



REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

Kiemelt közlemények

SZABOLCSI RÓBERT:

Pilóta nélküli légi járművek kooperatív irányítása

BENE VIKTÓRIA:

A monitoringrendszerek és a pilóta nélküli légi járművek lakosságvédelmi célú alkalmazása a veszélyes üzemek környezetében

LÁSZLÓ DOMÁN:

Overview of Reliability-Based Risk Assessment Methods and their Possible Application to Electronic Warfare Self-Protection Systems for Military Helicopters

34. évf. (2022)
1. szám

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



LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

Repüléstudományi Közlemények

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar tudományos kiadványa

Elektronikus kiadás
HU ISSN 1789-770X

Nyomtatott kiadás
HU ISSN 1417-0604

A szerkesztőbizottság elnöke

Prof. Dr. Óvári Gyula (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

A szerkesztőbizottság tagjai

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

Szerkesztőség

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

Kiadó

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

A kiadásért felel: Deli Gergely rektor

Borítókép: a képet a MH 86. Szolnok Helikopter Bázis munkatársai készítették.



Tartalom

Szabolcsi Róbert: Pilóta nélküli légi járművek kooperatív irányítása	5
Bene Viktória: A monitoringrendszerek és a pilóta nélküli légi járművek lakosságvédelmi célú alkalmazása a veszélyes üzemek környezetében	23
László Domán: Overview of Reliability-Based Risk Assessment Methods and their Possible Application to Electronic Warfare Self-Protection Systems for Military Helicopters	43
Major Gábor, Tóth Zoltán: A pilóta nélküli légi járművek együttműködésének lehetőségei a szárazföldi erőkkel egyes katonai műveletekben	61
Gajdács László: Pilóta nélküli légi járművek megjelenési gyakoriságának vizsgálata.	77
Szabó László István: A polgári repülés és repülőterek fejlődése, a modern repülőterek létesítésének, korszerűsítésének szempontjai	91
Szilágyi Dénes: Számítógépes teljesítményanalízis helyettesítő függvényekkel.	111
Nagy-Bozsoky József, Szabó Sándor András, Tótká Zsolt: Magasságfüggő oxigénhiány és a Covid-19-világjárvány.	129
Fehér Balázs, Gáti Balázs, Illés Zoltán: A Magnus Fusion 213 tanúsításának tapasztalatai	151
Sándor Zsolt, Pusztai Máté: A „lakott terület” és kapcsolódó fogalmak jelentősége a pilóta nélküli légi járművek alkalmazásában	165
Szilágyi Balázs: Az új lengyel központi repülőtér és közlekedési csomópont stratégiai jelentősége.	181
Szabolcsi Róbert: Autonóm járművek kooperatív irányítása	195
Major Gábor, Borgulya János, Szilvássy László, Békési Bertold László: A légierő fejlesztésének következő lépcsője, az Airbus H225M típusú helikopter	217



Szabolcsi Róbert

Pilóta nélküli légi járművek kooperatív irányítása

Az autonóm járművek, így többek között a pilóta nélküli légi járművek (UAV) irányításának egyik fontos területe a járművek kooperatív irányítása. A kooperatív irányítás során megvalósítandó célkitűzés a járművek mozgásának összehangolása egy előre megadott közös, globális cél megvalósítása érdekében. Ilyen cél lehet például az UAV eljuttatása megadott időben egy előre megadott helyre (például légi utántöltés, légi kötelék kialakítása, eljutás a megfigyelési helyre, eljutás a felderítés helyére, eljutás a harci bevetés helyére, eljutás megadott határszakaszra stb.). A szerző célja bemutatni néhány lehetséges UAV bevetési forgatókönyvet és repülési feladatot, és az ezeket megvalósító irányításokat és irányítási rendszerek alapkonceptióit.

Kulcsszavak: UAV, UAS, UGV, USV, autonóm jármű, kooperatív irányítás, légi utántöltés

1. Bevezetés, motiváció, problémafelvetés

A modern kor egyik fontos vívmánya az autonóm jármű. Az autonóm járművek képességei is meglehetősen széles palettán helyezkednek el. Autonóm járműnek tekinthetjük a vezeték nélküli porszívót, a vezeték nélküli kerti fűnyírót, a gyártósorok között alkatrészeket és termékeket szállító logisztikai robotokat, de ebbe a körbe tartoznak a légi, valamint a szárazföldi és a (víz)felszíni autonóm járművek is, vagy a víz alatti robotok és egyéb vízfelszín alatti járművek.

A 2022 februárjában kezdődött világpolitikai események hatalmas lökést adnak az autonóm járművek fejlesztésének, főleg a katonai célú UAV/UAS/UCAV/UCAS alkalmazásoknak. Ezen alkalmazások azonban megkövetelik a repülés egyes fázisainak, sőt, adott esetben a teljes UAV/UCAV repülésének automatizálását is. Tekintettel azonban az UAV-k műveleti területen elszenvedett háborús sérüléseire, vagy esetleg az UAV elvesztésének lehetőségére, az UAV-/UAS-rendszerek tervezői olyan műszaki megoldásokra törekcsenek, amelyek megvalósítása minimális költséggel jár, így az UAV elvesztése esetén a veszteség minimalizálható.

Számos esetben szükséges a légi járművek kooperatív irányítása, hiszen számos repülési feladat megoldásához elengedhetetlen az együttműködés a repülési feladat végrehajtásában részt vevő aktorok között. Ilyen repülési feladat lehet például a légi utántöltés, a több UAV-val végrehajtott felderítés/térképezés, vagy az UCAV-ok repülési kötelékbe szervezése harci bevetések előtt, ami alapvető fontosságú a repülési feladatok végrehajtása során.

A repülési feladatok megoldása során olyan megoldásokra törekszünk, amelyek valamilyen értelemben optimálisnak tekinthetők, a lehető legrövidebb időn belül, a lehető legnagyobb hatékonysággal és a legkisebb energiabefektetéssel járnak.

A szerző célja bemutatni néhány repülési forgatókönyvet, amikor a szabályozási cél elérése, valamint a legjobb hatékonyság és a legmagasabb szintű repülésbiztonság elérése érdekében szükséges az UAV-k kooperatív irányítása.

2. Szakirodalmi áttekintés

Légi járművek automatikus repülésszabályozásának sarokpontja a légi jármű térbeli mozgása identifikált/mért modelljének ismerete. Űrjárművek mozgásszabályozásával az [1] és a [17] irodalom foglalkozik, míg a hagyományos légi járművek mozgásának modellezésével és a légi járművek automatikus repülésszabályozásával a [2], [8], [9], [12], [16] irodalmak foglalkoznak behatóan, és vizsgálják az automatikus repülésszabályozási rendszerek előzetes tervezésének és vizsgálatának kérdéseit.

Megemlítjük, hogy a légi járművek klasszikus automatikus repülésszabályozása nem foglalkozik a kooperatív irányítás kihívásaival. Az automatikus repülésszabályozás az egyedi légi járművek térbeli mozgásának irányítását helyezi középpontba, amelynek fontosabb területei az értéktartó és értékkövető szabályozási rendszerek tervezése, az alapjelkövetési tulajdonságok vizsgálata, a külső és belső szenzorajok káros következményeinek szűrése, a stabilitás és a minőségi jellemzők teljesülésének vizsgálata, optimális irányítások, időben változó, paraméterbizonytalanságokkal terhelt nemlineáris, dinamikus rendszerek tervezése.

Az utóbbi években rohamléptekben fejlődött a pilóta nélküli légi járművek (UAV-k) automatikus repülésszabályozása. Egyrészt, számos ország szabályozása már régóta előírja az UAV fedélzeti robotpilóta használatát, hogy a robotpilóták a veszélyes repülési üzemmódok (például kényszerleszállás, automatikus hazatérés, hajtóműleállás, jegesedés stb.) automatizált végrehajtásával javítsák az UAV-repülések repülésbiztonságát.

Másrészt, ma már számos gyártó kínál kis méretű és kis energiaigényű szabályozókat/vezérlőket (például Arduino Uno, ArduPilot, Paparazzi, MP2028, Autopilot 1x, PX4, Pixhawk, V5+, Intel Falcon 8+ stb.), amelyek az UAV fedélzetén könnyen beépíthetők.

Napjaink egyik legfontosabb kihívása az UAV-k kötelék- vagy együttes precíziós repülésének összeütközés-mentes automatizálása. E témakörrel a [3], [5], [6], [7], [10], [11], [14], [15], [18], [20] irodalmak foglalkoznak behatóan.

A nagy méretű, fosszilis energiával működő HALE UAV-k (RQ-4 Global Hawk, MQ-1 Predator, MQ-9 Reaper, Heron, RQ-7 Shadow, TB2 Bayraktar stb.) hatósugara növelésének egyik lehetséges módja az UAV-k légi utántölthetőségének megoldása, amelynek esetleges automatizálását a [3], [15] és a [19] irodalmak tárgyalják és mutatják be részletesen.

Végül az UAV-k kooperatív irányítását a [4], [5], [6], [14] irodalmak foglalják össze, és mutatják be. A szabályozásoknak az alacsonyabb (rendszerdinamika egyszerűsítése, a minőségi jellemzők megfelelő beállítás, a stabilitás biztosítása stb.) és a magasabb szintjein megvalósuló kooperatív irányítás (optimális repülési pálya tervezése, UAV-k kötelékbe szerveződése, összeütközés elkerülése UAV–UAV és UAV – nem UAV viszonylatban stb.) egyes komponenseit.

3. A kooperatív irányításról általában

A kooperatív járműirányítás az autonóm járművek irányításának azon területe, amikor a vezető nélküli járművek (például légi jármű [UAV], felszíni jármű [UG], vízfelszíni jármű [USV] stb.)

összetett feladataik megoldása során az irányításban a saját képességeiken messze túlmutató képességekre tesznek szert.

A kooperatív irányítás javíthatja az egyes feladatok végrehajtásának hatékonyságát, és feladat-végrehajtás során növelheti a biztonságot is, mivel képes kezelni az összeütközés elkerülésének kérdéseit és megoldásának kihívásait is.

A kooperatív irányítás területén nagyszámú és egyben különféle irányítástervezési feladattal is találkozhatunk, amelyek közül néhányat, bár törekedve a teljességre, de azt el nem érve, most megemlíttünk:

- kooperatív irányítás UAV–UAV-viszonylatban:
 - UAV-formáció (alakzat, kötelék) létrehozása vagy bontása különféle (térképezés, felderítés, harcászati alkalmazások, precíziós mezőgazdaság stb.) céllal [4], [5], [6], [18], [20];
 - UAV kivezetése egy előre megadott találkozási pontba;
 - UAV légi utántöltésének irányítása [3], [15], [19];
- kooperatív irányítás UAV–USV-viszonylatban:
 - UAV leszállítása álló vagy mozgó vízfelszíni járműveken [11];
- kooperatív irányítás UAV–UGV-viszonylatban:
 - UAV leszállása álló vagy mozgó platformra [11];
 - UAV álló vagy mozgó UGV-ről való utántöltésének irányítása [13].

A fenti felsorolás természetesen csak egy kis szeletét mutatja be a kooperatív járműirányítás lehetséges területeinek, és kifejezetten az UAV-k kooperatív irányítására helyezi a figyelmet. Mindazonáltal a felszíni közlekedésben (OTTO Truck, Volvo Truck) és az iparban (KUKA omni-Move Universal Transport Vehicle), vagy akár a precíziós mezőgazdaságban (John Deere Fully Autonomous Tractor, CHN Autonomous Tractor, CASE IH Autonomous Tractor stb.) egyre szélesebb körben terjed el a kooperatív irányítás.

Ily módon a közlekedésben és az egyéb feladatok végrehajtása során a részt vevő aktorok a leginkább hatékony és biztonságos megoldások elérése érdekében a megfelelő, előre megadott módon együttműködnek, más szóval, kooperálnak.

4. Az UAV–UAV-rendszer kooperatív irányítása

A pilóta nélküli légi járműveket széles körben alkalmazzák az állami (katonai, katasztrófaelhárítási, tűzoltási, határvédelmi, egészségügyi stb.) és a nem állami (magán) célú repülések területein (precíziós mezőgazdaság, vagyonvédelem, szabadidős alkalmazások, áruszállítás, filmipar, média stb.).

Napjainkban az UAV-k széles körű alkalmazását gátló akadályok (például jogi szabályozási kérdések, a légtérhasználat kérdései, a repülésbiztonság kérdései, az UAV-k típus- és légi alkalmassága tanúsításának kérdései, az UAV-k földi és légi üzemeltetésének kérdései stb.) folyamatosan szűnnek meg. Ily módon, az UAV-k repülésének tervezése során ma már egyre kevesebb korlátba ütközünk.

Az UAV-k alkalmazása során számos olyan speciális esettel találkozunk, amikor a hagyományos repülésről alkotott korábbi elképzeléseinken túllépve, nem a korábbi és nem a szokásos módon alkalmazzuk az UAV-kat. Eme alkalmazásokra álljon itt néhány példa:

- alapértelmezetten egy repülésre tervezett légi cél UAV-k (drónok), amelyeket kiképzési céllal használnak a földi légvédelemben (például Meteor-3, Meteor-3MA stb.);
- COTS_EC (*Commercial-off-the-Shelves_Extra Cheap*) kereskedelmi forgalomban széles körben hozzáférhető, nagyon olcsó, jórészt felderítési célra használt UAV-k, amelyek esetleges elvesztése nem jár nagyobb, számottevő anyagi kárral és egyéb veszteséggel. Ezen UAV-kat gyakran csak egy-egy bevetési feladatra alkalmazzák (Black Hornet Nano, Aeryon Scout stb.);
- egyszeri repülésre tervezett kamikaze drónok (például ZALA KYB UAV, IAI Harop, UVision Hero-30, IAI Harpy, Harop, Green Dragon, Rotem, Lancet-3, ST-35 stb.), amelyek felszíni célok (ellenséges statikus célpontok, mozgó járművek és személyek) keresése és megsemmisítése során cirkáló repülő töltetként hajtanak végre repülést, és a lehetséges célok autonóm, főleg mesterséges intelligenciára épülő azonosítása után becsapódnak a célba.

A következő fejezetekben olyan UAV repülési forgatókönyvekkel foglalkozunk, amelyek ma a legnagyobb érdeklődésre tartanak számot.

4.1. Az UAV légi utántöltése – a kooperatív irányítási probléma megfogalmazása

Az UAV-k légi utántölthetősége már régen foglalkoztatja a szakembereket. Az autonóm légi utántöltés lényeges mértékben terjesztheti ki még a HALE UAV-k alkalmazásának határait is.

A pilóta nélküli repülőgépek alkalmazásának egyik nagyon fontos sarokköve, és a repülési tartomány, valamint a repülési idő meghatározása szempontjából is kiemelkedő fontosságú a fedélzeten tárolható fosszilis vagy a repülés során a környezetből nyerhető villamos energia mennyisége (például Airbus QinetiQ Zephyr 8, NASA Pathfinder, AeroVironment Helios stb.).

Könnyű belátni, hogy a légi utántölthetőség nagymértékben javíthatja a fosszilis hajtóanyagra épülő hajtóművel rendelkező UAV-k alkalmazásának hatékonyságát, főleg olyan repülések esetében, amikor nem tudjuk előre pontosan megtervezni a repülést, mert egy-egy adott repülési feladat végrehajtása során újabb ad hoc végrehajtandó feladatok mellett döntenek a bevetés irányítói.

Az UAV-k légi utántöltésének kérdéseivel elsők között már J. L. Stephenson korai munkája is foglalkozott, amely az MQ-1 Predator harcászati UCAV repülőgép KC-135 tanker repülőgépről való légi utántöltésének irányítási kérdéseit is taglalja [15].

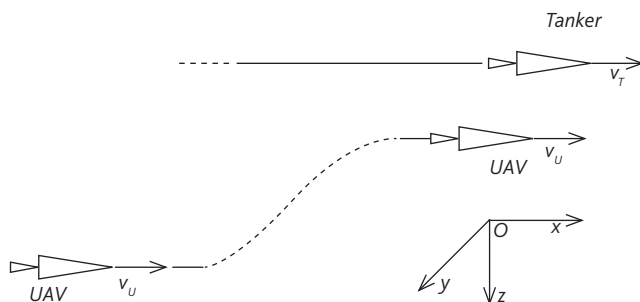
Az UAV-k légi utántöltésének történeti előzményeit a [19] irodalom mutatta be, amely főleg az RQ-4 Global Hawk HALE UAV-val folytatott korábbi kísérletek eredményeit tárgyalta, majd a szerzők kis méretű SUAV-k légi utántöltésének lehetséges rendszereit mutatták be SUAV–SUAV-viszonylatban. A szerzők által javasolt dokkolási technikák alapját a nagy felbontású kamerák és az infravörös markerek képezték.

UAV-k autonóm légi utántöltésének problémáját a [3] irodalom mutatja be részletesen. Ismeretes, hogy az UAV-k légi utántöltésének folyamata az alábbi három alapvető repülési fázisra bontható:

1. az UAV kivezetése annak tetszőleges előzetes repülési helyzetéből a tankerrepülőgép-hez az utántöltésre kijelölt biztonságos légtérbe;

2. dokkolás az utántöltő repülőgépen: az üzemanyagtöltő cső végén elhelyezett kosárba találás a saját töltőcsonkkal;
3. zárt kötelékrepülés a tankerrepülőgéppel együtt az utántöltés teljes ideje alatt.

Az UAV autonóm légi utántöltését vizsgáljuk az 1. ábrán. Mint az 1. ábrán is jól látható, a repülés kinematikai leírását NED-tájolású (North-East-Down) referenciarendszerben végezzük el [1], [2], [8], [9], [12], [16], [17].

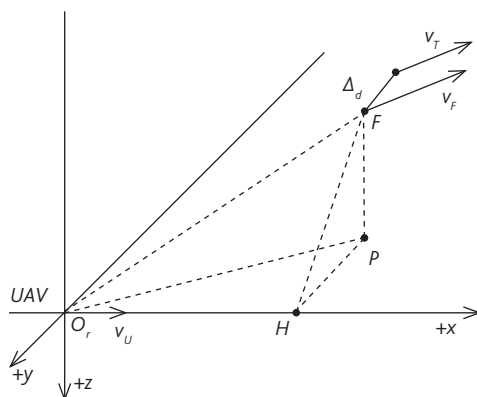


1. ábra

Az UAV és a tankerrepülőgép találkozásának folyamata [saját szerkesztés]

Az UAV légi utántöltése meglehetősen összetett folyamatának most csak azon részével foglalkozunk, amikor az UAV-t tetszőleges repülési helyzetből a tankergép közelébe visszük ki, és az UAV megkezdi a tankergép közelében a kötelékrepülést.

Általános esetben, a megközelítési manőver végén, amikor az UAV és a tankerrepülőgép belép a „kötelékrepülés” fázisába, az UAV térbeli mozgásának v_U sebességvektora és az O_rxy a vízszintes sík lehet nem párhuzamos (2. ábra) vagy párhuzamos is (4. ábra). A légi utántöltés folyamatát vizsgáljuk a földhöz rögzített O_rxyz referencia-koordinátarendszerben (2. ábra) [1], [2], [8], [9], [12], [16].



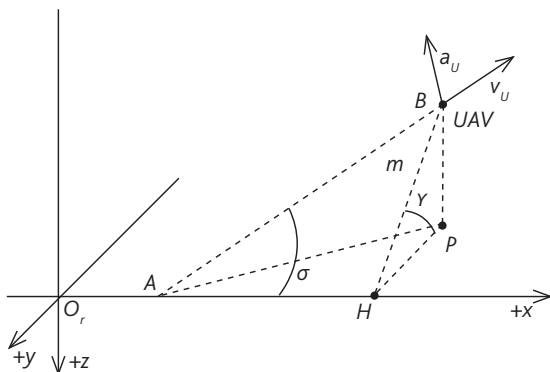
2. ábra

UAV nem vízszintes repülési helyzetben [saját szerkesztés]

Kezdeti állapotban (2. ábra) az UAV tömegközéppontja az O_r pontban helyezkedik el, és a \mathbf{v}_U sebességvektora egybeesik az $O_r x$ tengellyel, illetve a $O_r xy$ vízszintes síkban fekszik. Az $O_r z$ tengely pozitív féltengelye a föld középpontja felé mutat, míg a $O_r y$ tengely jobbsodrásúvá egészíti a koordináta-rendszert. Az $O_r xy$ a vízszintes sík, míg $O_r xz$ a függőleges sík.

A 2. ábrán az F pont az UAV azon helyzetét reprezentálja, amikor megközelítette a tanker UAV-t, és elkezdte vele a kötelékrepülést, míg P az F pont merőleges vetülete a $O_r xy$ vízszintes síkra. Végezetül, H a P pont merőleges vetülete az $O_r x$ tengelyre.

A 3. ábra az UAV F pont felé történő irányításának egy köztes pillanatát mutatja be. Az m sík (az AHB háromszög felülete) az a felület, amellyel az UAV \mathbf{v}_U sebessége párhuzamos. A γ szög az m sík és az $O_r xy$ vízszintes sík által bezárt szög, míg σ a \mathbf{v}_U sebességvektor és az $O_r x$ tengely által bezárt szög az $O_r xz$ függőleges síkban.



3. ábra

Az UAV irányítása az F pont felé [saját szerkesztés]

Az UAV térbeli helyzete a $\mathbf{P}_U = [x_U \ y_U \ z_U]^T$ helyvektorral, míg a sebességvektora a $\mathbf{v}_U = [v_U \ x v_U \ y v_U \ z]^T$ vektorral adható meg.

A 3. ábrán bemutatott kinematikai elrendezés segítségével az UAV térbeli mozgása most a következő nemlineáris mozgásegyenletekkel írható le [3]:

$$\left. \begin{aligned} v_{U_x} &= \dot{x}_U = v_U \cos \sigma \\ v_{U_y} &= \dot{y}_U = v_U \sin \sigma \cos \gamma \\ v_{U_z} &= \dot{z}_U = v_U \sin \sigma \sin \gamma \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ahol

$$v_U = \sqrt{v_{U_x}^2 + v_{U_y}^2 + v_{U_z}^2} \quad (2)$$

Felhasználva a 2. ábrát, az UAV megközelítő manővere során a következő egyenleteket írhatjuk fel:

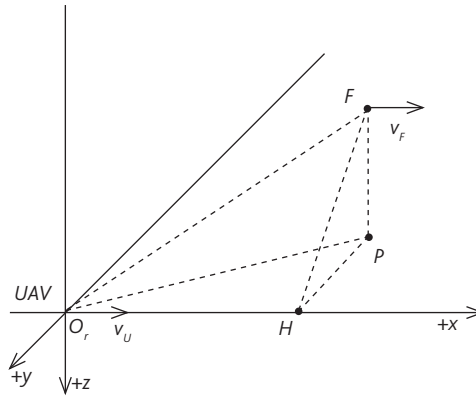
$$\mathbf{P}_F = \mathbf{P}_T - \Delta \mathbf{d} = [x_F \ y_F \ z_F]^T \quad (3)$$

$$\mathbf{v}_F = \mathbf{v}_T = [v_{F_x} \quad v_{F_y} \quad v_{F_z}]^T \quad (4)$$

ahol \mathbf{P}_T a tanker légi jármű helyvektora, míg \mathbf{v}_T a tankerrepülőgép sebességvektora. Ismeretes, hogy az F pont sebességvektora a következő alakban is felírható:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_F &= v_{F_x} \\ \dot{y}_F &= v_{F_y} \\ \dot{z}_F &= v_{F_z} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Tekintettel arra, hogy az UAV vízszintes repülése (4. ábra) tekinthető az általános nem vízszintes repülés (2. ábra) egyik speciális esetének, ezért a továbbiakban csak a nem vízszintes UAV-repülés feltételeit taglaljuk.



4. ábra
UAV vízszintes repülési helyzetben [saját szerkesztés]

Az UAV kivezetése a tanker légi jármű közelébe a manőver kezdetétől addig az időpontig tart, amikor is az UAV tömegközéppontja és az F pont között mért távolság kisebb, mint egy előre megadott, kellően kis értékű ε , vagyis

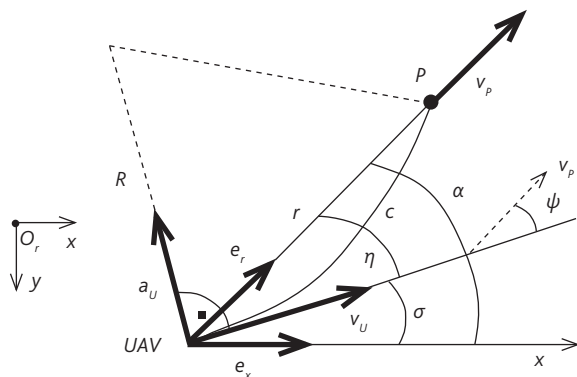
$$\Delta d = \sqrt{\Delta d_x^2 + \Delta d_y^2 + \Delta d_z^2} \leq \varepsilon \quad (6)$$

és ebben az időpillanatban elkezdődhet az UAV és a tanker légi jármű kötelékrepülése. Ha a \mathbf{v}_U és a \mathbf{v}_F sebességvektorok egymással nem párhuzamosak, akkor az UAV távoli rávezetése a tanker légi járműre két repülési fázisra bontható. Az első a korrekciós repülési fázis, míg a másik a közeli rávezetés repülési fázisa.

A korrekciós repülési fázisban arra törekszünk, hogy az UAV \mathbf{v}_U repülési sebessége és az O_r, xy a vízszintes sík egymással párhuzamos helyzetbe kerüljenek, és megvalósuljon az UAV vízszintes repülése (4. ábra). A továbbiakban vizsgáljuk meg az UAV irányításának kinematikáját a vízszintes síkban (5. ábra).

Ismeretes, hogy az UAV az $\mathbf{P}_U(t_0)$ kezdeti helyzetéből a \mathbf{P}_P helyre végtelen nagyszámú lehetséges pályán is haladhat. Az UAV irányítási feladatának megoldása során a továbbiakban feltételezzük, hogy az UAV a P kezdeti állapotból (a manőver elkezdésének időpillanatától) a végállapotba egy R sugarú kör c körvén kerül, így tehát az UAV körmozgása során igaz, hogy $\mathbf{v}_U \perp \mathbf{a}_U$.

Az 5. ábrán az alábbi jelöléseket alkalmaztuk: r az UAV és a P pont közötti \mathbf{r} helyvektor abszolút értéke; α a látószög; η az előre tartási szög; \mathbf{v}_P a P pont O_rxy a vízszintes sík síkra vett vetületének sebessége; ψ az UAV \mathbf{v}_U sebessége és a \mathbf{v}_P sebességek közötti szög; \mathbf{e}_x az $O_r x$ tengely egységvektora; \mathbf{e}_r az UAV-P irány egységvektora.



5. ábra

Az UAV rávetetésének geometriája [saját szerkesztés]

Az UAV korrekciós repülési szakaszán az UAV térbeli helyzetét irányíthatjuk az \mathbf{a}_U gyorsulás segítségével is. A korrekciós irányítás bármely időpillanatra igaz, hogy:

$$\dot{\sigma} = \frac{v_U}{R} \quad (7)$$

ahol

$$R = \frac{r}{2 \sin \eta}; \quad \eta = \alpha - \sigma; \quad \alpha = \arccos \frac{\mathbf{e}_x \mathbf{e}_r}{|\mathbf{e}_x| |\mathbf{e}_r|} \quad (8)$$

Korábban ismeretes, hogy az UAV körpályán mozog, ily módon igaz, hogy

$$\mathbf{a}_U = \frac{v_U^2}{R} \quad (9)$$

Az UAV-t a $\mathbf{P}_U(t_0)$ kezdeti állapotából a \mathbf{P}_P állapotba átvivő korrekciós (nagybani, durva), nagy távolságról végrehajtott irányítás kezdeti feltételei legyenek most az alábbiak [3]:

- az UAV kezdeti térbeli helyzetének definiálása a $t_0 = 0$ időpillanatra:

$$\mathbf{P}_U(t_0) = [x_U(t_0) \quad y_U(t_0) \quad z_U(t_0)]^T = [0 \quad 0 \quad 0]^T \quad (10)$$

- az UAV kezdeti repülési sebessége a $t_o = 0$ időpillanatra:

$$\mathbf{v}_U(t_o) = [v_{U_x}(t_o) \quad v_{U_y}(t_o) \quad v_{U_z}(t_o)]^T = [v_U \quad 0 \quad 0]^T \quad (11)$$

- a P pont kezdeti térbeli helyzetének definiálása a $t_o = 0$ időpillanatra:

$$\mathbf{P}_P(t_o) = [x_P(t_o) \quad y_P(t_o) \quad z_P(t_o)]^T = [x_P \quad y_P \quad 0]^T \quad (12)$$

- a P pont kezdeti repülési sebessége a $t_o = 0$ időpillanatra:

$$\mathbf{v}_P(t_o) = [v_{P_x}(t_o) \quad v_{P_y}(t_o) \quad v_{P_z}(t_o)]^T = [v_{P_x} \quad v_{P_y} \quad v_{P_z}]^T \quad (13)$$

- az UAV σ szöge a $t_o = 0$ időpillanatra:

$$\sigma(t_o) = 0 \quad (14)$$

- az UAV és a P pont közötti relatív helyvektor:

$$\mathbf{r}(t_o) = \mathbf{P}_P(t_o) - \mathbf{P}_U(t_o) \quad (15)$$

- az UAV és a P pont közötti relatív távolság:

$$r(t_o) = |\mathbf{r}(t_o)| \quad (16)$$

Az α látószög:

$$\alpha = \arccos \frac{\mathbf{e}_x \mathbf{r}(t_o)}{|\mathbf{e}_x| |\mathbf{r}(t_o)|} \quad (17)$$

Az η előre tartási szög:

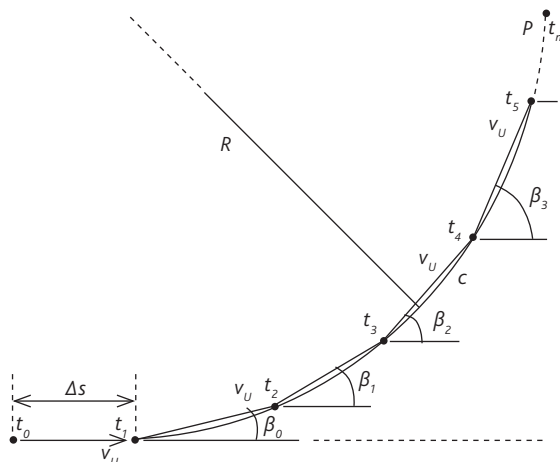
$$\eta(t_o) = \alpha(t_o) - \sigma(t_o) \quad (18)$$

A korrekciós repülési fázis normál gyorsulásának értéke:

$$a_U(t_o) = \frac{v_U^2}{R(t_o)} = 2v_U^2 \frac{\sin \eta(t_o)}{r(t_o)} \quad (19)$$

Az UAV távoli rávezetése során az irányított repülési paraméter az \mathbf{a}_U normál gyorsulás. Korábban ismeretes, hogy az UAV rávezetésének első repülési fázisában az UAV tömegközéppontja egy R sugarú kör c körívén mozog, és a \mathbf{v}_U sebességvektor minden időpillanatban a c körív egyes húrjaival párhuzamos.

A körívén való mozgás felfogható úgy is, hogy nagyszámú pontot veszünk fel a körívén, és a körívet az egyes pontokat összekötő húrokkal helyettesítjük. Ily módon, a c körív bármely két pontja között az UAV tömegközéppontja egyenes vonalú pályaszakaszokon mozog (6. ábra).



6. ábra
Az UAV mozgása a köríven [saját szerkesztés]

Könnyű belátni, hogy minél nagyobb számban veszünk fel a köríven diszkrét pontokat, térbeli pozíciókat, annál jobban közelítjük a körív geometriáját, ez viszont azt jelenti, hogy több alkalommal kell az UAV egyenes vonalú pályamozgását változtatni, ami bonyolultabbá és energiaigényesebbé teszi az UAV rávezetését a tankerrepülőgépre.

A c körívet szakaszonként lineáris pályaelemekre bontottuk. Minden egyes előző repülési szakasz vége a következő repülési szakaszba való belépést jelenti. A manőver első szakaszában az UAV $\Delta t = t_1 - t_0$ idő alatt Δs utat tesz meg. A $t = t_1$ időpillanatban az UAV β_0 korrekciós szöggel korrigálja a v_U sebességvektorának az irányát.

Megállapíthatjuk tehát, hogy az UAV c körpályája $i = 1, \dots, n$ számú, egymástól független, lineáris pályaszakaszra bontható. Minden egyes repülési fázis előtt iteratív módon, a következő repülési szakaszra újra kell számítani az a_U normál gyorsulásnak és a β korrekciós szögnek az értékeit is. Vizsgáljuk meg e probléma megoldásának lépéseit:

- Legyen

$$i = 1; \quad \gamma = 0 \quad (20)$$

- Számítsuk ki az UAV helyvektorát a $t = t_i$ időre:

$$\mathbf{P}_U(t_i) = [x_U(t_i) \quad y_U(t_i) \quad z_U(t_i)]^T \quad (21)$$

ahol

$$\left. \begin{aligned} x_U(t_i) &= x_U(t_{i-1}) + v_{U_x}(t_{i-1})\Delta t \\ y_U(t_i) &= y_U(t_{i-1}) + v_{U_y}(t_{i-1})\Delta t \\ z_U(t_i) &= z_U(t_{i-1}) + v_{U_z}(t_{i-1})\Delta t \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

- Számítsuk ki a \mathbf{P} helyvektort a $t = t_i$ időre:

$$\mathbf{P}_P(t_i) = [x_P(t_i) \quad y_P(t_i) \quad z_P(t_i)]^T \quad (23)$$

ahol

$$\left. \begin{aligned} x_U(t_i) &= x_U(t_{i-1}) + v_{U_x}(t_{i-1})\Delta t \\ y_U(t_i) &= y_U(t_{i-1}) + v_{U_y}(t_{i-1})\Delta t \\ z_U(t_i) &= z_U(t_{i-1}) + v_{U_z}(t_{i-1})\Delta t \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

- Számítsuk ki a \mathbf{P} helyvektor sebességét a $t = t_i$ időre:

$$\mathbf{v}_P(t_i) = \mathbf{v}_P(t_{i-1}) \quad (25)$$

- Számítsuk ki a \mathbf{P} helyvektor relatív helyzetét az UAV helyzetéhez képest a $t = t_i$ időre:

$$\mathbf{r}(t_i) = \mathbf{P}_P(t_i) - \mathbf{P}_U(t_i) \quad (26)$$

- Számítsuk ki a \mathbf{r} helyvektor abszolút értékét a $t = t_i$ időre:

$$r(t_i) = |\mathbf{r}(t_i)| \quad (27)$$

- Számítsuk ki a α szög értékét a $t = t_i$ időre:

$$\alpha(t_i) = \arccos \frac{e_x \mathbf{r}(t_i)}{|e_x| |\mathbf{r}(t_i)|} \quad (28)$$

- Számítsuk ki a σ szög értékét a $t = t_i$ időre:

$$\sigma(t_i) = \sigma(t_{i-1}) + \Delta\beta(t_{i-1}) \quad (29)$$

- Számítsuk ki az UAV \mathbf{v}_U sebességét a $t = t_i$ időre:

$$\mathbf{v}_U(t_i) = [v_{U_x}(t_i) \quad v_{U_y}(t_i) \quad v_{U_z}(t_i)]^T \quad (30)$$

ahol

$$\left. \begin{aligned} v_{U_x}(t_i) &= \dot{x}_U = v_U \cos \sigma(t_i) \\ v_{U_y}(t_i) &= \dot{y}_U = v_U \sin \sigma(t_i) \\ v_{U_z}(t_i) &= \dot{z}_U = 0 \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

- Számítsuk ki az η szög értékét a $t = t_i$ időre:

$$\eta(t_i) = \alpha(t_i) - \sigma(t_i) \quad (32)$$

ahol

$$x_F = x_P; \quad y_F = y_P; \quad z_F = z_D \quad (38)$$

és z_D egy előre megadott koordináta/pozíció (repülési magasság).

A F és a P pontok pont sebességvektoraira igaz, hogy:

$$\mathbf{v}_F = \mathbf{v}_P \quad (39)$$

Az UAV irányításának iteratív számításához vizsgáljuk az UAV helyzetét az $O_g x' y' z'$ koordináta-rendszerben, amely az UAV aerodinamikai (szél) mozgó koordináta-rendszere, mivel \mathbf{v}_F és $O_g x'$ egybeesnek. A koordináta-rendszer $O_g z'$ tengelye a helyi függőleges iránya, míg a $O_g y'$ tengely jobbsodrásúvá egészíti ki a koordináta-rendszert.

Az UAV eredeti $O_r xyz$ koordináta-rendszere transzformálható az $O_g x' y' z'$ koordináta-rendszerbe. A transzformációs egyenlet most a következő lesz:

$$\mathbf{P}' = \mathbf{R}_{gr} \mathbf{P} + \mathbf{D} \quad (40)$$

ahol \mathbf{P} egy 3×1 méretű mátrix az $O_r xyz$ koordináta-rendszerben; \mathbf{P}' egy 3×1 méretű, az $O_g x' y' z'$ koordináta-rendszerbe áttranszformált \mathbf{P} mátrix; az \mathbf{R}_{gr} forgatómátrix a következő alakban írható fel [1], [2], [8], [9], [12], [16], [17]:

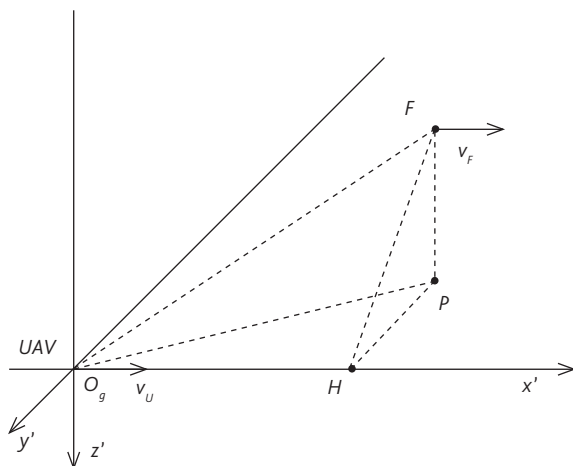
$$\mathbf{R}_{gr} = \begin{bmatrix} \cos \sigma_{rg} & \sin \sigma_{rg} & 0 \\ -\sin \sigma_{rg} & \cos \sigma_{rg} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (41)$$

ahol σ_{rg} a σ szög azon értéke, amelyet az $O_g x' y' z'$ koordináta-rendszer létrehozásakor vett fel. Végezetül a \mathbf{D} elmozdulás-mátrix a következő alakban adható meg:

$$\mathbf{D} = -\mathbf{R}_{gc} \mathbf{P}_{cg} \quad (42)$$

ahol \mathbf{P}_{cg} az O_g helyzete az $O_r xyz$ koordináta-rendszerben.

Az UAV új helyzetét a 8. ábra mutatja be.



8. ábra

Az UAV pillanatnyi helyzete a távoli rávezetés során [saját szerkesztés]

Az UAV sebességvektora az új helyzetben a következő összefüggés alapján számítható:

$$\mathbf{v}'_U = \mathbf{R}_{gc} \mathbf{v}_U \quad (43)$$

Az F pont helyvektora az új, $O_g x' y' z'$ koordináta-rendszerben a következő egyenlet segítségével számítható:

$$\mathbf{P}'_F = \mathbf{R}_{gr} \mathbf{P}_F + \mathbf{D} = [x'_F \quad y'_F \quad z'_F]^T \quad (44)$$

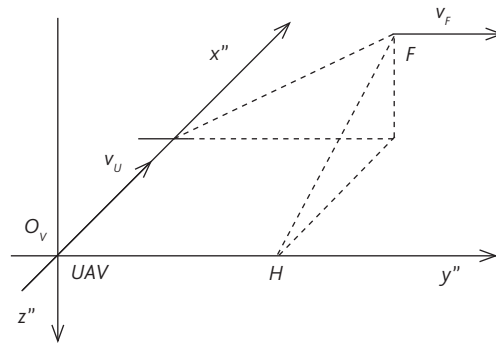
Végezetül, a F pont sebességvektora- az új, $O_g x' y' z'$ koordináta-rendszerben a következő összefüggés szerint határozható meg:

$$\mathbf{v}'_F = \mathbf{R}_{gc} \mathbf{v}_F \quad (45)$$

Az UAV térbeli mozgásának utolsó fázisa az utántöltéshez elengedhetetlenül szükséges térbeli pozíció felvétele, és annak megtartása az utántöltés teljes idejére.

Más szóval, az UAV és a tankerrepülőgép zárt kötelékes repülést hajt végre, és az UAV felkészül arra, hogy a töltőcsonkjával csatlakozzon a tankerrepülőgép által kiengedett kosárhoz. Ez a repülési fázis nagy pontosságot igényel, egyébként az UAV légi utántöltése meg is hiúsulhat.

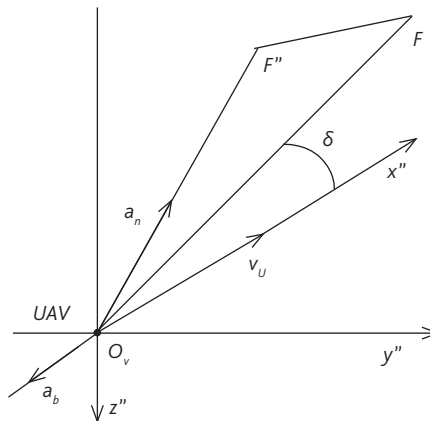
Amikor az UAV már kellően kis távolságra helyezkedik el a tankergéphez (F pont), akkor létrehozuk az $O_v x'' y'' z''$ sebességi koordináta-rendszert (9. ábra).



9. ábra

Az UAV pillanatnyi helyzete a kötelékrepülésbe belépés előtt (F pont) [saját szerkesztés]

Az UAV és a tanker légi jármű zárt kötelékes repülése során az irányító paraméter az \mathbf{a}_n gyorsulás, amelynek iránya mindig az \mathbf{F}'' pontba mutat (10. ábra).



10. ábra

Az UAV pillanatnyi irányítása az \mathbf{F}'' pontra [saját szerkesztés]

Az \mathbf{a}_n gyorsulás értékét a 10. ábra segítségével már egyszerűen meghatározhatjuk:

$$\mathbf{a}_n = A \sin \delta \quad (46)$$

ahol A állandó.

Mindezekon túl, az autonóm utántöltő repülések során az UAV sebessége meg kell feleljen a tanker légi jármű repülési sebességének. Ennek érdekében az UAV \mathbf{v}_U repülési sebességével ellentétes irányban ható \mathbf{a}_b irányító gyorsulást hozunk létre, hogy az UAV repülési sebességét

a tankergép zárt kötelékes követéséhez megfelelő módon tudjuk változtatni. Az \mathbf{a}_b gyorsulás értéke függ az UAV és az \mathbf{F} pont közötti relatív távolságtól, valamint a két légi jármű repülési sebességétől is.

Az UAV s nagyságú utat

$$t = \frac{2s}{v_U + v_F} \quad (47)$$

idő alatt tesz meg, ahol s az $O_v x'' y'' z''$ koordináta-rendszerben az UAV által befutott körív pályahossza, amelyet az \mathbf{F} pontig tesz meg az UAV. Az UAV sebességének irányítására szolgáló \mathbf{a}_b irányító gyorsulás értéke az

$$\mathbf{a} = \frac{v_F - v_U}{t} = \frac{v_F^2 - v_U^2}{2s} \quad (48)$$

egyenlet alapján már könnyen számítható.

5. Befejezés, eredmények értékelése, kitekintés

A cikkben bemutattam a légi utántöltés egyes repülési fázisait, azok jellemzőit és a repülés automatizálásához elengedhetetlenül szükséges repülésdinamikai és kinematikai összefüggéseket.

A pilóta nélküli légi járművekkel egyre gyakrabban találkozunk az állami és a nem állami (magán-) repülésben. Az elmúlt években az európai uniós és a hazai UAV-szabályozás nagyot lépett előre, és az UAV-repülések elől folyamatosan tűnnek el az évtizedek óta meglévő korlátozások.

A pilóta nélküli légi járművek autonóm irányítása napjainkban az automatikus repülésszabályozás egyik kiemelkedő fontosságú feladata. Az autonóm irányítás lehetővé teszi olyan precíziós repülési feladatok végrehajtását is, mint például a légi utántöltés. Természetesen, megfelelő kamerarendszerrel vagy egyéb (például infravörös) markerek segítségével ez a repülési feladat kézi irányítással is végrehajtható.

Napjainkban az UAV-alkalmazások egyik fontos területe a precíziós mezőgazdaság, ahol permetezésre már napjainkban is használhatók. Bár a kihordandó permetezőszer ma még nagyon korlátozott, az e cikkben vázolt légi utántöltés olyan új gondolatot is jelent, hogy nemcsak az üzemenyagot, de a kihordandó permetszert is után lehet tölteni a levegőben. Ily módon sok időt és energiát takaríthat meg egy légi utántölthető UAV.

Megemlítjük, hogy az UAV a repülési feladatainak sikeres végrehajtása érdekében nemcsak másik UAV-val, hanem egyéb autonóm felszíni járművel vagy autonóm vízfelszíni járművel együtt is végezhet kooperatív mozgást. Ebben az esetben az UAV a felszínen (például logisztikai robot) vagy a vízfelszínen mozgó (például parti őrség autonóm hajói) autonóm járművekkel működik együtt. E területeken még csak kezdeti eredmények mutatkoztak eddig, e témák alapos kutatása új tudományos eredményekkel kecsegtet.

