elérésére fejlesztették ki.

3. Repülőterek működésének biztonságát veszélyeztető tényezők csoportosítása, alapvető jellemzői

A repülőterek működését több olyan veszélyforrás befolyásolja, amelyek veszélyeztetik annak biztonságát, legyen az polgári vagy katonai. Ez utóbbinál a veszélyforrások fokozottabban jelentkeznek a repülőtereken tárolt nagy mennyiségű lőszer, veszélyes és robbanóanyag miatt. Ebből adódóan, egyes területeken a katonai repülésre szigorúbb szabályok és követelmények vonatkoznak, mint a polgáriakra. A repülőterek többsége lakott területeken kívül helyezkedik el, területük több négyzetkilométer is lehet, kialakításuk függ az alaprendeltetésüktől, az általuk lebonyolított légi forgalom nagyságától. A létesítés és működőképesség szempontjából több alapvető követelménynek¹⁶ kell megfelelniük, amelyeket ICAO-szabványok írnak elő.¹⁷ Kialakításuk összhangban van a feladatrendszerükkel. Ebben a fejezetben a repülőterek működését veszélyeztető tényezők alapvető csoportjait és jellemzőit mutatom be.

3.1. Repülőterek biztonságos működését veszélyeztető természeti veszélyforrások

A természeti veszélyforrások csoportjába tartoznak azok a hidrológiai, geológiai és meteorológiai jelenségek, amelyek súlyos anyagi károkat képesek okozni a természeti és épített környezetben.¹⁸ Közülük csak azokat vizsgálom, amelyek hatásaik révén akadályozzák vagy megbénítják a repülőterek működését.

A hidrológiai veszélyek elsősorban a hegy- és dombvidék által határolt repülőtereken okoznak problémát, ahol a nagy mennyiségű csapadék villámárvizet okozhat. Rövid idő alatt megrongálhatja az épületeket, eláraszthatja a fel- és leszállópályákat, a gurulóutakat, tönkretelheti az energia- és közműhálózatot, a repülésirányító földi rendszereket, berendezéseket. Bár kevés ilyen repülőtér létezik, de azok működését olyan vízelvezető rendszerek kialakításával biztosítják, amelyek képesek a villámárvizek kialakulásából adódó hatásokat csökkenteni. Ártérbe épült repülőtér nem jellemző, de előfordul. Ilyen például a Szolnok-Szandaszőlős sportrepülőtér, amely elárasztás esetén üzemképtelenné válik. Itt a jellemző védekezési forma az épületek cölöpalapokon történő elhelyezése.

A geológiai veszélyek csak ritkán fordulnak elő, legfeljebb régi telepítésű repülőtereknél, mert *újak létesítése* földrengésveszélyes területekre nem engedélyezett. Nagyobb földrengéseknél számolni kell az épületek, a gurulóutak, a felszállópályák romosodásával, a közművek, az energiarendszerek sérülésével, valamint a repülőtér fogadóképtelenné válásával. A helyreállítás hosszú időt vesz igénybe, nagy anyagi ráfordítással jár együtt. A kisebb földmozgások

¹⁶ Alapvető követelmények: „Azok a feltételek, amelyeket egy terméknek, infrastruktúrának, személynek vagy szervezetnek teljesítenie kell ahhoz, hogy minél inkább biztosítani lehessen, hogy gyakorlatuk, műveleteik vagy tevékenységeik indokolatlanul ne hassanak ki a lakosságra. Következésképpen azokat az eszközöket érintik, amelyekkel egy bizonyos tevékenységhez kapcsolódó kockázatok megszüntethetők vagy elfogadható szintre csökkenthetők az ésszerűség határain belül.” *A repülőterek biztonságának és interoperabilitásának szabályozására vonatkozó alapvető követelmények*. 1. melléklet a 03/2007. sz. véleményhez. Elérhető: www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA-2007-0011-00-00-ENHU.pdf (A letöltés dátuma: 2019. 07. 08.) 3.

¹⁷ Uo. 5–19.

¹⁸ *Katasztrófatípusok*. Elérhető: http://regi.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=lakossag_kattipus (A letöltés dátuma: 2019. 07. 08.)

kevésbé pusztítanak, az épületekben és a betonozott felületekben keletkezett sérülések, repedések, a talajfelszíni változások viszonylag rövid idő alatt és kis költséggel javíthatók. Ekkor a repülőtereket nem kell lezárni, de csak korlátozottan tudnak repülőgépeket fogadni és indítani.

A *meteorológiai veszélyek* csoportjába tartoznak a szélviharok, a heves esőzivatarok, a rendkívüli hideg, a havazás, az utak, betonfelületek jegesedése stb. Ezek előfordulása gyakori, hatásaikkal folyamatosan számolni kell. A szélviharok akadályozzák vagy lehetetlenné teszik a fel-, és leszállást, a kisebb súlyú repülőgépeket fel is boríthatják. Az esőzivatarok és felhőszakadások következtében víz alá kerülhetnek a felszállópályák, tönkremehetnek a vízelvezető rendszerek és a repülőteret hosszabb-rövidebb időre lezárhatják. A zivatarok intenzív villámlásokkal járnak együtt, amelyek veszélyesek a repülésre, ezért mindaddig, amíg azok a repülőtér közelében zajlanak, a gépek fogadását és indítását fel kell függeszteni. Télen a rendkívüli havazás, a hideg és a jegesedés akadályozza a repülőterek működését, a felszállópályák és a gurulóutak jégtelenítéséről folyamatosan gondoskodni kell.

A meteorológiai jellegű veszélyeztető tényezők hatásukat tekintve viszonylag rövid ideig tartanak, a járatkimaradások, a késések, valamint a különböző karbantartási és javítási munkák miatt az okozott károk elsősorban gazdasági jellegűek, repülőgép-sérüléseket, baleseteket, katasztrófákat csak ritkán okoznak.

3.2. Repülőterek elleni támadások, robbantásos cselekmények veszélyei

A terrorizmus megjelenésével a repülőterek és a repülőgépek elleni támadások a terroristák kedvenc célpontjává váltak, amelyre az utóbbi évtizedekben számtalan példát lehet említeni. Különösen igaz ez a polgári repülésre és repülőterekre. A nagy utasforgalom miatt az elkövetőket nehéz felderíteni. A repülőterek folyamatos és teljes körű őrzés-védelmének a megvalósítása rendkívül bonyolult és költséges, valamint az épületek kialakítása, a helységek nagy száma jó lehetőséget biztosít a robbanóanyagok és szerkezetek elrejtéséhez.

A könnyű megközelítés miatt *elsődleges támadási célpontok* a parkolók, ahol a nagy forgalom miatt egy támadás súlyos károkat okozhat. A repülőterek működésében csak kisebb, rövid idejű zavart és fennakadást okoznak, viszont az utasforgalom csökkenése miatt gazdasági károkkal kell számolni.

Másodlagos célpontként az utasterminálok jöhetnek szóba. Egy ilyen támadás a repülőterek működésében, utasforgalmában komoly károkat okozhat. Az utasok között elvegyülve, egy öngyilkos merénylő vagy egy tettes könnyen bejut az épületbe, el tudja rejteni a robbanószerkezetet, végre tudja hajtani a robbantást, amely katasztrófális hatással lehet az emberekre, de súlyos károkat okozhat az épület szerkezetében is. Az ellenük való védekezés összetett feladat. A videó- és az elektronikai rendszerek alkalmazása mellett, különböző védelmi akadályok kiépítése is szükséges, de nem lehet nélkülözni az élőerős őrzés-védelmet

sem. Továbbá speciális építészeti megoldásokkal, a tartóelemek megerősítésével¹⁹ a robbanások hatásai csökkenthetők.²⁰

A repülőterek működését és fogadóképességét meg lehet bénítani, ha azok üzemyanyag- és energiaellátó rendszerét, fel- és leszállító berendezéseit vagy kommunikációs és irányítási rendszerét éri támadás. Ez történhet külső helyszínről például rakétákkal, esetleg más rombolófegyverrel, vagy belső szabotázsakciókkal.

Külső támadások esetén a legnagyobb veszélynek a fel- és leszálló repülőgépek vannak kitéve, mert azok kézi fegyverekkel is lelőhetők. Az utóbbi évtizedekben külső jellegű támadások csak ritkán fordultak elő, legfeljebb csak polgárháborús területeken.

3.3. A repülőterek energia- és irányítórendszereinek meghibásodásából adódó veszélyforrások

A repülőterek energiaellátása sokrétű, többoldalú betáplálással valósul meg, amelyek közül a villamosenergia-felhasználás a meghatározó. Ezzel az energiafajtával működnek a leszállító rendszerek, a rádiókommunikációs berendezések, a meteorológiai radarok, az informatikai repülésirányítási eszközök stb. Meghibásodásuk súlyos zavart okozhat a repülőterek működésében, hosszabb-rövidebb időre működés- és fogadóképtelenné válhatnak. Fontos kiemelni, hogy a repülésirányítási rendszerek a kritikus információs infrastruktúrák²¹ rendszerén belül, a funkcionális információs infrastruktúrába²² tartoznak, és ezek működésének biztosítását kiemelten kell kezelni.

Szintén villamos energia szükséges az olyan informatikai adatszolgáltató berendezések működtetéséhez, mint például a járatok digitális menetrendje, az utastájékoztató hálózatok, valamint a repülés, a meteorológiai állomásokon kiépített lokátorrendszerek, vagy az utasok adatait nyilvántartó számítógépes adatbázisok. Ezek működőképtelensége káoszt teremthet a légi forgalom szervezésében, járatkéséseket okozhat, az utasok körében pánikhelyzetet

¹⁹ Például: „Hagyományos vasbeton oszlopok robbantás elleni megerősítéséhez szénszálalás műanyagot használnak, mellyel egészen közeli robbantás esetén is szinte rugalmasan viselkedik az egyébként merev szerkezet. Kísérletek bizonyítják, hogy a szálerősített szövetes megoldással az összeomlás elkerülésére nagyobb esély van a vasbeton vázas épületek ellen elkövetett robbantásos merényletek esetén és kevesebb halálos áldozattal is járnak.” Balogh Zsuzsa: Repülőtéri épületek védelme terrorista robbantások ellen. *Repüléstudományi Közlemények*, (Különszám) 21. (2009), 2. 1–6. 3. Elérhető: https://epa.oszk.hu/02600/02694/00048/pdf/EPA02694_rtk_2009_2_Balogh_Zsuzsanna.pdf (A letöltés dátuma: 2019. 07. 04.)

²⁰ Uo. 1–6.

²¹ Kritikus információs infrastruktúrák: „Az információs rendeltetésű infrastruktúrák olyan állandóhelyű vagy mobil létesítményeket, eszközöket, rendszereket, hálózatokat, illetve az általuk nyújtott szolgáltatásokat foglalnak magukba, melyek az információs társadalom működéséhez szükséges információk megszerzését, előállítását, tárolását, szállítását és felhasználását teszik lehetővé.” Haig Zsolt – Kovács László: *Kritikus infrastruktúrák és kritikus információs infrastruktúrák*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2012. 37. Elérhető: www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/kritikus_infrastrukturak.pdf (A letöltés dátuma: 2019. 07. 06.)

²² „A funkcionális információs infrastruktúrákat feladatorientált információs szolgáltató infrastruktúráknak is lehet nevezni. Rendeltetésük, hogy fizikailag lehetővé tegyék a társadalom valamilyen információs funkciójának zavartalan működését, vagyis infrastrukturális alapon információs alapszolgáltatásokat végezzenek. Az információs társadalom információs infrastruktúráin belül ezek az elsődlegesek. Biztosítják az információk megszerzését, előállítását, továbbítását, feldolgozását és felhasználását. A funkcionális információs infrastruktúrák rendszerint nagyterjedésű, bonyolult szervezésű hálózatok vagy rendszerek formájában működnek.” Haig–Kovács i. m. (21. l.) 39.

idézhet elő, vagy agresszivitást válthat ki. A repülőtér teljes működését várhatóan nem bénítja meg, de a fogadóképességet hátrányosan befolyásolja.

Ezzel az energiafajtával működnek egyes javító- és kiszolgálóberendezések, technikai eszközök, a vízvezető rendszerek, a közműhálózatok szivattyútelepei, valamint ezek szabályozó berendezései, a tér és az épületek világítása, a különböző létesítmények klímaberendezései, az épületüzemeltetési automatikák, az őrzés-védelmi rendszerek stb. Az utóbbi években foszszilis energiák helyett gyakran használnak fűtési célra villamos energiát a környezetterhelés csökkentése miatt. Közülük nagy problémát okozhatnak az irányítási, a kommunikációs rendszerek, a létfontosságú épületek őrzés-védelmi hálózatával, valamint pályák víztelepítési rendszereivel kapcsolatos meghibásodások. A többi a repülőtér teljes működésének és fogadóképességének megszűnését csak ritkán eredményezi.

3.4. A repülőterek működését biztosító rendszerek, objektumok műszaki állapotával összefüggő veszélyeztető tényezők

A repülőtér különböző rendszereinek, létesítményeinek karbantartási színvonalát elsősorban a rendelkezésre álló pénzügyi források határozzák meg. Az elavult kiszolgáló- és irányító-rendszerek, valamint az energia- és közműhálózatok, vagy műszakilag leromlott, alaprendeltetésének csak részben megfelelő létesítmények üzemeltetése gazdaságtalan, mert sok a meghibásodás, javítóanyag-beszerzési és -utánpótlási problémák léphetnek fel, és alacsony határfokkal működnek. A meghibásodások kiszámíthatatlansága és gyakorisága veszélyezteti a repülőtér biztonságos és megbízható működését, valamint a repülőgépek terv és menetrend szerinti indítását, fogadását. Mindezek hátrányosan befolyásolják a repülőtéri dolgozók kiszámítható, terv szerinti munkavégzését, a végrehajtás színvonalát, a munkafeltételeket és körülményeket is. A várható forgalmi zavarok, a karbantartatlan épületek lehangoló látványa negatívan befolyásolja az utasok repülőtér iránti bizalmát, ezáltal csökkenhet az utasforgalom, ami gazdasági károkat okozhat.

Különösen veszélyesek az energiarendszerek, a légi irányítás, az informatikai és kommunikációs, valamint leszállórendszerek karbantartási hiányosságai, az őrzés-védelmi rendszerek korszerűtlensége, mert ezek a repülésbiztonság mellett a repülőtér működését és védettségét egyaránt veszélyeztetik.

A modernizáció, valamint a folyamatos karbantartási munkák, javítások elvégzése hosszú távon megtérül, mert nemcsak növeli a repülésbiztonságot, hanem javítja a munkakörülményeket, a munkavégzés színvonalát, hatékonyságát is, valamint növeli az utasok bizalmát, amely forgalom- és bevételnövekedést okoz.

3.5. A kiszolgáló technikai eszközök műszaki állapotával kapcsolatos veszélyforrások

A repülőterek biztonságos működésének alapja, hogy a kiszolgálás magas színvonalon valósuljon meg. Ennek feltétele, hogy a szükséges technikai eszközök legyenek korszerűek és üzemképesek. Ez rendkívül költséges, ezért az üzemeltetők gyakran prioritásokat állítanak fel a fejlesztések, a korszerűsítések, valamint a javítások elsődlegességével kapcsolatban. Bár ezek között nem

foglal el kiemelkedő helyet a kiszolgáló technikai eszközök korszerűsége, de működőképességüket mindig biztosítani kell. Ebbe a csoportba soroljuk azokat az eszközöket, amelyek a repülőgépek repülési feladatra történő előkészítéséhez és a repülőtér üzemeltetéséhez, karbantartásához szükségesek. A legfontosabbak például az *üzemanyag*-szállító gépjárművek; tűzoltó és mentőautók, generátorral felszerelt indító járművek; oxigént és nitrogént töltő tehergépkocsik; hidraulikarendszerek földi ellenőrzésére használt gépjárművek, daruk; műhelykocsik; buszok, személygépkocsik; tehergépjárművek; valamint a műszakimentő-felszerelések stb.

Ezek üzemképtelensége közvetlenül nem okoz repülőbalesetet, de súlyos következményekkel jár, ha például a tűzoltó gépjárművek vagy a műszaki mentőkocsik stb. nem érkeznek ki időben egy repülőszerecséltenség helyszínére. A korszerűtlen, elavult és gyakran meghibásodó géppark működőképességének fenntartása gazdaságtalan, ilyen eszközökkel nehéz megvalósítani a repülőtér biztonságos üzemeltetését. A váratlan meghibásodások hátrányosan befolyásolják az utasok és a repülőgépek időben történő kiszolgálását, a tervszerű repülést, amelyek gyakran okozhatnak késéseket, menetrendváltozásokat. Ennek viszont káros gazdasági következményei lehetnek.

4. Az emberek repüléssel kapcsolatos véleményét befolyásoló tényezők, a negatív megítélés csökkentésének lehetőségei

Az emberek életében a biztonság érzékelése és jelenléte rendkívül fontos szerepet tölt be. Akár közlekedésről, akár munkavégzésről vagy szabadidős tevékenységről van szó, mindig igénylik, hogy biztonságban érezzék magukat. Általános megközelítésben a biztonság, a fenyegetettség vagy veszély hiányát jelenti, de valójában ez az állapot sohasem éri el a 100%-ot. A biztonság megítélése az emberek biztonságérzete szempontjából nagyon eltérő. Nagyban függ az illető személyes tulajdonságaitól, a stressztűrő képességétől, a veszélyek kialakulásával, hatásaival összefüggő tények, valamint a védekezés lehetséges megoldásainak ismeretétől, az ezzel kapcsolatos tapasztalataiktól, mások véleményétől és természetesen az életkorától stb.²³ A fentiek miatt nincs rá pontos fogalmi meghatározás.

Másképpen ítélik meg a repülés és a repülőterek biztonságos működését a hajózó személyzetek, a repülőtéri dolgozók, az utasok és azok az átlagemberek, akiknek nincs kapcsolata a repüléssel. A különböző csoportba tartozó emberek véleményének kialakításában alapvető szerepe van a repüléssel, a repülőterekkel, a lehetséges veszélyforrásokkal kapcsolatos ismereteknek, a személyes tapasztalatoknak, az átélt élményeknek, valamint a média vagy mások által közölt információknak.