Felhasznált irodalom

- [1] A. E. Bryson Jr., *Control of Spacecraft and Aircraft*. Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1994.
- [2] B. Dickinson, *Aircraft Stability and Control for Pilots and Engineers*. London, Sir Isaac Pitman & Sons, Ltd., 1968.
- [3] L. Delin, X. Rongzeng, D. Haibin, „A Guidance Law for UAV Autonomous Aerial Refueling Based on the Iterative Computation Method,” *Chinese Journal of Aeronautics*, Vol. 27. No. 4. pp. 875–883. 2014. Online: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2014.06.003>
- [4] L. Guoliang, X. Dongjing, H. Jianyong, J. Guting, Z. Ziyang, „Distributed Cooperative Control Algorithm for Multi-UAV Mission Rendezvous,” *Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, Vol. 34. No. 6. pp. 617–627. 2017. Online: <https://doi.org/10.16356/j.1005-1120.2017.06.617>
- [5] N. Harl, S. N. Balakrishnan, „Co-Ordinated Rendezvous of Unmanned Air Vehicles to a Formation Using a Sliding Mode Approach,” *Journal of Aerospace Engineering*, Vol. 225. No. 1. pp. 105–119. 2011. Online: <https://doi.org/10.1243/09544100JAERO714>
- [6] T. W. McLain, P. R. Chandler, S. Rasmussen, M. Pachter, „Cooperative Control of UAV Rendezvous,” *BYU ScholarsArchive*, 2001. Online: <https://doi.org/10.1109/ACC.2001.946096>
- [7] T. W. McLain, P. R. Chandler, S. Rasmussen, M. Pachter, „Cooperative Control of UAV Rendezvous,” in *Proceedings of the American Control Conference*, 2001. pp. 2309–2314. Online: <https://doi.org/10.1109/ACC.2001.946096>
- [8] D. McLean, *Automatic Flight Control Systems*. New York, Prentice-Hall International Ltd., 1990.
- [9] R. C. Nelson, *Flight Stability and Control*. Boston, McGraw-Hill Companies, Inc., 1998.
- [10] A. Papen, R. Vandenhoeck, J. Boltong, F. Defay, „Collision-Free Rendezvous Maneuvers for Formations of Unmanned Aerial Vehicles,” *IFAC Paper-OnLine*, Vol. 50. No. 1. pp. 282–289. 2017. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.047>
- [11] L. Persson, *Autonomous and Cooperative Landing Using Model Predictive Control*. Sweden, KTH Royal Institute of Technology, 2019. Online: www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1296460/FULLTEXT01.pdf
- [12] R. W. Pratt szerk., *Flight Control Systems*. Reston, Virginia, American Institute of Aeronautics, and Astronautics, Inc., 2000.
- [13] A. Rucco, S. Baliyarasimhuni, P. Auigar, „Optimal Rendezvous Trajectory for Unmanned Aerial-Ground Vehicles,” *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 54. No. 2. pp. 834–847. 2018. Online: <https://doi.org/10.1109/TAES.2017.2767958>
- [14] Z. Shao, F. Yan, Z. Zhou, X. Zhu, „Path Planning for Multi-UAV Formation Rendezvous Based on Distributed Cooperative Particle Swarm Optimization,” *Applied Science*, Vol. 9. No. 13. p. 2621. 2019. Online: <https://doi.org/10.3390/app9132621>
- [15] J. L. Stephenson, The Air Refueling Rendezvous and Controlling the Unmanned Aerial Vehicles during the Air Refueling, in *The Air Refueling Receiver That Does Not Complain*. Air University Press, 1999. pp. 19–28. Online: www.jstor.org/stable/resrep13763.9
- [16] B. L. Stevens, F. L. Lewis, E. N. Johnson, *Aircraft Control and Simulation: Dynamics, Control Design and Autonomous Systems*. 3rd Edition. Hoboken, NJ, Wiley-Blackwell, 2015. Online: <https://doi.org/10.1002/9781119174882>

- [17] R. K. Yedavalli, *Flight Dynamics and Control of Aero and Space Vehicles*. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, Ltd., 2020.
- [18] Z. Wang, L. Liu, G. Xu, „Efficient Unmanned Aerial Vehicle Formation Rendezvous Trajectory Planning Using Dubins Path and Sequential Convex Programming,” *Engineering Optimization*, Vol. 51. No. 8. pp. 1412–1429. 2019. Online: <https://doi.org/10.1080/0305215X.2018.1524461>
- [19] D. B. Wilson, A. H. Göktoğan, S. Sukkarieh, *Guidance and Navigation for UAV Airborne Docking*. Online: www.roboticsproceedings.org/rss11/p17.pdf
- [20] Q. Zhang, J. Tao, F. Yu, Y. Li, H. Sun, W. Xu, „Cooperative Solution of Multi-UAV Rendezvous Problem with Network Restrictions,” *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2015. pp. 1–14. Online: <https://doi.org/10.1155/2015/878536>

Cooperative Control of the Unmanned Aerial Vehicles

One of the modern control principle applied in automatic flight control systems is the cooperative control of vehicles, among those of the UAVs. In the cooperative control meaning, vehicles cooperate to reach their control goals with the maximum of efficiency of the fleet they created. Such control goals might be like aerial refuelling, formation flight, reaching designated areas in proper time etc. The purpose of the author is to describe one of these flight missions ensuring collision-free autonomous manoeuvres of two UAVs in order to conduct their flight mission successfully.

Keywords: UAV, UAS, UGV, USV, autonomous vehicle, cooperative control, aerial refuelling

Prof. Dr. habil. Szabolcsi Róbert egyetemi tanár Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Mechatronika és Járműtechnikai Intézet Mechatronika Tanszék szabolcsi.robort@bgk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0002-2494-3746	Prof. Róbert Szabolcsi PhD. Habil. Professor Óbuda University Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering Department of Mechatronics szabolcsi.robort@bgk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0002-2494-3746
---	---

Bene Viktória

A monitoringrendszerek és a pilóta nélküli légi járművek lakosságvédelmi célú alkalmazása a veszélyes üzemek környezetében

Napjainkban egyre gyakoribbak a veszélyes üzemek területén történt súlyos balesetek, amelyek emberi hibára, technológiai meghibásodásra, valamint természeti események bekövetkezésére vezethetők vissza. Az ipari balesetek az esemény veszélyességi fokától függően az üzemben tartózkodó személyeken kívül az üzem körzetében lévő lakosságra és azok környezetére is hatással lehetnek. A baleset bekövetkeztével emberre és a környezetre ártalmas mérgező vegyi anyag kerülhet a levegőbe, ezért létfontosságú a monitoring- és lakossági riasztó rendszerek fejlett és gyors tevékenysége.

Jelen publikációban példákon keresztül mutatom be a hazánkban a veszélyes üzemek körzetében alkalmazott MoLaRi-rendszert, valamint a pilóta nélküli állami légi járművek lehetőségeit.

Kulcsszavak: veszélyes üzem, pilóta nélküli légijármű-rendszerek, monitoring, riasztás, tájékoztatás

1. Bevezetés

Napjainkban a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemekben (veszélyes üzem) bekövetkező súlyos balesetek száma egyre gyakoribb. A lombardiai Seveso településen 1976-ban történt esemény az első nagyobb ipari katasztrófa, amelyet számos tudományos tanulmányban is feldolgoztak. Az esemény során kiszabadult mérgező anyagok hatása évtizedek elteltével is maradandó nyomot hagyott a térségben és a generációk szervezetében. A bekövetkezett esemény a veszélyes üzemek szigorítását követelte, ezzel az Európai Unió tagállamaiban bevezették a Seveso I. irányelvet, majd a szigorításokkal a Seveso II. irányelvet. Jelenleg a Seveso III. irányelv hatálya van érvényben a lakosság védelme érdekében.

A veszélyes üzemek környezetében élő lakosság biztonságát figyelembe véve Magyarországon több megyében a veszélyes üzemek körzetében alkalmazott Monitoring és Lakossági Riasztó (MoLaRi-) Rendszer hozzájárul a lakosság magasabb szintű védelméhez. Ugyanakkor a nemzetközi tapasztalatokat tekintve a veszélyes üzemek területén az esemény bekövetkezését követően a pilóta nélküli állami légi járművek monitoring alkalmazása speciális feladatokra is alkalmazható: a sugárfelderítés és vegyi anyagok azonosítása mellett az üzem területén maradt személyi állomány, valamint a környező lakosság felkutatására, logisztikai ellátására és kapcsolattartásra.

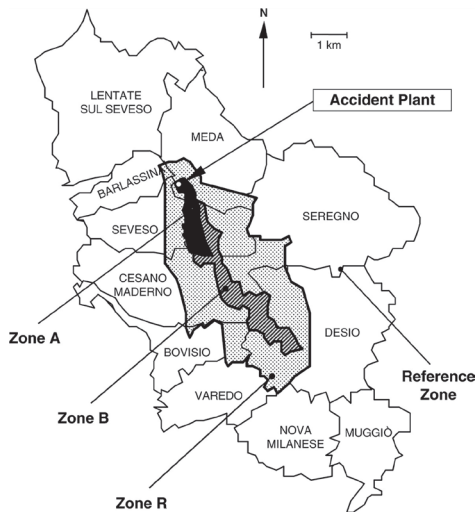
A publikációban példákon keresztül mutatom be a veszélyes üzemek környezetében alkalmazott MoLaRi-rendszert, valamint a pilóta nélküli légi járművek lehetőségeit. Továbbá megvizsgálom, hogy a MoLaRi-rendszer sajátos feladataihoz mikor, milyen esetekben tud hozzákapcsolódni, és miben tudja kiegészíteni a monitoringfeladatokat a pilóta nélküli légi jármű.

2. Történeti áttekintés

A lombardiai Seveso településen 1976. július 10-én súlyos ipari baleset történt. Az esemény az ICMESA vegyi feldolgozó üzem a 2, 4, 5 triklór-fenol (TCP) reaktorában történt, amely a 2, 3, 7, 8-tetraklór-dibenzó-p-dioxin (TCDD) hatását fejtette ki [11]. A poliklór-dibenzodioxinok csoportjának a legmérgezőbb tagja a TCDD, amely számos, klórvegyületek bevonásával járó kémiai reakció nem kívánt mellékterméke. Ez a veszélyes anyag rendkívül tartósan jelen marad a környezetben és a biológiai szervezetekben [8]. A TCDD a legmérgezőbb anyag, amelyet valaha is a legnagyobb arányban regisztráltak emberi szervezetben [20].

A veszélyes anyagok levegőbe jutása a baleset helyszínétől több, vagy szélsőséges esetben több tíz kilométer távolságban okozhat veszélyt. Kátai-Urbán Lajos tapasztalatai szerint több tíz percre, esetleg órákra tehető, valamint környezetre is veszélyes mérgező anyagok esetében a hatás tartós, esetenként akár több évtized időtartamú is lehet [15].

„A veszélyes anyagok szabadba kerülése során szennyezhetik a talajt, a felszíni, illetve a felszín alatti vizet. A veszélyes gázfelhő kiesőzéssel óriási területeket szennyezhet, bioakkumuláció következtében a veszélyes anyag mennyisége a táplálékláncban feldúsulhat. A káros hatások időbeni lefutása rendkívül elnyúlhat, mindaddig, amíg a szennyező anyagokat el nem távolítják, és nem történik meg a mentesítés” [14, p. 10].



1. ábra

Az olaszországi Seveso, valamint a környező 11 város területe [8]

Az esemény térségében és az ott élő emberek és leszármazottaik egészségi állapotáról a kutatók folyamatos nyomon követést végeznek. A kutatómunka eredményeiről időközönként írásos dokumentáció készül. Az írásos dokumentáció vizsgálata alapján fogalom össze az esemény rövid és hosszú távú következményeit. Az alábbiakban a nyomon követés I. fázisa az 1976–1996 közötti időszakot, azaz 20 éves időintervallumot vizsgál. A nyomon követés II. fázisa az 1997–2001 közötti időszakot vizsgálja. A III. fázis az 1976–2018 közötti időszak eredményeinek rövid áttekintését mutatja.

A kutatók a nyomon követés I. fázisában a szennyezett területet három zónára osztották, nevezetesen „A” (nagyon magas szennyezettség, ahonnan az embereket kitelepítették), „B” (magas) és „R” (alacsony) zónára, ami az 1. ábrán látható [8].

A kutatók a vizsgált területen élő lakosságot két csoportra osztva vizsgálták, az 1976–2001 közötti időszak adatai az 1. táblázatban:

1. „Jelenlévők”: a több mint 37 000 fő közül azok voltak, akik a baleset napján a három szennyezettségi zóna bármelyikében éltek, és akik közvetlenül voltak kitéve a mérgező felhőnek, valamint a helyi terményekből és állatokból származó élelmiszert fogyaszthattak.
2. „Nincs jelen”: a közel 8000 fő közül azok, akik a szennyezett zónák bármelyikébe költöztek a balesetet követő 10 éves periódusban, ide tartoznak az újszülöttek is [8].

A vizsgálat során az A, B és R zóna hat település területének egy részét ölelte fel. A referenciacsoportban e hat nem érintett terület lakosait, valamint öt szennyezéssel nem érintett környező város lakosait vizsgálták, és az alábbi eredményre jutottak:

- A jelenlévők száma összesen 181 574 fő, és nem voltak az esemény környezetében 51 166-an.
- A teljes vizsgálati célcsoport, azaz a szennyeződésnek kitett és nem kitett lakosság 11 település 278 108 lakosát foglalta magában [8].

1. táblázat

Az érintett lakosság száma az olaszországi Sevesóban 1976–2001 (a szerző a [8], [25] alapján)

Zóna	Jelenlévők (a környék lakója 1976. július 10-én)			Nincs jelen (a baleset után lépett be a területre)			Összesen
	Nők	Férfiak	Összesen	Nők	Férfiak	Összesen	
A	371	352	723	43	38	81	804
B	2 350	2 471	4 821	574	546	1 120	5 941
R	15 928	15 715	31 643	3 496	3 484	6 980	38 623
Referencia	93 224	88 350	181 574	25 547	25 619	51 166	232 740
Összesen	111 873	106 888	218 761	29 660	29 687	59 347	278 108

A nyomon követés gyakorlatilag teljes volt a 11 vizsgált településen élők esetében, és megközelítőleg 99%-a volt azoknak, akik elköltöztek a területéről. A több mint 40 éves nyomon követés során megfigyelhető, hogy az A és B zónában megnövekedtek a nyirokrendszeri és vérképzőszervi daganatos megbetegedések. Mindemellett számos másfajta daganatos megbetegedés és keringési betegség is szerepelt a megnövekedett halálzási arány okai között [25]. A kutatócsoport ma már csak az A zóna nyomon követését tanulmányozza, viszont ebben a zónában az érintett lakosság többgenerációs vizsgálata zajlik. A kutatók jelenleg a Seveso

második generáció egészségi állapotának és fejlődésének folyamatait vizsgálják, de már a Seveso harmadik generáció nyomon követése is megkezdődött [5], [8].

Ez volt a legnagyobb ismert ipari baleset lakott területeken, amely akkoriban a legmérgezőbb hatást gyakorolta az emberi szervezetre és a környezetre [1]. Az esemény az ipari biztonsági előírások szigorítását vonta maga után. Nem véletlen, hiszen több mint 40 év távlatában a mérgező anyag káros hatása a következő generációkat is eléri.

3. Jogszabályi háttér

A Seveso térségében történt ipari baleset következményeként a veszélyes üzemek tevékenységének szigorítása érdekében bevezették a Seveso I. irányelvet. A későbbiekben az Európai Közösség további szigorításokat vezet be, ezzel a

„Seveso II. irányelv néven 96/82/EK Tanácsi Irányelv került kiadásra 1996. december 9-én, amely 1997. február 3-án lépett hatályba. Az irányelv célja a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos ipari balesetek megelőzése és azok következményeinek korlátozása, a veszélyes anyagok előfordulásának teljes körű feltérképezése a gazdálkodó szervezeteknél” [14, p. 14].

Az EU ipari biztonsági előírása, a Seveso II. irányelv szigorúbban foglalkozik a korai figyelmeztetéssel, valamint a mentőalakulatok szakszerű irányításának fontosságával. A 2003/105/EK irányelvben – amely 2003. december 31-től hatályos – a rákkeltő anyagok listáját bővítették, és mellette a környezetre veszélyes anyagokra vonatkozó mértékadó mennyiségek csökkentését határozták meg [14]. A veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek veszélyének kezeléséről, valamint a 96/82/EK tanácsi irányelv módosításáról és későbbi hatályon kívül helyezéséről szóló európai parlamenti és tanácsi 2012/18/EU irányelvet, a Seveso III. irányelvet, 2012. július 4-én fogadták el [11], [13], [35, p. 46]. Magyarország 2015. május 31-én vezetett be az irányelvnek megfelelő szabályozást, amely 2015. június 1-jétől alkalmazandó [14, p. 16].

A Seveso-irányelv előírásaira vonatkozó szabályozásnak Magyarország a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi CXXVIII. törvény (Kat.) elfogadásával felelt meg. A Kat. végrehajtásáról szóló rendelet a 234/2011. (XI. 10.) Korm. rendelet (vhr.).

A Kat. értelmezi a veszélyes üzemekre vonatkozó rendelkezéseket, míg a vhr. a lakosságvédelemre helyezi a hangsúlyt. A Kat. IV. fejezete írja elő a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezés szabályozását. A Kat. 3. §-a értelmezi e törvény alkalmazásában a katasztrófával, polgári védelemmel, valamint a nemzetközi katasztrófa-segítségnyújtással kapcsolatos meghatározásokat, a veszélyes üzemekre vonatkozó szabályozást, a küszöbérték alatti üzemek meghatározását, a belső védelmi tervre és külső védelmi tervre vonatkozó főbb előírásokat, a biztonsági elemzéssel és a biztonsági jelentéssel és a súlyos káresemény-elhárítási tervvel kapcsolatos követelményeket, valamint definiálja a dominóhatás következményeinek súlyosságát. Értelmezi továbbá a lakossági tájékoztató- és riasztórendszereket, amelyeket részletesen négy csoportban sorol fel a következők szerint: lakossági riasztó végpont, lakossági riasztó-tájékoztató végpont, viharjelző végpont, valamint a speciális végpont. A Kat. 21. §-a a lakossági riasztórendszer, valamint a végpontjainak telepítését, üzemeltetését és fenntartását is szabályozza [21], [28], [34].

A vhr. VII. fejezete foglalkozik a lakosság riasztásával és a riasztás és a veszélyhelyzeti tájékoztatás közös szabályaival is. E fejezet 34. §-a a lakosság riasztásának és tájékoztatásának módjait szabályozza. A tájékoztatás megvalósulhat tömegkommunikációs eszközökön keresztül, lakossági riasztórendszeren, elektronikus hírközlési szolgáltatásokon keresztül, mint például a MoLaRi-végpontokon, valamint zárt rendszerű kommunikációs csatornán. Ugyanitt meghatározták a szöveges üzenetek formai és tartalmi követelményeire vonatkozó szabályozást, valamint a meghatározott közreműködők körét. A vhr. 41. §-ában jelölték ki a felső küszöbértékű veszélyes üzemek környezetében kiépített riasztók működtetésének biztosításáért felelősök körét. A vhr. részletezi továbbá a lakossági riasztórendszerek típusait, jellemzőit és a karbantartásukra, telepítésükre vonatkozó előírásokat, az ellenőrző és éles próbák rendszerére vonatkozó részletszabályokat, a lakossági riasztó végpontok folyamatos működésének, telepítésének, valamint karbantartásának, hangospróbák rendjét, azok hivatalos levezetésének módját, a kiértékelés rendjét és a felelősök körét [34].

A kormány a Kat. alapján az Alaptörvény 15. cikk (1) bekezdésében meghatározott feladatkörében eljárva rendeli el a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről szóló 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet végrehajtását, amelynek hatálya kiterjed a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemre és a küszöbérték alatti üzemre, a veszélyes anyagokkal, keverékekkel és készítményekkel (a továbbiakban együtt: veszélyes anyag) kapcsolatos súlyos balesetek megelőzésére és azok emberre és a környezetre gyakorolt következményeinek korlátozására [30].

A Seveso-irányelv szempontjából kivételnek minősül, ennek megfelelően külön szabályozás vonatkozik a veszélyes katonai objektumokra. A veszélyes katonai objektumokkal kapcsolatos hatósági eljárás rendjéről szól a 95/2006. (IV. 18.) Korm. rendelet. Ennek hatálya a veszélyes katonai objektumra és a küszöbérték alatti nyilvántartott katonai objektumra, valamint a veszélyes anyagokkal kapcsolatos honvédségi üzemzavarok megelőzésére terjed ki [32].

Ugyanakkor a veszélyes üzemek mellett a lakosságvédelem szempontjából kiemelten fontos a nukleáris létesítmények monitoring felügyelete, amely mint kritikus infrastruktúra külön szabályozás alá került.

4. A veszélyes üzemek körzetében alkalmazott ipari és lakosságvédelmi monitoringrendszerek

A lakosságvédelmi monitoringrendszerek a veszélyes üzemek környezetében jól alkalmazhatók. Példaként említem a MoLaRi-rendszer kiépítését, ami a lakosság magas fokú biztonsága érdekében a 2006. évtől vette kezdetét. Abban az időben a rendszer kiépítése 20 veszélyes üzem környezetében kezdődött meg, amelyek felügyelete jelenleg is folyamatos.

A lakosság védelme, valamint a gazdasági veszteségek csökkentése érdekében a veszélyes üzemek biztonságos üzemeltetése és az üzem folyamatos működése érdekében az üzem felügyeletére a MoLaRi-rendszeren kívül további monitoring alkalmazása is indokolt. Vagyis a lakosságvédelem tekintetében nem kizárólag az esemény bekövetkezését jelző monitoring-rendszer szükséges, amely a levegőbe kiszabadult és a környezetre káros értékeket elsőként jelzi, hanem külső okokra visszavezethető hatásokat mérő monitoringokat is figyelembe kell venni, amelyek általános lakosságvédelmi monitoring-feladatokat is ellátnak. Ilyen monitoring lehet például a BM OKF honlapján megtalálható Meteorológiai Riasztás (OMSZ), az Operatív

vízzállás (OVISZ), a Háttérsugárzási adatok, a Vízelző térkép, az Élő szeizmogramok, valamint a tűzgyújtási tilalom Magyarország területén [4].

A fentiek mellett a nukleáris létesítmények felügyelete további sugárzásmérésre és megfigyelésre alkalmazott környezet-ellenőrző rendszerek alkalmazásával történik.

4.1. Monitoring és Lakossági Riasztó Rendszer (MoLaRi)

A veszélyes üzemek területén bekövetkezett balesetek emberi hibára, gondatlanságra, meghibásodásra vagy külső hatásra vezethetők vissza, amelyek esetén meghatározó az a tevékenység, amely az emberi élet, az egészség és az anyagi javak megóvását szolgálja, amelyet úgy nevezünk, hogy mentés [22].

A veszélyes üzemek környezetében az esemény bekövetkezésekor a veszélyes és sugárzó anyagok jelenlétében bekövetkező balesetek káros hatásainak csökkentése és elhárítása függ az esemény bekövetkezése és a mentésig eltelt időintervallumtól, valamint a kikerült anyagok mennyiségétől és veszélyességi fokától [11]. A súlyos balesetek a veszélyes üzemek környezetében telepített MoLaRi-szirénavégpontok alkalmazásával nagymértékben csökkenthetők [6]. „A katasztrófavédelem mentési és lakosságvédelmi tevékenységét meghatározza a kibocsátott anyagok időben történő észlelése, valamint a káros következmények és hatások folyamatos monitoringozása [11].” A MoLaRi-rendszer a veszélyes vegyi ipari üzemek körzetében, redundánsan működő adatátviteli hálózatra épülő meteorológiai monitoringra is alkalmas [4]. Az országos kiterjedésű MoLaRi kémiai megfigyelő-, riasztó- és információs rendszer, amelyet uniós irányelvek alapján telepítettek Magyarországon a szirénavégpontok kiépítésével, a balesetek felderítése mellett biztosítja a lakosság riasztását [6]. A 2. ábrán a MoLaRi-sziréna látható.



2. ábra
MoLaRi-sziréna [4]

„A MoLaRi rendszer rendkívül hatékony, gyors és valós idejű információáramlást biztosít a katasztrófa sújtotta területeken és a veszélyes ipari területek körül, mint például a vegyi üzemek vagy atomerőművek. Szélsőséges időjárási viszonyok, környezeti sürgősségi (ABC – atom, biológiai, kémiai támadás, kémiai felhő) esetekben, árvízi helyzet és egyéb katasztrófa-helyzetek esetén tölt be lakossági figyelmeztető funkciót. Vészhelyzet esetén a különleges sziréna távoli terminál egységei teszik lehetővé a közvélemény tájékoztatását és a mentés támogatását [10].”

Főbb részei és tulajdonságai a 2. táblázatban láthatók:

2. táblázat
MoLaRi-rendszer részei és főbb tulajdonságai (a szerző [10] alapján)

Főbb részei	Főbb tulajdonságai
Ellenőrző központok	A vezérlőközpont Windows-alapú vezérlőalkalmazása asztali számítógépen keresztül egy vagy több kommunikációs eszközhöz csatlakozik. Képes a sziréna-rendszer átlátására és a csoportok között bármelyik végponthoz való csatlakozásra és annak aktiválására. A riasztás történhet különféle riasztójelzésekkel, előre felvett szöveges üzenetek lejátszásával, helyben a szirénából, valamint élő hang közvetítésével a vezérlőközpontból vagy a telepített szirénavégpontból.
Kommunikációs média	Nyilvánosan nem hozzáférhető hanganyagok vagy vezeték nélküli internetkapcsolat biztosítása. Az olyan nyilvános kommunikációs rendszerek, mint a GSM-hálózatok kapacitásai túlterhelhetők, ezért nem megbízhatók. A túlterheltség elkerülhető legalább két különböző típusú dedikált kommunikációs média használatával. A TETRA, SDS-üzenetek és hang csoporthívásokra alkalmazhatók, az IP-kommunikáció, intranet vagy internet. Sziréna-rendszer megoldásai a fenti kommunikációs média bármely kombinációjában használhatók.
Szirénavégpontok	A telepítésük megtervezésénél figyelemmel kell lenni a lakosság kihangosító eszközzel történő figyelmeztetések biztosítására, továbbá lényeges szempont, hogy a kiépített szirénák telepítésének helye zavartalan és folyamatos működést biztosítson. A szirénákat általában épületek tetejére, magas póznára vagy oszlopra telepítik. Főbb előnyei közé sorolhatók az alacsony villamosenergia-felhasználás, élő beszédközvetítés, digitális hangtárolás, programozhatóság, megbízhatóság, hosszú élettartam, hálózatfüggetlen, helyi üzemeltetés, távvezérlés a vezérlőközpontoktól, üzenetek vagy jelek tárolása.

A sziréna-rendszer előnyei között említtem többek között, hogy a kommunikációs protokollt nagyban megkönnyíti a nyelvhasználat beállíthatósága, valamint a szoftverrel, távolból is irányítható jelszinterősség konfigurálása. A tulajdonságai beállíthatók, így zökkenőmentesen alkalmazkodik számos iparági szabvány és harmadik fél vagy felhasználó elvárásaihoz. Intelligens halk tesztelés végrehajtására képes. Az üzemeltetéséhez alacsony készenléti villamosenergia-ellátás is elegendő. Könnyű szerkezetű felépítmény, amelynek egyszerű a beszerelése, bővítése, és könnyű javítani, valamint rongálás elleni védelemmel, illetve intelligens akkumulátortöltő akkumulátorvédő áramkörrel is rendelkezik [10].

A MoLaRi-rendszert Borsod-Abaúj-Zemplén, Csongrád-Csanád, Fejér, Hajdú-Bihar, Heves, Komárom-Esztergom, Pest, Tolna, Vas, Veszprém, Zala megyében és Budapesten építették ki, majd ennek során kiépítették a lakossági riasztó-tájékoztató, valamint a monitoringvégpontokat [4].

5. A monitoring- és lakossági riasztó végpontok hatósági eljárásrendje

Hazánkban a monitoring- és lakossági riasztó rendszer végpontjainak kiépítése szakhatósági és hatósági engedélyhez kötött. A tervezés és kivitelezés megfelel a nemzetközi és hazai jogszabályoknak, valamint a nukleáris irányelveknek. A meglévő nukleáris létesítményekkel kapcsolatos összes tapasztalatot felhasználják a biztonság fokozása érdekében. Figyelembe véve a különböző kontinenseken elhelyezkedő 3+ generációs atomerőműveket, az ott alkalmazott követelmények és tapasztalatok a hazai iparbiztonsági fejlesztések alapját jelentik, amelyek az új nukleáris létesítmények építésénél hasznosíthatók [3].

5.1. A monitoring- és lakossági riasztó végpontok kiépítésében eljáró hatóság

Az elektronikus hírközlésről szóló 2003. évi C. törvény (Eht.) a lakossági riasztási rendszer létrehozását a kormány feladatáként határozza meg [27]. A kormány ugyanakkor hatósági feladatokat nem lát el, a technikai rendszer kialakítása, üzemeltetése pedig csak rendezett és szabályozott eljárás keretében biztosítható. Tekintettel arra, hogy az Eht. értelmében a légi-riasztási rendszer működtetésével, fenntartásával kapcsolatos tervezési, szervezési feladatokat a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság (NMHH) végzi, valamint arra, hogy fennáll a technológiai párhuzam, a Monitoring és Lakossági Riasztó rendszer hálózatáért, illetve annak részét képező végpontok létesítésével kapcsolatos hatósági eljárások lefolytatásáért az Eht. rendelkezése szerint az NMHH a felelős [27].

Az NMHH fenti felhatalmazása alapján, hatáskörében eljárva, az elektronikus hírközlési építmények elhelyezéséről és az elektronikus hírközlési építményekkel kapcsolatos hatósági eljárásokról szóló 20/2020. (XII. 18.) NMHH rendelet (NMHH rendelet) 10. § (1) bekezdése szerinti építési, használatbavételi, szükség esetén fennmaradási, bontási, építési engedély hatályának meghosszabbítása iránti, valamint építési engedély módosítása iránti engedélyezési eljárást folytat le [29].

E rendelet engedélyezési eljárásokra vonatkozó általános szabályainak megfelelően az eljárás keretében (vagy azt megelőzően), illetve azzal kapcsolatosan az NMHH rendelet 1. mellékletében felsorolt eljárásbeli közreműködőket (jellemzően közműszolgáltatók), valamint az egyes közérdeken alapuló kényszerítő indok alapján eljáró szakhatóságok kijelöléséről szóló kormányrendeletben (Kormányrendelet) meghatározott szakhatóságokat kell megszólítani [29], [33].

Az eljárás lefolytatására vonatkozó generális szabályokat az általános közigazgatási rendtartásról szóló 2016. évi CL. törvény (Ákr.) tartalmazza. Az abban foglaltaktól eltérni csak a fent említett részletszabályokat tartalmazó NMHH rendeletben foglalt speciális szabályok alapján van lehetőség.

Az eljárásban a közreműködők nyilatkozatai korlátozott körben – mint például a saját nyomvonalas létesítményük védelme érdekében szükséges feltételek – tehetők meg. A szakhatóságokra vonatkozó szakkérdések körében megfogalmazott feltételek kötelezik a hatóságot a szakhatósági állásfoglalásokban foglaltak figyelembevételére.

5.2. A monitoring- és lakossági riasztó végpontok szakhatósági engedélyezése

Az NMHH rendelet önmagában is kötelezi az eljáró hatóságot a szakhatóságok megkeresésére, ugyanakkor az Ákr. 55. § értelmében az érdemi döntésre jogosult hatóság számára kötelező a külön törvényben vagy rendeletben meghatározott szakkérdés tekintetében a szakhatóságokat megkeresni. A Kormányrendelet nagy terjedelmű melléklete a hírközlési ügyekre vonatkozóan összesen 37 sorban veszi számba azokat az eseteket, amelyek a bevonás feltételének eseti teljesülése következményeként szakkérdés megválaszolását teszik szükségessé a hatósági eljárás lefolytatása esetében. A hatósági ügyintézés keretében kiemelten fontos e szabályok körültekintő alkalmazása, mert a szakhatóság kötelező megkeresésének mellőzése esetén a hatósági döntés semmissége megállapításának lehet helye, amelynek következményeként új eljárás lefolytatására lehet szükség. Ugyanakkor nincs könnyű helyzetben a hatóság a feltételek teljesülésének megítélésében, ezért a jobbiztonság érdekében indokolt az említett kritériumok megítélését eleve a szakhatóságokra bízni. Ez a gyakorlat bár látszólag terheli a közigazgatást, valójában az eljáró hatóság kényelmét, körültekintő és alapos, tehát tisztességes eljárását szolgálja. Amennyiben ugyanis az eseti feltétel nem teljesül, a megkeresett szakhatóságnak illetékesség vagy hatáskör hiányában eljárását meg kell szüntetnie, ami alapján az NMHH a fenti kockázatát elkerülve objektíven tudja kizárni a szakkérdés feltételének teljesülését.

Fontos megjegyezni, hogy az NMHH rendeletben meghatározott eljárásfajták mind-egyikében szükséges a szakhatóságok megkeresése. Ideális esetben az építési engedélyezési eljárást a használatbavételi eljárás követi, amelynek során az NMHH és az építési engedélyezési eljárásban érintett, illetve érdekelt szakhatóságok is vizsgálják, hogy az építési engedélyezési eljárás keretében meghatározott, olykor rendkívül speciális feltételek maradéktalanul teljesültek-e. Ez az eljárás biztosít egyfajta garanciát arra, hogy a tervezett beruházások a szűkebb és tágabb környezet zavarása, illetve veszélyeztetése nélkül a jogszabályi és eseti előírások betartásával valósulnak meg. Esetenként szükségszerűen előfordul, hogy a beruházás kivitelezése során az eredeti tervektől el kell térni, ilyenkor az építési engedély módosítására van szükség. Az is előfordulhat, hogy valamilyen körülmény miatt a beruházás kivitelezése időben elhúzódik, ezért az eljárás megismétlésének elkerülése érdekében, amennyiben a jogszabályi és más fizikai körülményekben egyébként nem következik be változás, a már rendelkezésre álló és érvényes építési engedély érvényességét idejét hosszabbítják meg.

Továbbá létezik a fentiekben már említett bizonyos szempontból két speciális eljárásfajta is. Az egyik a fennmaradási engedélyezési eljárás. Erre akkor van szükség, ha a létesítmény engedély nélkül, vagy az engedélyben foglaltaktól eltérő módon valósul meg. Az ilyen eljárások természetesen nem kívánatosak egy jogkövető magatartást elváró jogrendszerben, ezért ezek az eljárások a legtöbb esetben komoly szankcióval járnak. A jogintézmény funkciója elsősorban a törvényes állapot helyreállítása, ezért az eljárás során azt vizsgálják, hogy a már megvalósult létesítmény, amennyiben előzetes engedélyezési eljáráson esett volna át, az előzetesen megszabott feltételeknek megfelelne-e, illetve, hogy további intézkedések megtétele esetén megfeleltethető-e a létesítmény. Amennyiben a kívánatos törvényes állapot ezen eljárás keretében nem biztosítható, az eredeti állapot helyreállításának kötelezettségével az engedély nélkül vagy az engedélytől eltérő módon megvalósult létesítményt el kell bontani.

A másik speciális eljárás a bontási engedély, amely egy már korábban engedéllyel rendelkező létesítmény megszüntetéséről szól. Ebben az eljárásban a szakhatóságok megkeresése független

attól, hogy az építési engedélyezési eljárásban a szakhatóságok részt vettek-e vagy sem. Ilyenkor ugyanis az NMHH a Kormányrendelet melléklete alapján dönt a megkeresésekről. A bontási engedély abból a szempontból is speciális, hogy egy létesítmény fenntartását indokolatlanul előírni, ezáltal valakire fenntartási kötelezettséget kironi – amennyiben azt jogszabály lehetővé nem teszi – nem lehet, sok esetben pedig bontásra valamilyen speciális körülmény miatt van szükség. Ilyen eset lehet például egy az idő előrehaladtával megjelent anyaghiba, vagy egy nem várt korrózió, amelynek megszüntetése aránytalan teher lenne, vagy a létesítmény áthelyezése például egy másik beruházás megvalósítása miatt, amely körülményre tekintettel a bontási engedély kiadása esetenként nem lehet kérdéses.

A hatósági és szakhatósági eljárás áttekintését követően nézzünk egy példát a monitoring- és riasztórendszerre vonatkozóan, amely a veszélyes üzemek környezetében a lakosság védelmét szolgálja.

6. A monitoring- és a lakossági riasztó rendszerek műszaki fejlesztési lehetősége

Az elmúlt évtizedekben a pilóta nélküli légi járművek rohamos fejlődésen mentek keresztül. Az idő elteltével nemcsak az „intelligenciájuk” és „tehetségük” fejlődött, de esztétikus küllemük emeléséhez a méretük csökkentése is hozzájárult.

Napjainkra a katonai és a polgári életben is egyre nagyobb igény mutatkozik a pilóta nélküli légi jármű-rendszerek mind szélesebb körű alkalmazására. E modern repülőeszközök univerzálisan használhatók fel különböző típusú feladatokra elsősorban a fegyveres erők, a katasztrófavédelem, a környezetvédelem, a nemzetbiztonság és még sok más területen egyaránt. Eljutott a technikai fejlődés arra a szintre, hogy a légi robotokkal az egyre veszélyesebbnek minősülő feladatok elvégzésére is számtalan konkrét igény fogalmazódjon meg, amelyek közül a leggyakoribbak a katonai és a katasztrófavédelmi feladatok [17].

Mindez a katasztrófasújtotta területeken, valamint veszélyes üzemek körzetében különösen előnyös, ugyanis az emberi szervezet számára nehezen hozzáférhető helyeken, illetve mérgező környezetben biztosít kapcsolatot, miután ezek a területek gyakran megközelíthetlenné válnak. Legyenek ezek az autonóm eszközök akár földön, akár vízen, de még inkább a levegőben, minden esetben azzal a céllal készültek, hogy a túl veszélyesnek bizonyuló feladatkörökben megóvják a használóját, magát az embert. Miután a kezelő biztonságban érezheti magát, lényegesen magasabb hatékonysággal, pontossággal és eredményességgel képes végrehajtani küldetését, feladatát [7]. Méretüknek és speciális „természetüknek” köszönhetően távvezérléssel könnyen alkalmazhatók mind nukleáris létesítmények, mind pedig vegyi üzemek körzetében, akár zord időjárási körülmények között is [23].

A fejlesztések során e robotizált eszközök egy csoportja a talajszintről a felhasználók fölé emelkedett, miközben szenzorai segítségével egyre hatékonyabb, precízebb „társa” lett a monitoringfeladatokat végrehajtó szakembereknek. Ezek a pilóta nélküli légi járművek a 21. századra nélkülözhetetlen eszközeivé váltak nemcsak a gazdasági életnek, de a közszolgáltatón át a katasztrófavédelem mindennapjait is meghatározó légi eszközzé „nőtték

¹ *Unmanned Aerial Vehicle/Unmanned Aircraft System, UAV, UAS, pilóta nélküli légi jármű/pilóta nélküli légi jármű-rendszer, drón. ICAO Circular 328. International Civil Aviation Organization, 2011.*

ki magukat". Nemcsak hatékonyak, hanem olcsóbban, gyorsabban és – ami a legfontosabb – biztonságosabban is képesek olyan feladatok elvégzésére, amelyekhez egyébként szakképzett munkaerőre lenne szükség, vagy amelyek veszélyt jelentenének a feladatokban részt vevőkre [26].

6.1. Pilóta nélküli állami légi járművek alkalmazása a veszélyes üzemek körzetében

A gyors fejlődés hatására nemzetközi szinten egyre nagyobb igény mutatkozik – a lakosságvédelem tekintetében – a pilóta nélküli légi járművek monitoringcélú alkalmazására a vegyi (kémiai) veszélynek kitett veszélyes üzemek környezetében. Alkalmazásuk az esemény bekövetkezésétől nagymértékben felgyorsítja az információáramlást, és a lerövidíti az esemény bekövetkezése és a mentés megkezdéséig eltelt időintervallumot. Magyarországon a veszélyes üzemek területén még csak elvétve fordul elő, de vegyi anyag szivárgásmérésére történő rendszeresítése egyes üzemekben már elfogadott.

6.1.1. Pilóta nélküli állami légi járművek alkalmazása a nukleáris veszélynek (sugárzásnak) kitett veszélyes üzemek körzetében

Bár tanulmányomban nem a nukleáris létesítményeket vizsgálom, ebben az alfejezetben, nemzetközi kitekintésként, a veszélyes üzemekkel kapcsolatba hoztam és vizsgáltam.

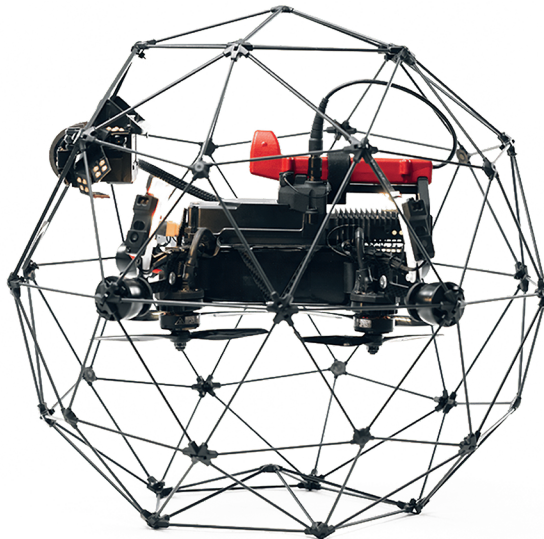
Felvetésem, hogy amely veszélyes üzem környezetében nukleáris létesítmény található, annak a sugárzásveszéllyel való kitettsége fokozódik, és a veszélyes üzem biztonságos üzemeltetése kockázatosabbá válik. A munkavállalók kiesése üzemleálláshoz, valamint a vegyi anyagok szabadba kerüléséhez, akár robbanáshoz vezethet. Dominóhatás következik be, amikor valamely ipari létesítményben bekövetkezett káresemény hatással van a környező üzem(ek) biztonságos üzemeltetésére, és azokban további reakció lép fel. Továbbá előfordulhat, hogy valamilyen okból radioaktív anyaggal szennyezett lesz a környezet [19]. Ez esetekben az üzem környezetében a sugárzás és kémiai anyagok levegőbe jutásának mérése pilóta nélküli légi járművekkel az emberi szervezet számára veszélyes területen rövid idő alatt nagy távolságban is mérhető. Felmerül a kérdés, hogy egy bekövetkezett esemény pillanatában van megfelelő távolság, kellő idő és kiszámítható időjárás?

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség becslése szerint a globális atomenergiatermelőkapacitás a mai 375 GWe-ről (gigawatt villamos teljesítmény) 2030-ra 401–699 GWe-re, 2050-ig várhatóan 1092 GWe-re fog növekedni. A hangsúly a tiszta energiaforrásokból való villamosenergia-termelésen van, amely során a mérnökök folyamatosan szembesülnek a sugárterhelés veszélyével [9], [24].

A svájci Flyability – pilóta nélküli légi járművek fejlesztésével foglalkozó – cégnek az „Elios 1” volt az első ütközéstűrő drónja, amelyet főként az emberek számára megközelíthetetlen helyeken használtak. A további fejlesztések során alkották meg a speciális képességekkel rendelkező Elios 2-t, majd ebből fejlesztették az „Elios 2 RAD” sugárfelderítő modellt. Az Elios 2-t az ukrainai csernobili atomerőmű 5-ös blokkjában is használták a visszamaradt nukleáris maradványok feltérképezésére. Az Elios 1, az Elios 2 és az Elios 2 RAD modellt

széles körben használják világszerte az atomerőművek területén. Alkalmazásuk csökkentette az üzemkimaradások időtartamát, és elkerülhetővé tette a kézi ellenőrzésekhez szükséges költséges technológiák szükségességét. Az Egyesült Államokban a nukleáris üzemeltetéssel foglalkozó létesítmények 80%-a alkalmazza a Flyability pilóta nélküli légi járműveit belső ellenőrzések céljából. Az Elios 2 RAD alkalmas a sugárzás mennyiségének rögzítésére az egész helyszínen. Alkalmazásával távolról is lehetővé válik a kockázatok felmérése, a veszélyes szivárgás vagy egy bekövetkezett esemény felderítése, megbecsülhető a dolgozókat ért sugárzás, és azonosítható a legszennyezettebb terület. Patrick Thévoz, a Flyability vezérigazgatójának nyilatkozata szerint az Elios 2 RAD fejlesztésével olyan ágazatok megcélzása volt a fő cél, ahol emberek helyett robotokat is használhatunk veszélyes beltéri ellenőrzési munkához [36]. Lényeges szempont volt, hogy képes felderíteni a sugárzás gócpontjait, és figyelmezteti a mérnököket, hogy mekkora sugárzásnak lennének kitéve az ilyen pontokon. Ezenkívül lehetővé teszi a mérnökök számára, hogy hasznos információkat gyűjtsenek a sugárdózis adatokról, és segítsenek a nukleáris felügyelőknek távolról adatokat gyűjteni. Ez azt eredményezi, hogy kevesebb ember van kitéve bármilyen káros sugárzásnak [24].

A 3. ábrán látható Elios 2 RAD modell óriási előnye, hogy a monitoring, tájékoztató és riasztó alkalmazása mellett, sugárfelderítésre is használható.



3. ábra
Az Elios 2 RAD drón [24].

6.1.2. Pilóta nélküli állami légi járművek alkalmazása a vegyi (kémiai) veszélynek kitett veszélyes üzemek körzetében

A legtöbb súlyos baleset műszaki meghibásodásnak és emberi hibának vagy mulasztásnak köszönhető, amelyek gyakran emberi életeket is követelnek. Ezekben az ipari eredetű veszélyhelyzetekben rendszerint sürgősségi mentési beavatkozásra van szükség.

A veszélyes üzemek, illetve a vegyi anyagokkal kapcsolatos balesetek helyszínén szenzorral, kamerával és további szükséges kellekekkel felszerelt pilóta nélküli állami légi járművek az áldozatok azonosítása mellett képesek a robbanás utáni helyszíni adatokat és körülményeket nagy sebességgel továbbítani az irányítóközpontba [23].