4.1. A repülőgép-személyzet és a repülőtéri dolgozók véleményét befolyásoló tényezők, a negatív megítélés csökkentésének lehetséges megoldásai

Azok az emberek, akik munkájuk során közvetlen kapcsolatban vannak a repüléssel, rendelkeznek olyan elméleti és gyakorlati ismeretekkel, hogy az átlagemberhez képest realisabban

²³ Halász László – Földi László: *Környezetbiztonság*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztviselőképző Kar, 2014. 7–36.

tudják megítélni a repülés biztonságos végrehajtását, a veszélyforrásokat és azok hatásait, valamint az ellenük való védekezés lehetőségeit, korlátait. Véleményüket saját szakmai tudásuk és tapasztalataik alapján alakítják ki. Ezek részben eltérőek, de összességében pozitívan értékelik a szakterületükkel és munkaterületükkel kapcsolatos biztonság kérdését. Esetenként, a felmerült hiányosságok miatt problémásnak ítélnék meg bizonyos helyzeteket, de ez csak annak kijavításáig vagy megszüntetéséig tart. Fontos számukra a munkájuk anyagi elismerése, a megfelelő munkakörnyezet kialakítása, az ergonómia és a nyugodt munkahelyi légkör megteremtése.²⁴ A rossz munkahelyi körülmények (hő-, zaj- és rezgésterhelés, stressz) káros hatást gyakorolnak az emberek szervezetére, amelyek teljesítőképességüket és véleményüket képesek negatív irányba befolyásolni.²⁵ A repülés területén dolgozók negatív véleményét az alábbi megoldásokkal csökkenteni lehet:

- megfelelő munkakörülmények kialakításával;
- a biztonsági előírások, rendszabályok szigorú betartásával, amely növeli a dolgozók biztonságérzetét;
- a feladatok pontos, szakszerű végrehajtásával, a munkavégzés tárgyi és személyi feltételeinek biztosításával;
- rendszeres továbbképzésekkel, amelyekkel fejleszteni lehet a dolgozók szakmai ismereteit;
- a dolgozók folyamatos tájékoztatásával a lehetséges veszélyforrásokról, azok okairól, várható hatásairól, valamint a védekezés megoldásairól, a megvalósítás helyzetéről;
- a biztonságot érintő problémákról, balesetekről és katasztrófákról időben történő tényszerű tájékoztatással;
- a megtörtént légi meghibásodások, repülőbalesetek, üzemeltetési problémák okainak feldolgozásával, a megtett intézkedések és azok eredményeinek ismertetésével;
- megfelelő biztonsági rendszerek kiépítésével biztosítani lehet a dolgozók és a létfontosságú rendszerek, objektumok védelmét;
- a repülőgép-személyzetek és az utasok repülés közbeni védelmének fokozásával;
- megfelelő bérezéssel és munkahelyi légkör kialakításával.

4.2. Az utasok véleményét befolyásoló tényezők, a negatív megítélés csökkentésének lehetséges megoldásai

Az emberek biztonságérzetét és a repülés biztonságával kapcsolatos véleményét az általuk látott és érzett tényezők, valamint a különböző hírforrásokból szerzett információk alapvetően befolyásolják. A legtöbb ember elsősorban a légörvényektől, a felhőzettől, a magasságtól, a bezártsági érzéstől és a műszaki meghibásodásokról fél. Ezek olyan főbiákat okozhatnak

²⁴ „Az ember a munkahelyén meghatározott körülmények között köteles tevékenykedni. Ezek a körülmények, amelyek számos fizikai, biológiai, kémiai, ergonómiai és pszicho-szociális hatást váltanak ki, nagymértékben befolyásolják a teljesítőképességét.” Dunai Pál – Sági Lajos: A repülésirányítás humán aspektusai. In Palik Mátyás (szerk.): *A repülésirányítás alapjai*. Budapest, Dialóg Campus, 2018. 165–178. 170. Elérhető: [www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/Palik%20M%C3%A1ty%C3%A1s%20\(szerk.\).pdf](http://www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/Palik%20M%C3%A1ty%C3%A1s%20(szerk.).pdf) (A letöltés dátuma: 2019. 07. 06.)

²⁵ Uo. 165–178.

náluk, mint például a klausztofóbia és a tériszony.²⁶ „Egy amerikai kutatás szerint, az utasok mintegy 80%-a szorong a beszállás folyamán, a lakosság 10%-a szenved repülésfóbiában, és 20%-a hajlandó repülni, de csak félelem, szorongás mellett.”²⁷ „A legtöbb esetben megjelennek a fizikai jelek is, melyek rendszerint a pánikbetegség jellemző tünetei. Felléphet légszomj, fulladásérzés, a száj kiszáradása, szédülés, zsidbadás, hőhullámok, remegés, reszketés, hidegrázás, erős, szapora szívverés, mellkasi- és hasi fájdalmak vagy akár fejfájás is. Az illető a bizonytalanságérzés mellett akár halálfélelmet is érezhet, sőt szélsőséges esetben felbomolhat realitás érzete, a gondolkodását irányítotttnak, saját magától idegennek élheti meg, és retteghet a megőrüléstől.”²⁸ A fentiekén túl, véleményüket negatívan befolyásolják még a repüléssel kapcsolatos ismeretek hiánya, az utazás során a nyelvi nehézségek, a kiszolgáltatottság érzése, a rémhírek, valamint a fenyegető tragédia elképzelt fantáziaképei.²⁹ Az utasok többsége szorongással ül fel a repülőgép fedélzetére, mert hiányos ismeretekkel rendelkeznek a lehetséges veszélyforrásokról, azok hatásairól, valamint az elkerülésük módjairól. Gyakran ilyen dolgok miatt alakul ki az emberekben az a vélemény, hogy a repülés nem biztonságos, veszélyekkel teli tevékenység. A negatív véleményeket az alábbi megoldásokkal csökkenteni lehet:

- az utasok és az átlagemberek számára is elérhető, a repüléssel kapcsolatos tájékoztató és felkészítő oktatócsoomagok (tájékoztató füzetek, könyvek, ismeretterjesztő és oktatófilmek stb.) készítésével és kiadásával, amelyek alapvető elméleti és gyakorlati ismereteket tartalmaznak a repülésről, a repülőterek kialakításáról, működéséről és biztonságot növelő megoldásokról;
- a légitársaságok által készített, hozzáférhető promóciós anyagok (újságok, könyvek, DVD stb.) kiadásával, amelyben bemutatják a légitársaság működését, eredményeit, gépparkjának technikai színvonalát, a repülőgépeken és a repülőtereken alkalmazott biztonsági megoldásokat, rendszabályokat stb.;
- a hazai légi forgalom és repülőterek működésének biztonsági kérdéseivel és megoldásaival kapcsolatos információk közmédiában történő közlésével;
- olyan kiadványok szerkesztésével és kiadásával, vagy ismeretterjesztő filmek készítésével, amelyek mindenki számára érthető formában és tényszerűen mutatják be a repülést és a repülőterek biztonságos működését, a veszélyeztető tényezőket, azok kialakulásának okait, következményeit, a védekezés lehetséges megoldásait;
- a megtörtént repülőbalesetek, katasztrófák okairól és következményeiről hiteles és tényszerű tájékoztatással;
- a repülőgépek fedélzetén történő, a vészhelyzetben követendő magatartási szabályokkal, tevékenységekkel kapcsolatos, több nyelven íródott tájékoztató füzetek biztosításával;

²⁶ Szabó Elvira: *Csak semmi pánik! – A 7 leggyakoribb félelem repülés közben*. 2018. Elérhető: https://lelkizona.blog.hu/2018/04/19/csak_semmit_panic_a_7_leggyakoribb_felelem_repules_kozben (A letöltés dátuma: 2020. 03. 14.)

²⁷ Süli Ágota: *Repülés félelem nélkül*. Elérhető: www.dr.suliagota.hu/pub01.html (A letöltés dátuma: 2020. 03. 14.)

²⁸ Repülési fóbia. Van-e megoldás a repüléstől való félelemre? *HVG*, 2007. Elérhető: https://hvg.hu/plazs/repulesi_fobia (A letöltés dátuma: 2020. 03. 14.)

²⁹ Szabó i. m. (26. l.)

- megfelelő biztonsági rendszerek kiépítésével megakadályozni a repülőgépek eltérítését, a repülőtéri lopásokat, erőszakos cselekményeket, az ártó szándékú földi és légitámadásokat;
- nyílt repülőnapok, repülőtéri látogatások, sport- és sétarepülések szervezésével népszerűsíteni a repülést, bővíteni az emberek repüléssel kapcsolatos ismereteit, csökkentve ezzel félelmüket, fenntartásukat.

A fentiek alapján megállapítható, hogy a két csoport véleményének különbsége elsősorban az eltérő tájékozottságból, felkészültségből és a személyes tapasztalatokból adódik. A repülőgép személyzete és a repülőtéri dolgozók több ismerettel rendelkeznek, ezért a repülést biztonságosabbnak tartják, mint az átlagemberek.

5. Összefoglalás

Az emberek megítélése szerint a repülés még ma is veszélyes, annak ellenére, hogy a repülőgépek technikai fejlesztései, valamint a repülőterek korszerűsítései, a kiszolgálási és üzemeltetési eljárások új módszerei nagyban hozzájárultak ahhoz, hogy napjainkra elfogadott közlekedési formává vált. A repülés biztonságát, valamint a repülőterek működését számtalan veszélyforrás befolyásolja. Nem lehet minden veszélytényező elhárítására felkészülni, mert ezek gyakran váratlanul következnek be, és legtöbb esetben a hatásuk kiszámíthatatlan. Az utóbbi években bekövetkezett légi- és repülőtéri balesetek, katasztrófák, gyakran karbantartási hiányosságokra, légi irányítási problémákra, a repülőgép személyzetének hibáira, a technológiai fegyelem megsértésére, vagy a repülőgépek és repülőterek elleni támadásokra vezethetők vissza. A szerző ebben a cikkben külön-külön megvizsgálta és rendszerezte a repülés és a repülőterek biztonságos működését negatívan befolyásoló veszélyforrásokat, és ismertette ezek alapvető okait, várható hatásait. Megállapította, hogy a repülések biztonságos végrehajtását veszélyeztető tényezőket 10 alapvető csoportba lehet sorolni, amelyek közül ki kell emelni a meteorológiai, a gépeltérítési, madarakkal történő ütközések, valamint az emberi gondatlan cselekedetekkel összefüggő veszélyeket, mert ezek sokszor váratlanul következnek be és hatásaik kiszámíthatatlanok.

A repülőterek zavarmentes működését veszélyeztető tényezők 5 alapvető csoportjából a legveszélyesebbek az energiakimaradások, az irányító- és leszállórendszerek működőképzetlensége, valamint a meteorológiai hatások. A terrorizmus megjelenésével gyakoribbak lettek a repülőterek elleni támadások, de a védelmi és biztonsági rendszerek fejlesztésével ezek napjainkban csökkentek. Annak ellenére, hogy a légi közlekedés fejlődésével az utasok száma is rohamosan emelkedik, még mindig sokan vannak, akik veszélyesnek tartják a repülést, fenntartásaik vannak a biztonságával szemben. A szerző megállapította, hogy véleményüket negatívan befolyásolják a magasságtól, a bezártságtól, a műszaki meghibásodásoktól való félelem, valamint a repüléssel kapcsolatos ismeretek hiánya, az utazás során a nyelvi nehézségek, a kiszolgáltatottság érzése, a rémhírek, valamint a fenyegető tragédia elképzelt fantáziaképei. Ettől eléré azoknak a véleménye, akik valamilyen formában munkájuk révén, kapcsolatba vannak a repüléssel. Végezetül a szerző javaslatot tesz olyan megoldásokra, amelyekkel az embereknek a repülés biztonságával szembeni fenntartása, negatív véleménye csökkenthető.

Felhasznált irodalom

2001. szeptember 11-i terrortámadás. *Történelem magazin* Elérhető: <http://tortenelem.tlap.hu/magazin/2001-szeptember-11-i-terrortamadas/> (A letöltés dátuma: 2020. 02. 24.)
- Alig láttak ki a vértől az utasszállító pilótái. Origo, 2018. Elérhető: www.origo.hu/utazas/20181210-alig-lattak-ki-a-vertol-az-utasszallito-pilotai-madar-utkozes.html (A letöltés dátuma: 2020. 02. 24.)
- Balogh Zsuzsanna: Repülőtéri épületek védelme terrorista robbantások ellen. *Repüléstudományi Közlemények*, (Különszám) 21. (2009), 2. Elérhető: https://epa.oszk.hu/02600/02694/00048/pdf/EPA02694_rtk_2009_2_Balogh_Zsuzsanna.pdf (A letöltés dátuma: 2019. 07. 04.)
- Carol Hills: Evaluating video of the deadly Ukraine Airlines crash. *The World*, 2020. Elérhető: www.pri.org/programs/world/evaluating-video-deadly-ukraine-airlines-crash (A letöltés dátuma: 2020. 04. 15.)
- Dunai Pál – Sági Lajos: A repülésirányítás humán aspektusai. In Palik Mátyás (szerk.): *A repülésirányítás alapjai*. Budapest, Dialóg Campus, 2018. 165–178. Elérhető: [www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/Palik%20M%C3%A1ty%C3%A1s%20\(szerk.\).pdf](http://www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/Palik%20M%C3%A1ty%C3%A1s%20(szerk.).pdf) (A letöltés dátuma: 2019. 07. 06.)
- Haig Zsolt – Kovács László: *Kritikus infrastruktúrák és kritikus információs infrastruktúrák*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2012. Elérhető: www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/kritikus_infrastrukturak.pdf (A letöltés dátuma: 2019. 07. 06.)
- Halász László – Földi László: *Környezetbiztonság*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, 2014.
- A légiirányítók miatt zuhant le Svájcban egy repülő. 2004. Elérhető: www.origo.hu/nagyvilag/20040520elismerte.html (A letöltés dátuma: 2020. 02. 24.)
- Liszcai János: *Hibás utasítást kapott az elhunyt pilóta*. HTKA, 2016. Elérhető: <https://htka.hu/2016/09/07/hibas-utasitast-kapott-az-elhunyt-pilota/> (A letöltés dátuma: 2020. 02. 24.)
- Márványi Péter: *Fairford 1993: ütközés a levegőben*. 2013. Elérhető: <http://iho.hu/hir/fairford-1993-utkozes-a-levegoben-130727> (A letöltés dátuma: 2020. 02. 24.)
- Németh András: Repülőrejtély – amit a Teheránnál szerencsétlenül járt ukrán gépről tudni lehet. *HVG*, 2020. Elérhető: https://hvg.hu/vilag/20200110_iran_ukrajna_kanada_legibaleset_teheran_raketatamadas (A letöltés dátuma: 2020. 02. 18.)
- Repülési fóbia. Van-e megoldás a repüléstől való félelemre? *HVG*, 2007. Elérhető: https://hvg.hu/plazs/repulesi_fobia (A letöltés dátuma: 2020. 03. 14.)
- A repülőterek biztonságának és interoperabilitásának szabályozására vonatkozó alapvető követelmények. 1. melléklet a 03/2007. sz. véleményhez. Elérhető: www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA-2007-0011-00-00-ENHU.pdf (A letöltés dátuma: 2019. 07. 08.)
- Sági Lajos Zoltán: Három fontos katonai repülésirányítói kulcskompetencia. *Repüléstudományi Közlemények*, 20. (2008), 1–6. Különszám. Elérhető: http://epa.oszk.hu/02600/02694/00044/pdf/EPA02694_rtk_2008_01_Sagi_Lajos.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 02. 18.)
- Váli Béla Edgár: *A misztikus „G” – ami a torz arc mögött van*. 2005. Elérhető: <https://orvosilexikon.hu/cikkek/a-misztikus-g-ami-a-torz-arc-mogott-van> (A letöltés dátuma: 2020. 02. 24.)

Internetes források

Katasztrófatípusok. Elérhető: http://regi.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=lakosag_kattipus (A letöltés dátuma: 2019. 07. 08.)

Süli Ágota: *Repülés félelem nélkül.* Elérhető: www.druliagota.hu/pub01.html (A letöltés dátuma: 2020. 03. 14.)

Szabó Elvira: *Csak semmi pánik! – A 7 leggyakoribb félelem repülés közben.* 2018. Elérhető: https://lelkizona.blog.hu/2018/04/19/csak_semmi_panic_a_7_leggyakoribb_felelem_repules_kozben (A letöltés dátuma: 2020. 03. 14.)

Szélnyírás. 2020. Elérhető: www.metnet.hu/kislexikon/szelynyiras (A letöltés dátuma: 2020. 02. 18.)

Unmanned Aircraft Systems Operator (15W). Elérhető: www.goarmy.com/careers-and-jobs/browse-career-and-job-categories/transportation-and-aviation/unmanned-aerial-vehicle-operator.html (A letöltés dátuma: 2020. 03. 14.)

Jogi forrás

26/2007. (III. 1.) GKM-HM-KvVM együttes rendelet a magyar légtér légiközlekedés céljára történő kijelöléséről. Elérhető: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A0700026.GKM> (A letöltés dátuma: 2020. 03. 20.)



Szabolcsi Róbert¹

UAV repülési magasságának mérése extrém alacsony repülési pályákon

A pilóta nélküli légi járművek (UAV-k) közeljövőben várható gyors és széles körű elterjedése, és azok városi, épített környezetben végrehajtott repülései előrevetítik az extrém kis repülési magasságok mérését, akár a méteres nagyságrendben is. A cikk az UAV-k automatikus repülés-szabályozásában is használható mérési eljárásokkal, módszerekkel és eszközökkel foglalkozik, amelyek kis méret, kis tömeg és kis energiaigény mellett is lehetővé teszik az UAV valós, föld-felszíntől mért repülési magasságának, illetve a tereptárgyaktól mért távolságának pontos, megbízható mérését. A cikkben a szerző két mérési módszert mutat be és hasonlítja össze, ezek az ultrahangos távolság- (magasság-) mérés elvén, valamint a Föld kapacitásának mérésén alapuló mérési módszerek. E mérési módszerek és mérési eszközök segítségével az UAV-k részére magasságstabilizáló rendszer (terepkövető rendszer) is megtervezhető.

Kulcsszavak: UAV, extrém kis repülési magasságok, ultrahangos magasság-/távolságmérés, Föld kapacitásának mérése, A/C hidkapcsolások

UAV Altitude Measurement at Extremely Low Flight Paths

The predicted intensive use of UAVs in urban area projects need measurements of the extremely low flight altitudes of the UAVs in the range of metres. This article deals with those measurement techniques that are applicable aboard on UAVs with small sizes, small weights and low level of electrical energy consumption. The ultrasonic range finders will be discussed, and the old fashioned method based on Earth capacitance measurement will be subjected to review. Relying on these techniques, the UAV height control system and also the UAV terrain-following system can be designed.

Keywords: UAV, extremely low flight altitudes, ultrasonic height/range finders, Earth capacitance measurement, A/C bridges

¹ Egyetemi tanár, Óbudai Egyetem; e-mail: szabolcsi.robert@bgk.uni-obuda.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2494-3746>

1. Bevezetés

A közeljövőben a pilóta nélküli légi járművek (*Unmanned Aerial Vehicle, UAV*) repüléseinek tömeges megjelenésére és elterjedésére számíthatunk az épített környezetben is, ahol a természetes és mesterséges tereptárgyak felett, de adott esetben emberek felett kell átrepülni a légi járművek. A hobbicélú UAV-repülések egyik nagyon gyakori városi formája a selfie-fotó készítése, és a készített fotók minél gyorsabb továbbítása és megosztása valamilyen közösségimédia-felületen. E repülések tipikusan néhány méteres, esetleg néhányszor tíz méteres földközeli magasságokon zajlanak, adott esetben rövid ideig tartanak, jellemző rájuk, hogy emberek felett repülnek át az UAV-k. Az ilyen városi UAV-alkalmazások egyes kiemelten veszélyes repülési fázisai (például felszállás, leszállás szeles időben) során hasznosak lehetnek az UAV fedélzeti automatikus repülésszabályozó rendszerek, amelyek segítik az UAV-kezelő munkáját, és lényeges mértékben javítják a repülésbiztonságot.

E repülések során felmerül azonban a kérdés: milyen módszerrel, és milyen eszközzel lehetséges a repülési magasság megbízható, pontos mérése az UAV fedélzetén? Természetesen, a magasságmérés a repülésben a korai évektől jellemző volt. Előbb barometrikus műszerekkel, esetleg légjelrendszerrel, majd rádiótechnikai eszközökkel, később pedig inerciális mérőrendszerekkel vagy GPS-rendszerekkel mérték a repülési magasságot.

A fenti felsorolásból is jól látható, hogy a repülési magasság mérése számos módszer, illetve számos mérőműszer vagy mérőrendszer áll rendelkezésünkre. A kérdés csak az, hogy e mérőrendszerek az UAV fedélzetén használhatók-e vagy pedig sem?

Nyilvánvaló, hogy egy szabadidős célú, selfie-UAV, amelynek felszálló tömege a 100 g-tól (AEE Pocket *Selfie Drone*) az 1000 g nagyságrendig terjedő (DJI Mavic Air, DJI Mavic Pro, DJI Mavic Pro2, DJI Mavic 2 Zoom stb.) tartományban van, nem képes tetszőleges magasságmérő platformot befogadni. Más szóval, a mérőrendszer tömege kritikus az UAV maximális felszálló tömegének számítása során.

Könnyű belátni, hogy a magasságmérés eszközei az UAV fedélzetén minimális tömegűnek kell legyenek. Ideális esetben, akár az UAV-fedélzetén egyébként is alkalmazott kamera képei alapján is lehetséges a magasságmérés, és egyéb fontos információ nyerése (például összeütközés-veszélyes repülési helyzetek detektálása).

A szerző célja olyan mérési módszerek és eszközök bemutatása és alkalmazhatóságuk vizsgálata, amelyek az UAV kis magasságú repülései során megbízhatóan képesek érzékelni akár a kis értékű repülési magasságot is, tömegük és méretük alapján beépíthetők az UAV-k fedélzetére, és az UAV térbeli mozgásának dinamikájához illesztve jól szolgálják a kis magasságú repülések automatizálását és a veszélyes repülési helyzetek kezelését.

2. Szakirodalmi áttekintés

A légi járművek hagyományos repülésszabályozása a korai évektől az aerometrikus (barometrikus) mérés technikára,² majd az inerciális navigációs mérőrendszerekre (gyorsulásmérők, mechanikus giroszkópok) épült.³ A légi járművek mérete és teljesítményviszonyai lehetővé

² John H. Blakelock: *Automatic Control of Aircraft and Missiles*. New York, John Wiley & Sons, 1965.

³ Brian Dickinson: *Aircraft Stability and Control for Pilots and Engineers*. London, Sir Isaac Pitman & Sons Ltd, 1968.

tették, hogy nagy tömegű és nagy méretű érzékelő- és mérőrendszereket is alkalmazzanak a fedélzeten.⁴ Egy-egy robotpilóta-rendszer tömege még a szenzorrendszerek tömege nélkül is meghaladhatta a 100 kg-os nagyságrendet.⁵ Az 1960-as években használt giroszkópikus műhorizont és -irányszög mérőrendszerek együttes tömege szintén megközelítte a 100 kg-os tömeget. A hagyományos repülésszabályozás kezdeti szakaszában⁶ az automatizálás alapvetően az Euler-szögek⁷ (dőlésszög, bólintó szög, irányaszög) állandó értéken tartását jelentette,⁸ majd e funkciók fokozatosan egészültek ki egyéb repülési paraméterek állandó értéken tartásával (repülési magasság, repülési sebesség, útirányszög), vagy előre megadott értékük (automatikus leszállás, terepkövetés stb.) követésének irányítástechnikai folyamataival.⁹

Az UAV-k automatikus repülésszabályozása során szintén találkozhatunk úgy az egyes repülési paraméterek értéktartásával,¹⁰ mint a repülési paraméterek referenciaértékeinek követésével, amellyel Magnus Vetergren foglalkozott behatóan.¹¹

Az UAV-k automatikus repülésszabályozása során figyelemmel kell lennünk az előírásokra is, amelyek – katonai repülésben – részletesen szabályozzák az automatizálendő repülési üzemmódokat, és megadják az UAV-k elvárt képességeit is. Ilyen fontos szabvány a NATO STANAG 4586 (Ed. 3) dokumentum.¹²

Meg kell említenünk az EU küszöbön álló és nemzetállami ratifikálásra váró szabályozási rendeleteit is,¹³ amelyek részletesen foglalkoznak az UAV-k – főleg nem állami célú – repüléseinek szervezésével, a légi jármű típus- és légi alkalmassági tanúsításának kérdéseivel,¹⁴ és az UAV-kezelők (operátorok) elvárt képességeivel, a képzésükkel és a tanúsításukkal is.¹⁵

A Föld elektromos viselkedését¹⁶ koncentrikus gömbfelületű kondenzátorként mutatják be. Repülőgépek fedélzetén kísérleti jelleggel használták a Föld kapacitásának mérését.¹⁷ Az 1940-es években különféle bombázórepülőgépek (Harrow, Wellington, Lancaster, Halifax, Stirling) fedélzetén alkalmazták e magasságmérési elvet, és alacsony, körülbelül 150 láb (feet) repülési magasságig megbízhatóan mérték a magasságot. A mérési elv egy váltakozó

⁴ Эдуард А. Асланян: Системы автоматического управления полётом летательных аппаратов. Часть I, Киев, Киевское Высшее Военное Авиационное Инженерное Училище, 1984.

⁵ Александр А. Красовский – Юрий А. Вавилов – Александр И. Сучков: Системы автоматического управления летательных аппаратов. Москва, Издание ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1986.

⁶ Donald McLean: *Automatic Flight Control Systems*. New York – London – Toronto – Sydney – Tokyo – Singapore, Prentice-Hall International Ltd., 1990.

⁷ Robert C. Nelson: *Flight Stability and Control*. McGraw-Hill Companies, Inc., 1998.

⁸ Tiberiu Hacker: *Flight Stability and Control*. New York, American Elsevier, 1970.

⁹ Brian L. Stevens – Frank L. Lewis – Eric N. Johnson: *Aircraft Control and Simulation: Dynamics, Control Design and Autonomous Systems*. 3rd Edition, Wiley-Blackwell, 2015.

¹⁰ Pillar Eng: *Path Planning, Guidance and Control for a UAV Forced Landing*. Queensland University of Technology, 2011.

¹¹ Magnus Vestergren: *Automatic Takeoff and Landing of Unmanned Fixed Wing Aircraft. A System Engineering Approach*. MSc Thesis, Linköping University, 2016.

¹² NATO STANAG 4586 (Ed. 3) – *Standard Interfaces of UAV Control System (UCS) for NATO Interoperability*. 9 November 2012. NSA/123582012)4586.

¹³ A Bizottság (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete (2019. március 12.) a pilóta nélküli légi jármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légi jármű-rendszerek harmadik országbeli üzembentartóiról.

¹⁴ A Bizottság (EU) 2019/947 végrehajtási rendelete (2019. május 24.) a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról.

¹⁵ *Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Part-UB – UAS operations in the 'open' and 'specific' categories*. EASA, Annex II to ED Decision 2019/021/R., Issue 1, 2019.

¹⁶ A Föld mint kondenzátor. Elérhető: www.netfizika.hu/a-fold-mint-kondenzator (A letöltés dátuma: 2020. 05. 07.)

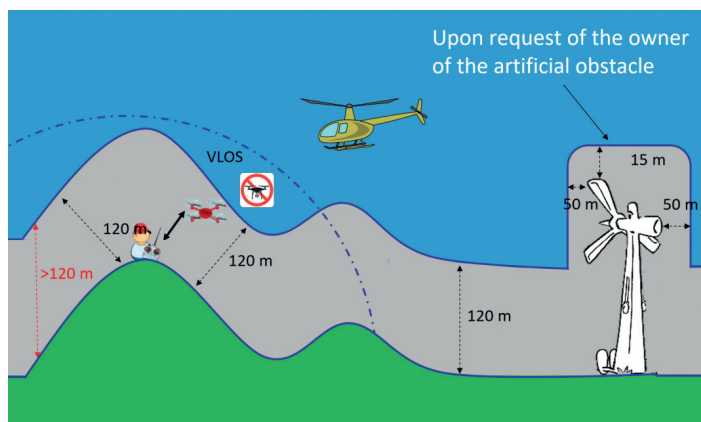
¹⁷ Hamilton A. M. Clark – Philip B. Vanderlyn: *Double-Ratio A.C. Bridges with Inductively-Coupled Ratio Arms*. *Proceedings of the IEE Part III: Radio and Communication Engineering*, 96. (1949), 41. 189–202.

áramú Wheatstone-hídra épült, aminek hídágát a jelzőműszerként is szolgáló egységben egyenlítették ki.¹⁸

Ezt az elvet elevenítette fel a munkájában A. P. Kozlov,¹⁹ aki modell-UAV fedélzetén építette ki a Föld kapacitását mérő rendszerét. Az ultrahangos távolság/magasságmérés elvével²⁰ és eszközeivel²¹ irodalmak foglalkoznak részletesen.²²

3. A SUAV kis magasságú repülése nem épített és épített környezetben

Az UAV épített környezetben kívüli repülését az 1. ábra mutatja be.²³



1. ábra

UAV repülési tartománya nem épített környezetben. Forrás: Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) i. m. (15. lj.) alapján.

Az 1. ábrán is jól látható, hogy az adott kategóriájú UAV vizuális látómezőn belül, a földfelszíntől mért 120 m (400 feet) repülési magasság alatt repülhet, és az UAV-kezelőtől maximum 120 m távolságra távolodhat el. A mesterséges tereptárgyak felett – a tulajdonos kérésének megfelelően – pedig azoktól mért legalább 15 m valós repülési magasságban repülhet.

¹⁸ Walter L. Watton – Max E. Pemberton: *A Direct-Capacitance Aircraft Altimeter. Proceedings of the IEE, Part III: Radio and Communication Engineering*, 96. (1949), 41. 203–210.

¹⁹ Aleksandr. P. Kozlov: *Automatic Control System of Low-Altitude Flight UAV. Proceedings of the 2nd International Conference "Methods and Systems of Navigation and Control" (MSMNC)*, Kiev, Ukraine, 2012.

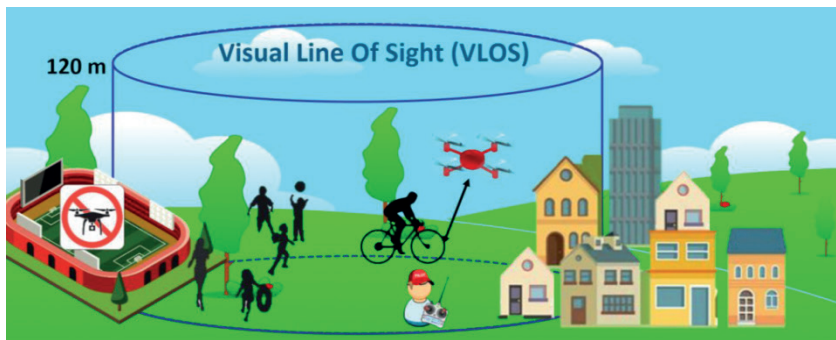
²⁰ Donald P. Massa: *Choosing an Ultrasonic Sensor for Proximity or Distance Measurement Part 2: Optimizing Sensor Selection*. 1999. Elérhető: www.fierceelectronics.com/components/choosing-ultrasonic-sensor-for-proximity-or-distance-measurement-part-2-optimizing (A letöltés dátuma: 2020. 05. 07.)

²¹ *Complete Guide for Ultrasonic Sensor HC-SR04 with Arduino*. Elérhető: <https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-ultrasonic-sensor-hc-sr04/> (A letöltés dátuma: 2020. 05. 07.)

²² *This article focuses on the HC-SR04 ultrasonic proximity sensor, highlighting its specs and common applications*. 2019. Elérhető: <https://maker.pro/custom/tutorial/hc-sr04-ultrasonic-proximity-sensor-datasheet-highlights> (A letöltés dátuma: 2020. 05. 07.)

²³ *Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) i. m. (15. lj.)*

A 2. ábrán az UAV repülési tartománya látható épített környezetben. Általános szabály, hogy az emberek feletti átrepülést el kell kerülni. Ha ez nem lehetséges, akkor megadott felszállótömeg-értékig át lehet repülni az emberek felett, de a repülési idő minimalizálására kell törekedni. Tömegrendezvényeknek helyet adó létesítmények (például sportpályák, stadionok) felett tiltott a repülés. Városi környezetben is él a 120 m-es szabály: repülni csak vizuális látótávolságon (VLOS) belül 120 m magasságra vagy 120 m távolságra lehet az UAV-val.



2. ábra

UAV repülési tartománya épített környezetben. Forrás: Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM). i. m. (15. lj.) alapján

Az EU 2019/945 és az EU 2019/947 szabályozások és azok várható nemzeti ratifikációi várhatóan javítják a jogbiztonságot, és tiszta, áttekinthető helyzetet teremtenek az UAV-felhasználók és -üzemeltetők számára. A szabályozás egyik erőssége az európai közös gondolkodás az UAV/UAS-rendszerek tervezése, gyártása és üzemeltetése területén is. A szabályozás többéves jogalkotási folyamat, amelyet részletekbe menő társadalmi viták előztek meg, és a jogszabályalkotásban természetesen részt vettek a nemzetállamok képviselői is.

Könnnyen belátható, hogy az UAV, de akár a SUAV, vagy a μ UAV kategóriában a repülés egyes fázisai, de főleg selfie-fotózás, esetén a teljes repülés extrém alacsony repülési magasságon történik, amikor az UAV-kezelő kézi beavatkozására adott esetben nagyon kevés idő áll rendelkezésre. Gondoljunk bele, hogy egy, akár agresszív manőverekre is képes UAV ezen a magasságon „kitör”, és nagy függőleges sebességgel zuhanni kezd. A tipikus, néhány méteres repülési magasságról az UAV tizedmásodperc nagyságrendű idő alatt akár le is zuhanhat. Ez az idő adott esetben még az UAV-kezelő holtidejétől is kisebb, ami szinte kizárja, hogy kézi irányítással az UAV-kezelő képes lenne eredményesen beavatkozni és elkerülni a lezuhanást. Ebből következik, hogy az UAV magasságának szabályozására, korlátozására, a veszélyes repülési üzemmódok végrehajtására célszerű megfelelően megtervezett és megépített robotpilótát alkalmazni.

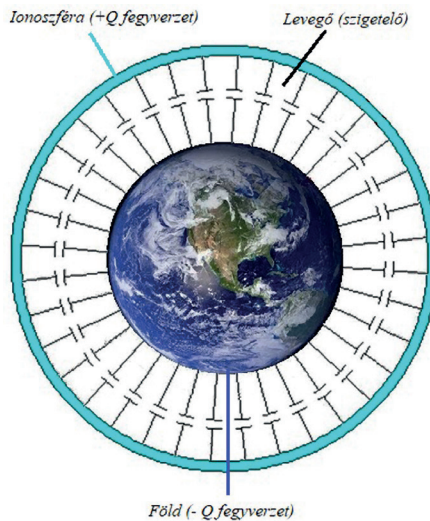
A NATO STANAG 4586 (Ed. 3) szabvány a katonai repülésben eleve olyan UAV repülés-szabályozó képességeket sorol fel tétélesen, amire a kereskedelmi forgalomban is kapható robotpilóták nem feltétlenül alkalmasak, vagyis eme UAV-képesség-halmaz csak speciális automatikus repülésszabályozó rendszerrel biztosítható, amely képes az UAV extrém kis értékű repülési magasságát is érzékelni.

4. Repülési magasság érzékelése a Föld kapacitásának mérése segítségével

Az 1940-es években, amikor még nem álltak rendelkezésre repülőfedélzeti kis magasságú rádiomagasságmérők, intenzív kutatások kezdődtek a kis értékű repülési magasság mérésére. Az egyik ígéretes projektet Walter L. Watton és Max E. Pemberton mutatták be.²⁴ A magasságmérés során a Föld villamos tulajdonságát használjuk fel, mert a földfelszín, az ionoszféra és közöttük a szigetelő levegő koncentrikus felületű gömbkondenzátor-moddal írható le.

4.1. A Föld villamos viselkedése, és kapacitásának mérése, számítása

A Föld felszínén, illetve a Földet körülvevő atmoszférában lejátszódó töltésváltást fizikai folyamatok és események (különböző időjárási jelenségek, viharok stb.) és az atmoszférát érő külső hatások (például a Nap ionizáló sugárzásai) következtében az atmoszféra külső határán, az ionoszférában (a Földfelszíntől mért 60–1000 km magasságban) főleg pozitív töltések (ionok) halmozódnak fel. Ily módon létrehozzák a Föld körül egy képzeletbeli gömbkondenzátor külső pozitív fegyverzetét, míg a Föld felszíne a rajta kialakuló valós elektrontöbblet miatt a gömbkondenzátor belső negatív fegyverzetének is tekinthető (3. ábra).



3. ábra

A Föld kapacitása. Forrás: a szerző szerkesztése

A 3. ábrán jól látható, hogy a két fegyverzet között villamos mező alakul ki, és a szétválasztott és az egyes fegyverzeteken felhalmozódó töltések miatt a fegyverzetek között kapacitív hatás alakul ki. Bár nem tekinthető homogénnek és időinvariánsnak a villamos tér, és a Föld

²⁴ Watton–Pemberton i. m. (18. lj.)