A fentiek alapján látható, hogy a pilóta nélküli állami légi járművek az iparbiztonság területén is jól alkalmazhatók. Veszélyes üzemek területén és körzetében – a fentiekben már említett – dominóhatás esetén alkalmasak még gázok kiszabadulásának mérésére, mentesítésre, fertőtlenítésre. Továbbá jól bevethetők légi felvételek készítésére, létfontosságú információk begyűjtésére, a döntések meghozatalának segítésére, helyreállításra, az épületek és telephelyek ellenőrzésének elősegítésére, illetve a biztonság fenntartására nyújtanak támogatást, és körzetében eltűnt személyek felkutatására és felderítésére (földfelszín vagy romok alatt is), a lakosság mentésére, az otthonában maradt lakosság logisztikai ellátására (egészségügyi, élelmiszer, tisztálkodási szerek, létfontosságú termékek), lakosságtájékoztatásra, az elszigetelt lakossággal való kapcsolattartásra és a kölcsönös kommunikációra. A pilóta nélküli állami légi járműveket a rendkívüli gyorsaság, érzékenység, pontosság, magas fokú intelligencia, könnyű kezelhetőség jellemzi. Mobilitásával és gyors tájékoztató szolgáltatásával rendkívül nehezen hozzáférhető információ felkutatására is alkalmasak. A keresés és mentés során a hő- és zoomtechnológiával összehangolt légi képalkotás nyújthat megfelelő támogatást. A fejlett technológiának köszönhetően léteznek már többek között HD-kamerák, Zoom-kamerák optikai zoom és hybrid hármas érzékelővel, hőkamerák hybrid quad érzékelővel és kettős hőkamerák, lézeres menetszivárgás-érzékelők [2].

6.2. Pilóta nélküli állami légi járművek alkalmazásának szabályozása

A pilóta nélküli állami légi járművek felszálló súlyuk alapján hét osztályba sorolhatók. Ezek a légi járművek abban az esetben vehetők be a meghatározott feladatokra, amennyiben kategóriájuk minimális követelményeinek megfelelnek. Az alkalmazásukra vonatkozó elvárásokat a pilóta nélküli állami légi járművek repüléséről szóló 38/2021. (II. 2.) Korm. rendeletben (Drónrendelet) szabályozták. Csoportosításuk szerint tartozhatnak „A1”, „A2”, „B1”, „B2”, „C”, „D”, valamint „E” kategóriába. Felszálló tömegük a saját tömegük és a hozzá rögzített plusz tömeg – amely a maximális teherbírása felszálláskor – összességével határozható meg. A kategóriákkal szemben támasztott alapvető követelmények az alábbiak szerint csoportosíthatók [31]. A csoportosítás a 3. táblázatban látható.

Az üzemeltetőnek a pilóta nélküli állami légi járművek üzemeltetéséhez rendelkeznie kell a szükséges dokumentumokkal és hatósági engedélyekkel. A kockázatelemzést az üzemben tartó a végrehajtott műveletek egyedi jellemzői alapján készíti el és küldi meg a Katonai Légügyi Hatóságnak (Hatóság). A Hatóság a kockázatelemzést a Drónrendelet 9. § (3)–(7) bekezdésében rögzített szabályok alapján hagyja jóvá. A pilóta nélküli állami légi járművek felszereltségét a kategóriája határozza meg.

3. táblázat

A pilóta nélküli állami légi járművekre vonatkozó minimális követelmények (a szerző [31] alapján)

Kategória	Felszálló tömeg	A pilóta nélküli állami légi járművel és a kezelőszeméllyel szemben támasztott követelmények a végrehajtandó feladatok szerint	Kezelői tanfolyam minimum iskolai követelménye	Egyéb képzés
A1	4 kg és az alatt	1. üzemben tartói nyilatkozat 2. üzemben tartó nyilvántartásba vétele	Alapfokú képzés	Nincs
A2	4 kg és az alatt	1. hatóság által jóváhagyott intézkedés 2. üzemben tartó nyilvántartásba vétele 3. repülésbiztonsági szervezet 4. kockázatelemzés	Alapfokú képzés	Nincs
B1	4 kg fölött és 25 kg-ig	1. üzemben tartói nyilatkozat 2. üzemben tartó nyilvántartásba vétele	Középfokú képzés	Nincs
B2	4 kg fölött és 25 kg-ig	1. üzemben tartó nyilvántartásba vétele 2. típusalkalmassági bizonyítvány vagy EU-jogszabályi megfelelést igazoló gyártói CE jelölés vagy hatóság által kiadott tanúsítvány 3. repülésbiztonsági szervezet 4. kockázatelemzés	Középfokú képzés	Nincs
C	25 kg fölött és 150 kg-ig	1. típusalkalmassági bizonyítvány 2. szakszolgálati engedély 3. állami légi jármű nyilvántartásba vételi bizonyítvány 4. légialkalmassági bizonyítvány 5. repülésbiztonsági szervezet 6. fel- és leszállás ellenőrzött repülőtéren „C” kategóriába tartozó pilóta nélküli állami légi jármű esetén ellenőrzött repülőtéren kívül is 7. kétirányú rádiókapcsolat biztosítása 8. transzponder használata 9. ütközésre figyelmeztető rendszerrel „C” kategória esetén, ha ellenőrzött légtérben üzemel	Középfokú képzés	Angol nyelvű rádiótávbeszélő engedély
D	150 kg fölött és 600 kg-ig	1. típusalkalmassági bizonyítvány 2. szakszolgálati engedély 3. állami légi jármű nyilvántartásba vételi bizonyítvány 4. légialkalmassági bizonyítvány 5. repülésbiztonsági szervezet 6. fel- és leszállás ellenőrzött repülőtéren 7. kétirányú rádiókapcsolat biztosítása 8. transzponder használata 9. ütközésre figyelmeztető rendszerrel	Középfokú képzés	Angol nyelvű rádiótávbeszélő engedély
E	600 kg felett	1. típusalkalmassági bizonyítvány 2. szakszolgálati engedély; 3. állami légi jármű nyilvántartásba vételi bizonyítvány 4. légialkalmassági bizonyítvány 5. repülésbiztonsági szervezet 6. fel- és leszállás ellenőrzött repülőtéren 7. kétirányú rádiókapcsolat biztosítása 8. transzponder használata 9. ütközésre figyelmeztető rendszerrel	Középfokú képzés	Angol nyelvű rádiótávbeszélő engedély

6.3. A pilóta nélküli állami légi járművek nyilvántartásba vételéhez és üzemeltetéséhez szükséges hatósági eljárások

A fenti kategóriákban felsorolt pilóta nélküli állami légi járművek légi közlekedésben akkor vehetnek részt, ha azokat a Hatóság nyilvántartásba vette. A nyilvántartásra háttérjogszabályként a légi közlekedésről szóló 1995 évi XCVII. törvény az irányadó. A nyilvántartásba vételt megelőzően lehetőség van a pilóta nélküli állami légijármű-rendszer ideiglenes nyilvántartásba vételére. A légi jármű mindaddig szerepel a nyilvántartásban, amíg az üzemben tartó a kivonási szándékát, a selejtezés okát is tartalmazó jegyzőkönyv csatolásával a Hatóságnak bejelenti, és az alapján a Hatóság a légi járművet a nyilvántartásból törli. A nyilvántartásba vételnek számos feltétele van. E feltételeket a biztonság érdekében a polgári repülési szabályokhoz hasonlatos rendkívül részletes és aprólékos, mindenre kiterjedő hatósági eljárás garantálja. Ilyen hatósági eljárás például a típusalkalmassági vizsgálat, mert pilóta nélküli állami légi jármű csak abban az esetben tartható üzemben, ha típusalkalmassági bizonyítvánnyal rendelkezik. Az iménti szigorú kritériumoknak való megfelelés érdekében a Drónrendelet részletesen szabályozza a típusalkalmassági bizonyítvány és a légi jármű üzembe helyezésének feltételeit is. Speciális eljárásforma itt is létezik. Bizonyos speciális feladatkörök ellátása érdekében a már típusalkalmassági bizonyítvánnyal rendelkező légi járműveket egyedi eszközökkel szerelik fel, amelyek alapvetően befolyásolhatják a légi jármű repülési tulajdonságait. A pilóta nélküli állami légi jármű szerkezetének, az üzemben tartási vagy kiszolgálási rendszerének a repülés biztonságára is kiható módosítása esetén akkor tartható továbbra is üzemben, ha a tervezett módosításokat a Hatóság jóváhagyta. A módosítást a Hatóság a gyártói előírások, a repülésbiztonsági követelmények és a légi közlekedésre vonatkozó előírásoknak való megfelelés esetén hagyja jóvá [31].

6.4. A pilóta nélküli állami légijármű-rendszer kezeléséhez szükséges engedélyek

A pilóta nélküli állami légijármű-rendszer üzemeltetése szintén számos feltételhez kötött. A stacioner módon telepített MoLaRi-rendszerrel ellentétben a légi járművek mozgó alkalmazása különleges feltételeket szab a biztonságos üzemeltetés érdekében. Tekintettel arra, hogy a drónok üzemeltetésével a légi jármű kezelője részesévé válik a légtérhasználók csoportjának, a légtérhasználatra vonatkozó bármilyen, főleg biztonsági előírásokat maradéktalanul alkalmazni szükséges. Ennek megfelelően az ilyen jellegű légi jármű kezelőjének is rendelkeznie kell szakszolgálati engedéllyel, amelynek megszerzése érdekében számos ismeretet kell elsajátítani. Ezen ismeretek tematikáját a Drónrendelet 5. melléklete részletezi bővebben. Csakúgy, mint a polgári repülési életben, a szakszolgálati engedélyt rendszeresen meg kell hosszabbítani, vagy meg kell újítani. A szakszolgálati engedély megszerzéséhez az elméleti tudás mellett komoly gyakorlati tapasztalat is nélkülözhetetlen. Hasonlóan fontos feltétel továbbá a rendkívül szigorú repülő-egészségügyi követelményeknek való egészségi, pszichikai és fizikai megfelelés [31].

7. Összegzés

Hazánkban a veszélyes üzemek körzetében évtizedek óta alkalmazott MoLaRi-rendszer már jól bevált és megbízható, amelynek rendkívül sok előnye között megemlíthető a költséghatékonysága, a könnyen kezelhetősége és a töretlen működőképessége. Az ország területén a szirénavégpontok kiépítése jelenleg is folyamatos, hiszen a lakosságvédelem tekintetében lényeges szerepe lesz a jövőben is az ipari balesetek észlelése során.

A veszélyes üzemek környezetében bekövetkezett robbanást követő mentési műveletek lényeges problémája az a reakcióidő, amely ahhoz szükséges, hogy a mentésben részt vevő szakemberek információt gyűjtsenek a helyszíni adatokról, ami lényegében azért fontos, hogy a beavatkozó állomány egészségének károsodása elkerülhetővé váljon. Mindez a veszélyes üzemek környezetében élő lakosság számára is mérvadó, hiszen a riasztásuk és tájékoztatásuk során eltelt idő életeket követelhet. Láthatóan a mai kor gyors fejlődését tekintve a jövőben az új kihívásokkal szemben modernebb eszközök alkalmazására is szükség lehet. Ma már egyre gyakrabban találkozhatunk nemzetközi szinten a pilóta nélküli légi járművek katasztrófavédelmi lehetőségeivel. Robbanásszerű fejlődésének köszönhetően a működésük egyre inkább az „önálló döntések, az autonóm módon történő gondolkodás” irányába tolódik el, nemcsak repülési pályájuk megválasztása, de mindennapi alkalmazásuk terén is. A légi organizmusokhoz társítható és egyre inkább társított mesterségesintelligencia-kutatások nem csupán e „mindennapi” teendők ellátását „tanítják” meg az eszközöknek, hanem már önálló, veszélyes helyet és helyzetet elkerülő „önvédelmi tudatot” is szenzorjaik és elektronikai felépítésük védelme érdekében [16].

A veszélyes üzemek monitoringalkalmazás lehetőségeinek nemzetközi kitekintése során vizsgáltam vegyi, valamint – a dominóhatás miatt – a veszélyes üzemeket fenyegető radioaktív veszélyforrásokat és a sugárfelderítő-képességet is. A pilóta nélküli légi járművek fejlődési görbéje hosszú utat írt le, amikor eljutott ehhez a felhasználási területhez. Ezt az alkalmazást megelőzve számos területen bevonták, mint például rendvédelmi felhasználásban, ahol néhány országban megjelentek a paintball-lövedékekkel felszerelt, tömegosztatásra alkalmas pilóta nélküli légi járművek. Indiában paprikaspray-vel felszerelt eszközökkel kísérleteznek a rendvédelmi szervezetek fejlesztői. Ezekon túl a szórakoztatás mellett események filmezése, terepfelmérése, térképezése, hő- és infrakamerás felvételek készítése, továbbá nehezen megközelíthető helyek felderítése is a felhasználási repertoárba sorolható. A katasztrófavédelmi szervezeteknél is hatékonyan használhatók kárfelmérésére, a kutató-mentő műveletek támogatására, esetleg gyógyszerek, mentőeszközök helyszínre juttatására, valamint alkalmazásuk kiterjedhet a tűzfelderítés, tűzoltás körére is [17].

A MoLaRi-rendszerrel szemben a pilóta nélküli állami légi járművek lényeges előnye, hogy veszélyes üzemek területén való alkalmazásával az emberi szervezet egészségének megóvása mellett a szakemberek képesek az esemény helyszínétől távol is a megalapozott döntések meghozatalára. Mobilitásának és kompatibilitásának köszönhetően alkalmas a távoli tárgyak vagy események, például a sugárzás és vegyi gócpontok gyors és pontos azonosítására, információ továbbítására, riasztására, tájékoztatásra, valamint kategóriájától függően logisztikai feladatok ellátására. Ellenben a MoLaRi-nak az előnye pont a fixen telepítésében és stabilitásában rejlik, ezzel az üzem területén a folyamatos monitoring biztosított, probléma esetén pedig megfelelő riasztásban is helytáll. Gyakorlatilag a pilóta nélküli légi járművek monitoringalkalmazása veszélyes üzemek területén az esemény bekövetkezésétől releváns.

A hatósági eljárásrendjüket tekintve, hazánkban a MoLaRi- és a pilóta nélküli állami légi jármű-rendszer hatósági szabályozása jogilag rendezett, azaz a jövőbeni alkalmazásuk lehetősége a hatósági eljárásrend szempontjából biztosított.

A jövő feladataként a továbbiakban megvizsgálandó – az önmagukban is tökéletesen alkalmazható rendszerek mellett – a kombinálható alkalmazhatóság lehetősége és annak aktualitása. Érdekes vizsgálati eredményt hozhat továbbá, hogy ezeket az autonóm légi platformokat miként, milyen fedélzeti eszközökkel lehet felszerelni, ezáltal mennyi és mennyire szerteágazó feladatrendszerrel lehet felvértezni a veszélyes üzemek biztonságosabbá tétele érdekében.

Felhasznált irodalom

- [1] A. Bertazzi, I. Bernussi, G. Brambilla, D. Consonni, A. C. Pesatori, „The Seveso Studies on Early and Long-Term Effects of Dioxin Exposure. A Review,” *Environmental Health Perspectives*, Vol. 106. No. 2. pp. 625–633. 1998. Online: <https://doi.org/10.1289/ehp.98106625>
- [2] Advexure Unmanned Systems & Solutions, *Autel EVO II Enterprise*. Online: <https://advexure.com/collections/autel-evo-ii-enterprise#>
- [3] Antal Z., Vass Gy., Kátai-Urbán L., „Problems of Safety and Radiation Accident Prevention in Hungary,” in *Материалы тридцатой международной научно-технической конференции „Системы безопасности – 2021”: Proceedings Contain Theses of Reports on Thirtieth International Scientific Technical Conference “Safety Systems – 2021”*. Топольского, Н. Г. – М. szerk. Moszkva, Академия Гпс Мчс России, 2021. pp. 35–38. Online: <https://academygps.ru/upload/iblock/224/2242ecc5cdd79a9c4ac0d0d8e3483503.pdf#page=214>
- [4] BM OKF, *MoLaRi-rendszer*. Online: www.katasztrofavedelem.hu/49/molari-rendszer
- [5] B. Eskenazi, M. Warner, P. Brambilla, S. Signorini, J. Ames, P. Mocarelli, „The Seveso Accident: A Look at 40 Years of Health Research and Beyond,” *Environment International*, Vol. 121. pp. 71–84. 2018. Online: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.051>
- [6] Cimer Zs, Vass Gy., Zsitnyányi A., Kátai-Urbán L., „Application of Chemical Monitoring and Public Alarm Systems to Reduce Public Vulnerability to Major Accidents Involving Dangerous Substances,” *Symmetry*, Vol. 13. No. 8. pp. 1–16. 2021. Online: <https://doi.org/10.3390/sym13081528>
- [7] Csóré A., Major G., „A pilóta nélküli légi járművek (UAV) evolúciója,” *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 1. sz. pp. 171–191. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.13>
- [8] D. Consonni, A. C. Pesatori, C. Zocchetti, R. Sindaco, L. C. D’Oro, M. Rubagotti, P. A. Bertazzi, „Mortality in a Population Exposed to Dioxin after the Seveso, Italy, Accident in 1976, 25 Years of Follow-Up,” *American Journal of Epidemiology*, Vol. 167. No. 7. pp. 847–858. 2008. Online: <https://doi.org/10.1093/aje/kwm371>
- [9] Energiainfo, *Megháromszorozódhat az atomenergia használata*. 2014. december 11. Online: www.energiainfo.hu/megharomszorozodhat_az_atomenergia_hasznalata-32864/
- [10] Fercom Systems, *Lakossági tájékoztató és riasztó rendszer*. Online: [https://fercomsystems.hu/assets/files/Fercom_Systems_8_oldal_A4_Magyar_Verzio_WEBRE_hatter_nelkul%20copy%20\(optimized\).pdf](https://fercomsystems.hu/assets/files/Fercom_Systems_8_oldal_A4_Magyar_Verzio_WEBRE_hatter_nelkul%20copy%20(optimized).pdf)
- [11] Hoffmann I., Kátai-Urbán I., Vass Gy., „Vegy- és sugárfelderítés katasztrófavédelmi technikai eszközrendszerének vizsgálata I. rész telepített rendszerek,” *Hadmérnök*, 11. évf. 1. sz. pp. 89–97. 2016. Online: www.hadmernok.hu/161_09_hoffmanni_kui_vgy.pdf

- [12] J-R. Laporte, „Multinationals and Health: Reflections on the Seveso Catastrophe,” *International Journal of Health Services*, Vol. 8. No. 4. pp. 619–632. 1978. Online: <https://doi.org/10.2190/FNB2-57AK-FGU3-C7TC>
- [13] Kátai-Urbán L., *Kézikönyv: Veszélyes üzemekkel kapcsolatos iparbiztonsági jog-, intézmény és eszközrendszer fejlesztése Magyarországon*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2015. p. 21. Online: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/handle/20.500.12944/9938>
- [14] Kátai-Urbán L., Vass Gy., *Kézikönyv a veszélyes üzemek biztonság-szervezésével kapcsolatos alapfeladatok teljesítéséhez*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2014. p. 10., 14., 16. Online: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/handle/20.500.12944/8474>
- [15] Kátai-Urbán L., Vass Gy., *Veszélyes üzemek, tevékenységek és technológiák az iparban*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2014. Online: http://m.ludita.uni-nke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/8473/kezikonyv_vesz_tech.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [16] Kiss B., Major G., „Légből kapott segítség a Covid–19 ellen,” in *Repüléstudományi tanulmányok, Repüléstudományi Szemelvények 2020*. Szilvássy L., Békési B. szerk. Budapest, 2021. pp. 279–306. Online: www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2020.pdf
- [17] Major G., „A pilóta nélküli légi jármű rendszerek nemzetbiztonsági célú felhasználásával kapcsolatos kutatások,” *Repüléstudományi Közlemények*, 27. évf. 1. sz. pp. 115–120. 2015. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_1/2015-1-10-0181-Major_Gabor.pdf
- [18] Major G., „A pilóta nélküli légi jármű rendszerek használata az elektronikai hadviselésben,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 3. sz. pp. 309–312. 2017. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-22-0490_Major_Gabor.pdf
- [19] Manga L., Kátai-Urbán L., Vass Gy., Csurgai, J., Pilóta nélküli repülőek a sugárfelderítésben. *Védelem Tudomány*, 2. évf. 2. sz. pp. 63–75. 2017. Online: www.vedelemtudomany.hu/articles/05-manga-katai-vass-csurgai.pdf
- [20] M. T. Landi, D. Consonni, D. G. Patterson, Jr., L. L. Needham, G. Lucier, P. Brambilla, M. A. Cazzaniga, P. Mocarelli, A. C. Pesatori, P. A. Bertazzi, Z. N. E. Caporaso, „2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin Plasma Levels in Seveso 20 Years after the Accident,” *Environmental Health Perspectives*, Vol. 106. No. 5. pp. 273–277. 1998. Online: <https://doi.org/10.1289/ehp.98106273>
- [21] Muhoray Á., *Katasztrófa-megelőzés I.* Egyetemi jegyzet. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katasztrófavédelmi Intézet, 2016.
- [22] Kiss B., Muhoray Á., „A hazai kutató-mentő szervezetek. Légi járművek alkalmazhatósága a kutató-mentő feladatok ellátásában,” *Hadtudomány*, 1–2. sz. pp. 92–107. 2014. Online: http://real.mtak.hu/18699/1/2014_1_2_9.pdf
- [23] O. M. Gamulescu, S. D. Rosca, F. Panaite, A. Costandoiu, S. Riurean, „Accident Sites Management Using Drones,” *MATEC Web of Conferences*, Vol. 305. pp. 1–7. 2020. Online: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202030500004>
- [24] Pharmaceutical Tehnology, *Flyability Launches Radiation Sensing Drones for Nuclear Plants*. 2021. november 8. Online: www.pharmaceutical-technology.com/research-reports/flyability-launches-radiation-sensing-drones-for-nuclear-plants/
- [25] P. A. Bertazzi, D. Consonni, S. Bachetti, M. Rubagotti, A. Baccarelli, C. Zocchetti, A. C. Pesatori, „Health Effects of Dioxin Exposure: A 20-Year Mortality Study,” *American Journal of Epidemiology*, Vol. 153. No. 11. pp. 1031–1044. 2001. Online: <https://doi.org/10.1093/aje/153.11.1031>

- [26] Ujjady A., Major G., „A civil drónszabályozáson innen, a katonain túl,” *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 2. sz. pp. 167–180. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.2.12>
- [27] 2003. évi C. törvény az elektronikus hírközlésről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0300100.tv>
- [28] 2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról. Online: <https://bit.ly/3SsvM7w>
- [29] 20/2020. (XII. 18.) NMHH rendelet az elektronikus hírközlési építmények elhelyezéséről és az elektronikus hírközlési építményekkel kapcsolatos hatósági eljárásokról. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2000020.nmh>
- [30] 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1100219.kor>
- [31] 38/2021. (II. 2.) Korm. rendelet a pilóta nélküli állami légi járművek repüléséről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A2100038.KOR>
- [32] 95/2006. (IV. 18.) Korm. rendelet a veszélyes katonai objektumokkal kapcsolatos hatósági eljárás rendjéről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0600095.kor>
- [33] 531/2017. (XII. 29.) Korm. rendelet az egyes közérdeken alapuló kényszerítő indok alapján eljáró szakhatóságok kijelöléséről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A1700531.KOR>
- [34] 234/2011. (XI. 10.) Korm. rendelet a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi CXXVIII. törvény végrehajtásáról. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1100234.kor>
- [35] Vass Gy., „Veszélyes üzemekkel kapcsolatos veszélyeztetettség elemzési eljárás- és eszközrendszer fejlesztése Magyarországon,” *Védelem Tudomány*, 4. évf. Iparbiztonság különszám. 2019. p. 46. Online: <http://vedelemtudomany.hu/articles/03-katai-vass.pdf>
- [36] World Nuclear News, *New Drone for Mapping Radiation in Nuclear Plants*. 2021. augusztus 6. Online: www.world-nuclear-news.org/Articles/New-drone-for-mapping-radiation-in-nuclear-plants

Application of Monitoring and Unmanned Public Aircraft for the Protection of the Public in the Vicinity of Dangerous Establishments

Nowadays, accidents at hazardous sites are becoming more and more common, due to human error, technological failure and natural events. Depending on the severity of the incident, industrial accidents can affect not only the occupants of the plant but also the population living in the vicinity of the plant and their environment. When an accident occurs, toxic chemicals harmful to humans and the environment may be released into the air, making advanced and rapid action by monitoring and public alert systems essential.

In the following publication, I will present examples of the MoLaRi system in hazardous areas in Hungary and the possibilities of unmanned state aircraft.

Keywords: *hazardous operations, unmanned aircraft systems, monitoring, alert, information*

Bene Viktória doktori hallgató Nemzeti Közsolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola bene.viktoria@hm.gov.hu orcid.org/0000-0002-0319-4483	Viktória Bene PhD student University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Military Doctoral School of Engineering bene.viktoria@hm.gov.hu orcid.org/0000-0002-0319-4483
--	---

László Domán

Overview of Reliability-Based Risk Assessment Methods and their Possible Application to Electronic Warfare Self-Protection Systems for Military Helicopters

There are many uncertainties surrounding electronic warfare self-protection (EWSP) systems for military helicopters, from the design process to the operational management of the equipment. Besides the traditional qualitative analyses, more sophisticated and novel techniques, like the fuzzy theory-based method are coming to the fore. This article aims to show a few possible methods for risk assessment of electronic warfare self-protection systems for military helicopters.

Keywords: *military helicopters, electronic warfare, fuzzy, risk assessment, reliability*

1. Introduction

Safety critical systems are extensively used in military forces. Systems that fall into this category range from software in Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (C4ISR) system to electronic warfare self-protection (EWSP) equipment for helicopters. These systems have a high level of safety and reliability. While safety is defined in MIL-STD-882E, Department of Defense Standard Practice: System Safety [26] as "freedom from those conditions that can cause death, injury, occupational illness, damage to or loss of equipment or property, or damage to the environment", reliability is defined in the United States Department of Defense (DoD) [4] as "the probability of an item to perform a required function under stated conditions for a specified period of time", which is often a precondition for safety. Both properties are crucial, and as systems become more complex, their prediction via analysis plays a vital role in the successful design and development of the system; at the same time, with increasing complexity analyses become increasingly difficult [20].

The failure probability of a relatively new component with insufficient historical failure data could, in theory, be estimated based on expert judgement or experience of similar components, if available. However, usually few experts can give useful opinions on the reliability of these systems. In the event of a failure, the survival of the helicopter in both normal and hostile environments is greatly reduced [20].

It can be concluded that different analysis methods are used to evaluate system safety and reliability.

The aim of this paper is to review reliability-based methods for risk assessment and their possible application to electronic warfare self-protection systems for military helicopters.

2. Military helicopter electronic warfare self-protection system

According to research, threat types and probability of occurrence depends on the military helicopter's location relative to the combat area. Table 1 shows an estimation of how various threats relate to different mission stages. The main uncertainty about estimation is the nature of the conflict; armed conflicts of today happen in a fragmented battlefield where there is no clear line of demarcation between friends and enemies [14, p. 51–52].

Table 1
Threat assessment for battlefield helicopters [7], [14]

Weapon	Take-off and landing	Transit	Forward edge of battle area	Beyond forward edge of battle area
Infrared (IR) Man-portable air defence system (MANPAD)	Very Low	Medium	High	High
Laser beam rider MANPAD	Very Low	Medium	High	High
Low-level air defence system	None	Medium	Very high	Medium
Direct fire	None	None	Very Low	Very Low
Third or later generation anti-tank guided missile (ATGM)	None	None	Low	None
Second or earlier generation ATGM	None	None	Very Low	None
Active beyond visual range (BVR) air-to-air missile (AAM)	Very Low	Medium	Low	Medium
Semi-active AAM	Very Low	Medium	Low	Medium
IR BVR AAM	Very Low	Low	Low	Medium
Short-range IR-guided AAM	None	Very Low	Low	Medium
Fixed-wing fighter gun	None	Very Low	Very Low	Medium
Long-range surface-to-air missile (SAM)	None	Low	Low	Low
Medium range SAM	None	Low	Low	Medium

2.1. General requirements of EWSP systems

"Aircraft combat survivability (ACS) is defined as the capability of an aircraft to avoid or withstand a man-made hostile environment" [2]. Thus, combat survivability is distinguished by the fact that only the man-made hostile environment is considered. Hostile environments

that are not man-made, for example: air defence, and the natural hostile environment including bird strike, severe turbulence. In addition, the normal environment includes system failures and operator errors. The system safety discipline attempts to minimise those conditions known as hazards that can lead to a mishap resulting in harm to people and the environment. These hazards can be caused by internal system failures or features or outside influences, such as operator errors or others. The environment, either normal or hostile, causes damage or hazards that could result in accidents or the destruction of the aircraft. The survivability and the system safety and reliability disciplines attempt to maintain safe operation and maximise the survival of the military helicopters and other aircraft in all environments in peacetime and wartime alike [2].

Survivability is one of the most difficult attributes to establish the operational and technical requirements of performance. Survivability is achieved in so many ways, some of which are associated with the design of the aircraft and some of which are associated with the operation of the aircraft [2].

Research have already found that principles from safety management could be applied to the survivability problem, in particular reducing the risk of survivability to as low as reasonably practicable (ALARP). A survivability assessment process was created that supports the life cycle of military helicopters and establishes the requirements for integrated survivability assessment methods. Moreover, methods were prepared to provide a quantitative assessment of survivability using Quality Function Deployment, (QFD), Analytical Hierarchy Process (AHP) and probabilistic methods [23].

Furthermore, it is very important to know the characteristics influencing the survivability of military helicopters [5]. This is especially important for this system, which are rather complex equipment, with little reliability data and experience available, especially for new systems [6].

According to literature, an EWSP system of military helicopters shall fulfil the following criteria: The warning system shall provide sufficient, timely, accurate and prioritised information on relevant threats to support decisions on further actions. On this level of generalisation, the criteria are applicable to any platform. For the present work, the criteria will act as a guideline, but it should be recognised that they are idealised and cannot be satisfied in a strict sense. Judgement and analysis are required to find practical solutions.

Research have already improved the general understanding of EWSP for military helicopters and united disconnected information on and factors contributing to the EWSP for military helicopters. The advantages and limitations were showed of verification and validation methodologies including modelling and simulation (M&S) or ground tests or open-air range (OAR) flight tests. It can be seen from these that analysing these systems in real conditions like a flight test can be very expensive and does not have many drawbacks [14].

In general, the main task of an EWSP system is to increase aircraft survival and improve their application efficiency by detecting and combating various threats. This includes all activities and operations using the electromagnetic spectrum or controllable energy to attack or prevent attacks by enemy forces [22].

In addition, due to the proliferation of the Man-Portable Air Defence System (MANPADS), since these missiles are already present in any conflict, there is a need for effective electronic support and counteraction against them.

2.2. Configuration for EWSP systems

According to literature, the multilayer methodology for helicopter survival is proposed and summarised in Table 2. Based on these, the conclusion is: "Although implementation of numerous survivability techniques (for Levels II and III) significantly increases the take-off weight, the resultant effectiveness is improved several times" [14, p. 59–60].

Table 2
Matrix of helicopter survivability measures, consistent with the layered survivability concept [6], [13]

Survivability measure		Level I Flight beyond the reach of enemy fire, no special protection	Level II Moderate threat, low weight penalty from protective measures	Level III/a Maximum threat, full spectrum of protective measures	Level III/b Maximum threat, full spectrum of protective measures
Vulnerability reduction		Normal design and configuration measures, multiple engines and fire extinguishing system	In addition to Level I: Armour against 7.62 mm bullets for crew and vital units, self-sealing fuel tanks, application of redundant systems	In addition to Level I: Crew and vital units are armour protected against 12.7 mm bullets, self-sealing fuel tanks, application of redundant systems	In addition to Level I: self-sealing fuel tanks and light armour, application of redundant systems
Susceptibility reduction	EWSP application	None	Warning systems that can detect threats in various spectral bands, passive countermeasures (limited or extended configuration, Figure 1)	Complete EWSP suite with warning systems, as well as passive and active countermeasures in various spectral bands (full configuration, Figure 1)	Complete EWSP suite with warning systems, as well as passive and active countermeasures in various spectral bands (full configuration, Figure 1)
	IR signature reduction	No reduction measures	Exhaust screens	Exhaust baffles with cool-air mixing, screens on hot engine parts	Additional special design to reduce IR signature
	Manoeuvrability increase	1.5 g	2.5–3 g	2.5–3 g	2.5–3.5 g
	Visual and acoustic character reduction	Camouflage painting	Camouflage painting	Camouflage painting	Small size, camouflage painting, reduce noise signature
	Radar signature reduction	No Radar Cross-Section (RCS) reduction measures	Rotor blades in composite material, radar absorbing fairing on main rotor hub	In addition to Level II: radar absorbing coating on the airframe, tail boom and engine pods	In addition to Level III: Stealth construction (e.g. fenestron tail rotor, weapons in internal bays)

The requirements for EWSP systems are determined by the increasingly complex electromagnetic environment in which they should operate. These devices are affected not only by electromagnetic radiation for military use, but also for civilian use, so EWSP systems should be able to manage this environment without increasing the rate of false alarms.

Figure 1 shows the functional diagram of an integrated EWSP system in three different configurations [14].

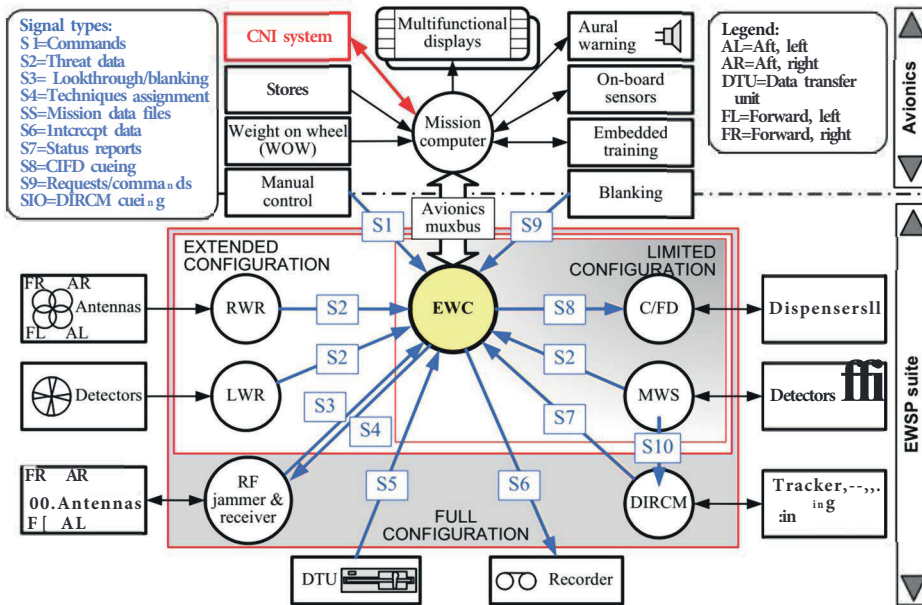


Figure 1
Functional diagram of an integrated EWSP suite in three different configurations [14]

A short summary of the systems is given below:

Chaff and Flare dispensers (C/FD), where the chaff is a radar countermeasure in which the aircraft (helicopter) spreads a cloud of small, thin pieces of aluminium, metallised glass fibre or plastic, which either appears as a cluster of primary targets on radar screens or swamps the screen with multiple returns, in order to confuse and distract. Flare is an aerial infrared countermeasure used by helicopters to counter an infrared homing surface-to-air missile or air-to-air missile.

Missile Warning System (MWS) is a passive defence warning system aiming at detecting, tracking and giving warning of missile threats approaching the protected flying platform.

MWS detects incoming missile threat(s) and automatically takes countermeasures such as the application of Directed Infrared Counter Measure (DIRCM) and/or C/FD system. MWS are based on passive sensor technology operating in solar blind Ultraviolet (UV) spectral band (0.2–0.3 μm) or Mid Infra-Red (MIR) bands (3–5 μm).

Radar Warning Receivers (RWR) systems detect the radio emissions of radar systems. Their primary purpose is to issue a warning when a radar signal that might be a threat is detected, like the fire control radar of another aircraft. The warning can then be used, manually or automatically, to evade the detected threat. CVRs (crystal video receiver), IFMs (instantaneous frequency measurement), tuned and digital receivers are usually used in helicopter EWSP applications.

Laser Warning Receiver (LWR) is used as a passive military defence. It can detect, analyse and locate the directions of laser emissions from laser guidance systems and laser rangefinders. Then it can alert the crew and start various countermeasures, such as smoke screen, aerosol screen, laser jammer, etc.

Radio frequency (RF) jammer can radiate interfering signals toward an enemy's radar, blocking the receiver with highly concentrated energy signals. The two main technique styles are noise techniques and repeater techniques. The three types of noise jamming are spot, sweep and barrage. The repeater jamming like digital radio frequency memory (DRFM) jamming can manipulate the received radar energy and retransmits it to change the return the radar sees. This technique can change the range the radar detects by changing the delay in transmission of pulses, the velocity the radar detects by changing the doppler shift of the transmitted signal, or the angle to the aircraft.

The DIRCM allows for a countermeasures laser to be targeted directly at an incoming IR threat. This makes possible a more powerful and effective defence than previous, non-directional infrared countermeasures, as the threat is directly addressed rather than the system essentially painting an area with infrared disruption, which results in a weaker signal in any given direction. As infrared seeking technology has improved and diversified, standard Infrared Counter Measures (IRCM) systems have become less effective at defeating heat-seeking missiles. Measures such as flares have begun to give way to lasers, which, when fitted on a directional pivoting mount, allow for more effective, concentrated and energy-efficient directional targeting of infrared radiation at incoming missile seekers. In addition, the Common Infrared Countermeasures (CIRCM) system, which is initiated by the USA, will provide a directional infrared countermeasure, which employs both threat-tracking capabilities, as well as defensive measures employing modulating laser pulses to confuse the guidance systems of missiles causing them to miss their target [6], [7], [8].

2.3. Opportunities for electronic countermeasures

The performance of electronic systems can be affected by electronic countermeasures (ECM) in four main ways: by reducing the signal-to-noise ratio (SNR) of the sensor, by deceiving the sensor, by disturbing or destroying the sensor and by influencing the feedback loops of the receiver. Table 3 summarises the chances of these countermeasures against each threat technology, and factor discussed above. It should be noted that infrared tracking sensors in particular sensitive to countermeasures in the acquisition phase before a solid track is established thresholds are set.

Table 3
Conceptual solutions for threat technology countermeasures [14]

Technology	ECM – electronic countermeasure type	ECM – electronic countermeasure goal
Infrared (IR) sensors	Noise or SNR (Signal-to-Noise Ratio) reduction	Introduce IR radiating or absorbing medium between target and sensor or introduce noise into the sensor's detector.
	Deception	Introduce decoys in the sensor's FOV (Field-of-View) or introduce deceptive signals into the detector.
	Disrupt/destroy	Induce disruptive or destructive high-power signal to lenses, detector elements or sensor electronics.
IR seekers	Noise or SNR (Signal-to-Noise Ratio) reduction	Introduce IR radiating or absorbing medium in the seeker's FOV, or introduce noise into the seeker's detector.
	Deception	Introduce decoys in the seeker's FOV or introduce deceptive signals into the detector.
	Disrupt/destroy	Induce disruptive or destructive high-power signal into window, detector elements or seeker electronics.
Laser technology	Noise or SNR (Signal-to-Noise Ratio) reduction	Introduce radiating or reflecting medium in the laser path or introduce noise into the laser receiver.
	Deception	Introduce decoys in the laser path or introduce deceptive signals into the detector.
	Disrupt/destroy	Induce disruptive or destructive high-power signal into detector elements of laser receiver or seeker electronics.
Radars	Noise or SNR (Signal-to-Noise Ratio) reduction	Introduce radar reflecting or absorbing medium between target and radar receiver, introduce noise into the receiver.
	Deception	Introduce decoys in the radar's search volume, introduce deceptive signals into the receiver, introduce false targets that overload signal processing capacity.
	Disrupt/destroy	Induce disruptive or destructive high-power signal into the radar receiver's front end or into receiver electronics.
Servos and FCS (Fire Control System)	Noise or SNR (Signal-to-Noise Ratio) reduction	Degrade SNR of sensors that form a part of the servo feedback loop.
	Deception	Introduce beat signals into the servo feedback loop through sensor signals, or signal that offsets the AGC (automatic gain control).
	Disrupt/destroy	Induce disruptive or destructive high-power signal into the sensors or into sensor electronics.
Threat timelines	–	Reaction timelines: Countermeasure directed at sensors as mentioned above, tactical measures to delay detection and identification.

According to this, the central question for the helicopter EWSP system is which radar system to consider. Due to the radars of the given era, EWSP manufacturers have always focused on their emanation. However, this contradicts the general view that modern helicopter EWSP system devices are essentially not related to a particular battlefield circumstance. For example, long-range reconnaissance radars do not normally pose a threat to helicopters [7].

During my research, I have also determined the most important characteristics and aspects of the complex EWSP systems of a military helicopter, considering the expected conditions of use of this helicopter [8].

It can be stated that little information is available due to restricted real observation, military theatre-level experience, and lack of statistical data on the safety and reliability disciplines of EWSP devices, and manufacturers do not always provide such data and information or, if so, it is very incomplete. Obviously, the reliability of these systems is difficult to test even

in a normal environment, not to mention a hostile environment. In addition, the effects of different modes of failure and their hazards can only be described by a few experts [6], [7], [8].

3. Reliability engineering and model based safety assessment

In systems engineering, dependability is a measure of a system's availability, reliability, maintainability, and in some cases, other characteristics such as durability, safety and security [17].

Attributes are qualities of a system. These can be assessed to determine its overall dependability using qualitative or quantitative measures. Dependability attributes are the following:

- availability (readiness for correct service);
- reliability (continuity of correct service);
- safety (absence of catastrophic consequences on the user(s) and the environment)
- integrity (absence of improper system alteration);
- maintainability (ability for easy maintenance [repair]) [1].

Reliability analyses can be performed for different systems and components, such as mechanical, electronic or software. Two different levels at which reliability can be applied are defined: component and system level. These already introduce the bottom-up and top-down approaches, which can be found in some reliability methods, as well.

Systems analysis is a process that allows reliability engineers to understand how systems work and how they can fail by investigating the system behaviour and potential causes of system failure, thereby allowing them to determine necessary actions to prevent system failure. There are generally two forms of analysis. The first is qualitative analysis, which is usually performed by reducing fault trees to minimal cut sets, which are a disjoint sum of products consisting of the smallest combination of basic events that are necessary and sufficient to cause a hazardous situation, e.g. a system failure.

Missing or insufficient data does not allow for quantitative assessment of reliability. Nevertheless, relations within the system, covering hazards, failure causes, events, failure modes, faults, effects and consequences, can be shown and this way an estimate of reliability, failure probability and consequence can still be obtained by using qualitative methods. Before performing any qualitative reliability analyses, first the system structure and functions must be identified and classified. On this basis, a qualitative reliability assessment can be carried out.

The second is quantitative analysis. In this analysis, the probability of the occurrence of a system failure and other quantitative reliability indexes such as importance measures is mathematically calculated, given the failure rate or probability of individual system component. The results of quantitative analysis give analysts an indication about system reliability and help to determine which components or parts of the system are more critical, so analysts can put more emphasis on the critical components or parts by taking the necessary steps, e.g. including redundant components in the system model [19, p. 18–23].

However, a comparison of different literature shows some discrepancies in the assignment of certain reliability methods and indicates the need for a third intermediate category for such semi-quantitative reliability methods. Some of the qualitative reliability methods

can be extended with some quantitative approximate measures and thus also be used for quantitative reliability assessment.

Furthermore, it must be noted that some of the presented methods are rather risk assessment tools than reliability methods. However, these risk assessment techniques are still included, as the awareness of the existing risks is the decisive basis for reliability analyses. A detailed list of risk assessment methods can be found in ISO/IEC 31010:2019 – Risk management. Risk assessment techniques [18], [25].

The aim of reliability engineering is to improve the reliability of a system to minimise the risk associated with the system failure or to improve efficiency while reducing the cost. Analysts can discover the flaws of a system through analysis, and therefore can take necessary actions to improve the system design by adjusting to reduce those flaws [20].

There are some well-known risk and safety analysis techniques and model-based safety assessment (MBSA) approaches of each category, including the following:

- Qualitative reliability analysis
 - Sheet-based qualitative reliability methods
 - Structured What If Technique (SWIFT), Hazard and Operability Study (HAZOP), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)
 - Diagrammatic qualitative reliability methods
 - Fault Tree Analysis (FTA), Event Tree Analysis (ETA), Bow-Tie Analysis (BTA), Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats (SWOT) Technique
- Semi quantitative reliability analysis
 - Table-based semi-quantitative reliability method
 - Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)
 - Diagrammatic semi-quantitative reliability methods
 - Fault Tree Analysis (FTA), Event Tree Analysis (ETA), Bow-tie Analysis (BTA), Reliability Block Diagram (RBD), Bayesian Networks (BNs)
- Quantitative reliability analysis
 - Analytical quantitative methods
 - First Order Reliability Method (FORM), Second Order Reliability Method (SORM), Hasofer and Lind (HL) Method, Probability of Failure (PoF) Method, Concept of [Limit State Function](#) (LSF)
 - Stochastic quantitative methods
 - Monte Carlo Simulation (MCS), Importance Sampling Reduction Methods (ISRM), Stochastic [Response Surface Methods](#) (SRSMs)
 - Sophisticated quantitative methods
 - Multi-Criteria Decision Making (MCDM) or Multi-Attribute Decision Making (MADM), Markov Analysis (MA), Petri Nets (PNs), Fuzzy Theory-based techniques
 - Data foundations
 - Databases, statistical modelling
- Model-based safety assessment (MBSA)
 - Failure logic synthesis and analysis approaches
 - Failure Propagation and Transformation Notation (FPTN), Failure Propagation and Transformation Calculus (FPTC), Component Fault Trees (CFTs), State-Event Fault Trees (SEFTs), Hierarchically Performed Hazard Origin and Propagation

- Studies (HiP-HOPS), Architecture Analysis and Design Language (AADL) Error Model
- Behavioural fault simulation approaches
 - Formal Safety Analysis Platform (FSAP/NuSMV-SA), AltaRica, Deductive Cause Consequence Analysis (DCCA), Safety Analysis Modelling Language (SAML) [19], [25]

4. Application of reliability methods

Safety-critical systems are an integral part of a military helicopter. When they fail, the human, environmental and financial costs are significant. Many approaches such as classical safety analysis technique (e.g. EN 16602-30:2018 and EN 62308:2007) [11], [12] have been widely applied to evaluate system reliability prior to deployment and help increase system defences.