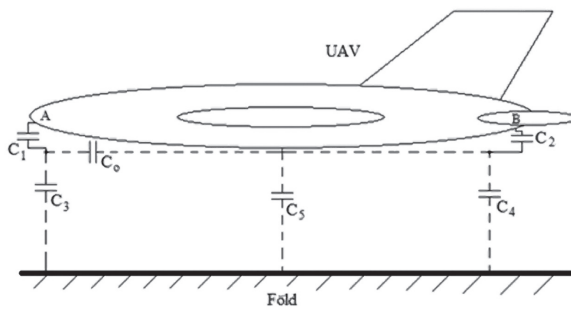
formáját sem szferoidnak tekintjük, mégis elfogadott a Föld kapacitásának számítása az alábbi egyenlettel:

$$C = \frac{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}, \quad (1)$$

ahol: a vákuum dielektromos állandója; $R_1 = 6371$ km – a Föld sugara; $R_2 = 6471$ km – az ionoszféra távolsága a Föld középpontjától. Ismeretes azonban, hogy a Föld alakja nem ideális gömb, valamint ismert a tény is, hogy a Föld és az ionoszféra közötti kapacitás értéke számos más körülménytől is függ, és folyamatosan változik, mégis e kapacitás értékét 1,8 F értékkel szokás figyelembe venni.

Ebben a fizikai rendszerben az egymással szemben elhelyezkedő kondenzátorfegyverzetek között villamos mező alakul ki, így bármilyen, villamos értelemben vezető tárgyat helyezünk el ebben a mezőben, közte és a Föld felülete között is ébred kapacitív hatás, ami mérhető is.²⁵ Ezen elven alapszik Walter L. Watton és Max E. Pemberton munkája alapján egy olyan magasságmérő rendszer, amely kis repülési magasságokon lehetővé teszi a valós repülési magasság mérését (4. ábra).

A Watton és Pemberton cikkében leírt mérési módszer lényege, hogy a légi jármű két, egymástól a lehető legnagyobb távolságra elhelyezkedő pontján (például orr-rész és farokrész, mint az a 4. ábrán is látható; vagy a szárnyak végein, mint az A. P. Kozlov munkájában is látható²⁶) feszültségforrásra kapcsolt elektródát, más szóval kondenzátorfegyverzetet helyezünk el. Az elektródák alakja lehet sík, de lehet valamilyen kiálló fémes tárgy, gömb vagy félgömb is. Szintén elvárás, hogy a mérőrendszer elemeit a légi jármű fémes vázszerkezetétől a megfelelő szigeteléssel le kell választani, és úgy kell őket elhelyezni, hogy a fedélzeti villamos rendszerek által létesített villamos mezők a lehető legkisebb mértékben befolyásolják a Föld villamos mezejének mérését. A fedélzeten elhelyezett elektródák (fegyverzetek) potenciálja lényeges mértékben eltér a Föld potenciáljától, így az elektródák és a Föld felszíne között, ami az UAV-repülések során sík fegyverzetként fogható fel, az eltérő töltöttségük miatt kapacitív hatás észlelhető, ami a megfelelő műszerezettséggel mérhető is (4. ábra).



4. ábra

Az UAV-fedélzeti elektródákhoz kapcsolódó kapacitások. Forrás: a szerző szerkesztése

²⁵ Simonyi Károly: Villamosságtan. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1983.

²⁶ Kozlov i. m. (19. l.) 2.

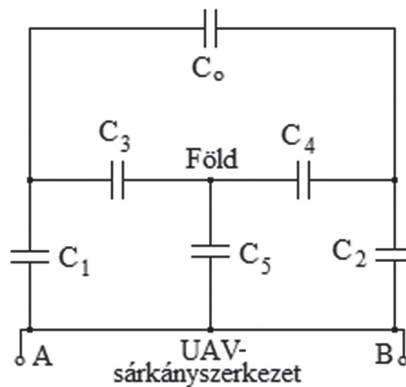
A 4. ábrán az alábbi jelöléseket alkalmaztuk: C_5 az UAV valós repülési magasságán mért „UAV–Föld” rendszer kapacitása; C_0 az UAV-fedélzeti elektródák között mért állandó kapacitás; C_1 és C_2 az „UAV elektróda – UAV valós magasság” között mért kapacitások; C_3 és C_4 részkapacitások, az „UAV elektróda – Föld” teljes kapacitás részcéltékei.

A 4. ábrán látható kapacitások függenek a Föld felszínétől mért valós repülési magasságtól, de ez a matematikai függvénykapcsolat sokszor nehezen írható le. Mindazonáltal, a C_3 , a C_4 , és a C_5 kapacitások azok amelyek szignifikáns mértékben függenek a repülési magasságtól.²⁷ Ismeretes, hogy a légmagos síkkondenzátor kapacitása az alábbi képlettel számítható:²⁸

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}, \quad (2)$$

ahol A a fegyverzet felülete, és d az elektródák közötti távolság.

Ha az UAV-t tekintjük referenciapontnak, akkor a 4. ábrán látható kapacitások villamos helyettesítő kapcsolási vázlatát az alábbi módon adhatjuk meg (5. ábra):



5. ábra

Az UAV kapacitásrendszerének villamos elrendezése. Forrás: a szerző szerkesztése

Az 5. ábrán jól látható, hogy a C_3 (H), a C_4 (H), és a C_5 (H) kapacitások egy közös ponttal csillagkapcsolást képeznek. Alakítsuk át ezt a csillagkapcsolást vele ekvivalens deltakapcsolássá a következő transzformációs képletek segítségével:

$$\Delta C_0(H) = \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4 + C_5}, \quad (3)$$

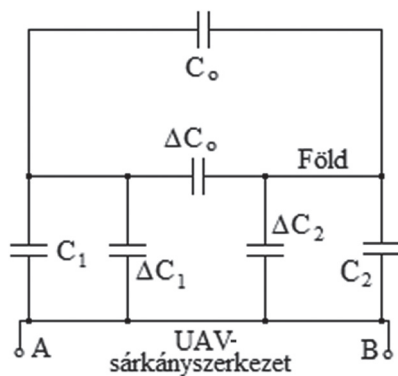
$$\Delta C_1(H) = \frac{C_3 C_5}{C_3 + C_4 + C_5}, \quad (4)$$

$$\Delta C_2(H) = \frac{C_4 C_5}{C_3 + C_4 + C_5}. \quad (5)$$

²⁷ Watton–Pemberton i. m. (18. lj.) 204.

²⁸ Simonyi i. m. (25. lj.) 199. 449.

Az átalakított villamos kapcsolás a 6. ábrán látható.



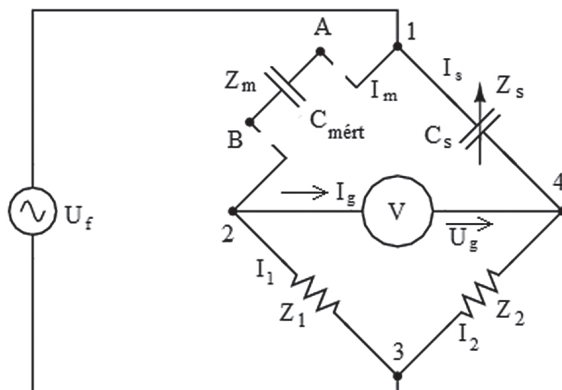
6. ábra

Az UAV kapacitásrendszerének ekvivalens átalakítása. Forrás: a szerző szerkesztése

A 6. ábrán jól látható, hogy a C_0 és a ΔC_0 kapacitások párhuzamosan kapcsolódnak egymáshoz, ezért az eredő mért kapacitásuk a következő összefüggés segítségével számítható:

$$C_{\text{mért}}(\text{H}) = C_0 + \Delta C_0(\text{H}) = C_0 + \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4 + C_5}. \quad (6)$$

A (6) egyenletben C_0 állandó kapacitás, míg a ΔC_0 kapacitás a repülési magassággal együtt változik. A repülési magasság mérése tehát közvetett módon történik, a mérés visszavezetett kapacitásmérésre, amely a gyakorlatban sokszor váltakozó áramú Wheatstone-hidak segítségével történik (7. ábra).



7. ábra

Kapacitásmérés váltakozó áramú Wheatstone-híd segítségével. Forrás: a szerző szerkesztése

A híd egyik ágába bekötjük a mérendő $C_{\text{mért}}(\text{H})$ kapacitást, míg a mellette elhelyezkedő ágban található a C_s hangolható kondenzátor. A másik két ágban a \bar{Z}_1 és a \bar{Z}_2 szintén ismert komplex

impedanciákat kapcsoljuk a mérőáramkörbe. A váltakozó áramú mérőhíd akkor kiegyenlített, ha a hídágban nem folyik áram, vagyis:

$$\bar{I}_g = 0, \quad (7)$$

más szóval,

$$\bar{U}_g = \bar{U}_4 - \bar{U}_2 = 0, \rightarrow \bar{U}_4 = \bar{U}_2. \quad (8)$$

Ebben az esetben a Wheatstone-híd egy áramosztóvá alakul, amelynek ágaiban 2-2 komplex impedancia található. A híd kiegyenlített állapotának feltétele, hogy:

$$\bar{Z}_1 \bar{Z}_s = \bar{Z}_2 \bar{Z}_m. \quad (9)$$

Legyenek az egyes ágak impedanciái az alábbiak:

$$\bar{Z}_1 = R_1; \bar{Z}_2 = R_2; \bar{Z}_s = -j \frac{1}{\omega C_s}; \bar{Z}_m = -j \frac{1}{\omega C_{mért}}. \quad (10)$$

A (10) komplex impedanciákat helyettesítsük be a (9) egyenletbe:

$$-j \frac{R_1}{\omega C_s} = -j \frac{R_2}{\omega C_{mért}}, \quad (11)$$

ily módon a keresett $C_{mért}$ kapacitás értéke:

$$C_{mért} = \frac{R_2}{R_1} C_s. \quad (12)$$

Ha a hídág nem, vagy nem teljesen kiegyenlített, a hídágban az alábbi \bar{U}_g feszültség mérhető

$$\bar{U}_g = \bar{U}_2 - \bar{U}_4 = \bar{U}_f \frac{\bar{Z}_1}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_m} - \bar{U}_f \frac{\bar{Z}_2}{\bar{Z}_2 + \bar{Z}_s} = \bar{U}_f \left(\frac{R_1}{R_1 - j \frac{1}{\omega C_{mért}}} - \frac{R_2}{R_2 - j \frac{1}{\omega C_s}} \right) = f(C_{mért}). \quad (13)$$

A (13) egyenlet alapján könnyű belátni, hogy a mérőhíd mérőágában mért feszültség függ a $C_{mért}$ (H) mérendő kapacitás értékétől. Az \bar{U}_g komplex effektív feszültségjel a továbbiakban már jól használható információt hordoz a repülési magasságról, és akár analóg, akár digitális DSP-eszközökkel már jól kezelhető.

Watton és Pemberton az Avro Lancaster bombázó-repülőgépen tesztelt magasságmérő rendszerre az alábbi mért ΔC_0 kapacitásváltozás-értékeket közölte (1. táblázat):²⁹

²⁹ Watton–Pemberton i. m. (18. l.) 207.

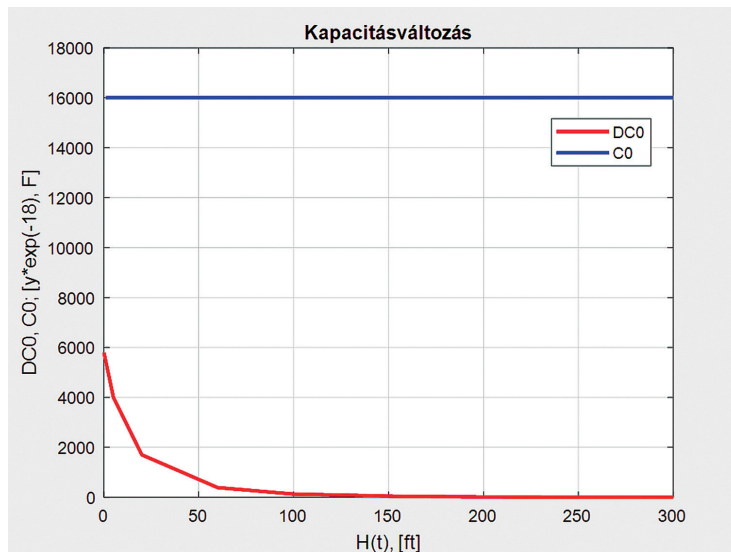
1. táblázat

Földkapacitás megadott repülési magasságon. Forrás: Watton–Pemberton i. m. (18. lj.) 207.

Repülési magasság (ft)	Mért kapacitásváltozás, ΔC_0 , [10^{-18} F]
300	(2 ÷ 2)
250	(7 ÷ 5)
200	(17 ÷ 5)
160	34
100	130
60	390
20	1700
5	4000
0	5800

A fenti táblázatból is kiténik, hogy a kapacitásmérés elvén alapuló kis repülési magasságok mérése (0 ÷ 150 ft) repülési magasságtartományban valósulhat meg viszonylag jó pontossággal. Nagyobb repülési magasságok mérésére ez a mérési elv nem használható.

Korábban említettük, hogy e mérési módszer alkalmazásának feltétele, hogy a fedélzeti nagyfeszültségű elektródák egymástól minél távolabb helyezkedjenek el. A Walter L. Watton és Max E. Pemberton cikkében bemutatott példa esetén az elektródákat a szárnyak végein, egymástól 101 ft (láb) távolságban helyezték el, és a fedélzeti elektródák közötti állandó kapacitás $C_0=16000 \cdot 10^{-18}$ F értékű volt értékű volt³⁰. A C_0 és ΔC_0 kapacitásváltozásokat a 8. ábra³¹ mutatja be.³²



8. ábra

Az UAV mért kapacitásának változása. Forrás: a szerző MATLAB-scriptje

³⁰ Watton–Pemberton i. m. (18. lj.) 207.

³¹ MATLAB R2020a, User's Guide. The MathWorks Inc., 2020.

³² MATLAB R2020a Control System Designer/Control System Toolbox 10.8, User's Guide. The MathWorks, Inc., 2020.

A. P. Kozlov cikkében egy modell UAV-n építettek ki hasonló, kapacitív elvű mérőrendszert a magasság érzékelésére.³³ A mérőrendszer jelei alapján a magasságstabilizáló rendszer egyik lehetséges koncepcióját is lefektette a szerző.

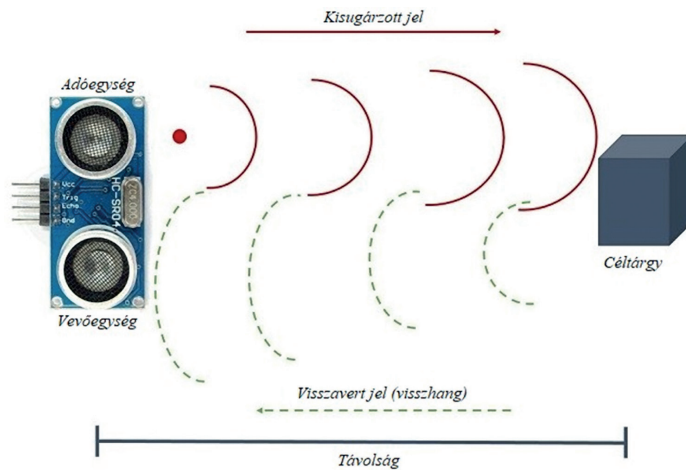
A földközeli, kis repülési magasságok tehát jól mérhetők a fedélzeti nagyfeszültségű elektródák (kondenzátorok) és a földfelszín közötti kapacitás érzékelésével és mérésével. E magasságmérési módszer nagy előnye, hogy gyakorlatilag földfelszíni zérus magasságig képes érzékelni a repülési magasságot. Maga a mérőrendszer autonóm, külső jelforrás- vagy egyéb mérőrendszer nem szükséges a működéséhez. A mérési módszer hátránya, hogy az UAV fedélzetén esetenként nagy tömegű elektródarendszert kell kiépíteni, amely így csökkenti az UAV hasznos terhet, és ez korlátok közé szoríthatja e mérési módszer lehetséges alkalmazását.

4.2. Magasságmérés ultrahangos távolságmérőkkel

Az ultrahang tartományát már régóta használjuk különféle célokra. Az 1940-es évektől intenzív kísérletezés után megszülettek az első ultrahangkészülékek, amelyeket először főleg orvosi, diagnosztikai és gyógyászati célokra használtak.

Napjainkban az ipari és különösképpen a járműipari alkalmazások széles palettája igazolja a kutatók vízióját az ultrahang sokrétű alkalmazásáról.³⁴ Az ultrahangos (UH) távolságmérők a kis tömegüknek és kis energiaigényüknek köszönhetően mára széles körben terjedtek el,³⁵ és a mikrovezérlők (például Arduino) is képesek a jeleiket kezelni.

Az ultrahangos lokáció elve megegyezik a rádiolokáció elvével: az adó kisugárzott jele visszaverődik a céltárgyról, és a vevő érzékeli a visszavert jelet (visszhang), majd az idő és a hang terjedési sebessége alapján számítja a távolságot (9. ábra).



9. ábra

Az ultrahangos távolságmérés elve. Forrás: a szerző szerkesztése

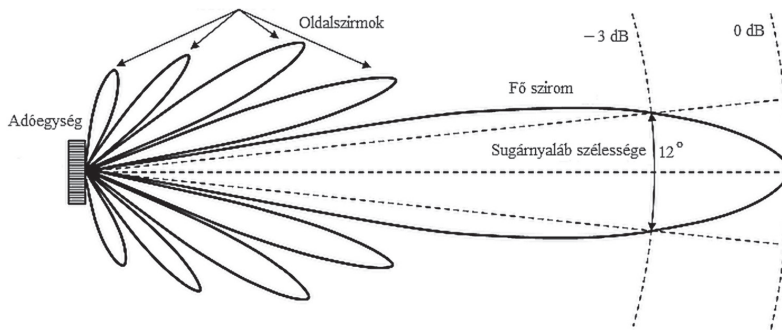
³³ Kozlov i. m. (19. l.) 3.

³⁴ Massa i. m. (20. l.)

³⁵ Complete Guide for Ultrasonic Sensor HC-SR04 with Arduino. i. m. (21. l.)

A járműiparban főleg távolságmérésre használják az UH-szenzorokat. A gépjárművek vezetést támogató rendszerei (például parkolóautomaták, tolatóautomaták, összeütközést elkerülő rendszerek stb.) főleg erre a szenzorra épülnek. Nyilvánvaló, hogy a megfelelő térlátást biztosító és a beépíteni szükséges UH-szenzorok számát a gyakorlatban igyekeznek csökkenteni, de még így is előfordulnak 8-12 db UH-szenzorral és egyéb érzékelővel (például radar, FLIR-rendszer, hőkamerák stb.) is ellátott gépjárművek.³⁶ Könnyű belátni, hogy ebben az esetben az egyes UH-szenzorok nagy látószöggel kell rendelkezzenek, így viszont – ugyanazon kisugárzott teljesítmény mellett – az érzékelési távolság csökkenni fog.