The Hungarian Military Standards (MSZ K 070 and MSZ K 066) issued on reliability in 1981 have not yet included this type of method [15], [16].

Several studies have already been conducted on the reliability of military electronic systems.

In her PhD dissertation, Marianna Lendvay evaluated the reliability analysis methods with respect to application for military electronic systems. She worked out a criterion system to compare these reliability analysis methods for military electronic systems. She established that exacting requirement for military electric systems it can be satisfied above all with FMEA, FTA, RBD [24].

In his PhD dissertation, Pál Bárkányi collected methods for analysing reliability which are usable for the military reconnaissance systems demonstrating with practical examples and mathematical calculations. He worked out a mathematical model (concept) suitable for examining simple and more sophisticated reconnaissance systems. He created a procedure (Markov modelling for reliability with Graph theory) which makes computerised analysis and calculations of the technical reliability easier. He also presented that the fuzzy method is the most modern technology for analysing the reliability and by now the informatics hardware structures are capable to provide valuable results within a reasonable timeframe [3].

László Domán, László Pokorádi and László Szilvássy in 'Repülésközök idegen-barát felismerésének kockázatát befolyásoló tényezők ok-okozati elemzése' [9], identified potential causes of a failure of an identification friend or foe (IFF) system. These causes were grouped into major categories to identify and classify these sources of variation.

László Domán in 'Katonai helikopterek elektronikai hadviselés (önvédelmi rendszerek) értékelési szempontjaival összefüggő súlyszámok meghatározása Fuzzy AHP módszer felhasználásával' [10], presented several aspects of Multi Criteria Decision Making. He highlighted the system of criteria set up for the evaluation of EWSP systems for military helicopters. An application of the classical (Analytical Hierarchy Process – AHP) and Fuzzy Analytical Hierarchy Process (Fuzzy AHP) methods was described to determine the weighting number representing the preference relationships of the comparison of EWSP.

In 'A Review of Reliability-based Methods for Risk Analysis and their Application in the Offshore Wind Industry' by Mareike Leimeister and Athanasios Kolios [25], the authors focused on the review and classification of Risk and methods applied specifically within the offshore

wind and marine renewable energy systems. Finally, they summarised the applicability of the presented methods to the stage, the specific challenges and the set outcomes, and presented their limitations for these systems.

Usually, these types of techniques are manual processes and performed on an informal system model by a single person or a group of persons to fulfil safety requirements of the systems. Although these techniques can produce a great deal of valuable information about the safety and reliability of the system, the overall performance of these techniques largely depend on the skill of the analysts. As these analyses are performed on informal models, it is therefore unlikely that they will be complete, consistent and error free which make it difficult to reuse that information. Furthermore, manual analyses are usually time consuming and expensive; therefore, once performed they are unlikely to be repeated or iterated upon.

Especially in the last two decades, research has concentrated on simplifying the dependability analysis process by automating them, which led to a body of work on model-based safety assessment (MBSA) and prediction of dependability. Several approaches to automated safety analysis have emerged, motivated mainly by the increased complexity of systems and increased time and costs associated with the manual analysis [20].

In model-based safety analysis, system designers and safety analysts both use the same system model or somehow related models. As a result, the models become more formal than a separate model for safety analysis. This can let automating all or some part of the safety analysis process. By automating the safety analysis processes, MBSA can save time and expenses and allow the reusability of the information. Moreover, the MBSA techniques provide a higher degree of reusability by allowing parts of an existing system model, or libraries of previously analysed components, to be reused [20].

MBSA techniques can be classified into two broad categories based on their general underlying formalism and the types of analysis performed. The first paradigm is called Failure Logic Synthesis and Analysis (FLSA) which focuses on the automatic construction of predictive system analyses. The second paradigm is called Behavioural Fault Simulation (BFS) which focuses on behavioural simulation to automatically analyse potential failures in a system [19].

Simon Gradel, Benedikt Aigner and Eike Stumpf in 'Model-based Safety Assessment for Conceptual Aircraft Systems Design' [13], proposed an approach using a Simulink system structure model of MBSA for designing system architectures in conceptual aircraft design. They emphasised that unlike other MBSA approaches (e.g. AltaRica, HiP-HOPS), it is designed such that adding or removing redundant components does typically not require a revision of the component action description. They noted that using qualitative and quantitative results from the trade study, an improved system architecture can be proposed. The authors believed that the ability to alter the system architecture without changing the component performance models makes their proposed approach more suitable for this task than other MBSA approaches.

By allowing imprecision and approximate analysis, fuzzy logic enables incorporating uncertainty in the analysis. Many classical risk assessment approaches such as FTA and FMEA rely on precise failure data. However, such data are often unavailable or scarce, introducing uncertainty in the process. Both aleatory and epistemic uncertainties have been addressed by combining fuzzy set theory with risk assessment approaches. The *theory of fuzzy logic* was firstly used in FTA for system reliability analysis in the early 1980s. Since then, several researchers have developed different fuzzy set theory-based methodologies for system safety

and reliability analysis, and many researchers have used these methodologies in a variety of application areas.

Sinan Koçak in 'Fuzzy Logic and its Mechatronics Engineering Applications' [21], presented a comprehensive literature review on the fuzzy set theory. This literature reviewed also explains the concept of operation fuzzy sets. He emphasised some researcher works with his interpretations of fuzzy sets.

Fuzzy set theory has also been applied in conjunction with dynamic extensions of the fault trees. The application of fuzzy set theory in safety and reliability engineering has been extended to FMEA, ETA, Bayesian networks, Markov chains and Petri nets. These approaches enable us to draw helpful conclusions even in the absence of concrete failure data.

5. Discussion

Analysing methods listed earlier considering their advantages and disadvantages, I summarise and present the main challenges, as well as the individual solutions:

- The EWSP are very complex systems and usually have several different, interconnected and dynamic failure modes and not all such data is known due to limited observation and scarcity of statistical data.
- Missing, insufficient and vague data, especially in the EWSP, is a major problem in a detailed and meaningful assessment of the reliability of such devices. The failure probability of a relatively new component with insufficient historical failure data could, in theory, be estimated based on expert judgement or experience from similar components [20].
- The classification and ranking of failure modes is often quite subjective, and risk priority numbers (RPN) do not always provide meaningful information, especially when different technologies and EWSP systems need to be compared.

Considering the advantages provided by the MBSA approaches over manual approaches, the main disadvantage of these methods is that it cannot handle either aleatoric or epistemic uncertainties. The aleatoric uncertainty is due to randomness of a physical system or natural variation, whereas the epistemic uncertainty is because of ambiguity, incompleteness and lack of knowledge [20]. Although the issue of uncertainty in the failure data has been addressed in classical risk assessment approaches (Qualitative and Quantitative) by incorporating fuzzy set theory, no effort has been made to address the same issue in the context of MBSA.

For this reason, in this article, I have considered only the traditional risk assessment methods when analysing EWSP systems. A summary of the usable approaches, their applicability with respect to stage, specific challenges and aimed outcomes, as well as their limitations, is presented in Table 4. The considered stages are divided into design (D), construction (C), operation (O), maintenance (M) and life cycle planning (LC) [25].

Table 4
Applicability of presented reliability methods [25]

Type	Category	Method	Stage	Results	Capabilities	Limitation
Qualitative	Failure mode analyses	FMEA and FMECA	D	Failure modes	Easy implementation, employable from the beginning of the project	Competent facilitator for reaching consensus in scoring is required
		Quantitative FMEA	D, C	Prioritisation of failure modes	Straightforward application due to well-defined bands of scores	Appropriate scoring for different classes of application
		Correlation FMEA	D, LC	Weak points	Coping with mutual correlated failure mode	No incorporation of detectability factor in 2D representation
	Tree and graphical	FTA, ETA and BN	D, C	Decision making	Visual representation of interdependencies of events	Cumbersomeness in case of highly granulated system analysis
	Analyses	Dynamic FTA	D, C, O, M	Maintenance references	Coping with sequentially dependent and redundancy failures	Effect of inappropriate sequencing of events on analysis results
		BTA	O, M	Real time risk monitoring	Efficient link of ETA and FTA; visualisation of dependencies	Common cause and dependency failures
	Hazard analyses	HAZID or HAZOP	D, O, M	Monitor integrity; operational risk factors	Structured description of hazards and system effects of deviations from design intent	Extensive documentation; only to be applied to well-defined system
Quantitative	Analytical methods	LSF, HL, PoF	D, O, LC	Design optimisation and novel designs	Systematically considered uncertainties; no global safety factors	Combined failure modes their individual contributions
		Analytical probabilistic analyses (FORM and SORM)	D, C, O, LC	Reliability sensitivity	Robust consideration of input uncertainties	Complex derivation of joint probability distribution functions
	Stochastic methods	MCS	O, M	Decision making	Easy to implement due to direct simulations	Large computational effort
		SRSM	C	Computational efficiency	Time-varying and dependent variables	Sensitive to initial assumption of Response Surface shape
		ISRM	C	Computational efficiency	Overcome limitations of direct MCS	Performance in multiple variables; modelling requirements
	Multi-variate analyses	MCDM or MADM	D, O, M, LC	Decision making; prioritisation of interventions	Easy implementation due to intuition-based input data	Skewness of results due to extreme values

Type	Category	Method	Stage	Results	Capabilities	Limitation
	Data foundations	Databases	D, O, M	Data collection; optimised operation and maintenance	Availability of generic occurrence frequencies	Processed data; different sources and reporting protocol forms
		Statistical modelling	O	Optimisation (design, operation, and control strategies)	Failure prediction in complex and repairable systems	Sufficiently accurate system modelling required
		Markov Chain Approach for Data Modelling	O, M	Sensibility to parameter variations	Coping with dynamic reliability problems, degradation and maintenance processes	Non-explicit expression of dependencies between hidden states; computational effort
	Fuzzy theory-based	F-MCDM	D, O, M, LC	Decision making; prioritisation of interventions	Easy implementation due to intuition-based input data, broad range of values where precise data is not available	Skewness of results due to extreme values
		F-FMEA	D, LC	Failure modes	Easy implementation, employable from the beginning of the project, broad range of values where precise data is not available	Competent facilitator for reaching consensus in scoring is required
		F-FTA, F-ETA, F-BN	D, C	Decision making	Visual representation of interdependencies of events, broad range of values where precise data is not available	Cumbersomeness in case of highly granulated system analysis
		F-MA, F-PN	O, M	Sensibility to parameter variations	Coping with dynamic reliability problems, degradation and maintenance processes, broad range of values where precise data is not available	Non-explicit expression of dependencies between hidden states; computational effort

6. Conclusion and future research

In these approach forms, failure rates, failure probabilities or other numerical data related to the failure behaviour of system components are usually considered known. This situation is especially relevant in the early design stages, when the requirements and specifications of system components are incomplete, and in the case of new and complex software components.

System safety and reliability could be evaluated based on generic statistical data, which may be taken from existing reliability databases. However, the use of generic data will add further uncertainty and imprecision to the results of the analysis.

Consequently, system safety and reliability such as EWPS could be evaluated based on generic statistical data, which may be taken from existing reliability databases. However, the use of generic data will add further uncertainty and imprecision to the results of the analysis.

In their normal forms, the reliability analysis methods rely on precise failure data. However, such data are often unavailable or scarce, introducing uncertainty in the process as I pointed out in the introduction for EWSP systems. The author has found that both aleatory and epistemic uncertainties should be addressed through a combination of fuzzy set theory and risk assessment approaches.

For these reasons, it is advisable to use fuzzy theory-based approaches including Fuzzy FTA, Fuzzy FMEA, Fuzzy ETA, Fuzzy Markov methods, Fuzzy Petri nets, or Fuzzy Bayesian networks to analyse such systems like EWSP.

In this paper, I have reviewed a basic description of the military helicopter EWSP system and up-to-date safety analysis techniques including fuzzy theory based and MBSA approaches. In the future, the author will focus on performing the following research tasks:

- investigation of fuzzy rule-based PRA approaches in the reliability analysis of EWSP systems for military helicopters;
- development of a methodology for comparing risk assessment methods based on fuzzy theory for the analysis of military helicopter EWSP;
- to work a fuzzy theory-based risk assessment analysis for EWSP.

References

- [1] A. Avizienis, J.-C. Laprie, B. Randell and C. Landwehr, 'Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing'. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, Vol. 1, no. 1. pp. 11–33. 2004. Online: <https://doi.org/10.1109/TDSC.2004.2>
- [2] R. E. Ball, *The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design*. AIAA, 2003. Online: <https://doi.org/10.2514/4.862519>
- [3] P. Bárkányi, *Katonai elektronikai felderítő rendszerek műszaki megbízhatósága*. PhD thesis, NKE KMDI, 2012. Online: <https://doi.org/10.17625/NKE.2013.001>
- [4] Department of Defense, *Guide for Achieving Reliability, Availability, and Maintainability*. 03 August 2005. Online: [www.acqnotes.com/Attachments/DoD%20Reliability%20Availability%20and%20Maintainability%20\(RAM\)%20Guide.pdf](http://www.acqnotes.com/Attachments/DoD%20Reliability%20Availability%20and%20Maintainability%20(RAM)%20Guide.pdf)
- [5] L. Domán, 'Helikopterek túlélőképességét befolyásoló tényezők elemzése'. *Katonai Logisztika*, Vol. 28, no. 1–2. pp. 131–150. 2020. Online: <https://doi.org/10.30583/2020/1-2/131>
- [6] L. Domán, 'Az Airbus H145M helikopter és a túlélőképesség'. *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 31, no. 1. pp. 85–102. 2019. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.1.8>
- [7] L. Domán, 'Katonai helikopterek komplex elektronikai hadviselés önvédelmi rendszereinek értékelése'. *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 33, no. 2. pp. 1–19. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.2.4>
- [8] L. Domán, 'A Mi–24 elektronikai hadviselési képességei és fejlesztési lehetőségei', in *Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből II*, ed. G. Hausner. Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó, 2021. pp. 99–115. Online: https://nkerrepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/16208/905_KDMI_II_hallgatoi_tanulmánykötet.pdf

- [9] L. Domán, L. Pokorádi and L. Szilvássy, 'Repülőeszközök idegen-barát felismerésének kockázatát befolyásoló tényezők ok-okozati elemzése'. *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 31, no. 3. pp. 15–30. 2019. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.3.650>
- [10] L. Domán, 'Katonai helikopterek elektronikai hadviselés (önvédelmi rendszerek) értékelési szempontjaival összefüggő súlyszámok meghatározása Fuzzy AHP módszer felhasználásával', in *Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből III*, ed. L. Földi. Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó, 2022. pp. 1–20.
- [11] EN 16602-30:2018 ICS: 49.140 Space System and Operations Space Products Assurance – Dependability Standard.
- [12] EN 62308:2007 Equipment Reliability. Reliability Assessment Methods.
- [13] S. Gradel, B. Aigner and E. Stumpf, 'Model-based Safety Assessment for Conceptual Aircraft Systems Design'. *CEAS Aeronautical Journal*, Vol. 13, no. 1. pp. 281–294. 2021. Online: <https://doi.org/10.1007/s13272-021-00562-2>
- [14] J. Heikell, *Electronic Warfare Self-protection of Battlefield Helicopters: A Holistic View*. PhD dissertation, Espoo, Helsinki University of Technology, 2005. Online: <https://indianstrategicknowledgeonline.com/web/isbn9512275465.pdf>
- [15] Hungarian Military Standards MSZ K 070 Military Purpose Appliance, Instruments, Kits and Equipment. General Technological Requirements, Checking and Examination Methods.
- [16] Hungarian Military Standards MSZ K 066 Military Purpose Appliance, Instruments, Kits and Equipment. General Technological Requirements, Checking and Examination Methods. Reliability Demands.
- [17] International Electrotechnical Commission, *Electropedia*, 192-01-22. Online: www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=192-01-22
- [18] ISO/IEC 31010:2019 – Risk Management. Risk Assessment Techniques.
- [19] S. Kabir, *Compositional Dependability Analysis of Dynamic Systems with Uncertainty*. PhD thesis, University of Hull, 2016.
- [20] S. Kabir and Y. Papadopoulos, 'A Review of Applications of Fuzzy Sets to Safety and Reliability Engineering'. *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol. 100. pp. 29–55. 2018. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2018.05.005>
- [21] S. Koçak, 'Fuzzy Logic and its Mechatronics Engineering Applications'. *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 29, no. 2. pp. 41–48. 2017. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/4315>
- [22] Gy. Keszthelyi, 'A Mi-24 típusú harcihelikopter hatékonysága korunk fegyveres konfliktusaiban III. rész. A helikopter önvédelmi rendszerei és alkalmazási hatékonyságuk'. *Katonai Logisztika*, Vol. 28, no. 4. pp. 5–57. 2020. Online: <https://doi.org/10.30583/2020.4.005>
- [23] N. G. Law, *Integrated Helicopter Survivability*. PhD thesis, U.K., Cranfield University, 2011. Online: <https://core.ac.uk/download/pdf/140841.pdf>
- [24] M. Lendvay, *Katonai elektronikai rendszerek megbízhatóságelemzése*. PhD thesis, ZMNE KMDI, 2006.
- [25] M. Leimeister and A. Kolios, 'A Review of Reliability-based Methods for Risk Analysis and their Application in the Offshore Wind Industry'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 91. pp. 1065–1076. 2018. Online: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.004>
- [26] MIL-STD-882E, Department of Defense, *Standard Practice: System Safety*.

A megbízhatóságon alapuló kockázatértékelési módszerek áttekintése és lehetséges alkalmazásuk a katonai helikopterek önvédelmi elektronikai hadviselési rendszereinél

A katonai helikopterek önvédelmi elektronikai hadviselési rendszereit a tervezési folyamattól az eszközök operatív kezeléséig számos bizonytalanság veszi körül. A hagyományos kvalitatív elemzések mellett előtérbe kerülnek a kifinomultabb és újszerűbb technikák, például a fuzzy elméleten alapuló módszer. Ennek a cikknek a célja, hogy bemutasson néhány lehetséges módszert a katonai helikopterek önvédelmi elektronikai hadviselési rendszereinek kockázatértékelésére.

Kulcsszavak: katonai helikopter, elektronikai hadviselés, fuzzy logika, kockázatelemzés, megbízhatóság

Domán László őrnagy
főtechnológus (osztályvezető helyettes)
Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzem
Műszaki Fejlesztési és Technológiai Osztály

doman.laszlo79@gmail.com
orcid.org/0000-0002-4472-2609

Major László Domán
Chief Technologist (Deputy Head of
Department)
Hungarian Defence Forces Aircraft Repair
Plant
Technical Development and Technological
Department
doman.laszlo79@gmail.com
orcid.org/0000-0002-4472-2609



Major Gábor, Tóth Zoltán

A pilóta nélküli légi járművek együttműködésének lehetőségei a szárazföldi erőkkel egyes katonai műveletekben

A tudomány, a technológia és az ipar által megalkotott eszközök és rendszerek az élet számos területét teszik könnyebbé, hatékonyabbá és biztonságosabbá. A katonai műveletek alapesetben nem tartoznak a nyugodt, biztonságos feladatok, küldetések közé, ám a technikai fejlődés ezt a szegmenst is azon területek közé emelte, ahol lehet „biztonságosan harcolni”. Az alábbi publikációban a szerzők bemutatják, hogy a klasszikus szárazföldi katonai műveletek milyen módon válhatnak „túlélhetőbbé” a pilóta nélküli légi járművek „tudásának, képességének” támogatásával. Ezek a katonai UAV-ok képesek támogatni a szárazföldön (de akár a vízen is) harcoló katonákat, növelni a túlélési esélyeiket és a harci hatékonyságukat.

A szerzők célja, hogy képet fessenek az olvasó számára a szárazföldi harc során bevethető, azt támogató és a bevetés sikerét elősegítő pilóta nélküli légi járművek sokszínűségéről, a nagyvilág néhány hadseregét megvizsgálva.

Kulcsszavak: *pilóta nélküli légi jármű-rendszerek, UAV, UAS, UCAV, drón, harcászat, harc, fegyver, katonai műveletek*

1. Bevezetés

Amióta ember él a Föld nevű bolygón, azóta létezik ellentét, ellenségeskedés, harc. Minden korban megfigyelhető, hogy ha van valakinek valamilyen tárgya, eszköze, területe, akkor arra biztosan szemet vetett valaki. Küzdelem a biztonságosabb barlangért, harc a több mamuthúsért és szőrmeért, csata a gazdagabb termőterületekért, hadjárat a természeti kincsekben gazdag földrészekért. Ezek a konfliktusok övezik évszázadainkat, amelyekben az emberek minden esetben a csata kellős közepén találták magukat. „Ahogyan a víznek nincs állandó alakja, úgy a hadviselésben sem állandóak a feltételek”^[23] – olvashatjuk i. e. 5300 óta Szun-Ce' írásában, amely arra utal, hogy az ember körül, aki állandó részese a harcnak, minden változik, fejlődik a hadviselésben is. A tervezett cél eléréséért folytatott

¹ Ókori kínai író, filozófus és hadvezér (kb. i. e. 544 – i. e. 496.) A *háború művészete* című műve nem csupán a hagyományos kínai műveltség egyik alapkönyve, hanem egyben a világ klasszikus hadtudományának egyik legkiemelkedőbb alkotása is.

harc sikerét biztosító katonai készségek és képességek megteremtése azonban csak egy szelete a dicsőség tortájának. Nem kétséges, hogy az elmúlt évszázadokban hatalmas fejlődés mutatható ki a katonai műveletek humán oldali hatékonyságában, ám ennek az eredménynek, ennek a minőségi és hatékonysági „ugrásnak” alapfeltétele az ipar és technológia fejlődése. Ez a fejlődés pedig lassan oda vezet, hogy a harc humán tényezője kissé hátrébb, esetleg a hátszárba szorul vissza, a harcot pedig egészen más „organikus teremtmények” fogják megvívni az ember számára fontos javakért. A vizsgálatot kezdhethetnénk a kézi (lő) fegyverek fejlődésétől, a személyi védelmi rendszereken át, egészen a ma oly népszerű digitáliskatonakoncepcióig, de ebből a technológiai ívből nem maradhatnak ki a távirányított, alkalmasint az autonóm eszközök sem. Legyenek ezek akár földön, akár vízen, de még inkább a levegőben, minden esetben azzal a céllal készültek, hogy a túl veszélyesnek bizonyuló feladatkörökben megóvják a használóját, magát az embert. Miután a kezelő biztonságban érezhette magát, lényegesen magasabb hatékonysággal, pontossággal és eredményességgel volt képes végrehajtani küldetését, az aktuális harci cselekményét. A katonai alkalmazás területén elsősorban olyan feladatkörök ellátására tervezték ezeket a távirányított gépeket, amelyek túl veszélyesnek bizonyultak a személyzet részére, és testi épségüket veszélyeztette volna a küldetés végrehajtása [11]. A fejlesztések során e robotizált eszközök egy csoportja a talajszintről a felhasználói fölé emelkedett, miközben a szenzorai és fegyverzete segítségével egyre hatékonyabb, precízebb „társa” lett a harcoló katonáknak. Ezek a pilóta nélküli légi járművek² a 21. századra nélkülözhetetlen eszközeivé váltak a hadviselésnek, és a közszolgáltatáson és a gazdasági életen keresztül a mindennapi életünk egyik meghatározó légi eszközévé „nőtték ki magukat”. Nemcsak hatékonyak, hanem olcsóbban, gyorsabban és – ami a legfontosabb – biztonságosabban is képesek olyan feladatok elvégzésére, amelyekhez egyébként szakképzett munkaerőre lenne szükség, vagy amelyek veszélyt jelentenének a feladatokban részt vevőkre. Robbanászerű fejlődésének köszönhetően, működésük egyre inkább az „önálló döntések, az autonóm módon történő gondolkodás” irányába tolódik el, nemcsak a repülési pályájuk megválasztása, de mindennapi alkalmazásuk terén is. A légi organizmusokhoz társítható és egyre inkább társított mesterségesintelligencia-kutatások nem csupán e „mindennapi” teendők ellátását „tanítják” meg az eszközöknek, hanem már önálló, veszélyes helyet és helyzetet elkerülő „önvédelmi tudatot” is szenzorjaik és elektronikai felépítésük védelme érdekében [27], [16].

Ebben az írásban a szerzők bemutatják, hogy a bonyolult hadelméleti ideológiák leginkább neuralgikus területe, a *katonai műveletek* jellege, megvalósulási cél szerinti felosztása mit jelent, milyen feladatrendszere létezik. A terület összetettsége és ebből adódó szer-teágazósága okán jelenleg bővebben a *harci támogató műveleti tevékenység* feldolgozása, ismertetése, valamint az azt megvalósító és támogatást nyújtó pilóta nélküli repülőeszközök kerülnek fókuszba. A szerzők példákat sorakoztatnak fel a világ „drónhatalmainak” birtokában lévő légi járművek tudástárából, de nem állítják azt, hogy minden fellelhető példányt be is mutatnak.

² Unmanned Aerial Vehicle/Unmanned Aircraft System, pilóta nélküli légi jármű/pilóta nélküli légi jármű-rendszer, drón. ICAO Circular 328. International Civil Aviation Organization, 2011.

2. Katonai műveletek

Ahogy az idő telik, a katonai műveletek is változnak ezzel párhuzamosan. Ha összevetjük az elmúlt évtizedek/századok konfliktusait, tisztán látható, milyen komoly technikai fejlődésen mentek keresztül a hadseregek szárazföldi, vízi és légi fegyveres erői. A legkomolyabb előrelépések nagyjából az elmúlt 100 évre datálhatók. A katonai műveletek, és az ott felhasznált haditechnikai eszközök fejlődésének módjait három összetevő határozza meg, ezek pedig nem mások, mint a haditechnikai eszközök mennyisége, fejlettsége és minősége, másodjára a harcoló és harctámogató egységek által felhasznált harcéljárások, módszerek és elvek. Az utolsó pedig az, hogy ezek a szervek, egységek milyen szinten tudják alkalmazni a rendszeresített haditechnikai eszközöket [20]. A katonai pilóta nélküli légi járművek (UCAV³), amelyeket arra terveztek, hogy az önállóan végrehajtott bevetést követően, autonóm módon, szenzorjaik és programjaik segítségével vissza is térjenek a bázisukra, ahogyan azt például a délszláv háborúban NATO- (USA-) fennhatóság alatt, majd az öbölháborúban is megsokszorozott „szereplésük” alkalmával tették. Mindemellett a pilóta nélküli légi jármű-rendszerek robbanásszerű fejlődésének köszönhetően működésük egyre inkább az „önálló döntések” irányába tolódik el, nemcsak a repülési pályájuk megválasztása, de harci alkalmazásuk tekintetében is. Saját maga választja ki a cél paraméterei, a rendelkezésre álló fegyverzet és „intelligenciája” alapján a harci eljárásmodot és a szükséges csapás nagyságát [5], [18, p. 282]. Ezekhez a tevékenységekhez egyre kifinomultabb, precízebb és okosabb eszközök „fejlődnek” a harci körülmények között való alkalmazásra. Egy adott helyszínre, célterületre való kijuttatás leggyorsabb, legegyszerűbb és talán a leginkább feltűnésmentes eszközei a légi eszközök, azok közül is a pilóta nélküli rendszerek. A napjainkban ismert repülőeszközök közül (az űreszközöket jelenleg ide nem sorolva) talán a legdinamikusabb fejlődés a harci pilóta nélküli repülőgépeké [17].



1. ábra

Katonai műveletek a katonai erő tevékenységének jellege alapján (Major Gábor [20] alapján)

³ Unmanned Combat Aerial Vehicle.

Ahogy ezek a légi repülőeszközök és az általuk végrehajtható bevetések spektruma szélesedik, úgy alakul, fejlődik folyamatosan a katonai műveletek tárháza. A katonai erő tevékenységének jellege alapján, az 1. ábrán látható módon oszthatjuk fel a katonai műveleteket, miután értelmeztük és alaposan elemeztük a katonai műveletek gyakorlati tevékenységének kapcsolat- és viszonyrendszerét.

Egy definíció alapján, amely szerint egy harcban, egy háborúban a csata időpontját és helyszínét a katonai vezetés, az „aktuális” ellenséget a geopolitikai helyzet, a csata eszközeit a meglévő, rendszeresített, felkészített kezelők által működtetett fegyverrendszerek, valamint ezek koherens, összehangolt tevékenységét az alkalmazott harcjeljárások, módszerek határozzák meg. Ebből adódóan az ábra meghatározásai, felosztása segítséget nyújthat a „hogyan” kérdésre való válaszadásnál, miszerint milyen harcjeljárást, módszert alkalmaznak a katonai erők. A publikáció szempontjából másik fontos kérdés a „mivel”, hiszen az erre való válaszadásban tárul elénk mindazon technikai, haditechnikai, fegyverzeti eszközök arzenálja, ami egy harc során elősegítheti a sikeres végrehajtást. Ezen eszközök széles repertoárjából mindösszesen a légi szegmens járműveit mutatjuk be, azok közül is az ember által távolról irányított verziókra fókuszálva. A következő fejezetekben a világ drónhatalmai által gyártott, használt légi harci járművekre mutatunk néhány példát.

2.1. A harci támogató műveleti tevékenység definiálása

A katonai műveletek végrehajtása során (az 1. ábrán szemléltetve) a közvetlen harci tevékenységek céljainak eléréséhez – amely közvetlen az ellenség előerejének és haditechnikai eszközeinek pusztítására, megsemmisítésére és semlegesítésére törekszik – kiszolgáló, támogató műveleti formára is szükség van. Ilyen harcot, szakharcot a harci erők számára meghatározott célok teljesítése érdekében vívnak a támogató erők. Azokat a műveleti tevékenységeit a harcoló csapatoknak, amelyek az ellenség közvetlen megsemmisítésének, semlegesítésének sikeres és hatékony végrehajtását biztosító, de a harci erőknél nem létező katonai képességek művelésben való megjelentetésére és sikeres alkalmazására irányulnak, illetve azt eredményezik, *harci támogató műveleteknek* nevezzük [20]. A 2. számú ábrán mutatjuk be azokat a tevékenységeket, amelyek ebbe a harci támogatás műveleti körbe tartoznak.

A drónok a harcászat e részén azért is tudnak nagyon nagy szerepet vállalni, mert rizikó nélkül, szinte észrevétlenül be tudnak repülni a hadszíntérre a feladatukat elvégezni, miközben a légi jármű kezelője nincs veszélynek kitéve. A legnagyobb kockázatot az hordozza magában, ha az ellenség valamilyen módon földre kényszeríti az adott katonai eszközt, ezzel megszerelve a jármű technikai paramétereit és specifikációját. Ennek kiküszöbölésére, de legalábbis az előfordulás gyakoriságának csökkentése érdekében önvédelmi rendszerekkel látják el az UAV-okat, amibe akár egy önmegsemmisítő mechanizmus is beletartozhat. A támogató tevékenység során a feladatrendszer az ábrán látható fogalmakból kiindulva rendkívül széles működési tartományt kíván felszereltségben, eszközökben és tudásban egyaránt. Legyen szó híradásról és informatikai támogatásról, vagy harci műszaki, légvédelmi, vagy akár atom, biológiai, vegyi (ABV-) támogatásról, de leggyakrabban és legnagyobb bevetésszámmal az ISR,⁴

⁴ *Intelligence, surveillance, reconnaissance (ISR)*: hírszerzés, megfigyelés, felderítés.

azaz hírszerzés, megfigyelés, felderítés végrehajtását helyezik előtérbe, amely feladatok jelentős részét a pilóta nélküli légi járművekre „terhelik”, ahogyan azt az 1. táblázat mutatja.



2. ábra

Harci támogató műveleti tevékenységek rendszere (Major Gábor [20] alapján)

1. táblázat

Harci támogató műveleti tevékenység-mátrix [szerkesztették a szerzők]

Feladatok	Tűztámogatás	Felderítés, megfigyelés, hírszerzés	Híradás és informatikai támogatás	Tömeg-tájékoztatás	Légvédelmi támogatás
Típusok					
Aerostar TUAS		X			
Anka S		X	X		
Bayraktar Akinci	X	X	X		X
Bayraktar TB2	X	X	X		
Eleron-3		X	X		
GJ-11		X	X		
GNAT-750		X	X		
Hermes-450		X	X		
Hermes-900		X	X		
Heron UAS		X	X		
Luna		X	X		
MQ-1 Predator	X	X	X		
MQ-9 Reaper	X	X	X		X
Orlan 10		X	X	X	
Predator C Avenger	X	X	X		
RQ-11 Raven		X	X		
RQ-2 Pioneer		X	X		
RQ-7 Shadow		X	X		
S-70 Ohotnyik	X	X	X		X
Searcher		X			
Switchblade 300		X			
WL-1 / WL-II	X	X	X		
WZ-8		X	X		
X-55		X			
ZALA-421		X			
ZALA LANCET-3	X	X			X

Ebben a táblázatban összefoglaltuk az általunk ismert pilóta nélküli légi járművek gyártó által megadott tudás, és feladatrendszer alapján a végrehajtott harci támogató tevékenységi mátrixát. Ezekből az adatokból arra következtettünk, hogy az ISR-feladatokat ellátó pilóta nélküli repülőrendszerek bemutatására fektetjük a hangsúlyt a következő fejezetben, mivel ezeknek a típusoknak olyan tulajdonságai, szenzorrendszerei és paraméterei vannak, amelyek nagymértékben eldönthetik egy harc kimenetelét.

2.2. UAS-ok, UCAV-ok a harci támogató műveletekben

2.2.1. MQ-1 Predator

Az USA drónprogramja talán az egyik legismertebb a világon. Az első amerikai drónok feladata még „csak” megfigyelés és felderítés volt, de ebből a feladatkörből messzebbre mutatott az alkalmazhatóságuk. Az elmúlt két évtizedben számos olyan légi eszközzel lehetett hallani, amelyeknek már elrettentő tűzereje is van.

A 3. ábrán látható MQ-1 Predator⁵ konstans 17 év szolgálati időt tudhat magának a Közel-Keleten. Afganisztán, Irak, Jemen, Szomália, Líbia és Szíria égboltjáról 2008 óta közel 135 750 bevetésen vett részt, és nagyjából 2700 csapást hajtott végre. Fegyverzete AGM-114 Hellfire⁶ rakétákból állt. E rakétatípus a célt alacsony frekvenciájú elektromágneses radarhullámok által méri be és vezeti rá magát. Ezt az MQ-9 váltotta, amely az MQ-1 továbbfejlesztett változata [3].

Az MQ-1 Predator felfegyverzett, többcélú, közepes magasságú, nagy hatótávolságú távirányított repülőgép. Ez volt az első felfegyverzett repülő drónja az Egyesült Államoknak, amelyet 2002-ben rendszeresítettek. Elsődleges feladatai a felderítés és tűztámogatás. Hosszú körözési idejére, széles spektrumú érzékelőire és precíziós fegyvereire tekintettel egyedülálló képességet biztosít a csapás, koordináció és felderítés végrehajtására. 23 m és 1524 m között 24 óráig képes a levegőben maradni. Fegyverzete AGM-114 Hellfire levegő-föld rakétákból áll. 2018. március 9-én vonták ki a rendszerből a típust [4].



3. ábra
MQ-1 Predator (Major Gábor [5] alapján)

⁵ Jelentése: ragadozó.

⁶ Jelentése: pokol tüze.

2.2.2. Switchblade 300

A Switchblade 300 olyan öngyilkos drón-/rakétarendszer, amely segítségével a katonák képesek a harctéren hatékony felderítést és tűztámogatást biztosítani maguknak. Ennek a rendszernek a kialakítása nagyon praktikus. Az operátora egy katona, aki a földön a hátizsákjában minden nehézség nélkül tudja magával vinni az eszközt, mivel csak 2,5 kg a tömege. Indítása, a 4. ábrán látható módon, egy vetőcsőből történik, amelyből kirepülve kinyílnak a stabilizátorszárnyak, és 15 percig képes a levegőben maradni. 10 km hatótávolsággal rendelkezik, és a hajtóműve nagyon halk elektromotor, ami rendkívüli mértékben megnehezíti az eszköz észlelését, felderítését. A drón precíziós harcirésszel van ellátva, ami kellően hatásos, de egyben minimális a járulékos „veszteség”. Az eszköz a távirányítás mellett autonóm módon is tud repülni. Az operátor számára valós idejű GPS-koordinátákat és videót biztosít az információgyűjtéshez és célzáshoz. Miután az operátor felderítette a célt, egyszerűen rávezeti a drónt, amely becsapódáskor felrobban. Ennek a típusnak van egy „nagyobb” változata,⁷ amely hosszabb üzemidővel és páncélelhárító harcirésszel van ellátva [1].



4. ábra

Switchblade 300 „harci körülmények között” (Major Gábor [12] alapján)

2.2.3. Predator C Avenger

A Predator⁸ C Avenger⁹ egy olyan, az 5. ábrán látható RPA¹⁰, amely képes nagy területeket megfigyelni, gyors időlefordulást légitámadásokat végrehajtani szárazföldi és tengerészeti műveletek során egyaránt. Ez a típus sugárhajtóművének köszönhetően a leggyorsabb drónok közé tartozik a gyártó adatai alapján, ezért egy harci szituációt rugalmasabban kezelhet, nagyobb

⁷ Switchblade 600.

⁸ Ragadozó.

⁹ Bosszúálló.

¹⁰ Remotely Piloted Aircraft (RPA): távirányítású repülőgép.

a túlélőképessége és alkalmazható gyors reagálású műveletekre is. A repülő fedélzetére telepítettek egy elektro-optikai és infravörös lézer célmegjelölő rendszert, Lynx Multi-mode Radar-t, SIGINT¹¹-/ESM¹²- és különböző kommunikációs rendszereket. Megtalálható még a légi járművön az MS-177 típusú szenzor, amely a gyártó leírása szerint képes méteres felbontású, kombinált képek készítésére, ami azt jelenti, hogy az infravörös és optikai hullámhosszok széles spektrumát egyesíti egy képben nagy távolságokon keresztül [14], [25].



5. ábra
Predator C Avenger [14]

2.2.4. ZALA Lancet-3

Az Orosz Föderáció drónprogramja kevésbé ismert, sokkal kevesebb technikai adatot osztanak meg a nagyvilággal, mint a nyugati hatalmak, ezért teljes képet nagyon nehéz alkotni az orosz harci drónokról. A nemzetközi „drónverseny” hatására Oroszország is lépéskényszerben van a támadó drónokkal való felfegyverzésben, nem maradhatnak el ebben a versenyben. Az elmúlt időszakban a Kalasnyikov Konzern bemutatta dróncsaládját, amelyet már Szíriában bevetettek, és az elmondottak alapján kimondottan jó eredményeket értek el (a gyártó értékelése alapján).

A ZALA Lancet-3 a Kalasnyikov Konzern leányvállalata a ZALA Aero Group által gyártott drón (6. ábra). A repülőeszköz fő funkciója, hogy a levegőben körözve az operátor által vagy autonóm módon felderítési tevékenységet folytat. A cél azonosítása után a kezelő irányításával vagy automatikus módon a drón a célra vezeti magát, ahol felrobban. Lényegében ez is öngyilkos/kamikaze légi jármű. Elektro-optikai és koordinátaalapú célzórendszerrel van ellátva, amelyek egymástól függetlenül tudnak működni. A drón továbbá élő videóközvetítési lehetőséggel is rendelkezik, ami közvetíti a jelet az operátor felé. A gépre szerelt harcírész *pre-contact fuze* típus, ami azt jelenti, hogy közvetlenül a becsapódás előtt robban rá a célra. Ennek a típusnak viszont van még két nagyon fontos funkciója. Az egyik az, hogy képes drónrajként a levegőben körözve „légi aknamezőt” létesíteni, és ahogy detektálják az ellenséges mozgásokat, szó szerint egyesével le-lecsapnak a céljaikra. A másik elhanyagolhatatlan funkciója pedig

¹¹ Hírszerző (SIGINT).

¹² Elektronikus támogatás (ESM).

az, hogy képes drónelhárítóként is üzemelni, ami azt jelenti, hogy az aránylag nagy repülési sebességével képes elfogni repülő drónokat, majd a közelükbe érve elműködtetni a fedélzetre szerelt harcírész, és semlegesíteni az ellenséges gépet [26], [29].



6. ábra
ZALA Lancet-3 [21]

2.2.5. Orlan-10

A 7. ábrán éppen indítás közben látható Orlan-10 multifunkciós pilóta nélküli repülő jármű, amelyet arra terveztek, hogy megfigyeljenek vele olyan objektumokat, amelyek nehezen elérhető, megközelíthető helyeken találhatók meg. Ez a típus továbbá fel van szerelve olyan elektronikai EHV¹³-s rendszerekkel, amelyek képesek jeleket bemérni és zavarni. A légi jármű továbbá képes 3G és 4G hálózaton üzemelni, és a baráti jeleket megkülönböztetni minden ismeretlen és ellenséges jeltől. Tömege 10 kg, katapult segítségével indítják, 120 km távolságig képes a fedélzeti kamera videóját közvetíteni és 10 órát képes a levegőben tölteni [19].



7. ábra
Orlan-10 az indító állványon [22]

¹³ Elektronikai hadviselés (EHV).

2.2.6. Bayraktar TB2

Törökország sokáig nem rendelkezett saját pilóta nélküli repülőgép-technikával, viszont az elmúlt években több politikai konfliktusba keveredett a Nyugattal, egyes szállítási forrásai meg is szűntek, ezért nem halogathatták egy saját típus fejlesztését. Azt nem tudni, mennyire önálló fejlesztésűek a mostani drónjaik, de az biztos, hogy nagyon hatékonyak a modern harcmezőkön – ezt a tényt több harci esemény is alátámasztja.

Ez a 8. ábrán megtekinthető török típus, a Bayraktar TB2, közepes magasságú, nagy hatótávolságú harcászati pilóta nélküli repülőgép, amely képes távirányítással vagy autonóm módon feladatot végrehajtani. Az eddigi rekord repülési ideje ennek a típusnak 27 h 3 min, ami nem mindennapi eredmény. Eddig Törökország, Katar, Ukrajna és Azerbajdzsán rendszeresítette ezeket a rendszereket. Négy függesztési ponttal rendelkezik, ahová különböző típusú fegyverzetet lehet függeszteni, mint például lézer irányítású rakétákat vagy 81 mm-es aknavető-lövedékeket. Az elmúlt években ez a típus bizonyított már Azerbajdzsán és most Ukrajna égboltján is, szereve magának nem kis hírnevet a hatékonyságának köszönhetően [8], [28].



8. ábra
Bayraktar TB2 [24]

2.2.7. WL-I/ WL-II

Talán a Kína által gyártott haditechnikai eszközökről tudni a legkevesebbet, a világhálón nagyon kevés felhasználható információ található, nehéz róluk teljes képet alkotni, vagy következtetéseket levonni. Az elmúlt években többféle pilóta nélküli repülőrendszert mutattak be.

Az egyik ilyen a Wing Loong (WL), egy többcélú felderítő/támadó, közepes magasságú, sebességű és nagy hatótávolságú pilóta nélküli repülőrendszer. A WL-I sokféle hasznos terhet tud magával vinni, amely állhat felderítéshez vagy csapásméréshez szükséges eszközökből. A gyártó állítja, hogy ez a típus már átesett a tűzkeresztségen. A WL-II (a 9. ábrán, egy légiparádén kiállítva) ennek a típusnak a továbbfejlesztett változata, amelynek jobb repülési, felderítési, csapásmérési és jelátviteli tulajdonságai vannak [7]. Fegyverzete állhat AKD-10 levegő-föld páncéelhárító, BRMI-90 90 mm-es irányítható rakétából és FT-7/130 típusú bombából [2].



9. ábra
Wing Loong II UAV [9]

2.2.8. WZ-8

A WZ-8 típusú drón Kína egyik legnagyobbra tartott, legjobb eredményeket produkáló pilóta nélküli repülője. A 10. ábrán látható WZ-8-ból a WZ, azaz „Wuzhen” azt jelenti, hogy „pilóta nélküli felderítés”. 2019-ben mutatták be a kínai Nemzeti Nap parádén. A megjelent adatok szerint nagy magasságú, nagy sebességű pilóta nélküli felderítő repülőgép, amelyet teljes egészében Kína fejlesztett ki és gyártott. Fő felhasználási területei a harctéri felderítés és adatértékelés. Maximálisan 3-szoros hangsebességgel képes repülni, ami gyorsabb a legtöbb ismert légvédelmi rakétánál. A tüzelőanyag-fogyasztást és tolóerőt a külső körülményekhez alkalmazkodva lehet szabályozni annak érdekében, hogy közeli felderítéseket is végre tudjon hajtani a drón. Az UCAV felső részén található két függesztési pont, amelyeket valószínűleg azért szereltek fel, hogy a H-6N típusú bombázóról indítva meg lehessen növelni a WZ-8 hatótávolságát [10].



10. ábra
WZ-8 [15]

2.2.9. Luna

A Luna (a 11. ábra képmontázsán a bal felső sarokban látható) német gyártású, könnyű, közepes hatótávolságú felderítő pilóta nélküli légi jármű, amely 2000 márciusa óta van rendszerben a Bundeswehrben. Több mint 1000 bevetésen van túl, és sikeresen részt vett már éles műveletekben Koszovóban, Macedóniában és Afganisztánban. A repülőgépet 2 operátor kezeli, és a rendszerhez tartozik még 1-1 csapat, akik a felbocsátást és a repülés utáni begyűjtést végzik. Mikrohullámú kommunikációs csatornán közvetíti élőben a felderítési képeket és a rendszeradatokat a földi vezérlőközpontnak 80 km-es hatótávolságon belül. Ezt a távolságot lehet növelni légi és földi reléállomások segítségével [6].



11. ábra
A Luna rendszer elemei (Major Gábor [6] alapján)

3. Konklúzió

A publikáció elején célként fogalmaztuk meg, hogy kapcsolódási pontokat keresünk és mutatunk be néhány példán keresztül a hagyományos hadviselés fizikai hadszíntere, katonai műveletei és a pilóta nélküli légi járművek között. Bemutattuk a katonai műveletek csoportosítását a szerzők szemszögéből, majd annak egy elemét, a harci támogató műveleti tevékenység részeit taglaltuk, mégpedig olyan megközelítésben, hogy milyen módon illeszthető ezekhez a tevékenységekhez korunk egyik leguniverzálisabb repülőeszköze. Ezt követően néhány „drónhatalom” néhány „harci játékszerét” alaposabban is göröcső alá vettük.