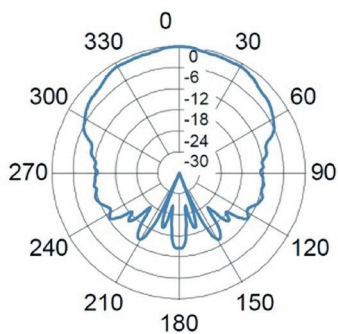
Hasonlóképpen, az UAV-k fedélzetén is használják az UH-távolságérzékelőket, főleg a valós repülési magasság mérésére. Ebben az esetben, mivel az UAV repülése úgy a bedöntés, mint a bőlíntó mozgása szerint is korlátozott, célszerű olyan UH-szenzort választani, amely a kisugárzott teljesítményt jórészt az iránykarakterisztika fő szirmán adja le (10. ábra).



10. ábra

Az ultrahangos távolságmérő adóegységének iránykarakteristikája. Forrás: a szerző szerkesztése

Az ultrahangos távolságmérők vevőegységével szemben azt az általános követelményt lehet megfogalmazni, hogy főként a mozgó tárgyak detektálása esetén széles térszögben kell érzékelje a céltárgyakat (11. ábra).



11. ábra

Az ultrahangos távolságmérő vevőegységének iránykarakteristikája. Forrás: a szerző szerkesztése

³⁶ This article focuses on the HC-SR04 ultrasonic proximity sensor, highlighting its specs and common applications. i. m. (22. l.j.)

A 11. ábrán jól látható, hogy a vevőegység a $\pm 30^\circ$ szögtartományban, megadott távolságon belül, gyakorlatilag 0 dB jelszint mellett érzékeli a céltárgyat, de még a $\pm 60^\circ$ szögtartományban is -6 dB a visszavert jelek erőssége, és az elülső $\pm 90^\circ$ (180°) térrészben a jelerősség -12 dB. Ez a tulajdonság jól alkalmazható olyan esetben, amikor az UH-szenzort térképezésre használjuk, és követelmény, hogy az érzékelő nagy térszögben „lásson” előre.

5. Következtetések

A cikk a pilóta nélküli légi járművek (UAV-k) kis repülési magasságainak mérésére alkalmazható mérés technikai elvekkel, módszerekkel és eszközökkel foglalkozott. A bemutatott magasságmérési módszerek lehetővé teszik, hogy kis méretű, kis tömegű és olcsó mérőrendszereket alakítsunk ki az UAV fedélzetén, amelyek megbízhatóan képesek akár extrém kis értékű, akár centiméter nagyságrendű repülési magasságokat is érzékelni.

A Föld villamos mezejének és a Föld kapacitásának mérése egy olyan autonóm mérési elv, amely főként kis repülési magasságokon lehetővé teszi a valós repülési magasság mérését.

Az ultrahangos távolságmérők talán a leginkább széles körben elterjedt távolságmérő eszközök. Kis méretűk, megbízható működésük és a kereskedelmi forgalomban kapható, széles körben elterjedt mikrovezérlőkhöz (például Arduino) is egyszerűen illeszthetők, ezért a járműipar széles körben támaszkodik erre a mérési eljárásra. Az UAV-k automatikus repülésszabályozásában is méltó helyet kapott az ultrahangos távolság- (magasság-) mérés, és az UAV-k épített városi környezetben való megjelenése egyre inkább előrevetíti olyan „láss és kerüld el” képesség kialakítását, amelyben az UH-szenzoroknak kulcsszerepe lesz.

Felhasznált irodalom

Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Part-UAS – UAS operations in the 'open' and 'specific' categories. EASA, Annex II to ED Decision 2019/021/R., 2019. Elérhető: www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/AMC%20%26%20GM%20to%20Part-UAS%20%E2%80%94%20Issue%201.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 05. 07.)

Асланян, Эдуард А. Системы автоматического управления полётом летательных аппаратов.

Часть I, Киев, Киевское Высшее Военное Авиационное Инженерное Училище, 1984.

Blakelock, John H.: *Automatic Control of Aircraft and Missiles.* New York, John Wiley & Sons, 1965.

Clark, Hamilton A. M. – Philip B. Vanderlyn: Double-Ratio A.C. Bridges with Inductively-Coupled Ratio Arms. *Proceedings of the IEE Part III: Radio and Communication Engineering*, 96. (1949), 41. 189–202. DOI: <https://doi.org/10.1049/pi-3.1949.0040>

Complete Guide for Ultrasonic Sensor HC-SR04 with Arduino. Elérhető: <https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-ultrasonic-sensor-hc-sr04/> (A letöltés dátuma: 2020. 05. 07.)

Dickinson, Brian: *Aircraft Stability and Control for Pilots and Engineers.* London, Sir Isaac Pitman & Sons Ltd, 1968.

Eng, Pillar: *Path Planning, Guidance and Control for a UAV Forced Landing.* Queensland University of Technology, 2011.

Hacker, Tiberiu. *Flight Stability and Control.* New York, American Elsevier, 1970.

- Kozlov, Aleksandr. P.: *Automatic Control System of Low-Altitude Flight UAV*. Proceedings of the 2nd International Conference "Methods and Systems of Navigation and Control" (MSMNC), Kiev, Ukraine, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1109/msnmc.2012.6475117>
- Красовский, Александр А. – Юрий А. Вавилов – Александр И. Сучков: Системы автоматического управления летательных аппаратов. Москва, Издание ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1986.
- Massa, Donald P.: *Choosing an Ultrasonic Sensor for Proximity or Distance Measurement Part 2: Optimizing Sensor Selection*. 1999. Elérhető: www.fierceelectronics.com/components/choosing-ultrasonic-sensor-for-proximity-or-distance-measurement-part-2-optimizing (A letöltés dátuma: 2020. 05. 07.)
- MATLAB R2020a Control System Designer/Control System Toolbox 10.8, User's Guide. The MathWorks, Inc., 2020.
- MATLAB R2020a, User's Guide. The MathWorks Inc., 2020.
- McLean, Donald. *Automatic Flight Control Systems*. New York – London – Toronto – Sydney – Tokyo – Singapore: Prentice-Hall International Ltd., 1990.
- Nelson, Robert C. *Flight Stability and Control*. McGraw-Hill Companies, Inc., 1998.
- NATO STANAG 4586 (Ed. 3) – *Standard Interfaces of UAV Control System (UCS) for NATO Interoperability*. 9 November 2012. NSA/123582012)4586.
- Simonyi Károly: *Villamosságtan*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1983.
- Stevens, Brian L. – Frank L. Lewis – Eric N. Johnson: *Aircraft Control and Simulation: Dynamics, Control Design and Autonomous Systems*. 3rd Edition, Wiley-Blackwell, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119174882>
- This article focuses on the HC-SR04 ultrasonic proximity sensor, highlighting its specs and common applications*. 2019. Elérhető: <https://maker.pro/custom/tutorial/hc-sr04-ultrasonic-proximity-sensor-datasheet-highlights> (A letöltés dátuma: 2020. 05. 07.)
- Vestergren, Magnus: *Automatic Takeoff and Landing of Unmanned Fixed Wing Aircraft. A System Engineering Approach*. MSc Thesis, Linköping University, 2016.
- Watton, Walter L. – Max E. Pemberton: A Direct-Capacitance Aircraft Altimeter. *Proceedings of the IEE, Part III: Radio and Communication Engineering*, 96. (1949), 41. 203–210. DOI: <https://doi.org/10.1049/pi-3.1949.0041>

Internetes forrás

A Föld mint kondenzátor. Elérhető: www.netfizika.hu/a-fold-mint-kondenzator (A letöltés dátuma: 2020. 05. 07.)

Jogi források

- A Bizottság (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete (2019. március 12.) a pilóta nélküli légi jármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légi jármű-rendszerek harmadik országbeli üzembentartóiról
- A Bizottság (EU) 2019/947 végrehajtási rendelete (2019. május 24.) a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról



Gervai Bálint,¹ Szilvássy László²

Az Airbus H145M helikopter fegyverzete

A cikkben a szerzők bemutatják az Airbus H145M típusú könnyű harci helikopter fegyverzetét. Rövid fejlesztési történetet követően a helikopteren alkalmazható különböző fegyverrendszerekkel foglalkozunk, többek között tűzfegyverekkel, nemirányítható és irányítható rakétákkal, a típushoz rendszeresített rakéták rakétahajtóművével, valamint a helikopterfedélzeti rakéták irányításával.

Kulcsszavak: H145M, helikopter, nemirányítható rakéta, irányítható rakéta, fedélzeti fegyver

The Armament of the Airbus H145M Helicopter

In this article the authors introduce the armament of the Airbus H145M light combat helicopter. After a short history of development, the authors deal with various weapon systems that can be used on this helicopter, including firearms, rockets and missiles, with the rocket propulsion system for the type of the rockets, as well as the control of the helicopter with onboard missiles.

Keywords: H145M, helicopter, rocket, missiles, onboard weapon

1. Bevezetés

2019. december 13-án adták át a Magyar Honvédség első négy Airbus H145M típusú könnyű helikopterét. Az ünnepélyes átadó eseményre az MH 86. Szolnok Helikopterbázison került sor.³

A 2018-ban, HForce fegyverrendszerrel ellátott 20 db helikopter megrendelésére a *Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program* keretein belül került sor, az Airbus Helicopters vállalatától. A beszerzés nem titkolt célja nem más, mint az üzemidejük és rendszerben tartathóságuk végéhez közeledő szovjet/orosz gyártású helikopterek kiválása miatt, a Magyar Honvédség helikopterflottájának megújítása.⁴

¹ BSc hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék; e-mail: blintgervai@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7000-2691>

² Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék; e-mail: szilvassy.laszlo@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0455-4559>

³ Trautmann Balázs: Átadták a honvédség új helikoptereit Szolnokon. 2019. Elérhető: <https://honvedelem.hu/galeriak/atadtak-a-honvedseg-uj-helikoptereit-szolnokon/> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

⁴ *Folytatódik a haderő fejlesztése – új katonai helikoptereket szerez be a honvédség.* 2018. Elérhető: https://honvedelem.hu/cikk/111144_folytatodik_a_hadero_fejlesztese_uj_katonai_helikoptereket_szerez_be_a_honvedseg (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

2. Eurocopter EC145

Az Airbus H145M típusú helikopter nem más, mint katonai célokra átalakított Eurocopter EC145. Az EC145 két hajtóművel rendelkező, általános célokra alkalmazott könnyűhelikopter, amelyet a német MBB⁵ és a japán Kawasaki által kifejlesztett BK117 C1 továbbfejlesztésével hozott létre az Eurocopter, a helikopter eredeti típusneve BK117 C2 volt. A BK117 típust a mai napig számos területen használják többek között rendvédelmi, kutató-mentő, egészségügyi és szállítási feladatokra egyaránt. A nagy népszerűségere való tekintettel, amit az 1990-es években szerzett a típus, továbbfejlesztésre került sor; a gyártó EC135 helikopterének modern avionikai berendezéseit, rendszereit, valamint a fülke kialakítását kombinálták az előd BK117 C1 változatának már jól bevált hagyományos elrendezésű farokrészével, így született meg a BK117 C2 helikopter, amely 1997-ben kapta meg a típusalkalmassági bizonyítványt. Az EC145 típusjelzést 1999-ben kapta meg kedvezőbb marketingcélok érdekében.⁶



1. ábra

Eurocopter EC145. Forrás: Eurocopter EC145. Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Eurocopter_EC145 (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

Az elődjeihez képest számos előnnyel rendelkezik az EC145. Nőtt a hatótávolsága és a hasznos teherbírása is, valamint a kabin mérete is. Csökkent a rezgés- és zajkibocsátás, illetve a karbantartás is leegyszerűsödött, és nem utolsósorban csökkentek az üzemeltetési költségek.⁷

⁵ MBB – Messerschmitt-Bölkow-Blohm.

⁶ *MBB/Kawasaki BK 117.* Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/MBB/Kawasaki_BK_117 (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

⁷ *Eurocopter EC145.* Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Eurocopter_EC145 (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

3. H145M – a katonai változat

2006-ban az Amerikai Egyesült Államok hadserege az EC145 katonai verzióját választotta ki könnyű támogató helikopternek, UH-145 típusjelzéssel. Az Amerikai Védelmi Minisztérium UH-72 Lakota néven rendszeresítette a helikoptert. A H145M 2015-ben kapta meg az EASA típusalkalmassági bizonyítványt, miután az EC645 T2 típusjelzésű helikoptert katonai feladatok ellátása érdekében fegyverfüggesztési pontokkal, elektronikai ellentevékenység, illetve támogató rendszerrel, ereszkedőkötéllel a teheremelés és -rögzítés céljából teherkampóval és csörlőkkel szerelték fel.⁸



2. ábra

Airbus H145M. Forrás: Airbus Helicopters completes first firing campaign with HForce-equipped H145M. 2017. Elérhető: www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2017/11/airbus-helicopters-completes-first-firing-campaign-with-hforce-e.html (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

3.1. Fegyverrendszer

Az Airbus a korábbi típusokon, többek között az Eurocopter Tiger (EC665) harci helikopteren szerzett tapasztalatokat használta fel a fegyverzetvezérlő rendszer (HForce) kifejlesztéséhez, ami az adott feladat végrehajtásához biztosítja a különböző fegyverrendszerek alkalmazását.

3.1.1. HForce-rendszer

A HForce egy moduláris fegyverrendszer, amely különböző irányítható és nemirányítható fegyverzet alkalmazását teszi lehetővé a H145M helikoptertípus számára. A rendszer többek között tartalmaz légiharc-, levegő-föld-, illetve lézerirányítású rakétákat, 20 mm-es géppágyút, 12,7 mm-es géppuskát, valamint 70 mm-es nemirányítható rakétákat is.

A rendszer előnye, hogy a többfunkciós fedélzeti számítógép és a számos fegyverrendszer különböző típusú helikopterek között is cserélhető.

⁸ *Airbus Helicopters.* Wikipedia The Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus_Helicopters (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

A rendszer a célzási pontosság növelése érdekében, a következő szempontokat veszi figyelembe: a) a fegyverek hátralökési erejét; b) a repülőeszköz, jelen esetben a helikopter tömegközéppontját.

A rendszer felépítése: a) a különböző számítási feladatok elvégzésére szolgáló központi számítógép; b) 1–1 db fegyverfüggesztési pont a helikopter mindkét oldalán; c) Wescam (MX15) elektro-optikai felderítő és célkövető kamerarendszer, amely nappal és éjjel is alkalmazható; d) Thales (Scoprión) monokuláris sisaccélzó és célmegjelölő.

3.1.2. Fedélzeti fegyver

2017-ben Magyarországon került sor a HForce-fegyverrendszer első éleslövészetére, H145M típusú helikopteren, amelyen az FN Herstal HMP400 konténer, a Nexter NC621 20 mm-es gépágyúkonténer és a Thales FZ231 rakétaindító blokkok fedélzetre történő beillesztésének utolsó lépéseként sikeres teszteléseket hajtottak végre.⁹

2017 decemberében a Thales FZ275 70 mm-es félaktív lézer irányítású levegő-felszín (SAL – *Semi-Automatic Laser*) rakéták alkalmazására került sor.

3.1.2.1. Tüzérfegyverek

Az FN Herstal HMP400 konténert hangsebesség alatti merevszárnyú repülőgépekhez, illetve helikopterekhez fejlesztették ki, az FN M3P 12,7 mm-es géppuska beillesztését végezték el. A konténer vészhelyzet esetén leoldható a repülőeszköztől. A géppuska elméleti tűzgyorsasága 950–1100 lövés percenként, 400 lőszer a lőszerjavalmazása, 1850 m a hatásos lőtávolsága, 10 000 lövés az élettartalma.

Szintén helikopterek és hangsebesség alatti merevszárnyú repülőgépek számára tervezték a Nexter NC621 20 mm-es gépágyú-konténert, ami a M621 20 mm-es gépágyút tartalmazza. A gépágyú elméleti tűzgyorsasága 750 lövés percenként, 2000 m a hatásos lőtávolsága, 180 lőszer a lőszerjavalmazása.¹⁰

3.1.2.2. Rakéta-indítóblokk

FZ233

7 indítócsővel rendelkező rakéta-indítóblokk, az FZ233. Kialakítása megegyezik az FZ220 blokkal, de az FZ233 rakéta-indítóblokk LIU¹¹-val egészül ki. Magassága 288,3 mm, szélessége 243,4 mm, teljes hossza 1653,5 mm, tömege 26 kg. Az indítócsövek ürmérete megegyezik

⁹ *Airbus Helicopters completes first firing campaign with HForce-equipped H145M*. 2017. Elérhető: www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2017/11/airbus-helicopters-completes-first-firing-campaign-with-hforce-e.html (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

¹⁰ Szilvássy László: Az Airbus H145M helikopter fegyverei I. – nemirányítható rakétarendszer. *Repüléstudományi Közlemények*, 31. (2019), 2. 15–29.

¹¹ LIU (*Launcher Interface Unit*) indítóberendezés interfész modul.

az FZ231, illetve az FZ225 rakéta-indítóblokkokéval, amely 2,75 hüvelyk (69,85 mm). Képes sorozatban, valamint egyesével indítani. Indítási intervalluma legalább 80 ms.¹²



3. ábra

FZ233. Forrás: Leone Hadavi on Twitter. Elérhető: <https://pbs.twimg.com/media/Dx2KLw0XcAAkSFR.jpg> (A le-töltés dátuma: 2020. 06. 10.)

FZ231

Az FZ231 rakéta-indítóblokk 12 indítócsővel rendelkezik. Kialakítása megegyezik az FZ29 blokkal, LIU-val kiegészítve. Magassága 361 mm, szélessége 324 mm, teljes hossza 1658 mm, tömege 31 kg. Az indítócsövek űrmérete megegyezik az FZ233 rakéta-indítóblokkéval, valamint az indítási mód és az indítási intervallum is azonos az FZ231, az FZ233 és az FZ225 típusú rakéta-indítóblokkoknál.¹³



4. ábra

FZ231. Forrás: ALH (Advance Light Helicopter). Elérhető: <https://fz.be/alh-advance-light-helicopter>

¹² Szilvássy (2019) i. m. (10. l.)

¹³ Uo.

FZ225

19 indítócsővel ellátott rakéta-indítóblokk. Kialakítása megegyezik az FZ207 blokkal, szintén LIU-val kiegészülve. Magassága és szélessége is 402 mm, teljes hossza 1668 mm, tömege 45 kg.¹⁴

Kimondottan helikopter fedélzeti felhasználásra készülnek a fent említett rakéta-indítóblokkok, nagy szilárdságú könnyűfémötvözetet felhasználva. Mindegyik felszerelhető egy választható, levehető hátsó burkolattal.¹⁵

Mindhárom indítóblokk NATO-szabványoknak megfelelő, 14 hüvelyk távolságban elhelyezkedő függesztőfülekkel, valamint FZ125 típusú rögzítőszerkezettel rendelkezik, amely lehetővé teszi az FFAR- és WA-hajtóművekkel szerelt rakéták indítását. Az FFAR- és WA-hajtóművekről a későbbiekben fogok részletesen írni. Az indítóblokkok alkalmasak minden FZ-szabványú harcírészsel és távolélesítésű gyújtóval szerelt rakéták indítására.¹⁶



5. ábra

FZ225. Forrás: Tiger UHT. Elérhető: https://fz.be/images/texts/18_HELICO_TIGERUHT_2.jpg (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

3.1.2.3. Nemirányítható rakéták

A nemirányítható rakéták olyan objektumok támadására alkalmazhatók, amelyek egyáltalán nem, vagy csak gyengén páncélozottak, valamint olyan beton célokhoz, amelyek közepesen vannak megerősítve. A Thales FZ231 rakétaindító blokk 12 db 70 mm-es nemirányítható rakéta indítására képes. A rakéták harci részei sokrétűek lehetnek, változó az indítási távolságuk, mindez attól függ, hogy milyen típusú a hajtómű, valamint mekkora tömegű a harci rész, így a különböző variánsok indítási távolsága 7100–9000 m közé esik.