Írásunk azért releváns, mivel a fel-fellángoló harcok során egyre nagyobb szerep jut a pilóta nélküli eszközöknek, hova tovább, egy-egy hadi stratégia fejében annak illúziója is kipattanóban van, hogy ezek a légi eszközök fogják megvívni a csatát egymás ellen önállóan, autonóm módon felmérve a pillanatnyi helyzetet, és a rendelkezésre álló erők részére a vezérgép elkészíti a „harcarancsot” [13].

A cikkben leírtakból látható, megállapítható és elgondolkodtató az, hogy napjainkban robbanásszerű fejlődést mutató pilóta nélküli légi járművek, légi jármű-rendszerek egyre inkább ezen a területen is teret „kérnek” és kapnak a végrehajtandó feladatokból maguknak. Miután a felhasználó igényeinek és az elérendő célnak legjobban megfelelő szenzor, pusztítóeszköz elkészül, már „csak” a rendszert szállító felépítményt kell „alárakni”, és a siker szinte garantált.

Felhasznált irodalom

- [1] AeroVironment, *Switchblade*® 300. Online: www.avinc.com/tms/switchblade
- [2] Air Force Technology, *Wing Loong Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* 2021. február 2. Online: www.airforce-technology.com/projects/wing-loong-unmanned-aerial-vehicle-uav/
- [3] B. W. Everstine, Elegy for the Predator. *Air Force Magazine*, 2018. május 29. Online: www.airforcemag.com/article/elegy-for-the-predator/
- [4] Air Force, *MQ-1B Predator*. Online: www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104469/mq-1b-predator/
- [5] Air Force Technology, *Predator RQ-1 / MQ-1 / MQ-9 Reaper UAV*. 2021. szeptember 10. Online: www.airforce-technology.com/projects/predator-uav/
- [6] Army Technology, *LUNA Aerial Reconnaissance and Surveillance UAV*. 2014. január 21. Online: www.army-technology.com/projects/luna/
- [7] AVIC, *WL-I / WL-II*. Online: www.avic.com/c/2021-06-24/513728.shtml?PC=PC
- [8] Baykar, *Bayraktar TB2*. Online: www.baykartech.com/en/uav/bayraktar-tb2/
- [9] China Military Drone Alliance, *CAIG Wing Loong 2 UAV Chinese Military Drones*. Online: www.militarydrones.org.cn/wing-loong-2-uav-drone-china-price-manufacturer-p00093p1.html
- [10] China-Arms, *WZ-8 UAV Reappears, May be Released by H-6N Bomber*. 2021. szeptember 28. Online: www.china-arms.com/2021/09/wz8-uav-released-by-h6n-bomber/
- [11] Csóré A., Major G., „A pilóta nélküli légi járművek (UAV) evolúciója,” *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 1. sz. pp. 171–191. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.13>
- [12] P. Valpolini, „Switchblade 300, The Combat Proven Munition,” *European Defence Review On-line*, 2020. október 2. Online: www.edrmagazine.eu/switchblade-300-the-combat-proven-munition
- [13] Gajdács L., Major G.: Katonai célú drónok fejlesztése a jelenkorban, a jövőt vizionálva, *Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből III*. Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó, pp. 101–120. (2022)
- [14] General Atomics Aeronautical, *Predator C Avenger. Next-Generation Multi-Mission ISR*. Online: www.ga-asi.com/remotely-piloted-aircraft/predator-c-avenger
- [15] China's Most Advanced Stealth Drones Make Air Show Debut,” *Global Times*, 2021. szeptember 28. Online: www.globaltimes.cn/page/202109/1235398.shtml

- [16] Kiss B., Major G., „Légből kapott segítség a Covid–19 ellen,” in *Repüléstudományi tanulmányok, Repüléstudományi Szemlények 2020*. Szilvássy L., Békési B. szerk. Budapest, 2021. pp. 279–306. Online: www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2020.pdf
- [17] Major G., „A pilóta nélküli légi jármű rendszerek használata az elektronikai hadviselésben,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 3. sz. pp. 309–312. 2017. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-22-0490_Major_Gabor.pdf
- [18] Major G., „Does an Autonomous Drone Return Home at All Time?” *Repüléstudományi Közlemények*, 30. évf. 2. sz., pp. 278–279. 2018. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018_2/2018-2-23-0499-Major_Gabor.pdf
- [19] Ministry of Defence of the Russian Federation, *Mission in Syria*. Online: https://syria.mil.ru/en/index/syria/peacemaking_briefs/brief.htm?id=12148678@egNews
- [20] Szendy I., *Hadelmélet és katonai műveletek*. Budapest, Nemzeti Közszerződési és Tankönyvkiadó Zrt. 2013.
- [21] Russian Aviation, *Kalashnikov Presented Precision UAV Weapon System ZALA LANCET*. 2019. június 25. Online: www.ruaviation.com/news/2019/6/25/13741/?h
- [22] Russian Aviation, *Units of the Eastern MD received a batch of Orlan-10 newest UAVs*. 2016. December 29. Online: www.ruaviation.com/news/2016/12/29/7856/
- [23] Szun-Ce: *A háború művészete*. Budapest, Cartaphilus Kiadó, 2006.
- [24] Ukraine Destroys Pro-Russian Artillery in Its First Use of Turkish Drones,” *The Moscow Times*, 2021. október 27. Online: www.themoscowtimes.com/2021/10/27/ukraine-destroys-pro-russian-artillery-in-its-first-use-of-turkish-drones-a75420
- [25] T. Rogoway, „Photo Emerges of Stealthy Avenger Drone Fitted with Advanced Multi-Spectral Sensor Suite,” *The Drive*, 2016. június 14. Online: www.thedrive.com/the-war-zone/3972/photo-emerges-of-stealthy-avenger-drone-fitted-with-advanced-multi-spectral-sensor-suite
- [26] In the Ukrainian Media: Russia is Going to Shoot Down the UAV Bayraktar with 'Lancets',” *TopWar*, 2021. április 30. Online: <https://en.topwar.ru/182550-v-ukrainskom-media-ros-sija-sobiraetsja-lancetami-sbivat-bpla-bajraktar.html>
- [27] Ujjady A., Major G., „A civil drónszabályozáson innen, a katonain túl” *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 2. sz. pp. 167–180. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.2.12>
- [28] G. Allison, „Ukraine Uses Bayraktar TB2 Drone in Combat for First Time,” *UK Defence Journal*, 2021. október 28. Online: <https://ukdefencejournal.org.uk/ukraine-uses-bayraktar-tb2-drone-in-combat-for-first-time/>
- [29] Zala Aero Group, *ZALA LANCET-3*, Online: <https://english.iswnews.com/23133/military-knowledge-lancet-3-suicide-drone/>

Possibilities for Unmanned Aircraft to Cooperate with Ground Forces in Certain Military Operations

The tools and systems created by science, technology and industry are making many aspects of life easier, more efficient and safer. While military operations are not normally considered to be a calm, safe task or mission, technological advances have brought this segment into the realm of areas where it is possible to “fight safely”. In the following publication, the authors show how classical land military operations can be made more “survivable” by supporting the “knowledge

and capability" of unmanned aerial vehicles. These military UAVs can support soldiers fighting on land (and even on water), increasing their survivability and combat effectiveness.

The aim of the authors with this study is to provide the reader an idea of the diversity of unmanned aerial vehicles that can be deployed in a land combat mission, supporting it and contributing to the success of the mission, by looking at some of the world's armies, what are they armed with.

Keywords: *Unmanned Aerial Systems, UAV, UAS, UCAV, drone, combat, battle, weapon, military operations*

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



Gajdács László

Pilóta nélküli légi járművek megjelenési gyakoriságának vizsgálata

Ma már szinte nem találni olyan személyt, aki ne hallott volna pilóta nélküli repülőgépekről, vagy közismertebb nevükön a drónokról. Egyre intenzívebb jelenlétük az élet számos területén érzékelhető. A 21. század egyik nagy kihívása, hogy milyen módon és miként tudjuk ezeket a légi járműveket integrálni a hagyományos légi közlekedés rendszerébe. Megjelenési gyakoriságuk vizsgálatából képet kaphatunk arról, hogy ezek a pilóta nélküli légi járművek milyen gyakran és milyen magasságokban fordulnak elő leginkább. A cikkben ennek a vizsgálatnak az eredményeit kívánom bemutatni.

Kulcsszavak: drón, légi közlekedés, incidens, magasság, gyakoriság

1. Bevezetés

A pilóta nélküli légi járművek megjelenési gyakoriságának vizsgálata – megítélésem szerint – nem egyszerű feladat. A gyártóknak a különféle egyéni igényeknek megfelelően egyre szélesebb a termékkínálatuk. A különböző kialakításból és szerkezeti felépítésből adódóan, használatuk köre igen szerteágazó. Az egyes típusok, rendszerek különböző technikai jellemzői azonban behatárolják felhasználásukat. Létezik egy nagyon fontos közös jellemző típustól és kialakítástól függetlenül, nevezetesen, hogy a működésükhöz szükséges információkat a környezetükből nyerik, majd ezt követően az adatfeldolgozás folyamán különböző fedélzeti és földi rendszerek számára szolgáltatnak információkat.

Váratlan megjelenésük esetszámokkal igazolható, amely adatok világszerte eltérők. Vannak alacsonyabb esetszámmal rendelkező országok, közöttük Magyarország, és vannak nagyon magas esetszámmal rendelkező országok, mint például az Amerikai Egyesült Államok.

A publikáció fő célja, hogy megvizsgálja azt a leginkább érintett területet a légtérben, amelyben a legintenzívebb a pilóta nélküli légi járművek működése [10].

A repülés vonatkozásában a drónok váratlan megjelenésükkel komoly kockázatot jelentenek például repülőterek légi oldalán (*air side*) vagy területén, ahol a légi járművek közlekednek, beleértve a fel- és leszállást, illetve az ezek megvalósításához, biztosításához szükséges földi oldalon is, ahová mindazon repülőtéri elemeket soroljuk – leszállópályák, gurulóutak stb. –, amelyek a légi járművek földön való biztonságos mozgatásához szükségesek [13].

Így feltételezhetően a légi forgalomban részt vevő, pilótával vezetett légi járművek szempontjából sehol nem szerencsés a drónok váratlan megjelenése, hiszen azok helyükből, illetve

tevékenységükből adódóan különböző kockázati értéket képviselnek, amelynek következménye különböző mértékű és súlyosságú lehet. A vizsgálat fő kérdése, hogy melyik az a magasságtartomány, ahol a legnagyobb gyakorisággal fordulnak elő a drónok, veszélyeztetve az egyéb légtérhasználókat, nevezetesen a pilótával vezetett légi járművek biztonságát.

2. Drónincidensek hatásai a repülés közvetlen és közvetett környezetére

A következőkben bemutatok néhány megtörtént esetet, amelyek nemcsak komoly fennakadást okoztak a légi forgalmi irányításban, hanem jelentős anyagi következményeket is vontak maguk után.

Ezek az esetek jól bemutatják, hogy a drónok váratlan megjelenéseinek milyen hatása lehet például egy repülőtér mindennapi életére. Az eseményeket és azok adatait vizsgálva megkülönböztethetünk incidenseket a megjelenésük kockázati értékének mértéke alapján:

- különös kockázattal járó területek – ilyenek a különböző kritikuszinfrastruktúra-létesítmények és -rendszerek – például a repülőterek és annak közvetlen környezete;
- egyéb területek, mint például mezőgazdasági területek.

Elsőként nézzük meg a 2018-as London-Gatwick esetet, amely talán precedensértékű az érintett témát illetően. 2018 decemberében történt egy eseménysorozat, amely kellően felkeltette az illetékes hatóságok figyelmét. Három nap leforgása alatt 115 drónnal végrehajtott repülést regisztráltak a repülőtér közvetlen környezetében, amelyek gyakorlatilag megbénították a repülőtér légi forgalmát. A mintegy 33 órán át tartó eseménysorozat folyamán körülbelül 1000 járatot kellett törölni, ami közvetlenül mintegy 140 000 utast érintett.

De nem ez volt az egyetlen eset, amely komoly fennakadást okozott. 2020. február 3-án Európa egyik legforgalmasabb repülőtere a madridi Barajas is működésképtelenné vált dróntevékenység miatt. A német légi forgalmi irányításért felelős szervezet (DFS¹) 2015 óta több mint 500 hasonló esetről számolt be [2].

2.1. Pilóta nélküli légi járművek megjelenési gyakoriságának vizsgálata

Légi járművekkel előforduló bármilyen interakció esetén nagyon fontos a megelőzés, amihez szükséges ismernünk a repülésbiztonsági kockázatokat. Ennek megismeréséhez első lépésként fel kell ismerni a veszélyeket. Ez lehet minden olyan tényező vagy körülmény, amely hozzájárulhat egy repülőesemény bekövetkezéséhez. A veszélyeket a repülés magában hordozza, ezért ismernünk kell a veszélyek nagyságát, súlyosságát és a bekövetkezés valószínűségét. Ezek együttesen képezik a kockázatkezelés alapjait. Ezen túlmenően ismernünk kell a veszélyeztetettség mértékét, amely megmutatja, mennyire van kitéve a repülőeszköz és annak személyzete a lehetséges veszélyeknek [3].

A drónok repülésük folyamán üzemmódjuktól függetlenül számos veszélyforrást hordoznak magukban.

¹ Deutsche Flugsicherung GmbH, a németországi légi forgalmi irányításért felelős szervezet.

Biztonságos felhasználásukat az alábbi tényezők nagymértékben befolyásolják:

- jogi szabályozás, illetve annak betartása vagy be nem tartása;
- műszaki megoldások, esetleg azok hiánya;
- a repülést befolyásoló időjárási körülmények;
- emberi tényező szerepe;
- egyéb, nem ismert körülmények [6].

Drónok üzemeltetését illetően a legnagyobb felelősség a drónt irányító személyen van. Az ő felelőssége alapvetően határozza meg a repülések végkimenetelét attól függően, hogy milyen szándékkal, hol és milyen célból repteti drónját, továbbá rendelkezik-e a szükséges engedélyekkel és információkkal a repülés környezetével kapcsolatosan (például eseti légtérengevény és időjárási adatok megléte).

A drónok jellemzően váratlanul jelennek meg a légtér valamely szegmensében, nem kis meglepetést okozva ezzel. Az észlelésüket követően pozíciójuk dinamikusan változhat, ami azt jelenti, hogy komoly kockázatot képviselnek az egyéb légtérhasználókra. Méretükből adódóan gyakran nehezen érzékelhetők, emiatt nehezen ismerhetők fel.

2.2. Drónok hatása a polgári repülésre és annak környezetére

A drónok váratlan megjelenési vizsgálatával kapcsolatban számos közös jellemző felismerhető:

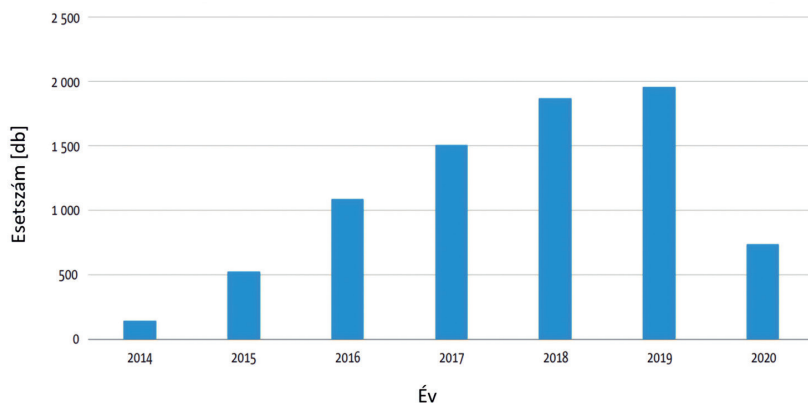
- a kereskedelmi forgalomban elérhető drónok elérhetik akár a 200 km/h-s sebességet is;
- megjelenésük pillanatától dinamikusan változik, változhat a pozíciójuk;
- sebességükből adódóan a „külvilágból” a veszélyeztetett vagy tiltott terület felé akár néhány perc alatt is megérkezhetnek;
- beazonosításuk még meglehetősen nehézkes, és sok esetben emberi észrevétel alapján érzékelik jelenlétüket [12].

A drónok szabályozásában megkülönböztetünk különféle kategóriákat: nyílt, speciális és engedélyköteles. A különböző kategóriákhoz, különböző képesítés megléte szükséges (A1, A2, A3 vizsgatípusok). Továbbá ahhoz, hogy repültetni lehessen ezeket a légi járműveket, előzetesen regisztrálni is kell őket, ami alapvetően az eszköz nyilvántartásba vételét jelenti (kivéve a játék kategóriába tartozó drónok). Egy másik megközelítésben megkülönböztethetünk kész termékeket, amelyek jelenleg elérhetők a piacon, és az egyéb házi építésű termékeket. A jogszabállyal ellentétes drónhasználat/-repültetés, -üzemeltetés nagyobb kihívást jelent a hatósági szerveknek, mivel ezeknek a drónoknak a létszámáról, méreteiről csak csekély információ áll rendelkezésükre.

Azonban fontos megjegyezni, hogy az a személy is, aki „legálisan drónozik”, és aki egyben rendelkezik a szükséges jogosultságokkal (különféle engedélyekkel), ő is átsodródhat olyan tiltott területekre, ahol tevékenységével komoly veszélyforrást jelenthet az abban a környezetben, illetve területen közlekedő légi járművekre. Továbbá problémát okoz a drónokra és üzemeltetőire vonatkozó jogszabályok alkalmazásának betartása és betartatása, illetve a drónok a hagyományos légtérszerkezetbe való integrálása.

A drónok észlelése egyre magasabb esetszámokat mutat nemcsak az Amerikai Egyesült Államokban, hanem Európa-szerte is. Statisztikai adatok igazolják, hogy a tíz legnagyobb

európai repülőtéren egy futópálya körülbelül 30 perces lezárása hozzávetőlegesen mintegy 120–190 millió forintos költséget vonhat maga után. Így ennek hatása nemcsak közvetlen a repülésben részt vevő cégekre és szervezetekre korlátozódik, hanem tágabb értelemben számos iparágra, közöttük a dróniparra is kihathat (például alkatrészszállítás). Ezért nem csak a repülési közösség érdeke, hogy foglalkozzon ezzel az igazán komoly problémával és annak megoldási lehetőségeivel. Az 1. ábrán az EASA² által összesített esetek számát tekinthetjük meg, amelyek lehetnek szimplán a fedélzetről észlelt esetek, veszélyes megközelítések, vagy adott esetben ütközések is.



1. ábra

Drónincidensek számának alakulása repülőterek környezetében [2]

Az ábrán összesített információ jelenik meg a tekintetben, hogy éves bontásban milyen esetszámokat rögzítettek hivatalosan. Az adatok 2014-től kezdődően 2020-ig tartalmazzák az incidensek számát Európa-szerte. Az ábra – a 2020-as évet kivéve – jól szemlélteti az egyre növekvő tendenciát a drónok nem megfelelő helyen és módon való használatát illetően. A 2020-as visszaesés valószínűsíthető oka a Covid-világjárvány megjelenése. Az esetek száma további aggodalomra adhat okot, amit természetesen kezelni kell nemcsak napjainkban, hanem a jövőben is [2].

Ennek kapcsán az Európai Unió cselekvési tervet fogalmazott meg, amelynek legfőbb célja a repülésben részt vevők biztonságának garantálása. Ennek a projektnek a részét képezi a repülőterek felkészítése, különösen az engedély nélkül tevékenykedő, véletlenszerűen felbukkanó drónok használatából adódó kockázatok mérséklésére. Az EPAS,³ a *The European Plan for Aviation Safety 2021–2025* című dokumentum egy többlépcsős cselekvési terv, amely többek között meghatározza a légi közlekedést érintő főbb kockázati tényezőket és az erre vonatkozó intézkedéseket [4].

A repülőterek dróneseményeinek vizsgálatával az EASA főként az engedély nélkül tevékenykedő drónok ellen kíván fellépni a kulcsfontosságú szereplők bevonásával, a repülőterek üzemeltetőinek segítségével az alábbi célok megvalósítása érdekében:

² European Union Aviation Safety Agency – Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynöksége.

³ European Plan for Aviation Safety – Európai Repülésbiztonsági Terv.

- információgyűjtés, érzelések különböző módszereinek vizsgálatával;
- kockázatértékelés a repülőterek biztonsági szempontjainak felhasználásával;
- információfeldolgozás, majd -megosztás az egyes incidenseket követően;
- az esetekből levont tanulságokat követően válaszlépések megtétele;
- a repülőter üzemeltetésében kulcsfontosságú szerepet betöltő személyzet képzése.

Az előzőekben ismertetett tervek fő célja, hogy a különféle intézkedések bevezetésével, fenntartásával és a különböző folyamatok állandó fejlesztésével elkerülhető legyen a légtér vagy futópálya ideiglenes zárása, ennek lehetőségei csak a legvégső esetben érvényesülnének [2].

A különféle drónos tevékenységet folytatók esetében alapvetően három kategóriát, „szándékot” különböztetünk meg:

1. „nem negatív vagy nem ártó szándék”, nem tudatosan jogsértő magatartás, gondatlan felhasználók;
2. „negatív vagy ártó szándék”, előre megfontolt szándékkal, tudatosan eltervezett tevékenység;
3. „bűnözők vagy terroristák által képviselt ártó szándék”, előre elhatározott, tudatosan megtervezett tevékenység.

A „nem negatív vagy nem ártó” szándékkal elkövetett eseteknél a felkészületlen egyének hanyagsága, illetve nemtörődömsége jellemezi leginkább az elkövetett cselekedeteket. Alapvetően nem tudják, vagy nem akarják ismerni a rájuk vonatkozó szabályokat, ellenben szándékuk nem ártó vagy káros, nem céljuk, hogy megzavarják a polgári légi közlekedésben részt vevő szereplőket.

A gondatlan cselekedet esetében az érintett személyek ismerik a rájuk vonatkozó jogszabályokat, de különböző okok miatt megszegik azokat, így mondhatjuk róluk azt, hogy ezek a személyek ilyenkor gondatlanul cselekednek, például drónt reptetnek tiltott területen. Nekik szintén nem áll szándékukban megzavarni a polgári repülést.

A „negatív vagy ártó”, adott esetben előre megfontolt szándékkal elkövetett tevékenységek hátterében személyes vagy szakmai haszonszerzés állhat, cselekedeteikkel viszont ők már veszélyesnek mondhatók a repülés különféle szegmenseire. Fontos megemlíteni, hogy tetteikkel nem áll szándékukban az emberi életet és javakat veszélyeztetni, azonban komoly veszélyforrást jelenthetnek a repülés környezetére és annak résztvevőire.

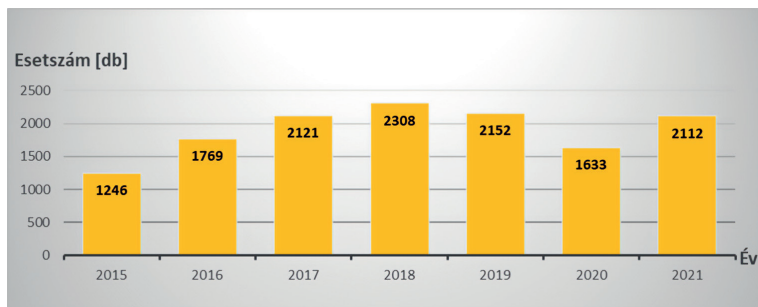
A harmadik esetben, vagyis bűnözők vagy terroristák által elkövetett cselekmények hátterében is a szándékosság áll, hasonlóan, mint az előző csoportban. Ezeknek az embereknek a célja, hogy különféle személyek vagy szervezetek ellen olyan cselekményeket hajtsanak végre, amelyeket sok esetben az emberi élet sérelmére követnek el [2].

3. Drónincidensek az FAA⁴ jelentései alapján

Az Amerikai Egyesült Államok Szövetségi Légügyi Hivatalának (FAA) jelentéseiből is kitérünk az egyre növekvő drónincidensek száma. A pilóta nélküli repülőgépek megjelenését folyamatosan rögzíti, elemzi és nyilvántartja a szervezet, amelyről negyedévente jelentést tesz közzé.

⁴ Federal Aviation Administration – Szövetségi Légügyi Hivatal.

Az eseteket alapvetően kis- és nagygépes repülőgép-vezetők jelentik, amelyek részletei bekerülnek egy rendszerbe, majd megkezdődik az esetek kategorizálása, besorolása, illetve vizsgálata. A 2. ábrán az esetek növekvő száma látható éves bontásban.



2. ábra

Drónészlelések száma az Egyesült Államokban 2015–2021 (a szerző [12] alapján)

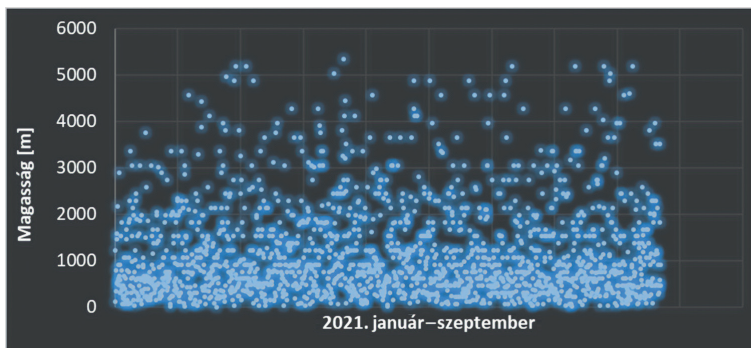
A vizsgált 2021-es év kilenc hónapnyi statisztikai adata állt rendelkezésemre a téma megírásakor. Ezen adatok mennyiségéből is jól megfigyelhető az esetszámok növekedése az előző évekhez viszonyítva.

A 2021-es év végi statisztikai adatok alapján az Amerikai Egyesült Államokban 863 071 db drónt regisztráltak a tulajdonosok, illetve az üzemeltetők december 20-ig. Ez óriási szám, azonban vélhetően nem fedi le a valós dróntársadalom teljes létszámát, hiszen sokan vannak, akik nem regisztrálják drónjukat, így azok „láthatatlanul” tevékenykednek, de emellett láthatóan megjelennek a légi közlekedésben részt vevők számára. Mindkét csoport, a regisztrált és nem regisztrált felhasználók együttesen képezik az incidensek alapját [5].

3.1. Drónok megjelenésének repülési magasság szerinti vizsgálata

Az FAA adatai alapján a következőkben megvizsgálom, milyen magasságokban a leggyakrabban a drónok jelenléte. Ehhez a 2021-es év statisztikai adatait használtam fel. Ez idő alatt mintegy 1962 incidenst rögzítettek és dolgoztak fel. Ez az adat nem egyezik meg a 2. ábrán közölt 2021-es évi adatokkal. Az eltérést az okozza, hogy néhány, a hatóság által közzétett esethez nem voltak rögzítve magassági adatok, így azok számomra nem voltak feldolgozhatók és kiértékelhetők.

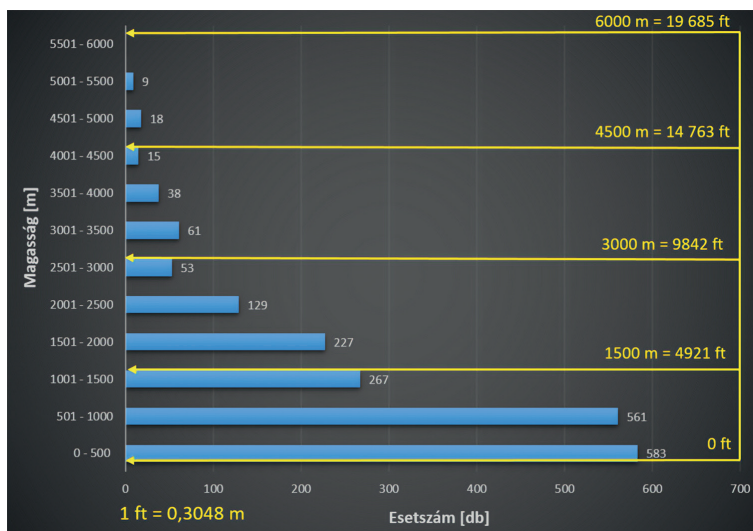
A 3. ábrán a 2021-es év szeptember végéig megtörtént adatok mennyisége látható.



3. ábra

Drónok megjelenése 2021. január–szeptember közötti időszakban (a szerző [12] alapján)

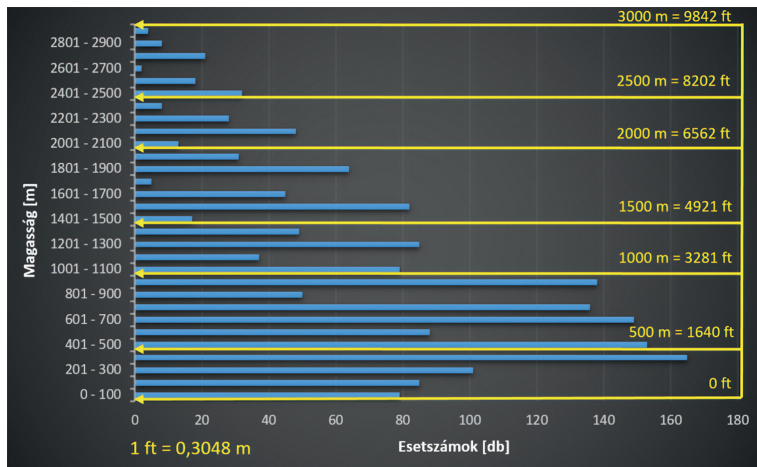
Látható módon csak ebben a tárgyévben is nagyon sok adatot kellett feldolgoznia az érintett hatósági szervnek. Ahhoz azonban, hogy pontosabb képet kapjunk arról, hogy a pilóta nélküli légi járművek milyen magasságokon jelennek meg a leggyakrabban, tovább kell bontani a meglévő adatokat. A 4. ábrán 6000 m magasságig vizsgáltam meg 500 m-es tartományokban az esetek számát.



4. ábra

Drónok megjelenése 500 m-es részekre bontva 6000 m magasságig (a szerző [12] alapján)

Ezen adatok jól szemléltetik, hogy a drónok 2500 m alatt jelennek meg leggyakrabban. Az adatok pontosítása és tervezett következtetések levonása érdekében bontsuk szét a meglévő adatokat 100 m-es tartományokra, amit 3000 m-ig bezárólag vizsgálók (5. ábra).



5. ábra

Drónok megjelenése 100 m-es részekre bontva 3000 m magasságig (a szerző [12])

Az adatokat elemezve azt tapasztaljuk, hogy a drónok gyakorisága szűkebb értelemben 1000 m alá esik, tágabb értelemben is hozzávetőlegesen 2500 m alá tehető.

3.2. Az incidensekben érintett pilóta nélküli légi járművek vizsgálata

A vizsgálathoz először ketté kell választanunk a rendelkezésre álló technika adta lehetőségeket, azaz milyen típusú drónokkal érhetőek el a vizsgált magasságok?

A drónos repülések az alábbi drónkategóriákkal valósíthatók meg:

- házilag gyártott típusokkal;
- a kereskedelmi forgalomban kapható típusokkal;
- az interneten elérhető és megvásárolható típusokkal.

A legnagyobb problémát az első és harmadik kategória adja, hiszen az ezekben foglalt különböző típusokról nincsenek, vagy csak csekély információi vannak az érintett szervezeteknek. Így elsősorban ez a két kategória képezi az ismeretlen kockázatot a drónok használata során.

A 6. ábrán az Egyesült Államokban elérhető legismertebb dróngyártók piaci megoszlása látható.



6. ábra

A drónok piaci részesedésének megoszlása az Egyesült Államokban (a szerző [9] alapján)

A következőkben a legnagyobb gyártók, a DJI, az Intel, a Yuneec és a Parrot legismertebb típusainak műszaki paramétereit vizsgálom meg annak érdekében, hogy képet kapjunk arról, milyen eszközökkel érhetők el a korábbiakban vizsgált magasságok.

Természetesen nem lehet teljes körű vizsgálatot tenni az elérhető típusokkal, hiszen ahogy korábban már említettem, ezek csak egy részét képezik a technika adta tárháznak. A másik része az elérhető eszközöknek egyrészt a házilag készített típusok – amelyeknek száma és méretei ismeretlenek –, illetve az ezekhez megrendelhető alkatrészeket az online tétből szerzik be, majd használják fel. Harmadrészt pedig az online kereskedelemben elérhető kevésbé ismert márkák és típusok, amelyek nem rendelkeznek különféle tanúsítványokkal, így megbízhatóságuk sok esetben megkérdőjelezhető.

Az 1. táblázatban az Egyesült Államokban kereskedelmi forgalomban kapható legszélesebb körben elérhető típusok maximális hatótávolságra vonatkozó paramétereit gyűjtöttem össze. Azonban ehhez figyelembe kell még vennünk az egyes típusok tengerszint feletti elérhető legnagyobb távolságát a felszállási ponttól. Ez az elérhető távolság nem egyezik meg a rádiókontroller és/vagy a földi irányító állomás által biztosítható hatótávolsággal.

1. táblázat
Drónok hatótávolság-adatainak összevetése (a szerző [9] alapján)

Gyártó	Típus	Maximális hatótávolság
DJI	Inspire 1	5000 m
	Inspire 2	7000 m
	Matrice 210	8000 m
	Matrice 300	10000 m
	Matrice 600	5000 m
	Mavic Mini/Air	4000 m
	Mavic Pro	7000 m
	Mavic 2 Pro	8000 m
	Phantom 3 Stand	1000 m
	Phantom 3 Adv/Prof	5000 m
	Phantom 4 Specs	5000 m
	Phantom 4 Pro	7000 m
	Yuneec	Typhoon H/ Pro / RS
Intel	Falcon 8+	1000 m
Parrot	Anafi	4000 m
	Bebop 2/Pro	2000 m

A teljesség igénye nélkül az 1. táblázatban a leginkább elérhető típusokat gyűjtöttem össze, amelyek természetesen nem csak az Egyesült Államokban érhetők el. A probléma az, hogy ezek az ismert, a gyártók által a felhasználók számára előállított és forgalmazott típusok, de ennél jóval nagyobb a kínálat a piacon, köszönhetően főként az internetes rendeléseknek és vásárlásoknak.

3.3. Drónok a magyar légtérben

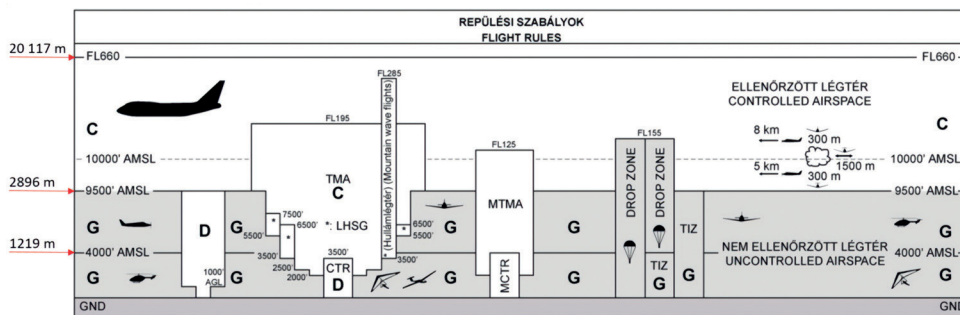
A további vizsgálathoz nézzük meg, hogy az egységes légtérben milyen magasságokban milyen légtérfelhasználók jelennek meg. A magyar légtér a „Magyarország feletti légtérnek a légi közlekedés számára – a mindenkor legfejlettebb technikai színvonal alapján – fizikailag igénybe vehető magasságig terjedő része”, ami jelenleg FL660 (*Flight Level*) és ami 20 117 m magasságnak felel meg [1, 71. § 32]. Ez a magasságtartomány többféle légtér csoportra van felosztva, azok felhasználásához kapcsolódó szabályok és korlátozások alapján. Alapvetően két nagy légtér részt különböztetünk meg: az egyik az ellenőrzött, a másik a nem ellenőrzött légtér. Ezeket a légtereket a légi járművek a légi közlekedés céljára használhatják azzal a különbséggel, hogy az előbbi esetén a légtér igénybevételehez ATC⁵-engedély szükséges, továbbá a 56/2016 NFM rendeletben előírt felszereltségi követelmény, mint például kétoldalú rádiókapcsolat szükséges, az utóbbinál pedig az általános repülési szabályok betartása mellett a légi jármű vezetője saját felelősségére közlekedik. A felsorolt légtérekben belül az adott helyszínhez kapcsolódó korlátozások tekintetében megkülönböztetünk többek között veszélyes, korlátozott, időszakosan korlátozott, illetve tiltott légtereket.

⁵ *Air Traffic Control*: légi forgalmi irányítás.

A drónok légtérbe integrálásának folyamán három fő cél követendő:

- jelenlétükkel nem veszélyeztethetik a többi légtérfelhasználót;
- a pilóta nélküli légi járművek működésével kapcsolatban bevezetett eljárásoknak összhangban kell lenni a már meglévő eljárásokkal, eljárásrendekkel;
- a drónok tevékenységeinek átláthatónak kell lenni az ATC irányítói számára [7].

A magyar légtér sematikus felosztása és szerkezete a 7. ábrán látható.



7. ábra

A magyar légtérszerkezet felépítése (a szerző [8] alapján)

A magyar légtérben is az ICAO⁶ ATS⁷ légtérosztályozás alapján sorolták be a légi közlekedés számára igénybe vehető légtereket. E szerint Magyarországon megkülönböztetünk „C”, „D” és „G” osztályú légtereket, amelyek részletes bemutatása és felosztása a 7. ábrán látható.

Az ellenőrzött légterek C vagy D osztályba tartoznak, és magukban foglalják:

- a repülőtéri irányítói körzeteket, amelyek lehetnek polgáriak (CTR⁸) vagy katonaiak (MCTR⁹);
- a közelkörzeti irányítói körzeteket, amelyek ugyancsak polgáriak (TMA¹⁰) és katonaiak (MTMA¹¹) lehetnek;
- és az egyéb polgári irányítói körzeteket (CTA¹²).

A nem ellenőrzött légtereket G osztályba soroljuk.

A magyar légtérben a speciális légtérfelhasználásra (jellemzően a légi közlekedés biztonságára veszélyt jelentő események, tevékenységek, például tűzijáték, repülősport-rendezvény, katonai gyakorlat, ejtőernyős bemutatók, vagy például a pilóta nélküli légi járművekkel végrehajtott repülések stb.) eseti légteret jelölhetnek ki, amelyet igényelni kell. Ahogy a nevéből is következtetni lehet, a légteret csak határozott időre, esetleg lehet igényelni [11].

⁶ International Civil Aviation Organization: Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet.

⁷ Air Traffic Services: légi forgalmi szolgálatok.

⁸ Controlled Traffic Region: ellenőrzött polgári irányítói körzet.

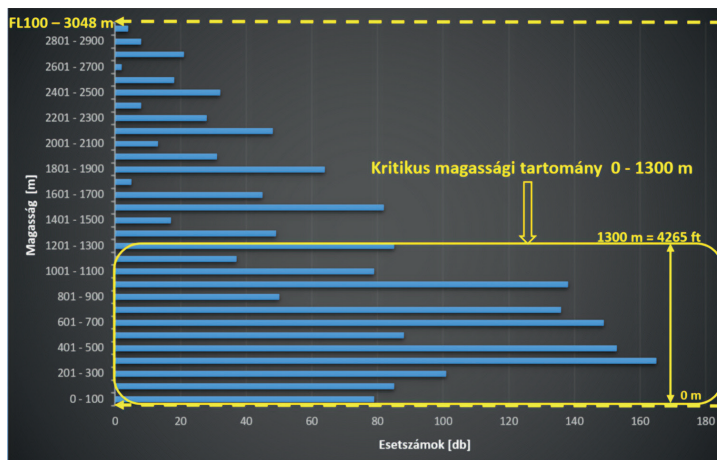
⁹ Military Controlled Traffic Region: ellenőrzött katonai irányítói körzet.

¹⁰ Terminal Manoeuvring Area: terminálirányítási terület.

¹¹ Military Terminal Manoeuvring Area: katonai terminálirányítási terület.

¹² Control Area: a repülőtér közelében található ellenőrzött légtér térfogata.

Mivel a magyar légtér nem ellenőrzött része az, ahol a legtöbb pilóta nélküli repülés jelenleg előfordul, és felhasználását tekintve széles skálán mozog azoknak a hagyományos légi járművekkel végrehajtott repüléseknek a köre, amelyek itt előfordulnak, a vizsgálatom tárgyát képező alapadatok az FL 100 (3048 m) alatti tartományban találhatóak. Ebben a magassági tartományban voltak leginkább észlelhetők a drónok a vizsgált időszakban, amely adatok összesítése a 8. ábrán látható.



8. ábra

Kritikus magassági tartomány szemléltetése (a szerző [12] alapján)

A vizsgálatból megállapíthatjuk, hogy a drónok legintenzívebb jelenléte a 8. ábrán is feltüntetett mintegy 0–1300 m közötti magasságtartományban valósul meg. Ennek az adatnak, egyben információnak megítélésem szerint nagyon fontos mögöttes tartalma és egyben közlendője van:

- megállapítható, hogy a pilóta nélküli légi járművek a magyar légtér szerkezet alsó részében szinte bárhol és bármikor megjelenhetnek;
- továbbá a jelenlegi technológiák adta lehetőségeknek köszönhetően a vizsgált, úgynevezett kritikus magassági tartomány könnyen elérhető a drónok számára (lásd 1. táblázat);
- ebben a magasságtartományban közlekednek leggyakrabban különböző típusú kis méretű repülőgépek;
- továbbá szintén megjelennek ebben a vizsgált (kritikus) tartományban a kereskedelmi célú nagygépes repülőjáratok fel- és leszálláskor;
- különösen veszélyeztetett területek közé tartoznak a repülőterek mint kritikus infrastruktúrák, ahol a járatok forgalmát jelentősen zavarni, akadályoztatni adott esetben bizonyos ideig működésképtelenné lehet tenni a pilóta nélküli légi járművekkel.

4. Konklúzió

A drónok egyre növekvő számú jelenléte világszerte érezhető az élet számos területén. A cikkben alapvetően egy viszonylag nagy adatbázisnak egy kis szeletét vizsgáltam meg. Az adatok feldolgozásából adódóan több eredmény született. Egyrészt megállapítottam, hogy egyre nagyobb számban valósulnak meg drónos tevékenységek, másrészt eredmény született a tekintetben, hogy ezekkel a speciális légi járművekkel végrehajtott repülések milyen magasságokban valósulnak meg a leggyakrabban napjainkban. Természetesen szabálytalan jelenlétükkel különböző végkimenetelű és súlyosságú események következhetnek be, attól függően, hogy a tevékenységük milyen közel van egy másik légi járműhöz. Ezeknek a vizsgálatát a jövőben szándékozom megvalósítani, majd ezt követően beszámolni az elért eredményekről.

Felhasznált irodalom

- [1] 1995. évi XCVII. törvény a légiközlekedésről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?-docid=99500097.tv>
- [2] European Union Aviation Safety Agency, *Drone Incident Management at Aerodromes*. Germany, 2021. Online: www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/drone_incident_management_at_aerodromes_part1_website_suitable.pdf
- [3] Dudás Z., „Az információ fontossága a repülésbiztonságban,” *Repüléstudományi Közlemények*, 17. évf. 2. sz. pp. 1–10. 2005. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2005_cikkek/dudas_zoltan.pdf
- [4] European Union Aviation Safety Agency, *The European Plan for Aviation Safety (EPAS 2021–2025)*. 2020. december 23. Online: www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/epas_2021_2025_vol_one_final.pdf
- [5] Federal Aviation Administration, *Drones by the Numbers*. 2021. Online: www.faa.gov/uas/resources/by_the_numbers/
- [6] Gajdács L., Major G., „Az UAV alkalmazásának kockázatai a biztonságtechnika területén,” *Repüléstudományi Közlemények*, 30. évf. 2. sz. pp. 101–112. 2018. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/4342/3548>
- [7] Gajdács L., Palik M., Dudás Z., „Drónok és hagyományos légi járművek közös légtérben történő alkalmazásának repülésbiztonsági kockázatai,” *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 1. sz. pp. 157–170. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.12>
- [8] HungaroControl, *Légi forgalmi térkép, ICAO 1:500 000*. Online: <https://ais.hungarocontrol.hu/aip/>
- [9] L. Schroth, „Drone Market Shares in the USA after China-US Disputes,” *Drone Industry Insights*, 2021. március 2. Online: <https://droneii.com/drone-market-shares-usa-after-china-usa-disputes>
- [10] Major G., Csóré A., „A pilóta nélküli légi járművek (UAV) evolúciója,” *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 1. sz. pp. 171–191. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.13>
- [11] Palik M., *A repülésirányítás alapjai*. Budapest, Dialóg Campus Kiadó, 2018.
- [12] Federal Aviation Administration, *UAS Sightings Report*. 2021. Online: www.faa.gov/uas/resources/public_records/uas_sightings_report/

- [13] Vas T., Palik M., Nagy G., „Pilóta nélküli légi járművek repülőterekről történő alkalmazása,” *Honvédségi Szemle*, 144. évf. 1. sz. pp. 73–82. 2016.

Analysis of the Frequency of Appearance of Unmanned Aerial Vehicles

Nowadays, almost everyone heard about unmanned aerial vehicles or drones. Their presence is increasingly felt in many areas of life. One of the great challenges of the 21st century is how to integrate these aircrafts into the conventional air transport system. By examining the frequency of their appearance, we can get an idea of how often and at what altitudes these drones are most likely to occur, regardless of continent and country. In this article, the author intends to present the results of this study.