A következő harci részeket vezették be:

- FZ71 HEGP – *High Explosive General Purpose* – nagy hatóerejű romboló;
- FZ319 HEAP – *High Explosive Armour Piercing* – nagy hatóerejű repeszromboló;¹⁷
- FZ181 FS – *Flash Signature* – világító;

¹⁴ Szilvássy (2019) i. m. (10. l.)

¹⁵ Uo.

¹⁶ Uo.

¹⁷ Ha az angol elnevezését lefordítjuk, lehetne páncéltörőnek is nevezni, és gyakorta így is fordítják, de valójában ez a magyar terminológiában egy repeszromboló harci résznek felel meg, ugyanis a rendeltetését tekintve nem, vagy gyengén páncélozott objektumok megsemmisítésére, illetve élőerő harc képtelenné tételére alkalmazható.

- FZ120 IP – *Inert Practice* – gyakorló súlymakett;
- FZ149 MULTIDART – 36 db egyenként 35 g-os nyíl megsemmisítő elemet tartalmaz;
- FZ122 Flechette – 2200 darab egyenként 1,3 g-os nyíl megsemmisítő elemet tartalmaz.¹⁸

FZ71 HEGP – High Explosive General Purpose – nagy hatóerejű, romboló

Rendeltetése szerint élőerő és nempáncélozott objektumok ellen alkalmazható. Adatai között 2 mm-nél nem nagyobb páncélvédelem van feltüntetve.¹⁹

FZ120 IP – Inert Practice – gyakorló súlymakett

A harci részben semmilyen pirotechnikai töltet nem található, erre utal a súlymakett elnevezés. Alkalmazási területe nem más, mint különböző gyakorló lövészetek. Ballisztikai szempontból teljes mértékben megegyezik az FZ71, FZ319, valamint az FZ181 típusokkal.²⁰

FZ181 FS – Flash Signature – világító

Nagy általánosságban a világítótöltettel szerelt harci részek több feladatra is alkalmazhatók, többek között területek megvilágítására, például felderítéskor vagy deszantdobási területek vizuális láthatóságának biztosítására, de alkalmazható az ellenség megfigyelőinek, tüzérségének vakítására is. Az FZ181 harci rész fényereje több mint 5 millió cd, illetve több mint 2 s-ig infravörös hatással is bír, tehát alkalmas lehet IR-szenzorokkal rendelkező eszközök zavarására is.²¹

FZ319 HEAP – High Explosive Armour Piercing – nagy hatóerejű repeszromboló

Rendeltetését tekintve gyengén páncélozott objektumok megsemmisítésére, illetve élőerő harc képtelenné tételére alkalmas. Repeszdarabolóást elősegítő bordázattal ellátott köpennyel rendelkezik. Csapódó-fejgyújtóval rendelkezik, mint minden ilyen típusú harci részzel rendelkező rakéta.²²

FZ149 MULTIDART

Nem, vagy gyengén páncélozott objektumok, járművek, valamint élőerő megsemmisítésére szolgál, többek között gépjárműoszlopok, hajók, repülőeszközök, amelyek állóhelyeiken

¹⁸ Domán László: Az Airbus H145M helikopter és túlélőképessége. *Repüléstudományi Közlemények*, 31. (2019), 1. 85–102. 98.

¹⁹ Szilvássy (2019) i. m. (10. l.)

²⁰ Uo.

²¹ Uo.

²² Uo.

tartózkodnak. Fenékgyújtóval szerelt, amely időzíthető. Szétrepülő megsemmisítő elemei kis méretű stabilizátorokkal ellátott nyíl alakú megsemmisítő elemek.²³

FZ122 Flechette

Rendeltetése teljes mértékben megegyezik a már fentebb leírt FZ149 MULTIDART harcírészéével, működésbeli különbség sincs a két harcírész között. Egyetlen különbség a megsemmisítőelemek méretében és darabszámában mutatkozik. Ebben a harcírészben 2200 db apró, dárdaszerű megsemmisítőelem található, amelynek kisebb lesz az átütő vagy ölképesége, méretéből fakadóan.²⁴

Rakétahajtóművek

A fent említett harcírészek két típusú rakétahajtóművel szerelhetők fel, amelyek az FFAR – 4 Folding-Fins Aerial Rockets, valamint a WA – Wrap Around Rockets.

FFAR – 4 Folding-Fins Aerial Rockets

70 mm nemirányítható rakéták meghajtására alkalmas, maga a rakétahajtómű-család az 1940-es évek végén debütált. Szilárd hatóanyagú rakéta-hajtóanyag. Az évtizedek során a kialakításában csak minimális változást eszközöltek, a hajtóanyag összetétele a vegyipar, illetve a gyártástechnológia fejlődésével együtt fejlődött.²⁵ A hajtómű az Mk4/Mk40, valamint az FZ68/FZ67 jelölést kapta. Az indítási távolsága – föld-föld viszonylatban – függ a harci rész tömegétől, az Mk típusváltozaté 7500 m, az FZ típusváltozaté pedig 7700 m is lehet. Hajtóanyag mind a kettő típusnak gyérfüstű, nem korrozív. A teljes tömege 5 kg, a hossza 1006 mm, a hajtóanyag kétbázisú, a megfelelő égési idő biztosítása érdekében belső keresztmetszete csillag alakú. Mindkét hajtómű az összes 2,75 hüvelykes (~70 mm) harci résszel kompatibilis.²⁶

WA – Wrap Around Rockets

Hasonlóan az FFAR – 4 Folding-Fins Aerial Rockets rakétahajtómű-családhoz, szintén 70 mm-es nemirányítható rakétákhoz fejlesztették ki az 1960-as években.

A hajtómű az FZ90-es jelölést kapta meg. A már korábban említett két hajtóműtől minden paraméterében eltér. Indítási távolsága – föld-föld viszonylatban – a harcírész függvényében akár 9100 m is lehet, tömege 6,3 kg, 1060 mm a teljes hossza. A hajtóanyaga kétbázisú,

²³ Szilvássy (2019) i. m. (10. lj.)

²⁴ Uo.

²⁵ Szilvássy László – Békési Bertold: Rakéta hajtóművek. *Repüléstudományi Közlemények*, 11. (1999), 1, 263–271.; Szilvássy László – Békési Bertold: Repülőfedélzeti rakéták hajtóművei. *Bolyai Szemle*, (2002), 1–11.; Szilvássy László – Szabó László: Rakéták reaktív hajtóművei. *Repüléstudományi Közlemények*, 18. (2006), 1. 209–216.

²⁶ Uo.

a megfelelő égési idő biztosítása érdekében belső keresztmetszete szintén csillag alakú, valamint nem korrozív és gyérfüstű.²⁷

3.1.2.4. Irányítható rakéta

Szeretném tisztázni az irányítható rakéta elnevezést. Az angol terminológiában a „rocket” kifejezést a nemirányítható rakétákra használják, az irányítható rakétára pedig a „missile” kifejezést. Az FZ275 LGR – *Laser Guided Rocket*, már az elnevezésében is eltérést mutat a fentebb leírtaktól, ugyanis irányítható rakétáról beszélünk, amelyet olyan indítóblokkból indítanak, amelyet nem-irányítható rakéták alkalmazására alakítottak ki.²⁸

Helikopterfedélzeti irányítható rakéták irányítási módszerei

Gyakran alkalmazott irányítási módszer a távirányítás vagy parancsirányítás, helikopterfedélzeti páncéltörő rakéták használata során. Széles körben elterjedt, köszönhetően a gazdaságosságának, mivel az irányítórendszer legbonyolultabb része – a számítógép, ami a rakéta repülési paramétereit határozza meg – a helikopter fedélzetén található, így azt többször is fel lehet használni.²⁹

Mielőtt a rakéta indítása megtörténik, az operátor vizuálisan választja ki a célt, majd egy optikai rendszer segítségével végrehajtja a célzást. A rendszer szemszögéből nézve, ezzel a módszerrel alakul ki az irányzóvonal. Automatikusan valósul meg a rakéta irányítása az irányzóvonalhoz viszonyítva, ami a következőképpen történik: a) a rávezető műszer segítségével meghatározzuk a rakéta folyamatos szögkoordinátáit a pelengátor optikai tengelyéhez viszonyítva irány és bólintás szerint; b) a vezérlőjelnek megfelelő parancsokat alakít ki a fedélzeti számítógép a fenti jelekből; c) a fedélzeti számítógép által kidolgozott parancsokat vezetékes vonalon vagy rádióparancs-vonalon továbbítják a rakéta felé; d) a rakéta fedélzeti blokkjai a megfelelő manőver végrehajtása érdekében kormánykitéréseket hajtanak végre.³⁰

A pelengátor követi a rakéta infravörös válaszadójának a kisugárzását (lámpa, nyomjelző vagy lámpa) miközben meghatározza a rakéta irányzóvonalhoz viszonyított szöghelyzetét. A rakétának a pelengátor optikai tengelyéhez viszonyított irány és bólintás szerinti szöghelyzetével arányos jelek a fedélzeti számítógépre jutnak, ahol megtörténik az összehasonlítás az irányzóvonal paramétereivel. Az összehasonlítás eredményeképpen alakul ki az eltéréssel arányos irányítójel (Δ). A HOT3, a BGM-71E ezt az irányítási módszert alkalmazza, ráadásul mind a kettő vezetékes távirányítású. Rádió-parancsirányítást alkalmaznak az orosz 9M17P Falanga, a 9M114 Sturm és a 9M120 Ataka-V páncéltörő irányítható rakéták.³¹

²⁷ Szilvássy-Békési (1999) i. m. (25. l.); Szilvássy-Békési (2002) i. m. (25. l.); Szilvássy-Szabó i. m. (25. l.)

²⁸ Szilvássy (2019) i. m. (10. l.)

²⁹ Szilvássy László: Repülőfedélzeti irányítható páncéltörő rakéták és azok összehasonlítása. In Szilvássy László (szerk.): Repüléstudományi Szemelvények. Szolnok, Nemzeti Közszerológiai Egyetem Katonai Repülő Intézet, 2016, 151–176.

³⁰ Szilvássy-Békési (1999) i. m. (25. l.); Szilvássy-Békési (2002) i. m. (25. l.); Szilvássy-Szabó i. m. (25. l.)

³¹ Uo.

Félaktív önirányítással rendelkeznek a következő helikopterfedélzeti irányítható páncéltörő rakéták: az amerikai AGM-114 Hellfire II, az orosz 9A4172 Vihr (AT-16), valamint a dél-afrikai Mokopa SAL. Mindhárom irányítható páncéltörő rakétát az 1990-es években fejlesztették ki.³²

A szárazföldi célok ellen alkalmazott félaktív irányítható rakéták esetében gyakran találkozhattunk félaktív lézerezéssel, és ez nem csak a helikopterfedélzeti irányítható rakétákra mondható ki. Ennek az önirányítási módszernek a lényege megegyezik a légiharc-rakétákéval, valamilyen mesterségesen generált jel segítségével kell kiemelni a célt a háttérből.³³

A célról visszaverődött jelekre fog reagálni a rakéta célkoordinátora, és így fog megvalósulni maga az önirányítás. A harci helikopterek fedélzetén széles körben kevésbé terjedt el a fedélzeti rádiólokátor, ennek következtében a félaktív irányítható páncéltörő rakéták jelentős része félaktív lézer-önirányítású.³⁴

Az aktív önirányítású helikopterfedélzeti irányítható páncéltörő rakéták esetében ez az irányítási módszer a legtrikább. Ilyen változattal rendelkezik az AH-64 harci helikopter modernizációja során kifejlesztett AGM-114 rakéta „Longbow Hellfire” variánsa, amely kombinált irányítási rendszerrel rendelkezik, amelyben egyaránt megtalálható az inerciális, valamint az aktív rádió-önirányítás is.³⁵

A fent leírtakból levonva a következtetést és figyelembe véve az ár-érték-hatékonyság hármast, a leghatékonyabb változat a helikopterfedélzeti irányítható rakéták között nem más, mint a lézer félaktív önirányítás (SAL – *Semi-Active Laser*).³⁶

FZ275 LGR – Laser Guided Rocket

Ez a rakéta nem a szokványos helikopterfedélzeti irányítható rakéta, amelyről Szilvássy L.: A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben; Repülőfedélzeti irányítható páncéltörő rakéták és azok összehasonlítása; Aviation Anti-tank missile AT-16 „Scallion” (9A4172 „Vikhr”); valamint Harci helikopterek fegyverei II.: Irányítható rakétafegyverzet publikációkban is olvashatunk.³⁷

³² Szilvássy–Szabó i. m. (25. lj.); Szilvássy László: *A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben*. Doktori (PhD-) értekezés. Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2008. 96–104.; Szilvássy László: Repülőfedélzeti irányítható páncéltörő rakéták és azok összehasonlítása. In Szilvássy László (szerk.): *Repüléstudományi Szemelvények*. Szolnok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet, 2016, 151–176.; Szilvássy László: Aviation Anti-tank missile AT-16 “Scallion” (9A4172 “Vikhr”), *Repüléstudományi Közlemények*, (2014), 3. 28–33.

³³ Szilvássy (2019) i. m. (10. lj.); Szilvássy–Szabó i. m. (25. lj.)

³⁴ Szilvássy (2019) i. m. (10. lj.)

³⁵ Uo.; Szilvássy–Szabó i. m. (25. lj.)

³⁶ Szilvássy–Szabó i. m. (25. lj.)

³⁷ Szilvássy (2008) i. m. (32. lj.); Szilvássy László: *A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben*. (A tanulmány a szerző ZMNE Katonai Műszaki Doktori Iskolában megvédett doktori [PhD-] értekezésének főbb eredményeit mutatja be). Elektronikus Műszaki Füzetek X. Debrecen, MTA DAB Műszaki Szakbizottsága, 2011. Elérhető: http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/musz_fuz_jo_04.pdf; Szilvássy (2016) i. m. (32. lj.); Szilvássy (2014) i. m. (32. lj.); Szilvássy László: Harci helikopterek fegyverei II.: Irányítható rakétafegyverzet. *Repüléstudományi Közlemények*, 22. (2010), 1.; *H145M successfully launched 70 mm Laser Guided Rockets during its firing campaign in Sweden*. 2018. Elérhető: www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2018/01/h145m-successfully-launched-70mm-laser-guided-rockets-during-its.html (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

Félaktív lézer-önirányítású rakétáról van szó, ha az FZ275 LGR rakétáról beszélünk. A rakéta űrmérete teljes mértékben megegyezik a nemirányítható variánsokkal, nem véletlenül, az űrméretegyezésnek köszönhetően mind a kétfajta rakéta alkalmazható a szabványos 2,75 hüvelykes indítóblokkból. A rakéta indító tömege 12,5 kg, az égésvégi tömege pedig 9,1 kg. A 4 db kormányfelület az indítócső elhagyása után hátrafelé nyílik ki, a stabilizátorai FFAR típusúak. Az alkalmazott lézer meghatározott kódot vagy STANAG 3733 szerintit használ.

A rakéta indítási távolsága 1500 és 6000 m közötti. Alaprendeltetése szerint képes megsemmisíteni nem, vagy gyengén páncélozott célokat, légvédelmi létesítményeket (többek között lokátorokat, rakétaindító berendezéseket), kommunikációs létesítményeket (például átjátszó állomásokat), állóhelyen lévő repülőeszközöket, kisebb méretű hajókat, őrnaszádokat, nem erősített bunkereket, valamint rejtőzött mesterlövészeket is.³⁸

Rendkívül nagy előnye a rakétának az egyszerű használata, az ár-érték aránya és a könnyű integrálása különböző hordozóeszközökre, többek között merevszárnyú, forgószárnyú repülőeszközökre, UAV³⁹-kre, földi járművekre, illetve hajófedélzetre. És nem utolsósorban áthidalja azt az űrt, ami a helikopterfedélzeti géppuskák, gépágyúk, valamint a nagyobb indítási távolsággal rendelkező irányítható rakéták között található.

A félaktív lézer-önirányítás esetében szükséges egy lézer-célmegjelölő, amely lehet más eszközön is, többek között helikopteren vagy akár földi eszközön is. A célmegjelölés megtörténhet a rakéta indítása előtt – LOBL⁴⁰ –, vagy után – LOAL⁴¹. Ez a fajta rugalmasság nagymértékben növeli a helikopter túlélőképességét.

A rakéta harcírésze megegyezik az FZ319 harcírészsel.⁴²



6. ábra

FZ275 LGR – Laser Guided Rocket. Forrás: FZ unveils its Laser Guided Rocket FZ275 LGR on EUROSATORY 2016. Elérhető: https://fz.be/images/news/n19_FZ275%20LGR%20-%20Semi-Active%20Laser%20Guided%20Rocket%2070mm%20-%20202.75in.jpg (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

Spike ER2

A 2019-es párizsi Airshow-n bemutatott szerb fél által rendelt 9 db H145M helikoptereken Spike ER2 irányítható páncéltörő rakétát is integráltak.

³⁸ Szilvássy (2019) i. m. (10. l.)

³⁹ *Unmanned Aerial Vehicle* – pilóta nélküli repülőgép.

⁴⁰ *Lock on Before Launch* – célbefogás a rakéta indítása előtt.

⁴¹ *Lock on After Launch* – célbefogás a rakéta indítása után.

⁴² Szilvássy (2019) i. m. (10. l.)

A Spike izraeli tervezésű, a „tüzelj és felejtse el!” elven működő irányítható páncéltörő rakéta. Elsődlegesen a szárazföldi csapatok harckocsik elleni kézifegyverének szánták, de később földi szállítójárműre, sőt helikopterfedélzetre is felszerelték. Az első variánsok az 1980-as években álltak rendszerbe. Az ER2 variáns fejlesztése 2018-ban kezdődött és elsődlegesen helikopterfedélzetről történő alkalmazásra fejlesztették ki.⁴³



7. ábra

Spike ER2. Forrás: Rafael unveils new Spike ER2. Defence & Technology. Elérhető: <http://defenceandtechnology.com/wp-content/uploads/2018/09/spike-750x370.jpg> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

4. Összegzés

A Zrínyi 2026 keretében beszerzésre kerülő H145M helikopterek, az eddig üzemeltetett, korábbi szovjet/orosz típusokhoz képest filozófiájukban más technikát képviselnek. Az elektronizáltságuk, gondolunk itt a modern avionikai és fegyvervezérlő rendszerekre, már a mai digitális világot képviselik. Fegyverrendszere modulárisan jól variálható a feladat függvényében. Reméljük, hogy az üzemeltetési tapasztalatok is igazolják a helikopterrel szemben támasztott elvárásokat.

Felhasznált irodalom

Domán László: Az Airbus H145M helikopter és túlélőképessége. *Repüléstudományi Közlemények*, 31. (2019), 1. 85–102. DOI: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.1.8>

Folytatódik a haderő fejlesztése – új katonai helikoptereket szerez be a honvédség. 2018. Elérhető: https://honvedelem.hu/cikk/111144_folytatodik_a_hadero_fejlesztese_uj_katonai_helikoptereket_szerez_be_a_honvedseg (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

H145M successfully launched 70 mm Laser Guided Rockets during its firing campaign in Sweden. 2018. Elérhető: www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2018/01/h145m-successfully-launched-70mm-laser-guided-rockets-during-its.html (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

⁴³ Szilvássy László: Harci helikopterek fegyverei I. Tűzfegyverek és nemirányítható rakéták. *Repüléstudományi Közlemények*, 21. (2009), 4.; Szilvássy László: Harci helikopter modernizáció kérdései. *Repüléstudományi Közlemények*, 25. (2013), 1. 236–262.; *Spike (missile)*. Wikipedia the Free Encyclopedia. Elérhető: [https://en.wikipedia.org/wiki/Spike_\(missile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Spike_(missile)) (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.); *Spike ER2*. Elérhető: www.eurospike.com/spike_er.html (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.); *MBB/Kawasaki BK 117*. i. m. (6. lj.)

- Szilvássy László: Az Airbus H145M helikopter fegyverei I. – nemirányítható rakétarendszer. *Repüléstudományi Közlemények*, 31. (2019), 2. 15–29. DOI: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.2.2>
- Szilvássy László: Aviation Anti-tank missile AT-16 "Scallion" (9A4172 "Vikhr"). *Repüléstudományi Közlemények*, (2014), 3. 28–33.
- Szilvássy László: Harci helikopterek fegyverei I. Tűzfegyverek és nemirányítható rakéták. *Repüléstudományi Közlemények*, 21. (2009), 4.
- Szilvássy László: *A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben*. Doktori (PhD-) értekezés. Budapest, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2008.
- Szilvássy László: *A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a Magyar Honvédségben*. (A tanulmány a szerző ZMNE Katonai Műszaki Doktori Iskolában megvédett doktori [PhD-] értekezésének főbb eredményeit mutatja be.) Elektronikus Műszaki Füzetek X. Debrecen, MTA DAB Műszaki Szakbizottsága, 2011. Elérhető: http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/musz_fuz_jo_04.pdf
- Szilvássy László: Repülőfedélzeti irányítható páncéltörő rakéták és azok összehasonlítása. In Szilvássy László (szerk.): *Repüléstudományi Szemelvények*. Szolnok, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Intézet, 2016, 151–176.
- Szilvássy László: Harci helikopterek fegyverei II.: Irányítható rakétafegyverzet. *Repüléstudományi Közlemények*, 22. (2010), 1. 33.
- Szilvássy László: Harci helikopter modernizáció kérdései. *Repüléstudományi Közlemények*, 25. (2013), 1. 236–262.
- Szilvássy László – Békési Bertold: Rakéta hajtóművek. *Repüléstudományi Közlemények*, 11. (1999), 1. 263–271.
- Szilvássy László – Békési Bertold: Repülőfedélzeti rakéták hajtóművei. *Bolyai Szemle*, (2002), 1–11.
- Szilvássy László – Szabó László: Rakéták reaktív hajtóművei. *Repüléstudományi Közlemények*, 18. (2006), 1. 209–216.
- Trautmann Balázs: Átadták a honvédség új helikoptereit Szolnokon. 2019. Elérhető: <https://honvedelem.hu/galeriak/atadtak-a-honvedseg-uj-helikoptereit-szolnokon/> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

Internetes források

- Airbus Helicopters completes first firing campaign with HForce-equipped H145M*. 2017. Elérhető: www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2017/11/airbus-helicopters-completes-first-firing-campaign-with-hforce-e.html (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- Airbus Helicopters*. Wikipedia the Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus_Helicopters (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- ALH (Advance Light Helicopter)* Elérhető: <https://fz.be/alh-advance-light-helicopter> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- Eurocopter EC145*. Wikipedia the Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/Eurocopter_EC145 (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

- FZ unveils its Laser Guided Rocket FZ275 LGR on EUROSATORY 2016.* Elérhető: https://fz.be/images/news/n19_FZ275%20LGR%20-%20Semi-Active%20Laser%20Guided%20Rocket%2070mm%20-%202.75in.jpg (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- Leone Hadavi on Twitter.* Elérhető: <https://pbs.twimg.com/media/Dx2KLw0XcAAkSFR.jpg> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- MBB/Kawasaki BK 117.* Wikipedia the Free Encyclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/MBB/Kawasaki_BK_117 (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- Rafael unveils new Spike ER2.* Defence & Technology. Elérhető: <http://defenceandtechnology.com/wp-content/uploads/2018/09/spike-750x370.jpg> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- Spike (missile).* Wikipedia the Free Encyclopedia. Elérhető: [https://en.wikipedia.org/wiki/Spike_\(missile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Spike_(missile)) (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- Spike ER2.* Elérhető: www.eurospike.com/spike_er.html (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)
- Tiger UHT.* Elérhető: https://fz.be/images/texts/18_HELICO_TIGERUHT_2.jpg (A letöltés dátuma: 2020. 06. 10.)

Vránics Dávid Ferenc¹

Testing of a Cloud-Controlled Unmanned Aircraft System

During the last years, cloud controlled unmanned aircraft systems (UAS) have become reality. Keeping up with the trend, my research focused on design, development and testing of such a system, while keeping security concerns in mind. The present article summarises the final testing phase, including flight tests and test in lab environment. The most interesting results include successful flight tests with more than 15,000 km communication roundtrip between the ground controller station, the cloud server and the drone; evidences of the importance of georedundant installation of compute hosts to increase survivability of the service; and the demonstration of automatic horizontal scaling of the system depending on performance demands.

Keywords: UAS, drone, cloud, testing

Egy felhőből irányított pilóta nélküli légitársaság-rendszer tesztelése

Az utóbbi évek során a felhőből irányított, pilóta nélküli légitársaság-rendszerek világa valósággá vált. A jelenkor kihívásaival lépést tartva, kutatásom az ilyen rendszerek tervezésére, fejlesztésére és tesztelésére fókuszált, a biztonsági kérdéseket szem előtt tartva. Jelen publikáció összegzi a tesztelés végső fázisát, amely repülési tesztek és labor körülmények közti tesztek is magába foglalt. A legizgalmasabb eredmények között említeném a sikeres reptetést több mint 15000 km kommunikációs úttal a földi irányító állomás, a felhő szolgáltatás és a légi jármű között; a felhőt alkotó számítógépek georedundáns elhelyezése által nyújtott túlélési képesség szemléltetését; illetve a szolgáltatás horizontális skálázhatóságának szemléltetését a teljesítményigény függvényében.

Kulcsszavak: UAS, drón, felhő, tesztelés

1. Introduction

During the last decade, multiple implementations of cloud based UAS were demonstrated. From Internet of Drones (IoD) through Dronemap Planner and DroneDeploy to DJI FlightHub various

¹ MSc, University of Public Service, Doctoral School of Military Engineering, PhD student, vranicsd@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0637-476X>

solutions have been made available to the public by publications, industrial recommendations or commercial release of services.² My research focuses on the security of such systems during design, development and testing phases of the product lifecycle. I developed a prototype cloud controlled UAS for the purpose of demonstrating the potential of the concept, including robustness and scalability of the flight support services.

1.1. The system under test

Analogous to the Internet of Things (IoT) systems, a cloud-based Unmanned Aircraft System (UAS) consists of the aerial subsystem and the ground-based subsystem.³ In the ground-based subsystem, the cloud computing core infrastructure hosts the command and control services, while the end-user devices facilitate user interaction (e.g. mission planning with map integration). The aerial subsystem (that is, the Unmanned Aerial Vehicles [UAV]) interacts with the core system via a separate interface, as can be seen on Figure 1.

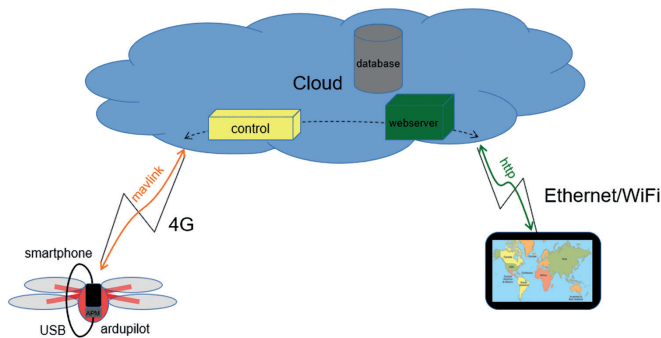


Figure 1.

Schematics of the system layout. Source: compiled by the author.

The following test cases focus on the cloud system's interface towards the UAVs. The reason behind this is that the user interface is browser-based and is communicating on a Representational State Transfer (REST) Application Programming Interface (API) with the cloud. As such, the methodology is already well-established⁴ and studied in depth,⁵ no novel findings surfaced during testing – except for one case, when the coordinate system of the

² Mirmojtāba Gharibi, Raouf Boutaba and Steven L. Waslander, 'Internet of drones,' *IEEE* 4 (2016), 1148–1162; Anis Koubaa, Basit Qureshi, Mohamed-Foued Sriti, Azza Allouch, Yasir Javed, Maram Alajlan, Omar Cheikhrouhou, Mohamed Khalgui and Eduardo Tovar, 'Dronemap Planner: A Service-Oriented Cloud-Based Management System for the Internet-of-Drones,' *Ad Hoc Networks* 86 (2009), 46–62; 'Drone Operations Management Solution,' DJI (Da-Jiang Innovations) FlightHub. Available: www.dji.com/hu/flighthub (29. 04. 2020.)

³ Dávid Ferenc Vránics, Mátyás Palik and Zsolt Bottyán, 'Electronic administration of unmanned aviation with Public Key Infrastructure (PKI),' *Security & Future* 3, no 4 (2019), 152–155.

⁴ Sergio Segura, José A. Parejo, Javier Troya and Antonio Ruiz-Cortés, 'Metamorphic Testing of RESTful Web APIs,' *IEEE Transactions on Software Engineering* 44, no 11 (2018), 1083–1099.

⁵ Andy Neumann, Nuno Laranjeiro and Jorge Bernardino, 'An Analysis of Public REST Web Service APIs,' *IEEE Transactions on Services Computing*, 2018, p. 1.

Mapbox map display framework happened to be swapping the order of longitude and latitude compared to the coordinates of the MAVLink protocol (detailed later in this article).

1.2. Test infrastructure setup

According to the definition of the International Software Testing Qualification Board (ISTQB),⁶ a test infrastructure is the collection of 'the organizational artifacts needed to perform testing, consisting of test environments, test tools, office environment and procedures.' In our case, two different approaches were applied: field tests were conducted to verify the functionality of the system, and lab tests to verify other non-functional requirements (such as robustness). The two approaches were covered with separate infrastructure.

1.2.1. Field tests

During field tests, a DJI F450 quadcopter platform provided the base for the aerial subsystem (see Figure 2). The UAV's ArduPilot Mega autopilot was connected to a smart phone via an Universal Serial Bus (USB) On The Go (OTG) cable, the smartphone being the host side. The smartphone ran an Android app called Micro Air Vehicle (MAV) Downlink. The app connected to the core system via 4G internet. For manual flight a traditional 2.4 GHz radio remote controller was used, this also served as a means of backup control in case of autonomous flight.

The autopilot was calibrated and set up via ArduPlot Mega (APM) Planner software, all sensors were health-checked with the built-in tools. Geofencing was also enabled and set up on the drone to make sure it does not leave the designated airspace.



Figure 2.

Closeup of the UAV used in the testing process, powered up. Source: Photographed and edited by the author.

⁶ ISTQB Glossary, International Software Testing Qualification Board. Available: <https://glossary.istqb.org/> (29. 04. 2020.)

The core system was run on a cloud-based virtual machine, physically located in Chicago, United States, hosted by Chicago Virtual Private Server (VPS). At this point, the cloud system hosted the UAV interface, the database and the mission planner interface in a single Virtual Machine (VM) with no scaling capabilities.

The user interface (map) was displayed on either a smartphone or a laptop in the field.

Even with the 2x7500-kilometer distance, the network latency between the drone and the ground control station (laptop or smartphone) was around 150 milliseconds (measured with Internet Control Message Protocol [ICMP] echo requests, that is, ping). This implementation of the core cloud system synchronises the two interfaces every second, so the network delay is negligible compared to the synchronisation time.

With the above setup, two test flights were conducted.

1.2.2. Lab tests

Lab tests were focusing on the characteristics of the core infrastructure, and mainly the UAV-facing interface, thus the map display interface was omitted during these tests, data was checked directly in the central database. The functionality of the map was already tested during the flight tests, apart from that, the interface is a traditional REST design and as such, there is no novelty or finding to be published, as noted before.

The core system was running on two compute machines, hosted on traditional laptops. A third laptop was running a proprietary MAVLink 1.0 drone simulator, implemented specifically for this testing setup by the author using C++ and Test and Test Control Notation version 3 (TTCN-3) language. This program simulated 100 parallel UAVs, which emitted position and heartbeat data with a 1 second interval. The basis for the data was captured directly from the drone in the field tests, then actualised by the code where necessary (drone identifiers, timestamp, checksum, and so on).

The base networking was served by a traditional home router, see Figure 3 below.

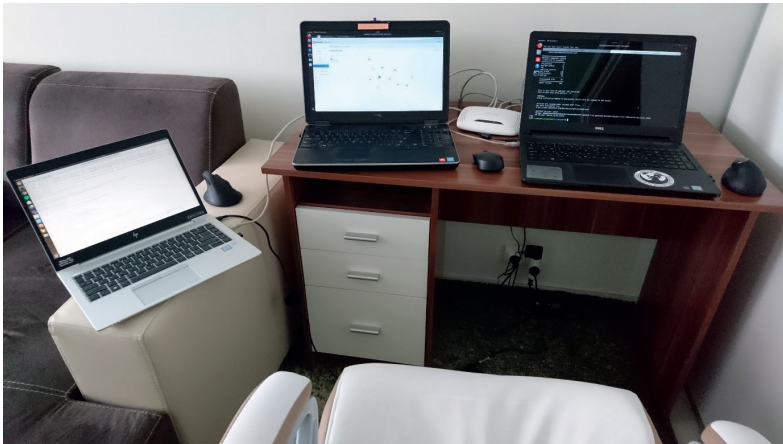


Figure 3. *The physical layout of the machines and the router: the simulator host, host 'uascontrolnode', the router, and host 'uascomputenode1' (left to right). Photographed by the author.*

The two compute machines served altogether 8 processor threads and around 23 GB memory, see Figure 4.

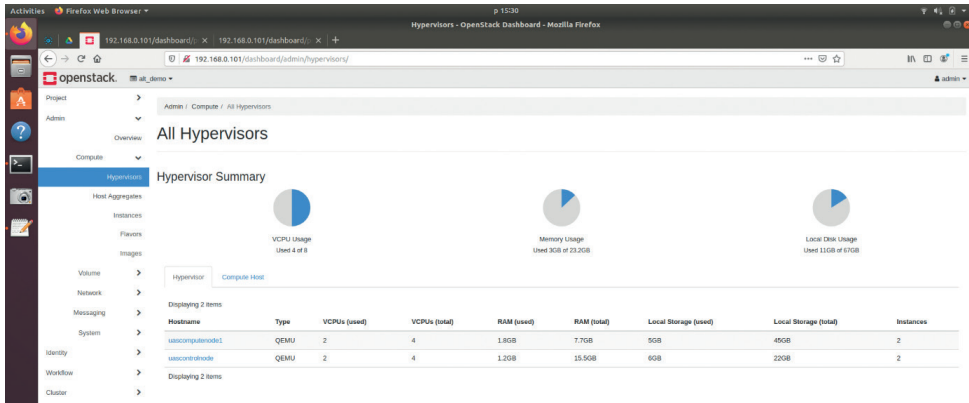


Figure 4. Hypervisors displayed on the OpenStack horizon dashboard. Screenshot by the author.

The machines were utilised in a way through OpenStack so that automatic scaling and placement of the service could be achieved. The orchestration was conducted by the OpenStack Heat component. See Figure 5.

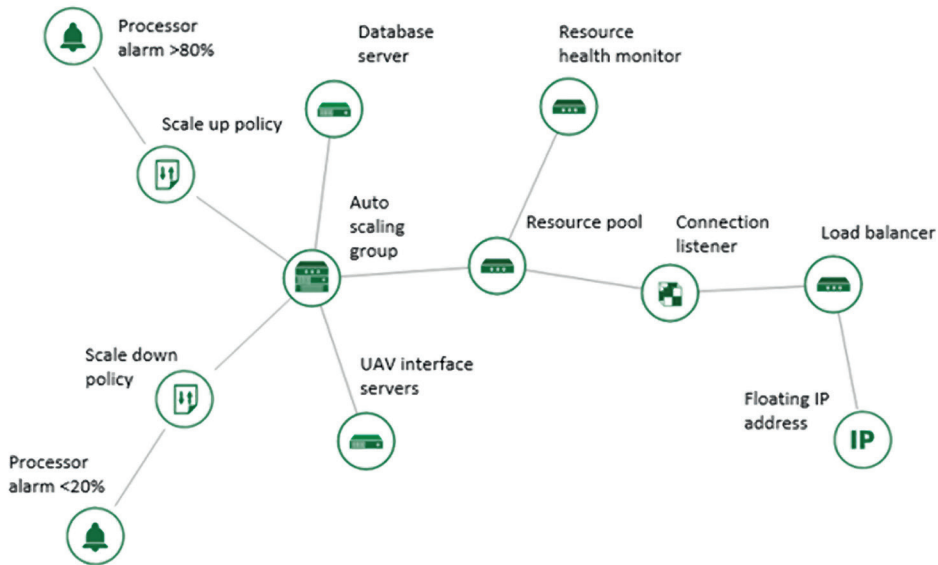


Figure 5. Schematics of the autoscaling stack configuration. Source: compiled by the author.