Keywords: *drone, air transport, incident, altitude, frequency*

Gajdács László, MSc
főhadnagy, tanársegéd
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék

gajdac.laszlo@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0003-2334-6859

László Gajdács, MSc
First Lieutenant, Assistant Lecturer
University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer
Training
Department of Aircraft Onboard Systems
gajdac.laszlo@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0003-2334-6859

Szabó László István

A polgári repülés és repülőterek fejlődése, a modern repülőterek létesítésének, korszerűsítésének szempontjai

Annak ellenére, hogy napjainkban a modern repülőgépekkel való repülés biztonságos, a fel- és leszállások zavarmentes végrehajtásához szükség van jól felszerelt és infrastrukturálisan jól kiépített repülőterekre. A repülőterek létesítményeinek kiépítése és működtetése költséges a repülés technikai fejlődése, a repülőterek amortizációja, a jogszabályi környezet, az üzemeltetési, őrzés-védelmi eljárások és módszerek stb. folyamatos változása miatt. A szerző ebben a cikkben feltárja és rendszerezi a polgári repülés és repülőterek fejlődésének fontosabb korszakait, jellemzőit, a repülőterek létesítésével, korszerűsítésével szemben támasztott követelményeket, továbbá ismerteti a mai modern polgári repülőterek létesítésének, működésének alapvető jogszabályi előírásait.

Kulcsszavak: repülés, repülőtér, létesítés, korszerűsítés, jogszabályok

1. Bevezetés

A repülőterek építése nem ma kezdődött, és különböző fejlődési szakaszokon ment keresztül, mire eljutottunk a mai kor kívánalmainak megfelelő modern polgári repülőterekhez. Az első repülések időszaka a középkorra tehető, de az első ember vezette repülőszervezetre egészen 1903-ig kellett várni, amikor Orville Wright felszállt saját építésű repülőgépével. Összesen 12 s időtartamot és ezalatt 36,5 m-t tett meg [1]. A repülés fejlődésével az emberek felismerték, hogy az komoly kockázatot és veszélyt jelent a környezetre, valamint a repülőeszközök üzemeltetéséhez és tárolásához egyre nagyobb terekre van szükség, ezért a sűrűn lakott helyektől távolabb, például nagyobb kiterjedésű füves területeken alakították ki a repüléshez szükséges bázisokat, de ekkor még nem lehetett repülőterekről beszélni. A repülés történetéről több, a repülőterek létesítéséről és kialakításukról viszont kevesebb tudományos közlemény jelent meg a különböző szakmai kiadványokban. Ezek közül hármat emelek ki, amelyek többnyire a repülőterek környezetre gyakorolt hatásait, repülésbiztonsággal kapcsolatos kérdésköröket, a repülőterek részeit és felhasználásuk módját mutatják be [20], [21]. Kevés olyat találni, amelyek egyszerre vizsgálják és rendszerezik a repülés és a repülőterek fejlődését, a repülőterekkel szemben támasztott követelményeket, ismertetik alapvető jellemzőiket, feltárják a repülés és repülőterek fejlődése közötti kapcsolatot. A repülőterek építése és a repülés fejlődése között szoros kapcsolatot feltételeztek, mivel a repülőgépek mérete, technológiai színvonala és a repülőterek kiépítettsége

és fogadóképessége között ma is szoros összefüggések tapasztalhatók. A szerző ebben a cikkben vizsgálja és röviden bemutatja azokat a repüléstörténeti időszakokat, amelyek befolyással lehettek a mai polgári repülőterek építésére, működésére, ismerteti ezek összefüggéseit, a mai modern repülőterek létesítésének és üzemeltetésének legfontosabb jellemzőit.

A repülőterek¹ alaprendeltetésükben attól függően, hogy polgáriak² vagy katonaiak, felhasználásuk módjában és kategóriájukban is eltérnek egymástól, de kiépítettségükben és jellemzőikben is vannak különbségek. A következő fejezetben bemutatom azokat az általánosan fontosnak tartott repüléstörténeti időszakokat, amelyek a polgári repülés és repülőterek párhuzamos fejlődésére utalnak.

2. A polgári repülés és repülőterek fejlődésének korszakai

„A repülés fejlődéséhez mind a mai napig százezrek, sőt milliók adják tehetségüket és munkájukat, de nem teljesen egyforma eredménnyel. Sokan repülőgépgyárakban, repülőtereken vagy kutatóintézetekben dolgozzák végig életüket, esetleg repülőgépek pilótafülkéjében szántják az eget kilométerek tízmillióit hagyva maguk mögött” [2, p. 7].

A repülés első úttörőit követve, ezek az emberek biztosítják azt a hátteret, amelynek köszönhetően ma repülésről, légi közlekedésről és repülésbiztonságról lehet beszélni. A légi közlekedés célját tekintve, annak több formája ismeretes, de mint szolgáltatást, legtöbb esetben teher- és személyszállításra vesszük igénybe, országok és kontinensek közötti rendszeres vagy különjáratokkal. Ilyen értelemben a repülőterek légi közlekedési csomópontoknak tekinthetők, ahol a biztonsági szabályokat az adott repülőterre vonatkozó „repülőtéri rendszabályok” tartalmazzák. A polgári repülés esetén nem csak a biztonság az első, a kényelem sem hanyagolható el, mert az utazás körülménye jelentősen befolyásolja az emberek komfortérzetét [3, pp. 157–175]. Természetesen ez nem volt mindig így, a mai modern repülőterek létesítéséhez hosszú évtizedek tapasztalatai alapján jutottunk el, amelyek a repülés fejlődésének időszakaihoz szorosan hozzákapcsolódnak.

A polgári repülésnek és a repülőterek fejlődésének öt alapvető időszaka különböztethető meg, amelyek a következők:

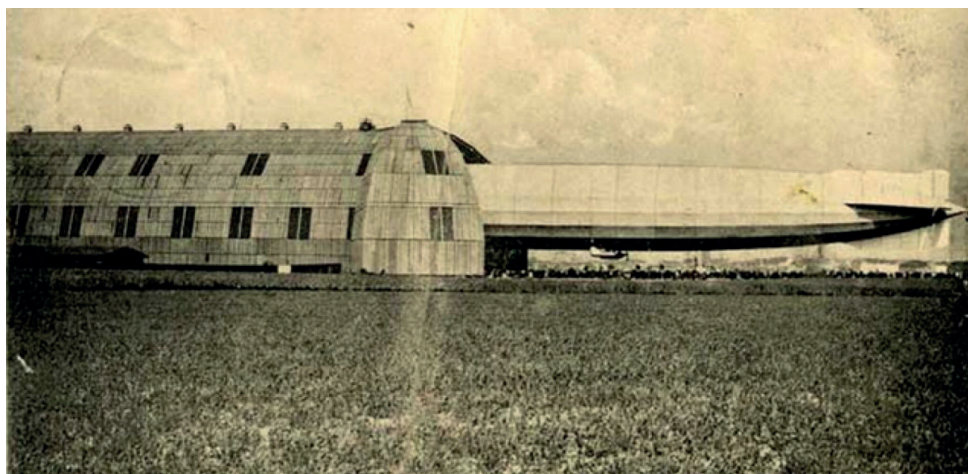
- az I. világháború előtti időszak;
- az I. világháború alatti időszak;
- a két világháború közötti időszak;
- a II. világháború alatti időszak;
- a hidegháború és az azt követő időszak, napjainkig.

¹ A repülőtér fogalma: szárazföldön (vagy vízen) olyan kijelölt területek – beleértve a területen létesített valamennyi épületet, a működéshez és a repülőgépek kiszolgálásához szükséges berendezéseket, technikai eszközöket –, amelyek egészben vagy részben légi járművek indulására, fogadására, tárolására, valamint felszíni mozgására szolgálnak [20, p. 90].

² A polgári repülőterek alaprendeltetése: „Biztosítani a különböző típusú, fajtájú és kategóriájú polgári légi járművek fogadásának, indításának, karbantartásának, tárolásának, javításának és ismételt feladatra történő felkészítésének feltételeit. Rendelkezzen a személy- és áruforgalom zavartalan lebonyolításához, a különböző repülési funkciók és feladatok ellátásához szükséges létesítményekkel, a leszálló, jelző és irányítóberendezésekkel, felelős azok működőképességéért, a repülőtér rendjéért, biztonságos üzemeltetéséért, továbbá külső és belső védelméért” [20, p. 90].

2.1. Az I. világháború előtti időszak, a léghajók kora

Az első, több személy szállítására alkalmas légi jármű a léghajó volt, amelynek őst Henri Giffard építette meg 1852-ben. Igaz, a levegőbe felemelkedett, de kormányozhatatlansága miatt, csak arra volt képes repülni, amerre a szél fújta [4]. „Az első valóban használható léghajóra egészen a századfordulóig kellett várni. A Ferdinand von Zeppelin gróf által benyújtott szabadalom alapján 1899-ben kezdték el építeni Friedrichshafen mellett egy úszó hangárban a Boden-tavon” [4]. A léghajók után a német hadsereg is érdeklődést mutatott, mert a személyszállítás mellett minimális bombateher szállítására is képes volt, valamint a felderítésben is szerepet kapott. Nagy méretük, sérülékenyséjük és bonyolult kiszolgálásuk miatt általában már repülőtérről üzemeltették őket, amire példa az 1. ábrán látható.



1. ábra

L33 jelzésű léghajó és a tárolására alkalmas hangárépület [4]

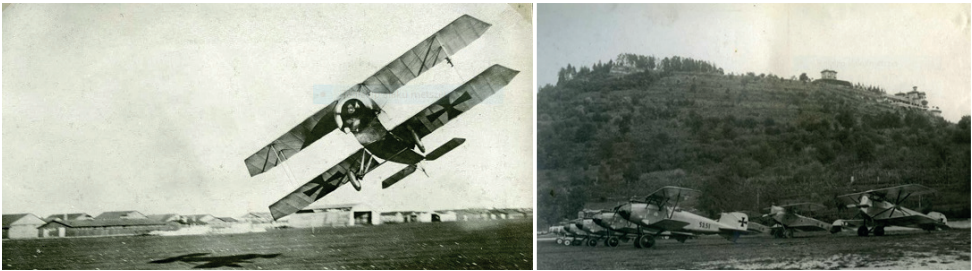
A léghajókat üzemeltető repülőterek nagy területeken helyezkedtek el, és az állóhelyek méretei is nagyobbak voltak, mint az akkor használatos repülőgépeké. Tárolásukra alkalmas hangárok építése nehéz volt, mert a léghajók be- és kivontatása csak széllel szemben volt lehetséges, az oldalszél könnyen a hangárépület oldalának lökhette, ami beláthatatlan következményekkel járhatott volna [5, p. 108]. Kis sebességük, a hozzájuk kapcsolódó balesetek, katasztrófák miatt a léghajók kora az I. világháború elején lezárult [4]. Annak ellenére, hogy a korabeli repülőgépek motorja, sárkányszerkezete, teherbírása nagy fejlődésen ment keresztül, polgári alkalmazásuk nem terjedt el. Ezek a gépek még nem voltak alkalmasak személy- és teherszállításra, fejlesztésüket alapvetően katonai célok határozták meg, polgári oldali érdeklődés alapvetően a légi bemutatók során volt tapasztalható. Ezért polgári repülőterek kialakítása erre az időszakra nem volt jellemző, elegendő volt egy nagyobb füves tér, ahol a fel- és leszállásokat végre tudták hajtani.

2.2. A polgári és a katonai repülés kapcsolata az I. világháború időszakában

A repülés katonai alkalmazásának jelentőségét az országok hadvezetése hamar felismerte. Már a háború kitörése előtt, valamint annak során a repülőgépek fejlesztését elsősorban a katonai szempontok és követelmények határozták meg. Megkezdődött a gépek tömeges gyártása, és a repülőterek kialakítása is ennek megfelelően történt. Jellemző volt rájuk az ideiglenes jelleg, valamint a katonai szervezetekhez való kötődés. Ezeket elsősorban a katonai gépek fogadására, üzemeltetésére, robbanó- és haditechnikai anyagok tárolására, valamint a kiszolgáló személyzet elhelyezésére alkalmas, minimális infrastruktúrákat építettek ki. A katonai célok miatt a polgári feladatokra alkalmas repülőgépek fejlesztése háttérbe szorult, valamint a meglévő polgári repülőterek is katonai feladatokat láttak el.

Kezdetben a repülőgépeket a háborús időszakban végzett feladatoknak megfelelően felderítésre, kis méretű bombák ledobására, valamint légi harcra tervezték és használták. Később a fejlesztések kiterjedtek katonai személyek és teher szállítására, ami a háború után a polgári felhasználás alapját képezte.

A háború alatti katonai repülőgépeket a 2. ábrán is látható füves repülőterekről üzemeltették, ahol könnyen tudtak le- és felszállni, mert elegendő terület állt rendelkezésükre. A repülőtereken alapfeladat volt a gépek üzemanyaggal való feltöltése, a fegyverek lőszerrel való ellátása, bombák berakása vagy külső felfüggesztése, a személyi állomány elhelyezése, a gépek tábori körülmények közötti javítási, valamint a hadianyagok tárolási feltételeinek biztosítása. Új repülőtereket csak a katonai stratégiai szempontból fontos területeken létesítettek, vagy csupán megfelelő méretű füves területeket jelöltek ki erre a célra ideiglenes jelleggel.



2. ábra

Katonai repülőterek kialakítása az Osztrák–Magyar Monarchia idején [6]

A háborút megelőző időszakban épített repülőterek és léghajók üzemeltetésére is alkalmas repülőterek fejlesztése a polgári légi közlekedés háttérbe szorulása miatt lelassult, annak ellenére, hogy a katonai repülés fejlesztési eredményei és tapasztalatai a polgári repülésben is éreztették hatásukat.

2.3. A polgári repülés és repülőterek fejlesztése a két világháború közötti időszak alatt

A két világháború között a polgári repüléssel és repülőterekkel kapcsolatban látványos fejlődés volt tapasztalható, de már békésebb keretek és körülmények között. Erre megvolt a társadalmi igény, amely lehetővé tette a technikai fejlődést, valamint a katonai repülés tapasztalatainak felhasználását. A repülés és a repülőterek területén folyó katonai és polgári fejlesztések kettéváltak, és párhuzamosan haladtak egymás mellett. A különböző kutatási és tudományos eredményeket mindenki a saját céljainak elérése érdekében használta fel. A polgári fejlesztés célja a repülőgépek sebességének, hatótávolságának, szállító kapacitásának, az utasok repülés közbeni komfortérzetének növelése, valamint olyan repülőterek kialakítása volt, amely létesítményeivel együtt biztosítja a repülés teljes körű kiszolgálását, lehetővé teszi a meglévő közlekedési és úthálózathoz való csatlakozást, az utazási célpontok gyors elérését. Ennek érdekében a repülőgépek tervezése is átalakult, megjelentek a hidrolánok, sítalpakkal ellátott, valamint a hajók fedélzetére is leszállni képes repülőgépek. Az utóbbiak elsősorban katonai, haditengerészeti célokat szolgálták és szolgálnak ma is [7]. A hidrolánok méreteiket tekintve nem maradtak el a szárazföldről üzemeltethető társaiktól. Ilyen repülőgéptípus volt a 3. ábrán látható Dornier Do X típusú repülőgép is [5, pp. 108–113].



3. ábra

„A Dornier Do X a világ legelső repülőgépe, amely száznál több utassal emelkedett a levegőbe” [8, p. 108]

Egyre nagyobb számban építették a személy- és teherszállító repülőgépeket, vagy bombázókat alakítottak át ilyen célra.

Az 1920-as évektől kezdődően a repülőtereken egyre gyakrabban alkalmaznak olyan kommunikációs és rádió navigációs eszközöket, berendezéseket, amelyek segítségével a repülőgépek személyzete meteorológiai és navigációs információkat kaptak, ezáltal növelve a repülés biztonságát, a repülőterek pontos megközelítését és elérését. Ebben az időszakban kezdődött el a rádióirányadók földi telepítése, és vált a repülés részben földről irányított tevékenységgé. A rádióforgalmazás kezdetekben csak repülőterek között mehetett végbe,

de a repülőgépek fedélzetére felkerült kommunikációs berendezések lehetővé tették a repülőterek és repülőgépek között is az információcserét. Ekkor a légi forgalom nagysága még nem követelte meg a repülésirányítási szolgálatok felállítását, de a földi rádió-iránymérő szolgálat már tájékoztatást adhatott a repülőgépeknek a repülés biztonságosabb végrehajtásáért és az összeütközések elkerüléséért. A légi forgalom folyamatos növekedése miatt, az 1930-as években Magyarországon is létrehozták az első légi rádiószolgálatokat, amelyek a meteorológiai, irányjelző és helymeghatározó, magántávíró-, légijármű-rádiószolgálatokat foglalták magukban [9].

Ebben az időszakban a repülőterek infrastruktúrája is nagy fejlődésen ment át, hangárak, irányítótornyok, fel- és leszállópályák, gurulóutak, utak, raktárak, utasforgalmi épületek, ellenőrzési pontok, víz-, csatorna- és elektromos hálózatok, javítóbazisok, szolgálati létesítmények stb. épültek. Ilyen volt például a 4. ábrán látható angliai Croydon repülőtér is.



4. ábra

Az első repülőgép megérkezése a Croydon repülőtérre 1929. július 29-én [10]

Természetesen nem minden polgári repülőtér rendelkezett ezekkel a létesítményekkel, csak a nagyobb forgalmat ellátó légi bázisok, vagy a kiemelt repülőterek.

2.4. A II. világháború hatása a polgári repülésre és a repülőterek fejlesztésére

Ebben az időszakban a repülőgépek fejlesztésével, valamint a repülőterek építésével, használatával kapcsolatban ismét a katonai célok és szempontok kerültek előtérbe. A polgári repülés fejlődése nem állt teljesen, de jelentősen lelassult, mert a katonai fejlesztések ismét a középpontba kerültek. A polgári légi közlekedés nem szűnt meg teljesen, a háborúmentes

országokban változatlanul tovább folyt, de a katonai tevékenységekhez és légi harcokhoz közeli területeken a repülések száma csökkent, mert könnyen a légi csaták célpontjává válhattak³ [11].

A meglévő, stratégiailag fontos polgári repülőterek használata és fejlesztése is nagy változáson ment keresztül. Voltak olyanok, amelyek egyszerre láttak el polgári és katonai feladatokat – katonai irányítás melletti vegyes üzemeltetés –, de gyakran a katonai célok érdekében átalakították, vagy átalakítás nélkül használták tovább őket. Arra is volt példa, hogy a polgári repülőterek hangárépületeit használták fel katonai vadász- vagy szállító repülőgépek építésére, összeszerelésére, esetleg a katonai légi eszközök fejlesztési céljaira. Az ilyen repülőterek komoly légvédelemmel rendelkeztek [12].

Ebben az időszakban a háborút viselő országokban polgári célú repülőterek csak ritkán épültek, ha mégis, akkor ezeket területileg úgy helyezték el, hogy az ellenséges bombázó kötelékek előtt, amennyire lehetett, rejtve maradjanak, valamint biztosított legyen a különböző raktárak, ipari létesítmények gyors elérése a szállítási feladatok érdekében. Mivel a szállítási feladatok elsősorban katonai célokat szolgálták, a repülőterek és a környezetükben elhelyezett létesítmények légvédelmét szintén meg kellett oldani [13]. A korabeli polgári repülőterek kialakítása és kiépítettsége hasonló volt hazánk budaörsi repülőteréhez (5. ábra). Viszont a repülőterek által fogadott gépek méreteit, forgalmát, gazdasági szerepüket tekintve egyre több olyan légi bázis épült, amelyek már szilárd burkolatú futópályákkal, nagy méretű forgalmi előtérrrel, garudoutakkal és irányítótornyokkal rendelkeztek.



5. ábra

Budaörsi repülőtér forgalmi épülete és légi felvétel a repülőtérrel az 1940-es években [14], [15]

Az ilyen kiépítettségű repülőterek létesítésére vagy a meglévők korszerűsítésére egyre nagyobb igény volt már a háborút megelőző időszakban, amit a repülőgépek technikai fejlődése is szükségessé tett. A háború alatt ez a fejlettségi színvonal megmaradt, csak a létesítmények kerültek alapvetően katonai irányítás alá. A II. világháború végével a katonai repülőgépgyártásban elért eredményeket a polgári repülőgépek tervezésénél is felhasználhatták, és ezen a területen látványos fejlődés indult meg.

2.5. A polgári repülés és repülőterek fejlődése a hidegháborútól napjainkig

A II. világháború után a polgári repülésben is beköszöntött a „jet korszak”. A motoros repülőgépek használata mellett egyre több gázturbinás sugárhajtóművel rendelkező repülőgép

³ Ez egyébként máig érvényes, ezért a háborús területek fölött a polgári célú repüléseket korlátozzák, és a segélyszállítványokon kívül egy légitársaság sem indít járatokat. Ezeket a területeket jó messziről elkerülni, mert könnyen a légvédelem áldozatává lehet esni. Jó példa erre az Irán által 2020. január 8-án lelőtt, Teheránból Kijevbe tartó Boeing 737-es ukrán utasszállító repülőgép esete [11].

jelent meg a légi közlekedésben. Az új repülőgépek nemcsak nagyobb személy- és teherszállítási kapacitásokkal rendelkeztek, de megbízhatóságuk és a repülési sebességük is jelentősen megnőtt. A mindennapok során a repülőgépek elfogadott közlekedési eszközzé váltak, ezáltal a légi közlekedés a tömegközlekedés részévé vált. A nagyvárosok mellett légitikítők épültek, ahonnan percenként emelkedtek levegőbe a több száz utast szállító óriásgépek, és indultak a világ minden tája felé [3, p. 24].⁴ A repülőgépek sebességtartománya mellett a méretük, súlyuk és szállítóképességük is megnövekedett oly módon, hogy mára egy A-380 típusú repülőgép több mint 800 utas szállítására is képes [16]. Ezeknek a repülőgépeknek már nem volt elegendő a füves repülőtér, így minden olyan repülőtérnek, amelyek ilyen légi járatokat akartak működtetni, ki kellett építenie azt az infrastruktúrát, üzemeltetési környezetet, ahol ezt biztonsággal megtehették. Ehhez nemcsak a felszállópályák, gurulóutak, állóhelyek, apronok, terminálok, hangárak, irányítótoronyok, földi navigációs berendezések, rádiótechnikai eszközök kiépítésére volt szükség, hanem a radarok, leszállító rendszerek, fénytechnikai rendszerek telepítését is elengedhetetlenné tették. A mai repülőterek a fentiekén túl az utasok komfortérzetének és biztonságának növelése érdekében különböző szolgáltatásokat nyújtanak (üzletek, boltok, postahivatalok, orvosi segélyhelyek, szállások, éttermek, kávézók stb.), valamint biztonsági szolgálatokat, repülőtéri rendőrséget működtetnek.



6. ábra

Civil és katonai gépek fogadására egyaránt alkalmas lesz a pápai repülőtér [17], [18]

A mai igényeknek és követelményeknek megfelelő repülőterek létesítése, üzemeltetése rendkívül költséges, továbbá a nagy kiterjedés és szabad területek miatt egyre gyakrabban alakítanak ki és használnak vegyes üzemeltetésű légi bázisokat, ahol a polgári és a katonai repülés összehangoltan működik.⁵ Az ilyen megoldás nemcsak gazdaságos, de a létesítmények és a repülésirányító és biztonsági berendezéseinek kihasználtsága is hatékonyabb. Hasonló légi bázissá fog válni hazánkban a pápai repülőtér, amelynek kialakítása a 6. számú ábrán látható.

A kormányzati terv megvalósítása folyamatban van.

⁴ Az első sugárhajtású repülőgép az angol Comet típusú személyszállító repülőgép volt, amely 850 km/h sebességgel volt képes repülni és nagy magasságokat elérni. Ennek köszönhetően az utazásra fordított idő jelentős mértékben lecsökkent [3, p. 24]. Több olyan fejlesztés is napvilágot látott, amelyek a hangsebesség átlépésére is képesek voltak, mint például a Tupoljev cég által tervezett és kivitelezett Tu-144-es utasszállító repülőgép vagy a francia Concorde.

⁵ Erre több országban is található példát, így az USA-ban is, ahol ma 21 ilyen repülőtér üzemel. Ezek között található a 179. Légi Szállító Repülőezred állomáshelye Mansfield vagy a 180. Vadászrepülő-ezred repülőtere Toledo város mellett [19, pp. 53–70].

3. A polgári repülőterek létesítésének, korszerűsítésének alapvető szempontjai

A II. világháború után a katonai repülőterek egy részét polgári repülőtérré alakították át, vagy vegyes üzemeltetésüként működtették. Hasonló helyzet alakult ki a hidegháborús korszak végén, amikor a haderő csökkentése keretében több katonai repülőteret bezártak vagy hasznosítottak.⁶ A vegyes üzemeltetésnek számtalan előnye van, de negatív környezeti hatásokkal is számolnunk kell. Például pozitívként kell megemlíteni a költséghatékony és gazdaságos üzemeltetést, az idegenforgalom fellendülését, a közlekedési és ipari infrastruktúra fejlesztését, új munkahelyek kialakulását stb. Negatív hatások közé kell sorolni a környezetterhelést és a környezetszennyezés növekedését, ezen belül is a zaj-, a rezgés-, a fény- és légszennyezés növekedését stb. [19, pp. 53–70].

Új repülőterek létesítésénél vagy meglévők korszerűsítésénél több szempontot is figyelembe kell venni ahhoz, hogy a beruházás és az üzemeltetés gazdaságossá váljon, valamint társadalmilag és nemzetgazdasági szempontból is támogatott legyen.

Ezek a szempontok a következők:

- a repülőterek stratégiai és nemzetgazdasági szempontjai;
- közlekedés- és foglalkoztatáspolitikai szempontok;
- földrajzi és meteorológiai szempontok;
- helyszínekiválasztás és infrastrukturális szempontok;
- technológiai fejlődés és a környezetvédelmi szempontok.

3.1. A repülőtér stratégiai és nemzetgazdasági szempontjai

A repülőtereknek fontos stratégiai szerepük van egy ország életében. Kihat a gazdaság fejlődésére, szükség van rá a katonai védelem, a hadiipar területén, de befolyásolja a környezetben lévő területek infrastruktúrájának fejlesztését és az ott lakók foglalkoztatási és szociális helyzetét is [20, p. 91]. Egy repülőtér létesítése magával hozza az úthálózatok és az ipar fejlődését, megélhetést biztosít a környezetében élő lakosság számára, de „pozitívan befolyásolja egy adott ország kereskedelmét, a termelés fejlesztését, ezáltal hozzájárul az adott ország GDP-növekedéséhez” [20, p. 91]. A fejlődést nagymértékben befolyásolja az a tényező, hogy a polgári repülőterek rendkívül profitorientáltak, önállóan képesek olyan bevételre, amely a modernizációs lehetőségek egy részét pénzügyi szempontból fedezi. A nagyszámú utasforgalom, valamint a repülőtereken kiépített üzletek bérleti díjából képesek olyan másodlagos pénzbevételei forrásokhoz is hozzájutni, amelyet be tudnak forgatni a fenntartási, felújítási, valamint a modernizációt érintő költségekbe.

⁶ Hazai példaként kell megemlíteni a sármelléki és debreceni volt szovjet katonai repülőtereket, amelyeket a szovjet csapatok kivonása után polgári repülőtérré hasznosítottak.

3.2. Közlekedés- és foglalkoztatáspolitikai szempontok

A polgári repülőterek többsége különböző légi járművek fogadására és üzemeltetésére alkalmas, rendelkeznek azokkal a létesítményekkel, infrastruktúrákkal, amelyek ehhez szükségesek. A légi és földi kiszolgálás érdekében működtetett létesítményeket, eszközöket, berendezéseket, repülésirányítási és biztonsági rendszereket üzemeltetni kell, továbbá gondoskodni kell az ott található objektumok őrzés-védelméről és azok karbantartási munkálatairól is. Ez munkahelyeket teremt, ami hozzájárul a környezet lakosságának foglalkoztatásához és életszínvonalának emeléséhez, de pozitívan hat a környezet és az ország gazdaságára is [20, pp. 89–113].

Ki kell emelni azt a tényt is, hogy a repülőtér környezetében lévő települések új befektetőket, vállalkozásokat vonzanak, amelyek további munkahelyeket teremtenek, földterületeket vásárolnak, beruháznak és adót fizetnek. Ez viszont lehetőséget teremt az adott terület infrastruktúrájának fejlesztésére is [20, pp. 89–113]. „A terület közlekedési rendszerének fejlődése pedig maga után vonja az ipar fejlesztését, a beruházások számának növekedését” [20, p. 92].

3.3. Földrajzi és meteorológiai szempontok

Repülőterek létesítése esetében fontos szempont a fel- és leszállópályák tájolása, előzetes felmérési adatok alapján el kell készíteni az uralkodó szélirány szerinti széleloszlási tanulmányt, és annak figyelembevételével kell a felszállópályákat kiépíteni. Ez tartalmazza azokat az adatokat, meteorológiai jellemzőket, amelyekből következtetni lehet a szélökések, a turbulenciák gyakoriságára és sajátosságaira. Továbbá úgy kell a felszállási és leszállási irányokat meghatározni, hogy azok ne érintsenek olyan létesítményeket, amelyekre a repülőgépek által keltett zavaró hatások veszélyt jelentenek (például iskolák, kórházak, ipari létesítmények, sűrűn lakott területek stb.). Természetesen a felszállópálya hossz tengelyének vonalában el kell tudni helyezni a bevezető fényeket, rádió-irányadó berendezéseket. Ki kell alakítani a végbiztonsági területeket is, így ezek távolságával is számolni kell [21, p. 57]. Figyelembe kell venni a fel- és leszállóirányok közelében elhelyezkedő természetes és mesterséges terep akadályokat, amelyek nagymértékben befolyásolhatják a pályák megközelítését (például meredekebb síklópályát eredményezhet). Ez főleg a rossz időjárási viszonyok között jelenthet nagyobb kockázati tényezőt, mert ilyenkor a leszállópályák láthatósága (7. ábra) különböző mértékben korlátozott lehet.



7. ábra

Leszállópálya megközelítése különböző időjárási viszonyok között [21, p. 70]

A meteorológiai viszonyok a terepdomborzattal és a klimatológiai helyzettel szorosan összefüggnek. Nem mindegy, hogy a repülőteret vízpart mellé (tavak, folyók, óceánok, tengerek), hegyek közé vagy sík területre építik. Az éghajlati viszonyok egyértelműen meghatározzák a repülőtér időjárását, ami a repülőgépek üzemeltetését szintén nagymértékben befolyásolhatja. Ezért azokon a repülőtereken, amelyek korszerű repülőgépeket rosszabb időjárási viszonyok között is fogadnak, ki kell építeni a szükséges modern leszállítórendszereket, amelyek rendkívül költségesek.

3.4. Helyszínikiválasztás és infrastrukturális szempontok

A repülőterek olyan közlekedési csomópontoknak tekinthetők, amelyek könnyű megközelítése elengedhetetlen. A telepítés helyét úgy kell megválasztani, hogy az a lehető legtöbb irányból, közlekedési formával és eszközzel megközelíthető legyen. Ezeket már a repülőterek létesítésével párhuzamosan célszerű kiépíteni, korszerűsíteni vagy bővíteni, hogy közlekedési akadályok ne alakuljanak ki. Az ipari létesítmények közelsége repülésbiztonsági problémát okozhat, mert a magas gyármérmények kikerülése külön biztonsági előírások betartását igényli, ami terhet jelent a repülésirányítókra és a repülőgépek személyzetére egyaránt. Nem beszélve arról, ha veszélyes anyagokat tároló vagy feldolgozó üzemre egy repülőgép le- vagy felszállás közben rázuhan, az súlyos, beláthatatlan környezetszennyezési következménnyel járhat.

3.5. Technológiai fejlődés és környezetvédelmi szempontok

A repülőterek modernizációját, fejlesztését nagyban befolyásolják a környezetvédelmi és egyéb jogszabályi változások, valamint a technológiai fejlődés. A repülőgépgyártók fejlesztéseinek ütemével a repülőtereknek nehéz lépést tartani, de a repülés és az utasok biztonsága érdekében ez elkerülhetetlen. A polgári repülőterek üzemeltetőinek minden technikai, technológiai és pénzügyi eszközt fel kell használni ahhoz, hogy a jogszabályi előírásokat betartsák, elkerüljék

a levegő-, talaj-, és vízszennyezést, valamint csökkentsék a zaj-, a rezgés-, a fény- és sugár- szennyezést, ezáltal a repülőtér természetes és mesterséges környezetének terhelését. Kiemelt figyelmet kell fordítani a szelektív hulladékgyűjtő helyek kialakítására, a veszélyes anyagok biztonságos tárolására és szállítására. A zajterhelések csökkentésére különböző technikai és szervezési módszerek alkalmazhatók (például a repülések időintervallumainak korlátozása, zajvédő falak építése, vagy [a 8. ábrán látható] hangszigetelt hajtóművező helyek kialakítása stb.) [22, pp. 114–116]. A polgári repülőterekre vonatkozó jogszabályok megengedik a megújuló energiaforrások használatát, amelyek segítségével a repülőterek környékén az üvegházhatású gázok kibocsátása csökkenthető. Ilyen a szélenergia, a napenergia, a geotermikus energia, a biomassa és biogáz alkalmazásának lehetősége [23, pp. 63–102].



8. ábra
Hangszigetelt hajtóművező hely a Budapest Airport területén, üzem közben [24]

Az üzemeltetőknek folyamatosan végre kell hajtani a repülésbiztonságot növelő technológiai háttér fejlesztését, ami magában foglalja az üzembiztos kiszolgáló berendezéseket, a leszállító- és fénytechnikai rendszereket, a rádió-irányadókat stb. A modernizációnak ki kell terjednie a víz-, hő- és áramellátó berendezések, a hálózatok korszerűsítésére, a biztonságos üzemeltetés feltételeinek kialakítására [25, p. 55–78].

4. A modern polgári repülőterek kialakítása, a vele szembeni elvárások, követelmények és jogszabályi háttér

Napjaink polgári repülőtereinek kialakítása eltérő, és különböző jellemzők vannak, aminek oka elsősorban a sajátos földrajzi helyzet, a meteorológiai viszonyok, valamint a természeti környezet adottságai, a légi közlekedésben elfoglalt helyük és technikai színvonaluk (például más pályairányokkal rendelkeznek, eltérhetnek a gurulóutak, apronok, raktárhelyiségek, utasterminálok méretében, számában és kialakításában). A modern polgári repülőterek létesítése és üzemeltetése költséges és nem egyszerű feladat, mert meg kell felelniük az adott

kor kihívásainak, társadalmi és gazdasági elvárásainak, valamint a repülőgépek technikai fejlettségi színvonalának [20, p. 94].

4.1. A modern repülőterekkel szembeni elvárások, követelmények

Egy modern repülőtér tervezése, kivitelezése során a következő elvárásokat, követelményeket kell figyelembe venni és betartani:

- gazdasági, társadalmi és szociális elvárások, követelmények;
- ismerni kell a környezet infrastrukturális helyzetét, a fejlesztés várható feladatait és költségét, legyen összhangban a terület rendezési és fejlesztési tervével;
- környezetvédelmi szempontok, követelmények és jogszabályi előírások betartása;
- a repülőtér elhelyezése és funkciója illeszkedjen és feleljen meg az ország közlekedési, védelempolitikai elképzeléseinek, valamint gazdasága teherbíró képességének;
- rendelkezzen a működtetéséhez szükséges infrastruktúrával;
- a településektől biztonságos távolságra helyezkedjen el, legyen könnyen megközelíthető és bekapcsolható a helyi, valamint az országos közlekedési hálózatokba;
- meg kell felelnie a földrajzi, meteorológiai, környezetvédelmi kívánalmaknak és a technológiai fejleszthetőségnek;
- ki kell építeni azokat a biztonsági rendszereket, amelyek képesek megakadályozni az illetéktelenek behatolását és elhárítani egy külső, ártó szándékú támadást;
- rendelkeznie kell mindazon objektumokkal, létesítményekkel, infrastruktúrával, amelyek szükségesek az üzemeltetéshez, a repülőtér alaprendeltetésével összefüggő feladatok biztonságos ellátásához [20, p. 94].

4.2. A modern repülőterek kialakítása, felépítése

Napjainkban a polgári repülőtereknek szigorú követelményeknek kell megfelelni, amelyeket már az építés során figyelembe kell venni. Ezek közül ki kell emelni a felszállópályák, gurulótutak, állóhelyek, apronok tájolását, méreteit, teherbírását, felületi állapotát, víztelenítő rendszerrel való ellátottságát, jégmentesítését, a szükséges jelzések telepítését, biztonságos használhatóságát, valamint a területi bővíthetőségét. Továbbá fontos a repülőterek jó megközelíthetősége, a légi forgalomba való beilleszthetősége, az indulási útvonalak akadálymentessége, a lakosságot zavaró hatások kiküszöbölése vagy minimumra csökkentése [26, p. 336]. A működéshez és a feladatok ellátásához további létesítményekre és objektumokra van szükség, ezek elhelyezésének egy lehetséges változata a 9. ábrán látható.



9. ábra

Bangkok repülőterének elvi kialakítása, felépítése [20, p. 90]

A modern polgári repülőtereknek rendelkezni kell az üzemeltetéshez szükséges hangárakkal, műhelyekkel, szolgálati helyekkel, kiszolgáló létesítményekkel, irányítótoronnyal, repülésbejelentő és meteorológiai szolgálati irodával, navigációs, optikai és fénytechnikai berendezésekkel, radarokkal, leszállító rendszerekkel, energiaellátással és közműszolgáltatással, üzemanyagbázissal, belső úthálózattal, közműrendszerrel, zajvédő berendezésekkel [26, pp. 305–340]. Fontosak még a szociális, oktatási, mentő-, tűzoltó létesítmények, vadriasztó rendszerek, kerítések, kamerarendszerek, őrzés-védelmi eszközök, terroristamerényletek megelőzésére alkalmas műtárgyak, tűzjelző berendezések, távközlési rendszerek [27]. A fentiekén túl az utasok komfortérzetének és biztonságának növelése érdekében a repülőtereknek különböző szolgáltatásokat kell nyújtani. Ezek közé tartoznak a különböző kereskedelmi és vendéglátó egységek, postahivatalok, orvosi segélyhelyek, szállások, valamint biztonsági szolgálatokat és repülőtéri rendőrséget is működtetnek.

Összességében elmondható, a „polgári repülőterek forgalmi bázisának kialakítása és elrendezése akkor helyes, ha telepítése, elrendezése és technológiai folyamata harmonikusan illeszkedik a térség és a repülőtér infrastrukturális kialakításához annak érdekében, hogy az utasok számára a földről a légi közlekedésre való áttérés töreszmentes legyen” [20, p. 94].

4.3. A repülőterek fejlesztésének, korszerűsítésének okai, követelményei

Annak ellenére, hogy az új repülőterek alapvetően korszerű technikával és berendezéssel rendelkeznek, az idő múlásával ezek elhasználódnak, amortizálódnak, valamint korszerűtlenné válnak. A korszerűsítés alatt nem csak a technikai eszközök modernizálását kell érteni,

ide tartoznak azok az infrastrukturális fejlesztések, területi bővítések, új létesítmények és objektumok beruházásai, valamint olyan rendszerek kiépítése is, amelyek a repülőterek kapacitásának bővítését, védelmét és a repülés biztonságát növelik. A technikai eszközök fejlesztésének, korszerűsítésének gyakoriságát a jogszabályi előírások mellett, alapvetően a repülés és az üzemeltetés biztonsága, a repülés területén tapasztalható gyors technikai fejlődés, valamint a repülőterek kiépítettsége és technikai felszereltségének színvonala határozza meg. A korszerűsítés elsősorban gazdasági oldalról jelent nehézséget a repülőteret üzemeltetőknek, anyagi források hiányában nem, vagy csak nehezen tudnak lépést tartani a repülőiparban végbemenő rohamos fejlődéssel.

A repülőterek fejlesztésének, az üzemeltetés technikai és technológiai korszerűsítésének alapvető szempontjai, követelményei az alábbiak:

- a fejlesztéseknek és korszerűsítéseknek összhangban kell lenni a technikai, technológiai fejlődéssel;
- meg kell felelni az üzemeltetéssel és a működtetéssel összefüggő technológiai szabályoknak, követelményeknek;
- összhangban kell lennie a területfejlesztési előírásokkal, stratégiákkal;
- meg kell felelni a környezetvédelmi és természetvédelmi elvárásoknak, jogszabályi rendelkezéseknek;
- a fejlesztéseknek és korszerűsítéseknek növelnie kell az üzemeltetés megbízhatóságát, a repülés biztonságát, valamint az őrzés-védelmi feladatok végrehajtásának színvonalát;
- a fejlesztési beruházások gazdaságosak kell legyenek, növelniük kell a repülőterek szolgáltatási és megbízhatósági képességeit, csökkenteniük kell a repülőterek környezetterhelésének negatív hatásait [20], [26], [27].

A jogalkotók a repülés biztonsága érdekében, valamint a környezetvédelemmel összefüggő társadalmi elvárások figyelembevételével egyre szigorúbb jogszabályokat dolgoznak ki, amelyeket minden repülőtér üzemben tartójának és üzemeltetőjének ismerni kell, valamint az abban foglaltakat be kell tartani. Ezért a fejlesztésekre, a korszerűsítésekre rövid és hosszú távú terveket célszerű készíteni, és a feladatokat összehangoltan kell végrehajtani.

4.4. A modern repülőterek létesítésének és korszerűsítésének jogszabályi háttere

A repülésre és repülőterekre vonatkozó jogszabályi hátteret vizsgálva megállapítható, hogy alapvetően a nemzetközi ajánlások és irányelvek figyelembevételével készült nemzeti jogszabályok rendelkeznek a repülőterek létesítésével, kialakításával, üzemeltetésével, környezeti hatásaival kapcsolatban.

Ezek közül a legfontosabb hazai rendelkezések a következők:

- „176/1997. (X. 11.) Korm. rendelet a repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének szabályairól;
- 26/2007. (III. 1.) GKM-HM-KvVM együttes rendelet a magyar légtér légiközlekedés céljára történő kijelöléséről;

- 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet a zajkibocsátási határértékek megállapításának, valamint a zaj- és rezgés-kibocsátás ellenőrzésének módjáról;
- 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról;
- 49/1999. (XII. 29.) KHVM rendelet a motoros légi járművek zajkibocsátásának korlátozásáról;
- 159/2010. (V. 6.) Korm. rendelet a repülőtér létesítésének, fejlesztésének és megszüntetésének, valamint a leszállóhely létesítésének és megszüntetésének szabályairól;
- 18/1997. (X. 11.) KHVM-KTM együttes rendelet a repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének részletes műszaki szabályairól" [22, p. 138].

A fenti jogszabályok előírásait, amelyek a repülőterek csoportosításáról, létesítéséről, fejlesztéséről és megszüntetéséről, ezekre való engedélyek kiadásának menetéről, a biztonsági zónákról, akadálymentes és a zajgátló védőövezetek kijelöléséről, hasznosításuknak és megszüntetésüknek szabályairól, valamint igénybevételek jogosultsági rendelkezéséről szólnak, mindenkinek be kell tartani, aki érintett az ilyen feladatok végrehajtásában.

A jogszabályok rendelkeznek még a zajgátló védőövezetek határainak kiszámítására vonatkozó szabályokról, az ezzel kapcsolatos hatósági feladatokról, a védőövezetekben való építési és területfelhasználási előírásokról, ezen belül a lakó-, az üdülő- és intézményépületek építésére vonatkozó korlátozásokról, valamint a környezeti és a zajterhelés követelményeiről, amelyeket a tervezőknek, beruházóknak és az üzemeltetőknek egyaránt be kell tartani. Rendelkeznek továbbá Magyarország légterének használatáról, légi közlekedési célra való kijelöléséről, tiltásáról vagy korlátozásáról, magassági határaidőkről és kiterjedésükről, valamint a légi forgalom-irányító felelősségi körzetéről. Továbbá előírásokat és szabályokat tartalmaznak a földi kiszolgáló tevékenységre, az üzemeltetéséhez szükséges eszközök üzemképességére, a légi navigációs berendezések kiépítésére és a hozzájuk tartozó szolgálatok felállítására. Ezek közül ki kell emelni a légi forgalmi, a repülés-meteorológiai, a tűzoltó, a mentő, az elsősegélynyújtó, repülőtér-karbantartó és műszaki mentő szolgálatokat [22], [28], [29], [30], [32], [33].

5. Következtetések

A polgári repülés és repülőterek fejlődéstörténetét vizsgálva megállapítható, hogy voltak sikeres időszakok, de olyanok is előfordultak, például az I. és a II. világháború, amelynek során a katonai fejlesztések és beruházások prioritása miatt a polgári terület fejlődése háttérbe szorult. Megállapítható az is, hogy a füves repülőterek használatától a mai repülőterek kialakulásáig évtizedeknek kellett elteltetni, de a fejlesztések mindig összhangban voltak a repülés és a repülőgépek technikai fejlődésével.

Megfelelően karbantartott és technikailag felszerelt füves repülőterek egészen a gázturbinás repülőgépek megjelenéséig egyaránt alkalmasak voltak a polgári és a katonai dugattyús robbanómotoros repülőgépek üzemeltetésére, kiszolgálására. A nagy méretű és nagy teherbírású repülőgépek fogadására egyes repülőterek rendelkeztek szilárd burkolatú fel- és leszállópályákkal, de olyan gépek is elterjedtek, amelyek fel- és leszállásra a vizek felületét vagy a hajók fedélzetét használták. A hidegháborús időszakban, a gázturbinás hajtóművekkel felszerelt

repülőgépek elterjedésével egészen új korszak kezdődött a polgári repülés és a repülőterek fejlődése területén.

Elengedhetetlenné vált ezek biztonságos üzemeltetéséhez a szilárd burkolatú felszállópályák, gurulóutak, állóhelyek és más kiszolgáló létesítmények, infrastruktúrák stb. építése, valamint a földi kommunikációs, navigációs, radar-, fénytechnikai és egyéb rendszerek telepítése, továbbá az ezeket működtető szolgálatok felállítása. A mai modern repülőterek létesítésénél, fejlesztésénél a jogszabályi előírások mellett figyelembe kell venni a nemzetgazdasági érdekeket, a helyszín kiválasztásának szempontjait, az adott terület közlekedési, földrajzi, meteorológiai adottságait, foglalkoztatáspolitikai helyzetét, valamint a környezetvédelmi és technológiai fejlődési szempontokat is.

Végezetül leszögezhető, hogy a repülés és a repülőgépek technológiai fejlesztése tovább fog fejlődni, ami hatással lesz a meglévő repülőterek modernizálására, korszerűsítésére is, amelynek során figyelembe kell venni a környezetterhelés csökkentésére vonatkozó környezetvédelmi szempontokat és jogszabályi előírásokat.

Felhasznált irodalom

- [1] „A repüléstörténet mérföldkövei,” *Computerworld*, 2018. december 7. Online: <https://computerworld.hu/tech/a-repulestortenet-merfoldkovei-256772.html>
- [2] Háty Gy., szerk., „*A repülés megszállottai*,” Budapest, Typotex Kiadó, 2009.
- [3] Háty Gy., „*Amit a repülésről tudni kell*,” Budapest, Typotex Kiadó, 2005.
- [4] Kovács Dániel, „Tíz híres léghajó,” *Honvédelem*, 2015. október 3. Online: <https://honvedelem.hu/hatter/haditechnika/tiz-hires-leghajo.html>
- [5] Háty Gy., „*Formabontó repülőgépek*,” Budapest, Typotex Kiadó, 2014.
- [6] Hadtörténeti Intézet és Múzeum, „*A császári és királyi Légjárócsapatok története*,” Online: <https://bit.ly/3xYZ2Lg>
- [7] „A törekvés nem nyugszik – Az Ark Royal története 01,” *Hét Tenger blog*, Online: https://htenger.blog.hu/2021/01/25/a_torekves_nem_nyugszik_az_ark_royal_tortenete
- [8] Háty Gy., „*Formabontó repülőgépek*,” Typotex Kiadó, 2014.
- [9] Moys P., „Légi forgalmi irányításunk története (I.) (1920–1945),” in A MALÉV Repülés-és Üzemeltetési Kör 1983. évi konferencia kiadványában megjelent tanulmány bővített kiadása. 2003. január 14. Online: www.hungarocontrol.hu/download/81c2a8af5c-c857a6b156789bb04fd059.pdf
- [10] „Az első repülőgép megérkezése Croydon repülőterre 1929. július 29-én,” Online: <https://i.pinimg.com/originals/bd/f2/c9/bdf2c94c54f2d03f5f6256e4ae221bf9.jpg>
- [11] Németh A., „Repülőrejtély – amit a Teheránnál szerencsétlenül járt ukrán gépről tudni lehet,” *HVG*, 2020. január 10. Online: https://hvg.hu/vilag/20200110_iran_ukrajna_kanada_legibaleset_teheran_raketatamadas
- [12] Tomory Lajos Múzeum, „*A repülőtér rövid története*,” Online: www.tomorylajos-muzeum.hu/helytortenet/a-hazai-legiforgalom-tortenete/a-repulo-ter-rovid-tortenete
- [13] Újszász 45, „*Mátyásföldi repülőtér*,” Online: <http://ujaszaz45.hu/repules/matyasfoldi-repulo-ter>
- [14] „Budapest repülőterei. Rákosmező,” *AeroNews*, Online: www.aeronews.hu/index.php/aerohistory/repulo-ter/181-budapest-repulo-terei

- [15] Budaörsi Repülőtér, *A Budaörsi Repülőtér története*. Online: www.budaorsirepuloter.hu/repuloterunk-tortenete
- [16] „A380,” *Repülni Jól*, é. n. Online: <http://gepmadarak.repulnijo.hu/airbus/tipusok/a-380>
- [17] „Pápa (Párduc),” *Légifotó*, é. n. Online: www.legifoto.com/magyar/oldalak/papa_parduc_repulotere/
- [18] „Civil és katonai gépek fogadására alkalmas repülőtér lesz a pápai bázisból,” *Honvédelem*, 2012. október 26. Online: <https://honvedelem.hu/hirek/hazai-hirek/civil-es-katonai-gepek-fogadasara-alkalmas-repuloter-lesz-a-papai-bazisbol.html>
- [19] Grécs Gy., „Egy katonai repülőtér vegyes hasznosításának kérdései,” *Hadtudományi Szemle*, 4. sz. pp. 53–70. 2018. Online: http://real.mtak.hu/124934/1/HSZ_2018_146_4_Grecs_Gyorgy.pdf
- [20] Szabó S., Tóth R., „Repülőterek kialakítása, létesítményeinek kritikus elemei, védelmük lehetséges műszaki megoldásai,” *Repüléstudományi Közlemények*, 25. évf. 2. sz. pp. 89–113. 2013. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-07-Szabo_Sandor-Toth_Rudolf.pdf
- [21] Mudra I., „*Repülőterek és repülőtéri berendezések*” Jegyzet. Budapest, Repülésoktatási és dokumentációs osztály, 2007.
- [22] Szabó L. I., „A forgó- és merevszárnyas repülőgépek és az általuk használt repülőterek zajterhelése, a csökkentés lehetséges megoldásai, módszerei,” *Katonai Logisztika*, 27. évf. 4. sz. pp. 114–146. 2019. Online: <https://doi.org/10.30583/2019/4/114>
- [23] Herczegh K., *Légikikötők*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1982. Online: www.antikvarium.hu/konyv/dr-herczegh-karoly-legikikotok-28803
- [24] Szabó L. I., „Megújuló energiaforrások alkalmazásának lehetőségei és korlátai a repülőterek üzemeltetése során,” *Katonai Logisztika*, 27. évf. 3. sz. pp. 63–102. 2019. Online: http://epa.oszk.hu/02700/02735/00089/pdf/EPA02735_katonai_logisztika_2019-03_063-102.pdf
- [25] Márványi Péter, „Repülés, 2013. A repülőtér – 2. rész,” *IHO*, 2013. december 29. Online: <https://iho.hu/hirek/repules-2013-br-a-repuloter-2-resz-131228>
- [26] Szabó László István, „A magyarországi volt szovjet katonai repülőterek természetére gyakorolt hatásai és jelenlegi állapotuk,” *Hadmérnök*, 15. évf. 2. sz. pp. 55–78. 2020. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2020.2.5>
- [27] Palotás L., *Mérnöki kézikönyv 4*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1990.
- [28] Mudra I., „*Repülőterek. Repülőterek felületei, rendszerei, berendezései és felszerelései*.” Jegyzet. Budapest, Légi forgalmi és Repülőtéri Igazgatóság Repülésoktatási Központ, 1996.
- [29] 176/1997. (X. 11.) Korm. rendelet a repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének szabályairól. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99700176.kor>
- [30] 26/2007. (III. 1.) GKM-HM-KvVM együttes rendelet a magyar légtér légiközlekedés céljára történő kijelöléséről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A0700026.GKM>
- [31] 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A0800027.KVV>
- [32] 49/1999. (XII. 29.) KHVM rendelet a motoros légi járművek zajkibocsátásának korlátozásáról. Elérhető: <https://uj.njt.hu/jogszabaly/1999-49-20-6B>

- [33] 159/2010. (V. 6.) Korm. rendelet a repülőtér létesítésének, fejlesztésének és megszüntetésének, valamint a leszállóhely létesítésének és megszüntetésének szabályairól. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1000159.kor>
- [34] 18/1997. (X. 11.) KHVM-KTM együttes rendelet a repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének részletes műszaki szabályairól. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99700018.khv>

The Development of Civil Aviation and Airports, the Aspects of the Construction and Modernisation of Modern Airports

Even though today's modern aircrafts are safe to fly, well equipped and well infrastructured airports are needed to ensure smooth take-offs and landings. The construction and operation of airports and their facilities is costly due to technical advances in aviation, the depreciation of airports, the changing regulatory environment and constant changes in operational and security procedures and methods, etc. In this article, the author explores and organises the major periods in the development of civil aviation and airports, their features, the requirements for the construction and modernisation of airports and the basic legal requirements for the establishment and operation of modern civil airports.

Keywords: aviation, airport, establishment, modernisation, legislations

Szabó László István
doktori hallgató, helikopter-másodpilóta
Nemzeti Közzolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Műszaki Doktori Iskola
laci-szabo@freemail.hu
orcid.org/0000-0002-3545-9968

László István Szabó
PhD student, co-Pilot
University of Public Service
Faculty of Military Science and Officer
Training Military Technical Doctoral School
laci-szabo@freemail.hu
orcid.org/0000-0002-3545-9968



Szilágyi Dénes

Számítógépes teljesítményanalízis helyettesítő függvényekkel

Az eddig alkalmazott és a hatóság által elfogadott módszerek hatalmas munkával előállított diszkrét értékhalmozokból választották ki a megadott peremfeltételek alapján az eredményeket (legtöbb esetben teljesítménykorlátozott tömegértékeket) a repülés különböző fázisaiban. Többnyire az így kapott értékek elemzése történt meg algoritmusok segítségével, megadva az üzemeltetőnek az adott feladatra vonatkozó MATOM¹ és az OM² ismeretében a legfontosabb értéket, az ATL³-t. Egy szofisztikált megoldásnak ezek figyelembevételével kell segítséget nyújtani a terhelési dokumentáció elkészítéséhez is.

Kulcsszavak: repülőgép, hajtóműhiba, akadálymentesség, teljesítmény, analízis, függvények, közelítés, tömegkorlátok

1. Bevezetés

A 965/2012 EU rendelet más néven AIR-OPS kereskedelmi és nem kereskedelmi műveletek esetére is egyaránt előírja, hogy a repülési feladat egyik fázisában sem lehet nehezebb a légi jármű, mint amekkora tömeggel egy bekövetkező hajtóműleállás esetén a légi jármű képes végrehajtani a tervezett eljárást, amely biztosítja:

- 1 hajtóműves légi járművek esetén a kényszerleszálláshoz megfelelő felület elérését;
- 2 vagy több hajtóműves légi járművek esetén a vészhelyzeti eljárás végrehajtását úgy, mint egy EOSID,⁴ biztosítja az útvonalon az akadálymentességet hajtómű hiba esetén az útvonal folytatása, avagy kitérő repülőtérre való eljutás során, hogy bármely cél, vagy kitérő repülőtér esetén a hajtóműhibás gép képes legyen végrehajtani a megszakított megközelítéseket is, illetve le tudjon szállni és meg tudjon állni.

¹ MATOM: *Maximum Allowable Take-Off Mass* – maximálisan megengedhető felszállótömeg, amely a repülési feladat bármelyik fázisában a teljesítménykorlátok és a szerkezeti korlátok által megengedhető legkisebb érték.

² OM: *Operating Mass* – Üzemeltetési tömeg. A légi járműnek legalább ilyen nehéznek kell lenni a repülési feladat megkezdésekor, amelyet lényegileg a személyzet, a feladatspecifikus felszerelések és a feladathoz szükséges üzem- és egyéb fogyóanyagok mennyisége befolyásol.

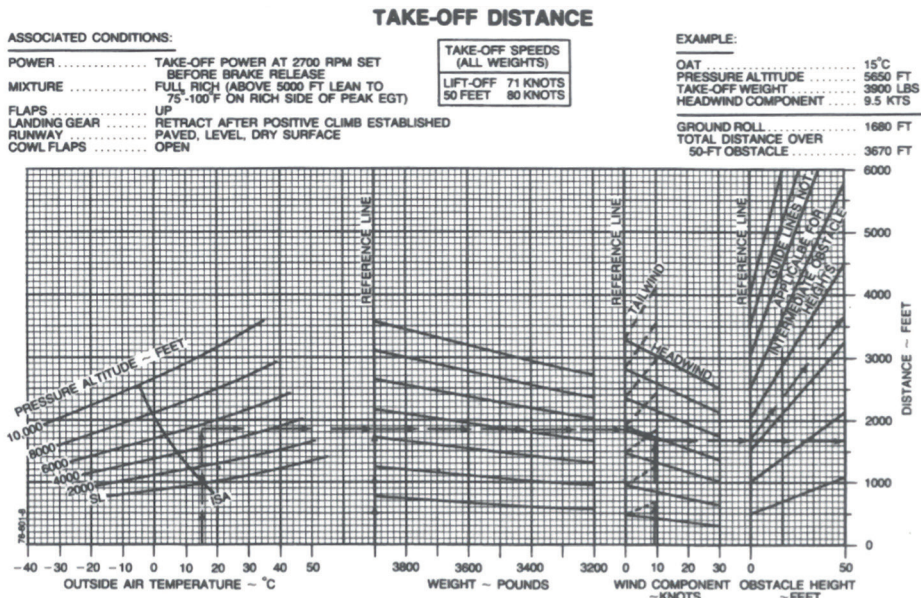
³ ATL: *Allowable Traffic Load* – megengedhető forgalmi terhelés. A MATOM és az OM különbségeként számított érték. Ekkora tömegű utas, poggyász, teheráru stb. vihető a légi jármű fedélzetére.

⁴ EOSID: *Engine-out Standard Instrument Departure* – hajtóműhiba esetén végrehajtandó műszeres indulási eljárás, amely biztosítja a lecsökkent teljesítménnyel a visszatérést az induló repülőtérre.

Ebből látható, hogy a repülés minden fázisára el kell végezni a megengedhető tömeg meghatározását. Ehhez szükség van nagy mennyiségű teljesítményadatra, a környezeti jellemzőkre és a navigációs (domborzati, légi közlekedési) adatokra is, amelyek jó része állandóan változik. Így tehát nemcsak egy új útvonal esetén, hanem egy már korábban megtervezett útvonal esetén is szükség van e számítások elvégzésére. Ezeknek a számításoknak, szerkesztéseknek a kézzel való elvégzése még gyakorlott ember esetén is annyi időt vesz igénybe, hogy a tervezett indulási idő előtt legalább egy nappal korábban el kell kezdeni a tervezési feladatot. Ez viszont azt a veszélyt hordozza magában, hogy hosszabb távon előrejelzett értékekkel kell számolni, amelyek pontossága romlik, amennyiben az előrejelzés intervalluma nő. Nem véletlenül a korszerű számítógépes tervezőrendszerek az indulás előtt átlagosan 30 perccel, tehát friss adatokból készítik el az útvonaltervet, amely mögött ott kell lennie a teljesítményanalízisnek. Sajnos ilyen komplex analízist lehetővé tevő alkalmazások csak a nagy kereskedelmi gépek esetén állnak rendelkezésre. A kisgépes szektorban jobb esetben a rendelkezésre álló teljesítménydiagramokból, az üzemeltetési szükségletnek megfelelő tartományban és finomsággal előre meghatározott diszkrét értékhalmozokon alapuló megoldásokat lehet találni, mint például az [1]. A megfelelő értékek kiválasztásához szükséges diszkrét értékhalmozok előállítása hatalmas munkát igényel a megalkotandó logikai függvények sora mellett. Ettől a megoldástól egyszerűbb, ha folytonos függvények alkalmazásával próbálkozunk. Természetesen ebben az esetben is kell élni közelítésekkel, de a ráfordított munka sokkal kevesebb, a pontossága ugyanakkor vetekszik a másik megoldásával, és a bevitt értékeket nem kell kerekíteni. A szoftveres környezetnek ebben az esetben is a mindenütt fellelhető MS-Excel tűnik a legalkalmasabbnak.

2. A rendelkezésre álló adatok és a helyettesítő függvények

A légi járművek építési előírásainak tartalmaznia kell a típusgazda által (kötelezően) elkészített teljesítményadatokat, amelyeket a légi járművet alkalmazónak használnia kell. Ezek az adatok a fel- és leszállás, az emelkedés és az útvonalrepülés számításához nyújtanak segítséget. Természetesen tartalmazniuk kell a vészhelyzeti (elsősorban hajtóműleállítás) teljesítményjellemzőket is. E munka célkitűzése, hogy illusztrálja, hogyan lehet a rendelkezésre álló teljesítménydiagramokat zárt alakos függvényekkel helyettesíteni. Ezt egy fel- és leszállási úthossz számító diagram helyettesítésén keresztül mutatom be (1. ábra).



1. ábra

Felszálló úthossz által korlátozott PLTOM meghatározására szolgáló diagram (PLTOM: Performance Limited Take-Off Mass – teljesítmény által korlátozott felszállótömeg) [2]

2.1. Az értelmezési tartomány megállapítása

Ahogy az a mintául szolgáló diagramban is látszik, a hőmérséklet és a nyomásmagasság széles tartományban változhat, és e jellemzők függvényében a görbék lefutási jellemzői, például meredekség is jelentősen változnak. Általában – de Európában mindenképp – nem jellemző a repülőterek nagy tengerszint feletti magassága, így az üzemeltetőnek célszerű kijelölni a jellemző alkalmazási tartományt, amivel a feladat egyszerűsödik. Esetünkben ez 4000 ft⁵ alatti nyomásmagasság és -15 °C-tól +40 °C-ig tartó hőmérséklet-tartomány. Természetesen ez ugyanúgy megadható a teljesítmény-adatbázis többi eleménél is. Valamennyi korlátot kell tüntetni az alkalmazás adatbeviteli felületén és a működési leírásban.

2.2. A helyettesítés kivitelezése

A következő bemenő paraméter a TODR_{max}⁶ érték, amelyet a rendelkezésre álló pályahosszból kell meghatározni a jogszabály [3] által előírt tényezők segítségével. Ennek értéke függ attól

⁵ ft: feet – láb.

⁶ TODR_{max}: Take-off Distance Required max – a maximálisan szükséges felszállási távolság.

is, hogy a TODA⁷ tartalmaz-e SWY⁸-t, illetve CWY⁹-t. Az 1. táblázat jeleníti meg az ezzel kapcsolatos szabályozást.

1. táblázat
A TODA faktorálása a SWY/CWY függvényében [3]

Ha nincs SWY és CWY	TODR x 1,25 < TORA
Ha van SWY, de nincs CWY	TODR x 1,3 < ASDA
Ha van CWY, de nincs SWY	TODR x 1,15 < TODA
Ha van SWY és CWY is	TODR < TORA

Tekintettel arra, hogy a kisgépes adatbázisok csak tiszta, vízszintes, szilárd burkolatú pályára vonatkoznak, a jogalkotó bevezetett az ettől eltérő esetek kezelésére szabványtényezőket, amelyeket a 2. táblázat tartalmaz.

2. táblázat
A TODA faktorálása a pályaállapot és pályalejtés függvényében [3]

Rövid száraz fű	1,2
Rövid nedves/hosszú száraz fű	1,25
Hosszú nedves fű	1,3
Laza talaj vagy hó	1,25*
Lejtés 1%	5%

* Kiegészítés: lehet, hogy nem is tud felszállni a gép.

A fenti táblázatnak megfelelő TODR_{max} érték egy MS Excel munkalapon, a vizsgálandó futópálya távolságadatainak (TORA¹⁰/TODA/ASDA¹¹) és állapotának megfelelően könnyen generálható. A 2. ábrából látható, hogy minden egyes jellemző hozzájárul a TODR-értékhez, növelve vagy csökkentve a maga részével azt. A számítási modell lényege, hogy ezeket az összetevőket kell függvényekkel meghatározni, és onnan kezdve az értékek ismeretében a végeredmény – jelen esetben a TODA által korlátozott felszállótömeg (jele: PLTOM¹²) – meghatározható.

2.2.1. A nyomásmagassághoz tartozó $\Delta D1$ érték meghatározása

Itt egy olyan függvényt kell felírni, amely megmutatja, mennyivel változik a szükséges felszállási úthossz a nyomásmagasság függvényében. Az alkalmazás legalsó hőmérséklete $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, tehát ettől csak nagyobb hőmérsékletek jöhetnek számításba, így célszerű a nyomásmagasság hatását kifejező függvényt e hőmérsékletnél a különböző nyomásmagasságokhoz

⁷ TODA: *Take-off Distance Available* – a rendelkezésre álló felszállási távolság.

⁸ SWY: *Stopway* – végbiztonsági sáv.

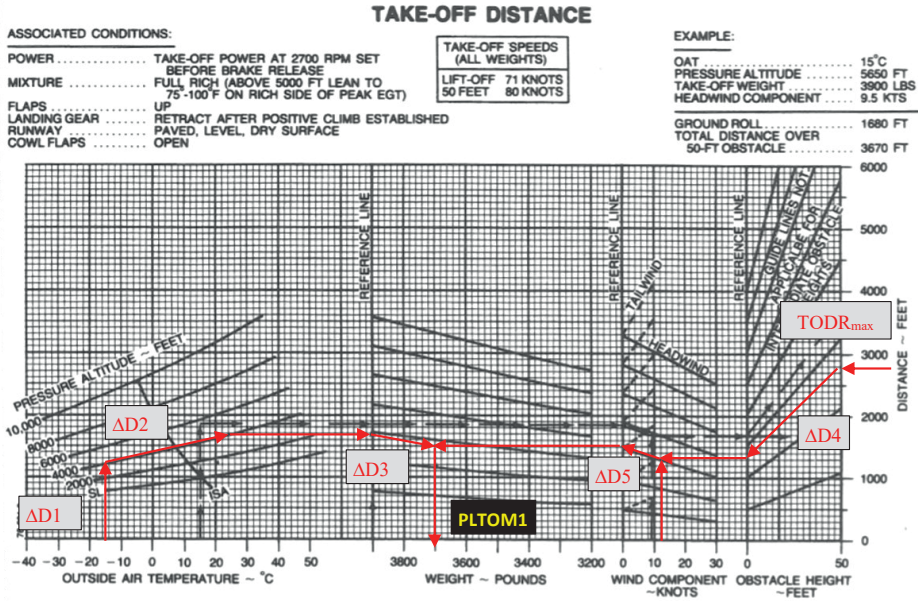
⁹ CWY: *Clearway* – akadálymentes terület.

¹⁰ TORA: *Take-off Run Available*.

¹¹ ASDA: *Acceleration Stop Distance Available* – gyorsításhoz és megálláshoz rendelkezésre álló távolság. Mivel az ASDR számításához van külön diagram, ezért a ASDR \leq ASDA feltételt is vizsgálni kell.

¹² PLTOM: *Performance Limited Take-Off Mass* – teljesítmény által korlátozott felszállótömeg.

tartozó értékek alapján meghatározni (3. ábra). Innen ugyanis a hőmérséklet hatását kifejező függvény megalkotása is egyszerűbbé válik. A $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál húzott függőleges vonal az alábbi értékpárokat eredményezi (3. táblázat):



2. ábra

A TODA által korlátozott PLTOM meghatározásának menete [2]

3. táblázat

A $\Delta D1$ értékpárok [4]

H_p (ft)	$\Delta D1$ (ft)
Sea Level	780
2000 ft	970
4000 ft	1200

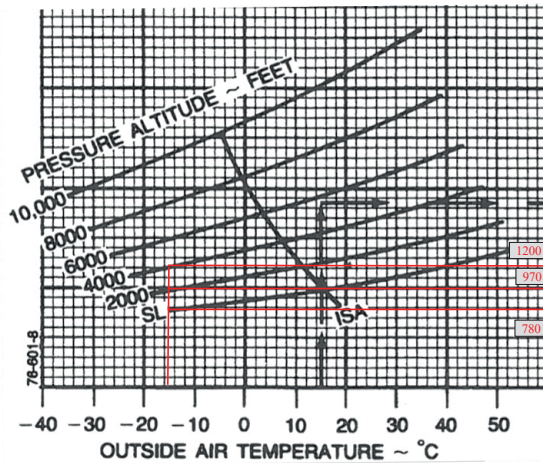
Amennyiben ezeket az értékpárokat egy grafikonban ábrázoljuk (4. ábra) láthatjuk, hogy nem lineáris a kapcsolat közöttük. Az MS Excel diagramszerkesztője lehetővé teszi a trendvonal felvételét, amelynek egyenletét meg is lehet jeleníteni a diagramon. A kapott függvény a következő:

$$\Delta D1 = 0,000005H_p^2 + 0,085H_p + 780 \quad (1)$$

ahol H_p a nyomásmagasság ft¹³-ben megadva és az eredmény mértékegysége is ft. Ez a függvény tehát meghatározza, hogy a H_p milyen mértékben növeli a TODR értékét,

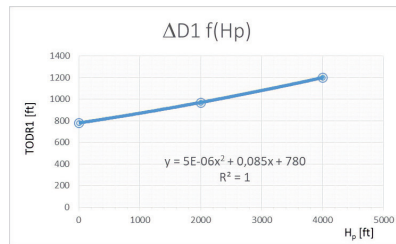
¹³ 0,3048 m.

OAT = $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ esetén. Ezt a távolságot a következő lépésben az OAT¹⁴ és a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérséklet-különbség függvényében kell korrigálni.



3. ábra

A nyomásmagasság hatása a TODR értékére [2]



4. ábra

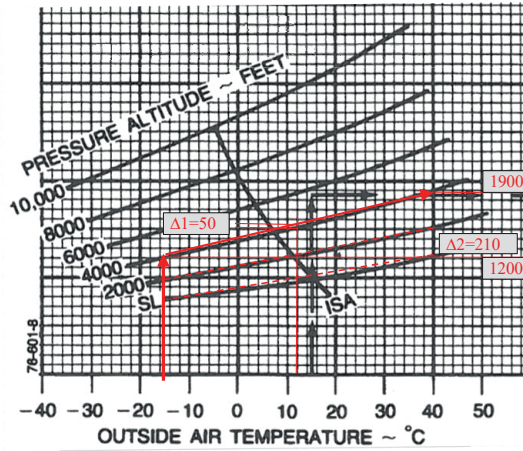
A H_p trendvonalának egyenlete

2.2.2. A hőmérséklethez tartozó $\Delta D2$ érték meghatározása

A $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál nagyobb OAT-értékek miatti felszállási úthosszváltozást $\Delta D2$ jelöli (2. ábra). A két hőmérsékleti végpont a már korábban meghatározott $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ és a $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Az OAT hatásánál a 4000 lábhoz tartozó vonalat (5. ábra) célszerű figyelembe venni, mert annak a meredeksége a legnagyobb. A vonalat lineárisnak tekintem, mivel a legnagyobb eltérés az eredetihez képest $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ esetén $\Delta 1 = 50\text{ ft}$ TODR-növekményt jelent (körülbelül 3%), amivel ismét a biztonság felé térünk el. Látható, hogy alacsonyabb H_p esetén a kalkuláció nagyobb TODR-értékkel számol a ténylegesnél, a maximális eltérés tengerszinten $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ esetén $\Delta 2 = 210\text{ ft}$ (70 m) TODR-többletet eredményez a valóságosnál. Ennek kiküszöbölésére meg

¹⁴ OAT: Outside Air Temperature – külső levegő-hőmérséklet.

kell találni az iránytangensek H_p függését, amelyet ismét csak az értékpárok közötti kapcsolat feltárásával célszerű megoldani.



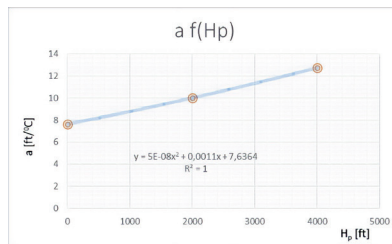
5. ábra

Az OAT hatása és lineáris közelítése [2]

4. táblázat

A H_p meredekség-értékpárok [a szerző]

H_p (ft)	Δz (ft)	meredekség (a) (ft/°C)
4000 ft	700	12,72
2000 ft	530	9,63
Sea Level	420	7,63



6. ábra

Az OAT-vonalak meredekségének H_p függése [a szerző]

Az 5. ábra csak a 4000 lábhoz tartozó TODR-szélsőértékeket tartalmazza a zsúfoltság elkerülése érdekében. Az ábrában 1 osztás a függőleges tengelyen 100 ft TODR-értéknek felel meg. A 4. táblázat mutatja az értékpárokat és a hozzájuk tartozó 55 °C széles értelmezési tartományra számított iránytangens értékeket. Ezeket ábrázolva (6. ábra) a pontokra trendvonalat illetve megkapjuk a meredekség és a H_p kapcsolatát leíró másodfokú függvényt:

$$a = 0,00000005H_p^2 + 0,0011H_p + 7,6364 \quad (2)$$

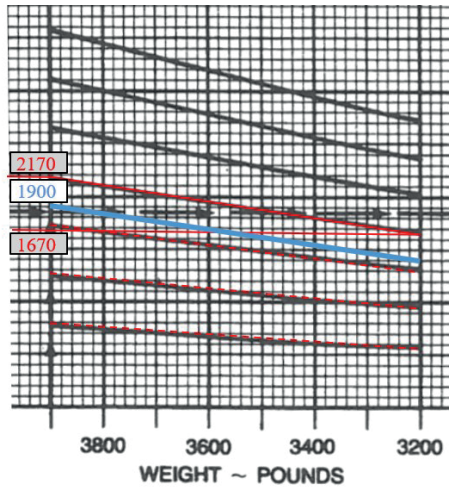
Ennek ismeretében egy adott nyomásmagasságon az OAT által okozott TODR-változás felírható az alábbiak szerint:

$$\Delta D2 = (OAT + 15)(0,00000005H_p^2 - 0,0011H_p + 7,6364) \quad (3)$$

Az $R^2 = 1$ -nek köszönhetően gyakorlatilag nincs eltérés, +40 °C esetén visszakapjuk a $\Delta 2$ értékeket. Ezzel tehát a hőmérsékletfüggés a H_p függvényében változó meredekségű egyenesekkel van meghatározva, amelyek által okozott legnagyobb eltérés az ISA¹⁵-vonal környékén található, és maximum 50 ft TODR-többletet eredményez, ami ismét a biztonság felé való eltérést jelent.

2.2.3. A tömeghez tartozó $\Delta D3$ érték meghatározása

A repülőgép tömege a TODR értékére jelentős hatást gyakorol. A kisebb tömegű repülőgépeknek a gyorsulása nagyobb lesz, az átesési sebessége pedig kisebb, így a nagyobb gyorsulással kisebb átesési sebesség eléréséhez hatványozottan rövidebb úthosszra van szükség, és fordítva.

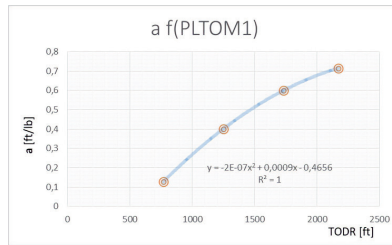


7. ábra
A TOM hatása és lineáris közelítése [2]

¹⁵ ISA: *International Standard Atmosphere* – Nemzetközi Egyezményes Légkör.

5. táblázat
A $\Delta D3$ meredekség-értékpárok [a szerző]

$\Delta D1+\Delta D2$	$\Delta D3$	meredekség (a)
2170	500	0,714285714
1730	420	0,6
1250	280	0,4
770	90	0,128571429



8. ábra
A TOM-vonalak meredekségének TODR-függése [a szerző]

A szerkesztésünk során ebben a fázisban fordul elő először, hogy a TODR-érték bemenő adat lesz a TODR-érték módosításának kiszámolandó. Ugyanis ebben a fázisban ez a TODR, ami bemenő érték a diagramban bal oldalról a H_p és OAT figyelembevételével kapott értékek összege az alábbiak szerint:

$$TODR3 = \Delta DR1 \text{ és } \Delta DR2 \quad (4)$$

Emiatt gyakorlatilag implicit függvényt kapunk, tehát az előző lépések eredményeinek összege szükséges ennek a fázisnak a kiszámításához. Ez azt is jelenti, hogy zárt alakban egyetlen függvényként ezt a problémát nem lehet megoldani. Szerencsére az MS Excel alapon semmiféle problémát nem okoz az egyes lépések értékeinek külön kiszámítása, és utána ezen értékek összegeivel a további számítások elvégzése. Mint látható a 7. ábrán, ennek a belépő TODR-értéknek a függvényében változnak a referenciavonal-meredekségek. A legegyszerűbb módszer ebben az esetben, ha az értelmezési tartományunkban található legmeredekebb referenciavonalat helyettesítő egyenessel dolgozunk. Ez az értelmezési tartományunkban a legnagyobb H_p , OAT és az MTOM-értékekhez tartozó $TODR3 = 1900$ ft távolsághoz tartozó egyenes lenne (7. ábra, kék vonal). Ettől azonban pontosabb megoldást kaphatunk, amennyiben a TODR-értékekhez igazítjuk az alkalmazott egyenes meredekségét. Az 5. táblázat tartalmazza az értelmezési tartományunkat teljesen lefedő 4 referenciavonalat helyettesítő egyenesek paramétereit. A $TODR3$ -értékek a $PLTOM1 = MTOM = 3900$ lb értéknél megállapítottak és a meredekséget a 3900 lb és a 3200 lb közötti 700 lb TOM-tartományra határoztam meg. A korábbi módszernek megfelelően ábrázoltam az értékeket (8. ábra), és a trendvonal segítségével elkészítettem a célfüggvényt:

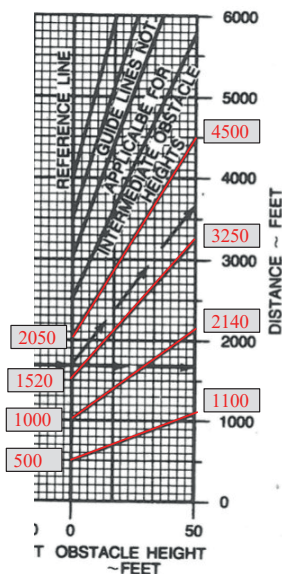
$$\Delta D3 = (3900 - PLTOM1)(-0,0000001642 TODR3^2 + 0,0009 TODR3 - 0,4656) \quad (5)$$

Az $R^2 = 1$ -nek köszönhetően ismét nagyon pontos a közelítés, gyakorlatilag nincs eltérés, TOM = 3200 lb esetén visszakapjuk a $\Delta D3$ értékeket. Ezzel tehát a PLTOM1 függés a TODR3 függvényében változó meredekségű egyenesekkel van meghatározva, amelyek által okozott legnagyobb eltérés a PLTOM1 = 3500 lb-nál húzott vonal környékén van, és csak a legalsó vonal esetén eredményez elhanyagolható mértékű (10–20 ft) TODR-többletet.

2.2.4. Az 50 ft magasság eléréséhez tartozó $\Delta D4$ érték meghatározása

A [3] szerint B teljesítményosztályba tartozó repülőgépek esetén – a kisgépes szektor alapvetően ilyenekből áll – a felszállási úthossz a fékoldástól az 50 ft magasság eléréséig tart (9. ábra). Természetesen a diagram tartalmazza a levegőben megtett távolságot is. Itt is változó meredekségű referenciavonalak vannak, amelyek okozta problémát az előzőekben látott módszerrel célszerű megoldani. Az OAT, a H_p és a PLTOM1 értelmezési tartományának legmagasabb értékei, valamint a HWC = 0 megadják azt a legnagyobb TODR_{max} értéket, amelynél nagyobb értékekkel nem szükséges foglalkozni, mivel már elértük a PLTOM1 = MTOM határt, amely fölé úgysem mehetünk. Így a TODR_{max} = 4500 ft-hez tartozó referenciavonal a legfelső, amellyel számolni kell. A 6. táblázat tartalmazza az egyes referenciavonalak okozta TODR_{max} változást ($\Delta D5$) és a hozzájuk tartozó TODR_{max} értékeket. A 10. ábra mutatja ezek ábrázolását és a trendvonal egyenletét, amely másodfokú. Ez alapján az 50 ft elérését biztosító távolságot leíró egyenlet:

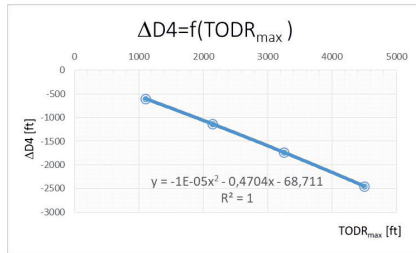
$$\Delta D4 = -0,000013TODR_{max}^2 - 0,4704TODR_{max} - 68,711 \quad (6)$$



9. ábra
Akadálymentesség hatása és lineáris közelítése [2]

6. táblázat
A $\Delta D4$ meredekség értékpárok [a szerző]

TODR _{max}	$\Delta D4$
4500	-2500
3250	-1730
2140	-1140
1100	-600



10. ábra
Akadálymentességet biztosító korrekció [a szerző]

A legnagyobb TODR_{max} megadása mellett szükség van a legkisebb érték megadására is, ahol még egyáltalán képes a repülőgép felszállni a legkisebb PLTOM1 = 3200 lb tömeggel, tengerszinten, -15 °C hőmérsékletnél, és HWC = 30 kt esetén. Ez pontosan TODR_{max} = 1100 ft értéket jelent. A TODR_{max} szélsőértékeit szintén meg kell jeleníteni az adatbeviteli felületen figyelmeztetésként.

2.2.5. A szélhez tartozó $\Delta D5$ érték meghatározása

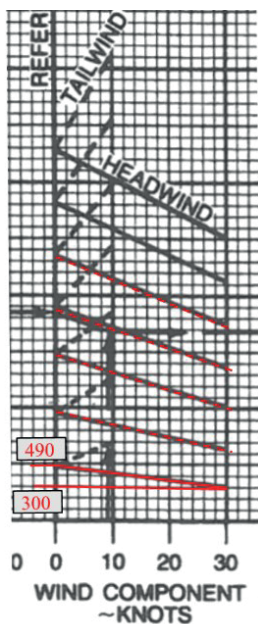
Valamennyi fel- és leszálló teljesítményszámító diagram tartalmazza a szél hatásának figyelembevételét. Minden esetben pályairányú szélkomponenssel kell számolni. Azért, hogy ne kelljen külön hátszélfüggvényeket előállítani, az alkalmazás csak szélcsendben vagy szembe-szélkomponens (HWC) esetén alkalmazható. A tervezett alkalmazásban a futópálya iránya (RWD), a szél iránya (WD) és nagysága (WS) alapján szögfüggvények segítségével egyszerűen meg lehet határozni a pályairányú komponens:

$$HWC = \cos(\text{RADIÁN}(WD - RWD)) \cdot WS \quad (7)$$

A [3] szerint a szembeszélkomponensnek csak az 50%-át vehetjük figyelembe, ezért az alkalmazás csak a HWC felével számolhat. Itt megint az a helyzet, mint a 2.2.3 pontnál, hogy a bemenő paraméter ebben a fázisban már az előző pont eredményével korrigált TODR_{max} az alábbiak szerint:

$$TODR5 = TODR_{max} + \Delta D4 \quad (8)$$

A 11. ábrán látható, hogy a szél hatását figyelembe vevő referenciavonalak meredeksége szintén változik a TODR5-értékek függvényében. Ezért a fentiekben alkalmazott módszert kell használni ennek a kérdésnek a megoldására is. Az alkalmazható szélesebbesség-tartomány 0–30 kt.¹⁶ Az értelmezési tartományunkat teljesen lefedi alulról az első 5 referenciavonal. Ezek adatait tartalmazza a 7. táblázat.



11. ábra

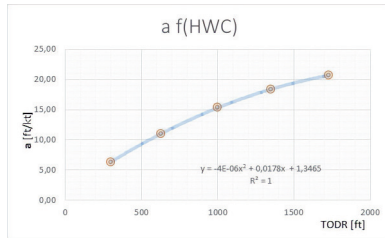
A HWC hatása és lineáris közelítése [2]

7. táblázat

A $\Delta D5$ meredekség értékpárok [a szerző]

TODR _{max}	$\Delta D4$	$\Delta D5$	meredekség (a)
300	190		6,33
630	330		11,00
1000	460		15,33
1350	550		18,33
1730	620		20,67

¹⁶ kt: Knot – csomó, 1 tengeri mérföld/óra, 1853 m/h.



12. ábra

A HWC-vonalak meredekségének TODR-függése [a szerző]

Az értékeket és a trendvonalat mutatja a 12. ábra. Ez alapján a szél hatását figyelembe vevő egyenlet:

$$\Delta D5 = HWC(-0,000004 TODR5^2 + 0,0178 TODR5 - 1,3465) \quad (9)$$

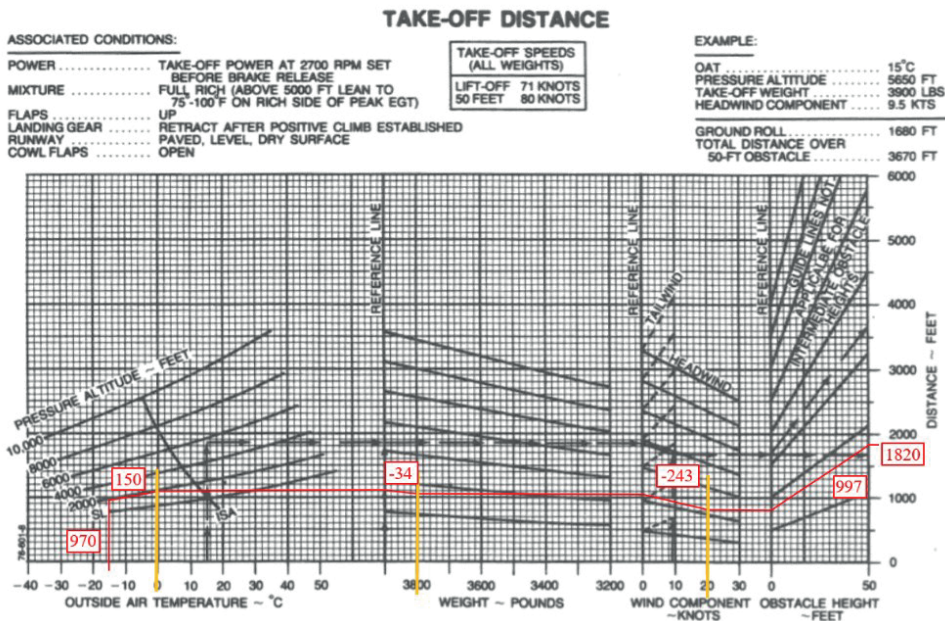
Ebben az esetben az $R^2 = 1$ és emiatt az ellenőrzés során a táblázatban szereplő valamenynyi TODR5-értéknél az eltérés 2-nél kevesebbre adódik HWC = 30 kt esetén. Ez pedig elhanyagolható.

2.2.6. A teljes kalkuláció ellenőrzése

Az eddig meghatározott összetevők összegeként meg kell kapnunk az elemzés bemenő adatát képező $TODR_{max}$ értékét:

$$\Delta D1 + \Delta D2 + \Delta D3 + \Delta D4 + \Delta D5 = TODR_{max} \quad (10)$$

Ennek ellenőrzésére próbaszerkesztést végeztem, a következő paraméterekkel: $H_p = 2000$ ft, $OAT = 0$ °C, $HWC = 20$ kt és a $TOM = 3800$ lb. A 13. ábrán látható szerkesztés eredménye $TODR_{max} = 1830$ ft és a számítási eredmény is 1820 ft. Ez gyakorlatilag 0,6% hibát jelent. Az ábrába beírtam az egyes fázisokban számított ΔD eredményeket is a jobb összehasonlíthatóság érdekében.



13. ábra

A számított és szerkesztett eredmények összehasonlítása [a szerző]

2.2.7. A PLTOM1 meghatározása

Miután mindegyik fázis jellegre és mennyiségre is jól számol és az összegük is pontos, elérkeztünk a végcélhoz, a PLTOM1 kifejezéséhez. Ehhez először a (10) egyenletet rendezni kell $\Delta D3$ -ra mivel abban van a PLTOM1, majd ki kell belőle azt fejteni:

$$PLTOM1 = 3900 - \frac{TODR_{max} - \Delta D1 - \Delta D2 - \Delta D4 - \Delta D5}{-0,0000001642 TODR3^2 + 0,0009 TODR3 - 0,4656} \quad (11)$$

Az implicit forma miatt nem érdemes tovább bontani, hanem MS Excel segítségével kiszámoltatni az összetevőket, és utána kiszámoltatni a PLTOM1 értékét.

3. A módszer hitelesítése

Használatbavétel előtt a hatóság – teljes joggal – megköveteli e módszerek validációját. Ezen túlmenően gondoskodni kell az ilyen alkalmazás módosítás elleni védelméről is, és a használat során féltelve végre kell hajtani az alkalmazás helyes működésének és pontosságának ellenőrzését a megfelelőségbiztosítási felülvizsgálati program részeként. Validációs céllal elvégeztem számításokat és szerkesztéseket a 8. táblázat szerint, igyekezve egyenletesen lefedni

a H_p és OAT értelmezési tartományt. A szerkesztett és a számított eredmények különbségét is tartalmazza ez a táblázat. A pontosság érzékeltetése érdekében képeztem a különbségértékek abszolútértékeit, és vettem azok átlagát, ami 27,5 lb. Ezt az értéket viszonyítottam a szerkesztéssel kapott értékek átlagához, ami 3524 lb. Az így kapott eltérés 0,8%-os, ami a gyakorlati élet szempontjából teljesen megfelelő.

8. táblázat
A mért és számított PLTOM1-értékek összehasonlítása [szerző]

H_p	0	H_p	1000	H_p	2000	H_p	3000	H_p	4000
OAT	20	OAT	10	OAT	10	OAT	0	OAT	-10
TODR _{max}	1820	TODR _{max}	1900	TODR _{max}	2000	TODR _{max}	2000	TODR _{max}	2500
HWC	10	HWC	5	HWC	15	HWC	10	HWC	0
PLTOM1	3579,393	PLTOM1	3384,326	PLTOM1	3634,43	PLTOM1	3391,597	PLTOM1	3577,501
Szerk.	3560	Szerk.	3400	Szerk.	3620	Szerk.	3400	Szerk.	3620
Eltérés	19,39285		-15,6742		14,43002		-8,40266		-42,4993
H_p	0	H_p	1000	H_p	2000	H_p	3000	H_p	4000
OAT	35	OAT	40	OAT	40	OAT	35	OAT	30
TODR _{max}	2000	TODR _{max}	2500	TODR _{max}	2500	TODR _{max}	2500	TODR _{max}	3000
HWC	5	HWC	10	HWC	10	HWC	15	HWC	10
PLTOM1	3375,502	PLTOM1	3781,183	PLTOM1	3475,417	PLTOM1	3435,146	PLTOM1	3520,481
Szerk.	3420	Szerk.	3720	Szerk.	3480	Szerk.	3480	Szerk.	3540
Eltérés	-44,4981		61,18337		-4,5829		-44,8538		-19,5189

4. Komplex analízis készítése

Az előzőekben ismertetett módszer csak a felszállásra rendelkezésre álló távolság által korlátozott tömeget adja meg. Ehhez képest további feladat többhajtóműves repülőgépek esetén az ASDA, a műszeres indulási eljárások gradiens követelményei, az EOSID végrehajthatósága, az útvonali OEI¹⁷-követelmények, a cél és valamennyi kitérő repülőtér esetén a futópálya és az EOMA¹⁸ által korlátozott fel- és leszállótömegek meghatározása. Ezért jelöltem a TODA/TORA által korlátozott értéket PLTOM1-gyel. A fentebb említett fázisok alapján legalább 5 db PLTOM- (lásd 14. ábra) és 2 db PLLM-értéket határoztam meg, utóbbiakból szintén PLTOM-értékeket célszerű képezni, és végül ezek közül kiválasztani a legalacsonyabb értéket. Ez után a BEM¹⁹ és a szükséges üzem- és kenő-, valamint egyéb fogyóanyagok ismeretében meghatározható az ATL értéke, amely az egyetlen paraméter, amellyel egy repülési feladat kapcsán tudjuk változtatni a légi jármű tömegét. Ezért is célszerű a teljesítmény és M&B-számításokat²⁰ végző alkalmazást egyben elkészíteni, amelyre az MS Excel kitűnő lehetőséget ad.