1.3. Test objectives

1.3.1. Horizontal scaling

The term 'horizontal scaling' refers to creating more (or less) parallel virtual machines when needed – for example based on processor load or network throughput; opposed to growing or shrinking a single virtual machine when the resource needs dictate so. The latter is called vertical scaling.

1.3.2. Anti-affinity

In some cases, a service would require placing related virtual machines as close physically as possible (i.e. possibly on the same machine), for example to reduce network latency. This property is called affinity. In our case, the service is preferred to be spread on as many machines as possible (thus anti-affinity), to prevent a single point of hardware failure causing total service outage.

1.3.3. Robustness

A non-functional property of the system is robustness, or with other words, in our case the main goal is survivability. Anti-affinity and geo-redundant physical placement of servers are key to achieve a robust service.

1.3.4. Session persistence

For ease of connection handling, single UAVs are preferred to be routed to the same virtual machine by the load balancer every time they connect. This way, some control communication (that is, session buildup and teardown) can be spared for individual messages, the network cost of which is comparable to the actual UAV data in the case of MAVLink 1.0 protocol.

1.3.5. Flight control functionality

During flight tests, different functions of the map user interface were to be tested, including:

- UAV position display;
- Arming/disarming the rotors;
- Autonomous takeoff/landing;
- Flight path/single waypoint upload onto the UAV, deleting waypoints;
- Autonomous/manual flight.

1.4. Test strategy

The test strategy includes methodical testing (pre-planned testcases based on a checklist that evolved during the development) and dynamic testing (exploratory testing, adapting to the challenges evolving on-the-field).

2. Conducted field tests

In the preamble phase of testing, the drone was powered on by connecting the battery, while the smartphone was connected to the autopilot via USB cable and was fixed on-board on the UAV. Then the MAV Downlink app was started to relay data between the USB and the internet. Postamble phase involved reverting the previous steps.

2.1. Manual flight

The first flight was conducted on 1st June 2019. The objective was to verify overall operation of the system (that is, system test). Short manual flights were flown, while collecting position and telemetry data on the server side for later analysis, as can be seen on Figure 6.



Figure 6.
The UAV during manual flight. Photograph in the property of the author.

The flights took place in the following airspace:

A1557/19

81

470603N 0201207E

470746N 0201204E

470752N 0201748E

470611N 0201753E

470603N 0201207E
 (Szolnok)
 GND 2500 feet AMSL
 07:00 16:00
 UAV flight

The author's Drónpilóták Országos Egyesülete (DOE) membership number is 269189, while his Groupama insurance number is 930/871727715 (valid in the period of both flights).

2.1.1. Test case 1.1: Manual flight

The UAV was controlled with a 2.4GHz remote controller in STABILIZE mode. After manual arming, take off and a short hover, the drone was manually landed and disarmed. During the flight, the server side was observed, position data and flight telemetry was logged with no visible interruption. For the map display, see Figure 7.

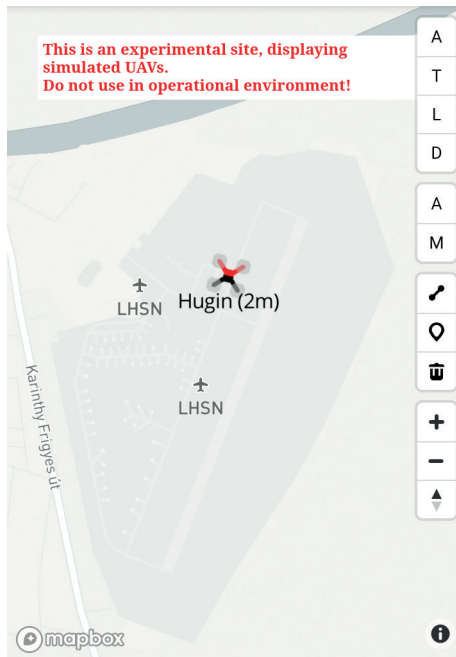


Figure 7.

The map display during manual flight. (Note: the disclaimer in red is intended for accidental visitors of the website, as access is not authenticated.) Smartphone screenshot by the author.

2.1.2. Test case 1.2: Connection loss and recovery

During a manual landing scenario, the drone tipped to side because of a wind gust and disconnected the USB cable from the smart phone. Because of this interruption in communication, no data was sent to the server side. Upon reconnecting the USB cable, the connection was restored. On the server side no outage was observed, data collection resumed as the smart phone forwarded more data.

2.2. Autonomous flight

The second flight was conducted on 17th November 2019. The main objective was to verify autonomous flight functionality and path planning. The flights took place in the following airspace:

A4036/19
84
470603N 0201207E
470746N 0201245E
470752N 0201748E
470611N 0201753E
(Szolnok)
GND 4500 feet AMSL
07:00 15:00
UAV flight

2.2.1. Test case 2.1: Remote arm/disarm

During this test case the UAV was stationary on ground. On the map interface, the first A (arm) button was clicked, the rotors activated at a healthy idle speed, then the D (disarm) button was clicked to observe the rotors stopping. Note: it was verified by checking the server logs that the rotors stopped because of the user interaction, as rotors get disarmed automatically after a few seconds of idle spin with no thrust input. The remote controller was not connected at this point.

2.2.2. Test case 2.2: Remote takeoff/land

After arming the rotors, the same way as above, the second A (auto mode) button was clicked on the user interface. Then the first A (arm) button was clicked to arm the rotors, then the T (takeoff) button was clicked. The UAV failed to take off, the rotors disarmed after a few seconds. Later investigation showed that as per documentation,⁷ ArduCopter version 3.2.1 that runs on the UAV's APM 2.6 board requires manual (remote control) thrust input to start

⁷ 'Copter Home.' Ardupilot. Available: <https://ardupilot.org/copter/index.html> (29. 04. 2020.)

mission as opposed to the newer versions, which support mission start immediately upon entering AUTO mode.⁸ Note: The current implementation of the system uploads a single mission item to the UAV, which contains a takeoff type-waypoint.

2.2.3. Test case 2.3: Mission upload/delete

The mission planning and upload was verified beforehand by APM Planner and QGroundControl applications, by uploading a mission (both single waypoint and flight path missions) onto the drone via the proprietary web user interface, then reading the mission from the autopilot with the above listed, commercially available applications. This dry test had shown that the MAVLink and MapBox representations of coordinates are different in the order of latitude and longitude, causing the mission waypoints to shift from Hungary (for example 47° N, 19° E) to Saudi Arabia (19° N, 47° E). This error was fortunately revealed and fixed before actual field tests were conducted.

On the field, the mission upload and delete feature was retested by uploading a single waypoint to the drone, by placing the waypoint on the map display, by clicking the map marker button on the interface, then clicking on the map, while observing the server logs for responses from the drone. Deleting the waypoint was tested by clicking the trashcan icon on the user interface, observing the response from the autopilot in the server console and logs.

2.2.4. Test case 2.4: Mission override

A mission was uploaded following the above procedure, then a new mission was planned on the user interface. The server logs were observed to verify the response from the drone, acknowledging the new mission and deleting the old one.

2.2.5. Test case 2.5: Autonomous flight

The drone was set to manual mode (button M on the user interface) and the remote controller was switched on with throttle on zero. A single waypoint was uploaded and verified by observing the server console output. The rotors were armed by clicking the first A (arm) button, then a manual takeoff was performed by increasing the throttle. At around 5 meters altitude above ground, the UAV was kept hovering while the second A (auto mode) button was clicked on the user interface. The autopilot took over the control, and the drone proceeded towards the assigned waypoint. When the waypoint was reached, the autopilot indicated it with a MAVLink message, stopped and kept its position hovering in place, see Figure 8. Then the M (manual mode) button was clicked to take back manual control, and the drone was piloted back to the point of takeoff. During the manual landing procedure, unfortunately the UAV dropped, and the connection was lost. The most plausible cause of the crash may be that

⁸ 'Archived: APM 2.5 and 2.6 Overview.' Ardupilot. Available: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-apm25-and-26-overview.html> (29. 04. 2020.)

because of a sudden gust and the constant vibration, the battery cable disconnected, and this resulted in the drone crashing. Upon examination, the USB cable was also discovered to be disconnected, but the flight in that stage was in manual mode and the logged data on the server suggested that the cable disconnected as a result of the crash. The frame and all four propellers were found broken (see Figure 9), so field testing had to be concluded.



Figure 8.

The server console log and map display during autonomous flight. (Note: the orange dot on the map is the designated waypoint.) Screenshot by the author.



Figure 9.

The author with the field equipment after the tests. Photograph in the property of the author.

3. Conducted lab tests

3.1. Scaling

3.1.1. Test case 3.1: Manual scaling

Upon creation of an OpenStack Heat ScalingPolicy, an internal Uniform Resource Locator (URL) is generated. This URL can be used to trigger the policy manually to perform the configured adjustment of resources, for example to scale up or down an AutoScalingGroup. During this test, the above-mentioned manual method was tested to trigger a scale up. Figure 10 shows the successful result of said action, namely a new virtual machine was created, and it joined the service. The detailed changes in networking can also be observed in Figure 11.

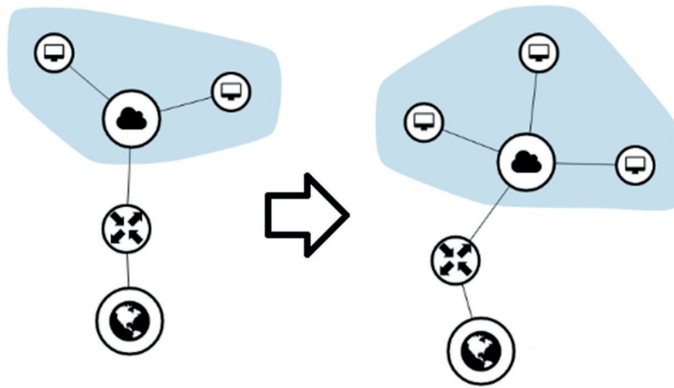


Figure 10.

A new server was created. Graphic edited from actual screenshots by the author.



Figure 11.

The new server's addition to the network topology. Graphic edited from actual screenshots by the author.

3.1.2. Test case 3.2: Automatic scaling

Of course, it is preferred to provide scaling capability automatically, so a resource alarm was set up to both scale up and scale down policies. The resource alarm polls the value of a Central Processing Unit (CPU) metric every five minutes and triggers a policy if the desired threshold is reached. Initially, CPU load was generated by simulating 100 UAVs, each sending heartbeat and position data every second on a separate laptop in the network. As this proved to occupy only less than 10% of the CPU capacity in the single initial virtual machine, additional load was generated by executing an infinite loop on the machine manually. After a few minutes, at the next polling event, the scale up policy was successfully triggered, and an additional virtual machine got created. Stopping the load caused the system to scale down at the end of the next polling period, and the newly created virtual machine got stopped.

3.2. *Anti-affinity*

3.2.1. Test case 3.3: Static placement

In this case, the stack was configured to start two virtual machines immediately upon creation. The goal was to verify if the two virtual machines are started on different compute hosts. The test passed, the first machine and the database got created on the first node ('uascontrolnode'), the other machine started on the other node ('uascomputenode1').

3.2.2. Test case 3.4: Dynamic placement

This test involved starting a single virtual server, then triggering a scale up manually as in test case 3.1. After the manual scale up, the second virtual machine was placed correctly on the other physical host.

3.3. *Robustness*

3.3.1. Test case 3.5: Service survivability

In this case, the service is originally spread onto two compute hosts. While simulated UAVs were generating active load on the virtual machine on the second physical host, the network cable between this host and the network router was disconnected, thus simulating the loss (that is, destruction) of the machine. The health monitor component noticed this by doing periodical Transmission Control Protocol (TCP) based checks on the service, and the virtual machine's status was flagged 'Error' in the list of servers (see Figure 12). The load balancer then re-routed the incoming connections towards the other, available server. This way the service survived and suffered no noticeable interrupt.

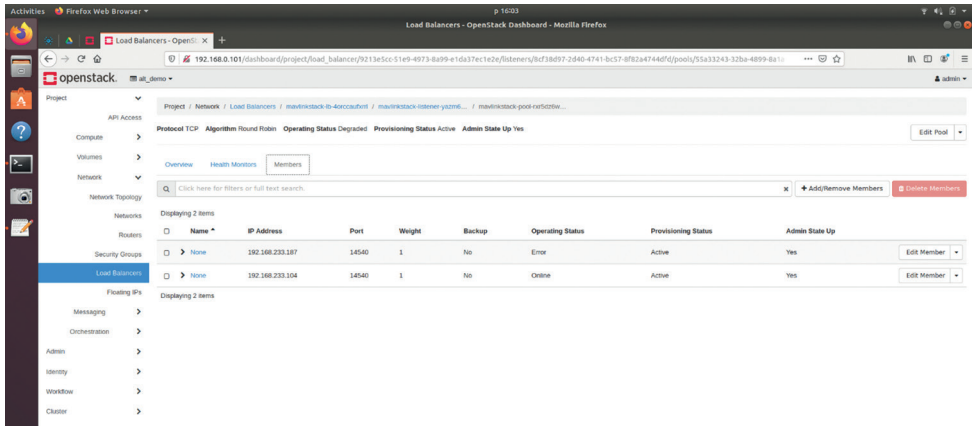


Figure 12.

The operating status of the disconnected VM turns to 'Error'. Screenshot by the author.

3.3.2. Test case 3.6: Service restoration

Test case 3.5 was extended with the case of finally reconnecting the lost compute host. After plugging back the network cable, the host networking returned, and the health monitor noticed the return of the virtual machine. The service code was designed in a way that the interrupted network connections were relieved immediately, so no connections get 'stuck' waiting for reconnection because of the rerouted clients (that were already reconnected to the other server). New clients after the reconnection were successfully routed towards the returning server.

3.4. Session persistence

3.4.1. Test case 3.7: Client reconnection

This time a client connected to the service, disconnected, then reconnected. The aim of this test was to verify resource cleanup on the server side upon client disconnection, and proper creation of new resources. This property was essential for other test cases like test case 3.6 and 3.8.

3.4.2. Test case 3.8: Persistence on current server

Initially two virtual machines were started. A client connected to the service and was routed to the first server. Upon disconnection and reconnection, it was indeed routed to the first server again, based on its source Internet Protocol (IP) address. This property would be useful if the server side waited for clients to reconnect by design. In that case the resources would not need to be completely freed when a client disconnects momentarily. In our case the only benefit was shown during the following test case.

3.4.3. Test case 3.9: Persistence on new server after service migration

Again, initially two virtual machines were started on two separate compute hosts. The connecting client was routed to the second host. The networking of the host was then interrupted (network cable again unplugged), and the client was observed to be rerouted towards the first host. The network cable was reinserted, but the client remained connected to the first host. This way the client did not need to reconnect towards the second (original) host, sparing teardown and buildup of connections which would have no added value to the client.

4. Conclusion

In this article, field and lab testing aspects of a cloud controlled UAS were reviewed. Functional, flight control capabilities of the system were verified in field environment, proving that such a concept is viable to conduct autonomous UAV missions literally from the other side of the world (in these cases the communication roundtrip was around 15,000 kilometers between Chicago and Szolnok).

Core functionality and non-functional properties of the system were verified in a multi-computer setup, successfully demonstrating scalability, robustness, session persistence and anti-affinity capabilities, while handling several parallel simulated UAV clients.

Bibliography

- 'Archived: APM 2.5 and 2.6 Overview.' Ardupilot. Available: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-apm25-and-26-overview.html> (29. 04. 2020.)
- 'Copter Home.' Ardupilot. Available: <https://ardupilot.org/copter/index.html> (29. 04. 2020.)
- 'Drone Operations Management Solution.' DJI (Da-Jiang Innovations) FlightHub. Available: www.dji.com/hu/flighthub (29. 04. 2020.)
- Gharibi, Mirmojtaba – Boutaba, Raouf – Waslander, Steven L.: 'Internet of drones.' *IEEE 4* (2016), 1148–1162. DOI: <https://doi.org/10.1109/access.2016.2537208>
- ISTQB Glossary*. International Software Testing Qualification Board. Available: <https://glossary.istqb.org/> (29. 04. 2020.)
- Koubâa, Anis – Qureshi, Basit – Sriti, Mohamed-Foued – Allouch, Azza – Javed, Yasir – Alajlan, Maram – Cheikhrouhou, Omar – Khalgui, Mohamed – Tovar, Eduardo: 'Dronemap Planner: A Service-Oriented Cloud-Based Management System for the Internet-of-Drones.' *Ad Hoc Networks* 86 (2009), 46–62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2018.09.013>
- Neumann, Andy – Laranjeiro, Nuno – Bernardino, Jorge: 'An Analysis of Public REST Web Service APIs.' *IEEE Transactions on Services Computing*, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSC.2018.2847344>
- Segura, Sergio – Parejo, José A. – Troya, Javier – Ruiz-Cortés, Antonio: 'Metamorphic Testing of RESTful Web APIs.' *IEEE Transactions on Software Engineering* 44, no 11 (2018), 1083–1099. DOI: <https://doi.org/10.1109/tse.2017.2764464>
- Vráncs, Dávid Ferenc – Palik, Mátyás – Bottyán, Zsolt: 'Electronic administration of unmanned aviation with Public Key Infrastructure (PKI).' *Security & Future* 3, no 4 (2019), 152–155.

Tartalom

NOVOSZÁTH PÉTER: A horvát regionális repülőterek működésének és fejlesztésének főbb jellegzetességei	5
SZABOLCSI RÓBERT: Pilóta nélküli légi jármű kis magasságú repülési pályáinak tervezése	29
DOMÁN LÁSZLÓ: Helikopterek speciális vészelhagyási eszközei	51
BAGDI ZSOLT, BAKÓ GÁBOR: Repülőterek felmérése, elektronikus terep- és akadály adatgyűjtés	67
TÍMÁR FÉLIX, SZILVÁSSY LÁSZLÓ: A JAS 39EBS HU harcászati repülő irányítható légiharc-rakétái	75
GAJDÁCS LÁSZLÓ, GERVAI BÁLINT, MAJOR GÁBOR: A pilóta nélküli légijármű-rendszerek és a honvédelem tegnap, ma és holnap	87
GAJDÁCS LÁSZLÓ, SZÚCS VIKTOR: A 3D-nyomtatás gyártástechnológiai, felhasználási területei, illetve az ebben rejlő potenciál	101
NOVOSZÁTH PÉTER: A magyar regionális repülőterek fejlődése nemzetközi összehasonlításban	111
SZABÓ LÁSZLÓ ISTVÁN: A repülést és a repülőterek működését veszélyeztető tényezők csoportosítása, alapvető jellemzői	125
SZABOLCSI RÓBERT: UAV repülési magasságának mérése extrém alacsony repülési pályákon	145
GERVAI BÁLINT, SZILVÁSSY LÁSZLÓ: Az Airbus H145M helikopter fegyverzete	161
VRÁNICs DÁVID FERENC: Testing of a Cloud-Controlled Unmanned Aircraft System	175