¹⁷ OEI: *One Engine Inoperative* – egy üzemenkéntelen hajtómű

¹⁸ EOMA: *Engine Out Missed Approach* – egy üzemenkéntelen hajtóművel végrehajtott megszakított megközelítés.

¹⁹ BEM: *Basic Empty Mass* – alap üres tömeg: a légi jármű tömege az összes alapfelszereléssel és a ki nem fogyasztható üzemanyaggal

²⁰ M&B: *Mass and Balance* – tömeg és kiegyensúlyozás.

		Required Data	Limitation			Increment	PLTOM	
Take-Off	Elevation	2000	ft	[0-4000]	PLTOM1=	3336,4	-	3336,4
	Temp.	40	°C	[-15 - +40]	PLTOM2=	2928,2	-	2928,2
	TODA	3200	ft	[1100-4500]	PLTOM3=	3835,2	-	3835,2
	TORA	3000	ft		PLTOM4=	3872,1	-	3872,1
	ASDA	2800	ft		PLTOM5=	3982,1	-	3982,1
	RWY direction	360	°	[0-30]	PLERM=	4030,2	177,8	4207,9
	Wind speed	2	kts	[For HW only]	LDR=	2238,5	-	-
	Wind direction	40	°		PLLM1=	3900,0	296,3	4196,3
	SID Gradient	3	%	[0-10000]	PLLM2=	4257,4	296,3	4553,6
	SID Altitude	2000	ft					
Runway Upslope	1	°						
Enroute	Highest MSA	7000	ft	[4500 - 15000]				
	Temp.	20	°C	[-40 - +40]	PLTOM			2928,2
	Trip Fuel	50	Gallon		Landind Distance			SUFFICIENT
	Trip fuel to max. MS	30	Gallon					
Landing	LDA	3300	ft					
	Runway Upslope	2	°					
	Temp.	20	°C	[-15 - +40]	Runway Surface	DRY	DRY	
	Elevation	500	ft	[0-4000]				
	RWY direction	270	°					
	Wind direction	320	°					
	Wind speed	7	kts	[0-30]				
								USE ONLY FOR HEADWIND TAKE-OFF AND LANDING

14. ábra

Komplex teljesítményanalízis adatbeviteli és eredményfelület [4]

Felhasznált irodalom

- [1] Szilágyi D., Számítógépes teljesítményanalízis helikopter-üzemeltetéshez 1. teljesítmény osztályban," *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 1. sz. pp. 113–124. 2017. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/4244/3480>
- [2] *Beechcraft BE-76 Pilot Operating Handbook*. pp. 5–26. 1978.
- [3] 965/2012 EU rendelet 17. módosítása, 2022. Online: www.easa.europa.eu/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-air-operations-regulation-eu-no-9652012
- [4] Kormos Á., *Számítógépes teljesítmény-analízis készítése BE76 típusú repülőgépre és CAT/ NCO műveletekre*. Szakdolgozat. Nyíregyházi Egyetem, 2021.

Computer Based Performance Analysis with Substitution Functions

The methods used so far and adopted by the authority have been a huge effort to select results (in most cases performance-limited mass values) from discrete value sets generated under specified boundary conditions at separate phases of flight. In the best case, the resulting values were analysed by algorithms that gave the operator the most important value for the ATL, given the MATOM and OM for the task. Considering these, a sophisticated solution should also help to prepare the load documentation.

Keywords: *aircraft, engine failure, accessibility, performance, analysis, functions, approximation, mass limits*

Dr. Szilágyi Dénes főiskolai docens Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet Közlekedéstudományi és Infotechnológiai Tanszék szilagyidenes@nye.hu orcid.org/0000-0001-6055-0010	Dénes Szilágyi, PhD College Associate Professor University of Nyíregyháza Institute of Engineering and Agriculture Department of Transportation and Infotechnology szilagyidenes@nye.hu orcid.org/0000-0001-6055-0010
---	--



Nagy-Bozsoky József, Szabó Sándor András, Tótka Zsolt

Magasságfüggő oxigénhiány és a Covid-19-világjárvány

A katonai repülésben a pilóta pillanatnyi cselekvőképzetelenségét okozó repüléselettani kockázatok közül a hypobárikus (magasságfüggő) hypoxia még napjainkban is komoly fenyegetést jelent. A repülésbiztonsági statisztikák és a baleset-kivizsgálások adatai szerint növekvő számban és arányban felmerül a gyanú, hogy az új típusú fedélzeti oxigénforrások (OBOGS)¹ nem képesek minden pillanatban megfelelő oxigénkínálatot biztosítani, így a pilóta mint operátor pillanatnyi fizikai-szellemi teljesítménye elégtelenné válhat. Barokamrában hypobárikus hypoxiában virtuális (VR)² repülés alatti vizsgálati eredményeink megerősítik, hogy az ellentmondó kompenzációs mechanizmusok, a szív-agy-tengely kiszámíthatatlan stresszreakciója miatt az agysejtekben elhúzódó oxigénfelhasználási zavar léphet fel. A korszerű vadászgépeken bekövetkező hypoxiás halálesetek mint UPE³-elemzése különösen indokolt a Covid-19-világjárvány okozta megbetegedés után, amikor a vírusfertőzés okozta tüdőgyulladás és légzőfelszínvesztés (ARDS)⁴ még gyógyulás után is, elhúzódó jelleggel tovább rontja a fenti élettani folyamatokat.

Kulcsszavak: hypobárikus hipoxia, VR- (Virtual Reality) repülés barokamrában, cerebrális pulzoximetria NIRS (Near Infrared Spectroscopy), UPE (Unexplained Physiological Events), Covid-19-világjárvány okozta légzési distressz, poszt-covid tünetek

1. Bevezetés

*„Az embernek fel kell emelkednie a Földről
– az atmoszféra tetejéig vagy azon is túl –,
csak így értheti meg teljesen a világot, amelyben él.”*

Szókratész

Az emberi fizikai cselekvőképesség és szellemi munkavégző képesség számára a repülés mint háromdimenziós dinamikus helyzetváltoztatási képesség új élettani és pszichés kihívásokat jelent. Ezek, különösen vész helyzetben, erősen próbára tehetik a szív- és érrendszeri és agyi keringési reflexek reakciókészségét. Repülésbiztonsági statisztikák szerint a katasztrófák leggyakoribb okai még mindig a repüléselettani stresszortényezők:

¹ OBOGS (On-board Oxygen Generating System): fedélzeti oxigéngenerátor-rendszer (oxigénforrás).

² VR: Virtual Reality (virtuális valóság) szemüveg.

³ UPE/UPI: Unexplained Physiological Events/Incidents: megmagyarázatlan élettani események, incidensek.

⁴ ARDS: Adult Respiratory Distress Syndrome: felnőttkori légzési elégtelenség tünetegyüttes.

- a magasságfüggő nyomásváltozás csökkenő külső oxigénkinálatot eredményez a belélegzett levegőben;
- a túlterhelés-gyorsulás változása az agyi véráramlást veszélyezteti, ami közvetlen módon rontja az emberi teljesítőképességet, növeli a hiba lehetőségét;
- ezt külön provokálhatja egy légúti vírusfertőzés súlyos, a tüdőlégzőfelszín átmeneti vagy tartós elvesztésével járó formája, mint amilyen a SARS-CoV2⁵ által okozott kétoldali súlyos tüdőgyulladás.

Célunk a katonai repülésben a hypoxia okozta repülésbiztonsági kockázatot jelentő esetek elemzése, majd saját kísérleti elrendezésben, barokamrai VR (virtuális valóság) alkalmazásával szimulált repülési helyzetben az alattomos, lassan felépülő és elhúzódó hypoxia okozta kockázat kórélettani hátterének megvilágítása és magyarázata. Mindezt a Magyar Honvédségben a Covid-19-világjárvány során érintett, lezajlott SARS-CoV-2019 vírus okozta fertőzés után végzett, soron kívüli ROB-vizsgálat (Repülőorvosi Bizottság által végzett repülő-egészségügyi alkalmassági vizsgálat) és barokamrai hypoxia tűrőképességi vizsgálat eredményével egészítjük ki, amely igazolja a vírusfertőzés okozta alattomos, elhúzódó oxigénhiány hatását is.

2. Hypoxia okozta új típusú vészhelyzetek

A repülés kezdete óta a magasságfüggő hypoxiás esetek gyakran vezettek katasztrófához a pilóta teljes vagy részleges cselekvőképтелensége, hibás helyzetfelismerése vagy meglassultsága miatt. (Ennek történeti áttekintését korábbi átfogó könyvfejezetben ismertettük, most csak a legújabbkori, a legkorszerűbb 4., 5. generációs vadászgépeken is fenyegető oxigénhiányos helyzetet elemezzük [1].)

A NATO és az amerikai haderőnem 2000 óta a terminológiában „*mask-on hypoxia*” néven illetett és eredetileg a fedélzeti oxigénellátó-rendszer technikai hibájának tulajdonított több balesetet (mivel a pilótán rajta volt a maszk, és azt hitte, hogy oxigént kap). *Ez jelenleg változás alatt áll*, az UPE/UPI címszó alatt összesítik a nem egyértelműen technikai okokra visszavezethető incidenseket. Az amerikai haditengerészet 2001 óta már 4 korszerű F-18 Hornet vadászgépet és pilótát veszített úgy, hogy a pilótán nagy magasságú repüléskor rajta volt a maszk, de az alacsony kabinnyomás mellett az OBOGS „nem működött megfelelően”, a pilóta eszméletét veszítette, és lezuhant [2]. Egy USAF Amerikai Légierő F22-es gép is lezuhant Elmendorf mellett Alaszkában 2010 decemberében hasonló ok miatt, majd a magassági korlátozások ellenére ismétlődő incidensek miatt az egész flottát (147 db F-22-es vadászgép) több mint egy évig eltiltották a repüléstől. Legújabban az F-35-ös kiképző bázison (LUKE AFB) nem csak növendékeknél észleltek súlyos hypoxiás incidenseket, légzési nehézséget az OBOGS használata közben [3]. Szerencsére a tartalék folyékony oxigénforrás minden esetben megfelelően működött, a pilóták biztonságosan le tudtak szállni. Az incidensek következményeként a teljes flottát, 55 legkorszerűbb lopakodó gépet letiltottak [4]. 2018. február 6-án pedig az amerikai kongresszusban bizottsági meghallgatásra került sor, a légierő felelős vezetőjének beszámolójával. Összesítve: 2007 óta a F-22, F-35, F/A-18, F-15,

⁵ SARS-CoV2: *Severe Acute Respiratory Syndrome*: 2. koronavírus-törzs által okozott súlyos akut légzési tünetegyüttes (2019-ben indult, ma elterjedtebb a Covid-19 – koronavírus-betegség 2019 elnevezés).

F-16, T-6 és T-45 típusok *mindegyikén* legalább 10-10 UPE fordult elő, tehát nem típusfüggő technikai problémáról van szó. Utoljára 2018. februártól a T-6A, az „igásló” kiképzőgép is repülési tilalom alá került, 48 órán belül 9 esetben jelentkező UPE-incidens miatt. Későbbi összesítés szerint csak az F-18 Hornet fedélzetén több mint 603 esetben fordult elő UPE-incidens (nem okozott halált, de a misszió megszakítását indokolta) (1. táblázat).

Az esetek egy részében az UPE a repülés „jóindulatú” (egyébként eseménytelen) fázisában (akár a földön, felszállás előtt is, de már a fedélzeti oxigénrendszerhez csatlakozva) előfordulhat, kizárva a dekompresziós betegség (magassági keszon) és a klasszikus hypoxia elemi eshetőségét is. A régebbi géptípusok (F-15, F-16 és A-10) esetében felmerült karbantartási-technikai ok, az újaknál (F-22, F-35) a rossz technikai tervezésből fakadó rosszabb légzési környezet, de mindenhol jelen van, ahol személyi magassági védőfelszerelést, oxigénrendszert alkalmaznak, illetve minden esetben szerepet játszhat a fokozott problématudatosság és jelentési kötelezettség. 2015-ben F-15 C fedélzetén is leírták (pedig az folyékony LOX oxigénforrást használt): zsidbadás, szédülés, koncentrációképesség csökkenése kapcsán a pilóta hiába kapcsolt vészhelyzeti oxigénre, alig tudott időben visszatérni a bázisra, és leszállás után is lassan tért magához, a későbbi műszaki és élettani kivizsgálás nem talált problémát az ellenőrzési listában. Ugyanakkor elismerik, hogy a probléma kijavítására tett technikai lépések, műszaki megoldások kommunikációja nem volt megfelelő a pilóták felé, bizonytalanságban hagyva őket a kibővített ellenőrzési listák megfelelőségéről, ad absurdum az ellenőrzési lista megszegésére kényszerítve őket (volt olyan eset, hogy a feltételezett levegőszennyeződés kiszűrésére alkalmazott plusz szénzsűrő annyira fokozta a légúti ellenállást, hogy a pilóta a maszk levételére kényszerült!) [5].

Korábban a Magyar Honvédség Gripen vadászgépein is előfordultak hasonló incidensek, de a pilóták a barokamrai gyakorlatnak köszönhetően időben észlelték az oxigénhiány fenyegető tüneteit, és alacsonyabb magasságra süllyedve megelőzték az eszméletvesztést [6]. Ugyanakkor 2020-ban a Gripent gyártó SAAB repülőgépgyár is adott ki figyelmeztetést az OBOGS hibakódjaira és az oxigénhiány gyanúja esetén követendő eljárásra vonatkozóan, amely alapján az MH 59 Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis Repülésbiztonsági ajánlást adott ki [7].

A pilóta perspektívájából (egyedül megküzdve a kiképzés során tanult eljárásrend, a vészhelyzeti gáznemű tartalékokoxigén-adagolás hatástalanságával) pedig az Amerikai Légierő szaklapja írt összefoglaló cikket, hangsúlyozva a repülőorvosi és repülőműszaki együttműködés fontosságát a probléma megnyugtató rendezéséhez. Ez a cikk – az F-22-es vadászgép esetében különösen – hangsúlyozza, hogy a repülőgép működési tartománya (*flight envelope*, repülési burok) messze meghaladja az emberi teljesítőképesség határát, a magassági és gyorsulási tűrképesség vonatkozásában. Az az álláspont, miszerint technikailag elég „optimális” nyomáson (kabinhermetizációval) és „optimális” koncentrációval az oxigént biztosítani a pilótának, nem jelent teljes, biztonságos megoldást. Megfelelően működő repülőgép (magassági és gyorsulási tartományhoz igazodó, igényeknek megfelelő nyomás és oxigénadagolás) és egészséges pilóta (teljes oxigénigény-hasznosulás) folyamatos interakójától függ, hogy lesz-e UPE, de maga a jelenség szinte független a repülőgép típusától, működési tartományától, a hajtómű típusától, és a repülés bármely fázisában előfordulhat (csak a hermetizált kabinnal repülő szállítógépeken nem jelentkezik, ahol nincs személyes életfenntartó vagy oxigénrendszer) [5].

1. táblázat
 „Megmagyarázatlan (hypoxiajellegű) Élettani Események”, UPE
 statisztikai összesítése (a szerző [8] alapján)

UPE - HYPOXIA JELLEGŰ ESEMÉNYEK									
	F-22A	F-15C/D	F-15E	F-16C/D	A-10C	F-35A	T-38C	T-6A	Összes
2008	2	1	0	2	1	-	0	2	8
2009	2	0	0	7	1	-	1	3	14
2010	2	3	1	4	1	-	0	5	16
2011	10	1	5	6	0	-	1	3	26
2012	15	2	3	10	2	1	1	4	38
2013	5	3	3	7	2	1	0	3	24
2014	2	2	2	11	2	1	1	2	23
2015	2	12	1	13	3	1	5	4	41
2016	5	20	2	12	1	2	3	3	48
2017	1	1	2	12	6	6	2	4	34
2018	-	-	-	-	-	-	-	22	
Összes	46	45	19	84	19	12	14	55	294

A fentiek alapján a pilóták által leírt és elszenvedett fedélzeti élettani incidensek nem kellő magyarázata, illetve a hypoxiás állapot elhúzódása („post”, azaz utóhatás, „hangover”, azaz másnaposság jelleggel) komoly repülésbiztonsági problémát jelent mind a mai napig. A NATO Standardizációs Testület Repülőorvosi Munkacsoport 2019-es párizsi, 2020-as és 2021-es online ülésein több ország légierő kutatóintézetei részéről hangzott el előadás a probléma okának kutatására vonatkozóan, egyértelmű eredmények és megoldási javaslatok nélkül. *Jelenleg ez az első számú repülésbiztonsági probléma a NATO-n belül.* A jelenlegi kutatások nem zárják ki sem a humán élettani tényezők, sem a kabinkörnyezeti tényezők kombinált élettani hatását, de az adatok jelenleg nem elégségesek egyik teória igazolására sem (1. ábra) [9].

3. Oxigénkínálat és -hasznosulás vizsgálata hypobáriában

A fedélzeti oxigénrendszer (korábban gáz-, illetve LOX folyékonyoxigén-forrással) feladata magasságtól függetlenül a tengerszinti (vagy ahhoz közeli) oxigénkínálat biztosítása a légutakban és a tüdőben). A legtöbb harci repülőgépen a fedélzeti oxigénadagolásért felelős jelenlegi megoldása az OBOGS- (szilárd fázisú oxigénforrású) rendszer, amely a maximális (tengerszinti egy atmoszféra össznyomás mellett, azaz normálisnak megfelelő tüdő alveoláris [léghólyagocskák] két futballpályányi összesített felszínén ható) oxigén résznyomás, vagyis 103 Hgmm és a minimális (azaz hypoxia tüneteit még megelőző oxigén résznyomás PalvO_2 60 Hgmm) parciális oxigénnyomás között tartja a termelt/átpasszált oxigén nyomását, koncentrációját.



HUMÁN ÉLETTANI HATÁSOK:

Oxigén (túl sok vagy túl kevés)
 Szén-dioxid (túl sok vagy túl kevés)
 Tüdő és agyi keringés változása
 Vérnyomás változása
 Folyadékgyengély
 Hőmérsékleti terhelés
 Tüdő atelectasia (összenyomottság)
 Alacsony légköri nyomás
 Dekompresszió (nitrogénbuborékok)

KABINKÖRNYEZETI HATÁSOK:

Túlterhelés-gyorsulás
 Kabinlevégő minősége
 Ember-gép kapcsolat (interfész, csatlakozók)
 Légnyomás változása
 Életfenntartó rendszerek (szabályozók)



1. ábra

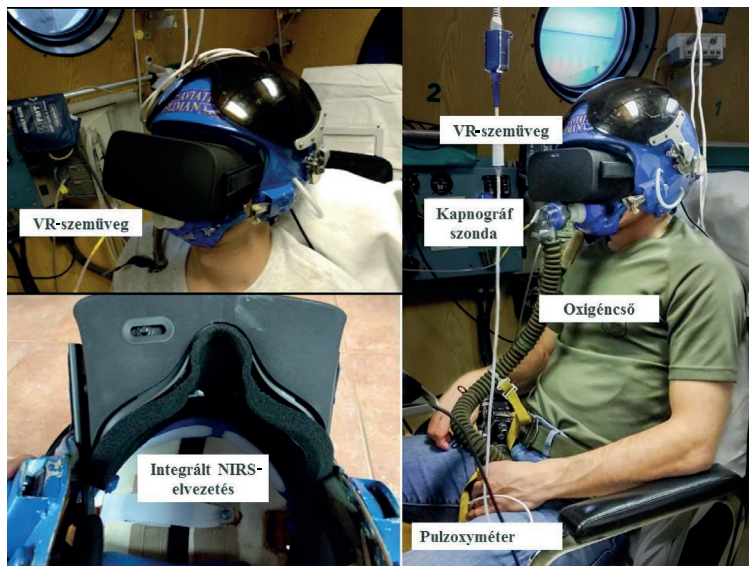
UPE lehetőség oki tényezői (a szerző [9] alapján)

A magassági hypobarikus hypoxia élettani következményeit a Magyar Honvédség szakemberei által fejlesztett VR-szemüveg által biztosított szimulált barokamrai repüléssel kombinálva vizsgáltuk, modelleztük a repülési feladat (akár vészhelyzet) közben kialakuló agyi vérkeringés-változást [10]. (A VR-szemüveg fejlesztését, technikai lehetőségeit illetően más szakirodalmi forrás részletes elemzést nyújt [11].) Ugyancsak korábban közöltük összefoglalónkat az orvosi biológiai adatrögzítés alapelveit és történeti fejlődési fokozatait illetően, illetve a jelenleg alkalmazott komplex repülőorvosi monitorizáló rendszer felépítését és VR-ral való integrációját [1],[12] (2. ábra).

A NIRS-technika (mint az agyi vérkeringés és oxigénkínálat változásának nyomon követésére közvetlenül alkalmas módszer) számos repüléssel kapcsolatos kutatásban jól alkalmazható noninvaszív technika: a homlok bőrére helyezett elektródák a fejbőrön keresztül képesek mérni az agyban, a homloklebe ny kevert vénás (már oxigénfelhasználás jeleit mutató) ereiben a vérfesték (hemoglobin) abszorpciós spektrumának változásával az oxihemoglobin (oxigént kötő vérfesték) mennyiségét a deoxy-hemoglobinhoz (oxigénmentes vérfestékhez) képest (3. ábra).

A mért változások jól korrelálnak az egyéb testrészekben (fülcimpa, ujj) elhelyezett, illetve más módszerrel (ki-/belélegzett gázkoncentráció érzékelése) oxigénmérő eszközök által mért értékekkel [13]. A talált agyi oxigénszint-csökkenés kórjelző, az intenzív terápiában prognosztikai értékű (20%-nál nagyobb műtét alatti esése rontja a műtét utáni túlélés esélyét), és felhasználható az agyi autonóm érreguláció (véráramlás-szabályozás) noninvaszív jellemzésére [14], [15]. Az agyi funkcionális MRI- (mágneses rezonancia elvén alapuló képalkotás) és NIRS-vizsgálatok összehasonlító elemzése pedig igazolta, hogy a kognitív feladat tengerszínti nyomáson és normális oxigénkínálat mellett is közel azonos módon aktiválja

a különböző agyi területeket, vagyis a morfológiai aktivitási jelek és az oxigénfelhasználás mértéke párhuzamosan változnak [16].



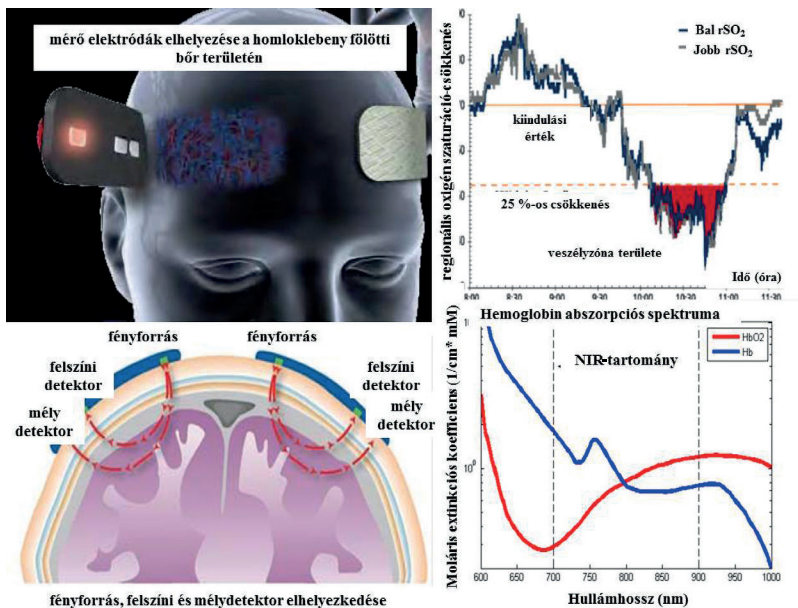
2. ábra

NIRS- és VR-szemüveg integrációja barokamrai szimulált felszállás közben [a szerző saját felvétele kísérleti felszállás közben]

3.1. Anyag és módszer

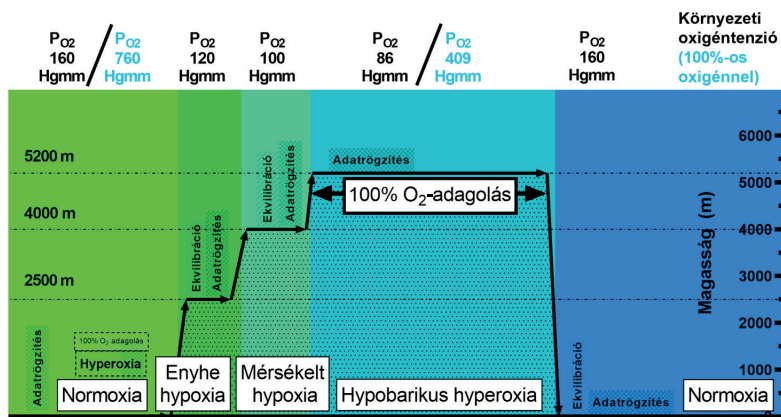
A kísérleti felszállások az MH Egészségügyi Központ Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet (MH EK RAVGYI) Magasságélettani Osztály barokamrájában történtek. Célul tűztük ki az enyhe (2500 m-es), a mérsékelt (elvileg jól kompenzálható 4000 m-es) hypoxiás magasság és az oxigénlégzéssel (elvileg teljesen) kompenzált, 5200 m-es, hypobáriás magasság, valamint a tengerszinti nyomásra való visszatérés utáni állapot élettani jellemzését. A NIRS- (agyi véroxigénszint), kapnográf- (végkilégzési szén-dioxid) értékek mérését adott magasságon 5-5 perc ekvilibrációs idő után, 12 önkéntesen 13 mérési sorral hajtottuk végre, az adatrögzítés manuálisan történt 15 s-os mintavételezési idővel. Az önkéntesek VR-szemüveg segítségével szimulált repülésben vettek részt a kísérlet alatt (ez segítette a barokamrai környezet elfedését és egy folyamatos éberségi szint biztosítását). Fenti protokoll elvi lehetőséget ad az elhúzódó hypoxia és/vagy hypobária (oxigénhiány nélküli nyomáscsökkenés) oki szerepének tisztázására, egymástól függetlenül (4. ábra).

Az adatokat csoportszinten és intraindividuálisan is megvizsgáltuk, repülési fázisonként átlagoltuk, a különböző repülési fázisok között beágyazott egyszempontos varianciaanalízist hajtottunk végre Prism statisztikai szoftver segítségével (egyutas ANOVA $p < 0,05$), kontrollként a repülés előtti 0 m-es értékeket vettük figyelembe, post hoc elemzésként pedig Dunnett-próbát végeztünk az ANOVA-kat követően.



3. ábra
NIRS-elektrodák elhelyezése és abszorpciós spektruma a kritikus eséssel [17]

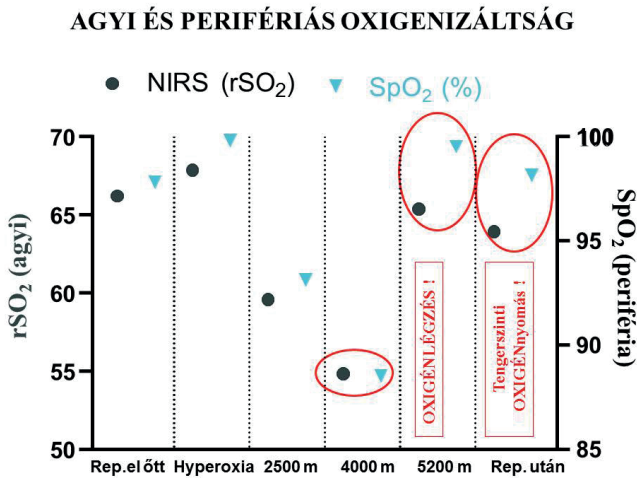
VIZSGÁLATI PROTOKOLL magasság és lélegzési rezsim



4. ábra
Vizsgálati protokoll hypoxiás és hypobáriás normoxiás lépcsőkkel [a szerző]

3.2. Eredmények

Csoportszintű elemzés során kimutatható, hogy a NIRS és perifériás oxigenizáció is jól követi a hypoxiás lépcsőket. Ugyanakkor 5200 m-en oxigénlégzés hatására jól látható a perifériás oxigenizáció (SpO_2) esetén a gyors normalizálódás (sötét hyperoxiás értékig emelkedik, majd leszállás után ismét normalizálódott), miközben a cerebrális oxigenizáció (rSO_2) 5200 m-en nem követte a perifériás szaturáció nagymértékű emelkedését, az átlagérték a kontrollérték alatt maradt, sőt leszállás után (az oxigént elvéve) az átlagérték még tovább csökkent. Egyedi eseteket vizsgálva akár 30–40 perces földi megfigyelés után is alacsony oxigenizáció volt kimutatható (5. ábra).



5. ábra

Agyi regionális (NIRS rSO_2) és perifériás (SpO_2) oxigénszint-változás [a szerző]

Az intraindividuális változásokat külön elemezve és összevetve a nagy magasságú (5200 m-en oxigénadagolás mellett mért) és ismételt (leszállás utáni) tengerszintű oxigénszinteket, az esetek több mint felében szignifikáns eltérést észleltünk a repülés előtti kontrollhoz képest. (A jobb és bal oldali NIRS-adatokat külön vizsgáltuk, így összesen 25 mérési sor adata van ábrázolva.) 4000 m-en valódi hypoxiás fázisban minden esetben szignifikáns mértékben csökkent az agyi oxigenizáció, a kiindulási értékekhez képest 30%-os rSO_2 csökkenést is tapasztaltunk (ez az aneszteziológiában már komoly beavatkozást indokolna az altatórvos részéről). 5200 m-en a környezeti nyomáson adagolt oxigén ellenére is körülbelül az alanyok 40%-ánál továbbra is csökkent maradt a cerebrális oxigenizáció. Továbbá földre való visszatérés után is elhúzódóan csökkent agyi oxigénszintet észleltünk az esetek közel felében (6. ábra).

A kilélegzett CO_2 a magassági lépcsőknek megfelelően is csökkent, illetve oxigénadagolás mellett az $EtCO_2$ - (végkilégzési szén-dioxid) értékek látványosan csökkentek. Itt a kilégzési gázok oxigénnel való dilúcióját nem lehet kizárni, de a felszállás után meglepő módon elhúzódó hypocapniát ez nem magyarázza (2000 m alatt már nincs oxigénlégzés), amely szinte minden

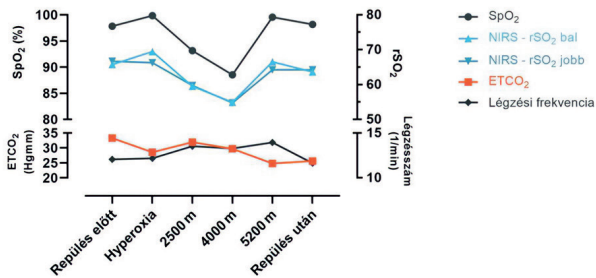
résztevőnél tapasztalható volt (ekkor az átlagos $EtCO_2$ csak 27 Hgmm volt, a legalacsonyabb érték pedig egészen 18 Hgmm-ig csökkent, ezt 13 min-nel a leszállás után mértük) (7. ábra).

A légzésszámot elemezve szintén feltűnő, hogy a klinikailag ismert, hypoxiával járó fuladásos állapotokhoz képest a légzési munka nem fokozódik, nem jár típusos nehézlégzéses panaszokkal, a légzési frekvencia jelzetten emelkedett, de nincs valódi polypnoe (20/perc fölötti légvétel), ami a fokozott szén-dioxid „kimosást” önmagában magyarázhatná (8. ábra).

ÉLETTANI PARAMÉTEREK ALAKULÁSA

(agyi és perifériás oxigén- és szén-dioxid-szintek, légzésszám)

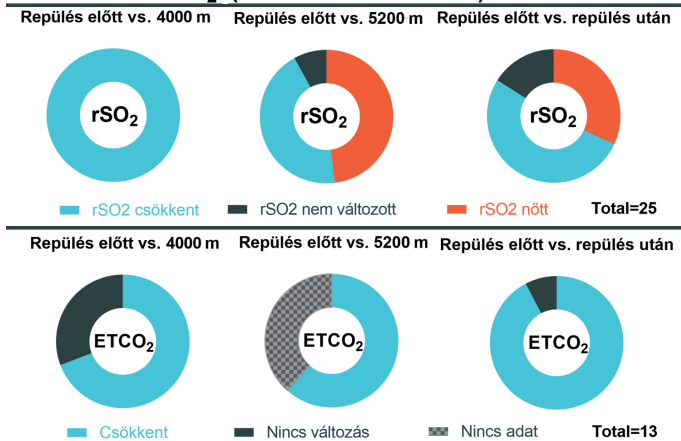
Csoportszintű átlagok összehasonlítása



6. ábra

Élettani paraméterek összesített változása a magasság és oxigénadagolás függvényében [a szerző]

INTRAINDIVIDUÁLIS rSO₂ (AGYI OXIGÉNSZINT) ÉS ETCO₂- (SZÉN-DIOXID-SZINT) VÁLTOZÁS



7. ábra

Agyi oxigénszint (rSO_2) és végkilégzési szén-dioxid-szint ($EtCO_2$) változásának mértéke, egyénenként számított szignifikanciaszint mellett [a szerző]

4. UPE lehetséges hatásmechanizmusa hypobárikus hypoxiában

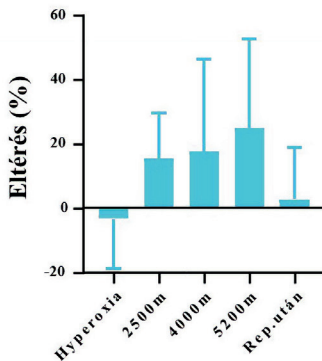
A hypoxia, ahogy az említett repülésbiztonsági események statisztikája mutatja, még ma is a pilóta munkavégző képességét drámai módon rontó vészhelyzet. A magasságfüggő nyomáseséssel leggyakrabban a hypobárikus hypoxia jelentkezik, amely a környezeti belélegzett levegő csökkent oxigénkínálatára vezethető vissza, amely kaszkád jelleggel egészen a sejtekig végigkövethető, romló diffúziós viszonyokat hoz létre.

Eredményeink alapján a tüdő- és az agyi keringésben több támadáspontú, részben adaptív, részben azonban kisiklás jellegű (önmagát rontó) élettani változás lehetőségét vetjük fel, amelyben szerepe van nemcsak a csökkent oxigénkínálatnak, de a magasság (mint hypobária, vagyis alacsony nyomású környezet) okozta fokozott szén-dioxid-kimosásnak, amely a szervezet szintjén a vér pH lúgos irányú eltolódásához és az agy csökkent keringéséhez vezet, amelyet az oxigénadagolás már csak részben korrigál. Technikai oldalról így megkérdőjeleződik a hypobáriás oxigénhiány *csak oxigénlégzéssel* való kivédésének kellő mértékű hatékonysága, szükség lehet a valós repülés során az agyi regionális vérátáramlás és oxigénszint (akár szén-dioxid-szint) valós idejű monitorozására is. Jelentős kognitív munka, szellemi leterheltség mellett a légzés ütemének változása az agyi oxigenizáció további romlását okozhatja kritikus repülési helyzetekben, a kórélettani háttér alapján új technikai megközelítés (holttér változtatásával a szén-dioxid visszalégzése) lehet szükséges a magasság elleni védelemben.

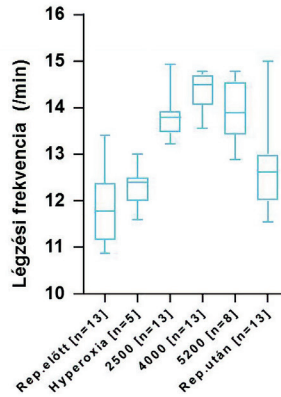
Ugyanakkor vizsgálatunknak sajátos aktualitást ad a Covid-19-vírusfertőzésen átesett pilóták regenerációjának és lehetséges orvosi rehabilitációjának megítélése az esetleges tüdőgyulladás után, a tüdőfunkció és hypoxia tűrőképesség komplex megítélésével barokamrában.

LÉGZÉSI FREKVENCIA VÁLTOZÁSAI

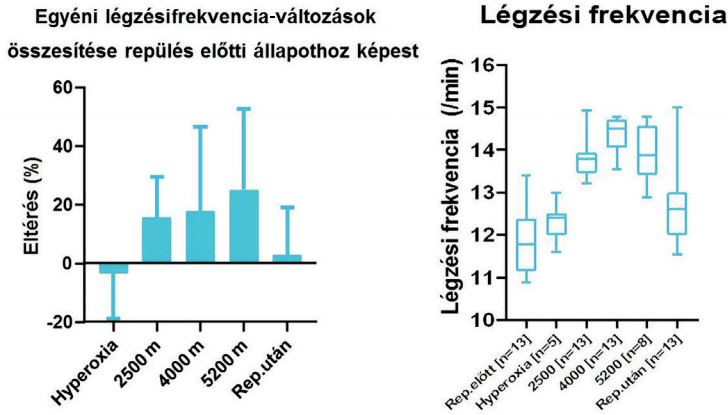
Egyéni légzésfrekvencia-változások
összesítése repülés előtti állapothoz képest



Légzési frekvencia



LÉGZÉSI FREKVENCIA VÁLTOZÁSAI



8. ábra

Légzési frekvencia változása egyéni és csoportszinten számított szignifikanciaszint mellett [a szerző]

5. Covid-19-vírusfertőzés repülőorvosi vonatkozásai

A légi közlekedés szervezeti struktúrájánál, a repülésbiztonsági szempontok szerinti sűrű és kontakt (személyes érintkezést is igénylő) ellenőrzési rendszerénél fogva, valamint a hatalmas utasforgalom és a járványügyi expozíciós lehetőségek miatt is különösen érzékenyen reagált a 2019 decemberében a kínai Vuhanból induló és 2020 márciusában a WHO⁶ által is világgjárványnak (pandémiának) nyilvánított tömeges vírusfertőzésre. Ennek összetevői a következők:

1. A repülőgép maga (mint vektor) biztosította a lappangási fázisban, vagy enyhe tünetekkel rendelkező egyének mint utasok révén a vírus gyors közlekedését és tömeges transzmisszióját a kontinensek között, újabb és újabb gócpontok kialakulásával a fogékony lakosság körében. Míg korábban a WHO csak egyes influenzatörzsek (például H1N1) és a vérzéses lázat okozó vírusok (Lassa, Ebola, Marburg) esetében hirdetett magas fokú készültséget, a koronavírusok családjába tartozó törzsek közül a SARS⁷ és a MERS⁸ után e vírustörzs vált igazán globalizált járvány okozójává, ragályossága (fertőzőképessége, reprodukciós rátája) és az életkorral és alapbetegségekkel növekvő halálozási rátája miatt is. Míg az első hullámban a SARS-CoV2 vírus 2–4 közötti reprodukciós rátát okozott, vagyis 1 személy 2–4 másik személyt fertőzhetett meg általában (de az úgynevezett „szuperterjesztők” zárt térben akár 100 másik személyt is

⁶ WHO: *World Health Organization*, az ENSZ (Egyesült Nemzetek Szervezete) Egészségügyi Világszervezete.

⁷ SARS: *Severe Acute Respiratory Syndrome*: koronavírus törzs által okozott súlyos akut légzési tünetegyüttes, 2003-as járvány során.

⁸ MERS: *Middle-East Respiratory Syndrome*: koronavírus törzs által okozott súlyos akut légzési tünetegyüttes, 2012-es járvány során, főleg a Közép-Keleten.

megbetegíthettek), a vad vuhani törzs után terjedő brit, brazil és indiai (delta) variáns az S tüskefehérje ACE2 receptorhoz kötődésében lényegesen erősebb és valószínűleg súlyosabb lefolyású fertőzést eredményez (ebben az omikron variáns megjelenése hozott változást, még nagyobb fertőzőképességgel [R_0 : 16-18!], de enyhébb klinikai tünetekkel) (2. táblázat).

2. táblázat
Vírusos fertőző betegségek ragályosságának összehasonlítása [18], [19]

SARS-COV-2 koronavírus-fertőzés halálozás és fertőzőképesség (1. hullám)		
Vírustörzs	Halálozási ráta /100 fertőzött	Fertőzési ráta (R_0) immunizáció és járványügyi megelőző intézkedések nélkül
SARS-COV-2 2019	2,18	2,2 (de szuperterjesztők: akár 100 is lehet!)
Szezonális influenza	0,1	1,4
Morbilli/kanyaró	0,1-10 (fejlett országokban) 0,1-0,2 (fejlődő országokban 10!)	
Ebola	50	1,5-2,5
SARS/MERS (előző járványok)	9,6-15	2-5

A vírus evolúciós fejlődése jelenleg is folyik, az újabb és újabb mutációkkal (5. hullám, omikron variáns 2021 novembertől) kialakuló variánsok elősegíthetik a vírus túlélőképességét, fertőző- és szaporodóképességét, a védőoltások ellenére is. A pandémia brit mutáns okozta 3. hullámának tetőpontja közelében az összesített halálozás 2-3% volt, de pont a brit variáns már a fiatalabb korcsoportokban, alapbetegség nélkül is okozhat súlyos, kórházi (azon belül intenzív osztályos) ápolást igénylő lefolyást, akár halált is. Jelenleg is csak a járványügyi szabályok (izoláció/karantén, tömeges tesztelés, távolságtartás, maszkhasználat) szigorú betartásával mérsékelhető a ragályossági index (reprodukciós ráta) 1 alá. Bár a légi közlekedési ipar a szigorú repülésbiztonsági rendszabályok betartásával példát mutat a szabálykövetésben, a földi repülőtéri folyamatok térbeli, időbeli szeparációja, a fedélzeti helykihasználás csökkentése a gazdaságosság és hatékonyság rovására megy. Az első hullám idején felére-harmadára csökkenő, főleg a személyszállítást sújtó korlátozások, lezárások és karanténintézkedések miatt pilóták és a földi karbantartó-állomány tízezrei kerültek földi beosztásba, vagy váltak munkanélkülivé.

A SARS-CoV-2 vagy Covid-vírus körülbelül 100 nm-es, egyszálú RNS genetikai állományt tartalmazó részecske, amely a repülőgép fedélzetén is direkt légúti csepp-/aeroszolfertőzés útján terjedhet. Bár ezt a HEPA⁹-szűrőkkel felszerelt fedélzeti légkondicionáló rendszer nagy hatékonysággal kiszűri, a közvetlen (néhány ülésnyi távolságra történő) fertőzést nem előzi meg. Erre vonatkozóan a korábbi, 2003-as SARS-járvány során igazoltak utólag több utasra kiterjedő, direkt repülőfedélzeti fertőzést [20]. A többórás repülőút és a kabinmagasságnak megfelelő mérsékelt hypoxia hozzáadódása kritikusan súlyosbíthatja a korábban egyensúlyban lévő beteg állapotát, repülőút alatti hirtelen halálestet is előfordult Covid-pozitív utasnál [21]. A vírus maga az S (*spike*) tüskefehérje révén a légúti csillósőrös hengerhámra, illetve

⁹ HEPA: *high efficiency particle air*, mikron méretű részecskék kiszűrésére is alkalmas hatékony légszűrő, repülőfedélzeten óránként többször átszűri a teljes kabinlevegő-mennyiséget.

(progresszió esetén a tüdő léghólyagocskákat bélelő speciális hámsejtek) lehorgonyzott ACE2¹⁰ receptorára kötődik nagy affinitással, és az alveoláris sejtekbe bejutva gyors ütemben gyulladást, vizenyőt okoz, amely a lebenyhatárokat nem tisztelve szétterjed a tüdőben, általános légzési nehezítettséget (distresszt), majd légzési elégtelenséget okozva [22]. Ennek jele lehet a képalkotó vizsgálat (mellkasröntgen vagy CT) során a tejüvegszerű homály, amelyhez a klinikai tünetek széles spektruma társul életkortól, genetikai fogékonyságtól, az immunrendszer állapotától és az esetleges társbetegségek jelenlététől függően.

A klinikumban (a járványhullámtól, életkortól és a variánstól függően) más-más tünetek dominálhatnak, de a fejfájás, a gyengeség, láz, a fokozódó légszomj és fulladás, fejfájás, szív- és veseműködés zavara mind amellettt szól, hogy a vírus nemcsak a tüdőben, hanem több más szervrendszer ereiben jelen van, helyi gyulladást (akár önmagát ördögi körben tovább rontó heves immunválaszt, „citokin vihart”), endothel (érbelhártya) funkciózavart és vérrögképződést (thromboembóliát) vált ki. Ezek a szervi tünetek a hatodik-nyolcadik napon (delta variáns esetében már harmadik-ötödik napon!) előre kiszámíthatatlanul súlyosbodnak, órák alatt kritikusán alacsony oxigénellátáshoz vezetnek a szervezetben, tengerszinti nyomáson is 90% alatti verőeres oxigéntelítettséggel (amit egyébként csak 3000–4000 m-es magasságon tapasztalnánk egészséges alanyokon). A folyamat gyors, dinamikus funkcióvesztéssel jár a tüdőben vizenyő kialakulásával, vérrögképződéssel, az átlélegzett tüdőterületek jelentős csökkenésével, amit a tényleges fulladás csak viszonylag későn jelez („boldog hypoxia”), illetve a tüdő CT mint képalkotó eljárás a tünetekhez képest sokkal drámaibb, kiterjedtebb gyulladást ír le. Ehhez járul még a vírus direkt jelenlétével a szívizom és a szívkoszorúerek, szívburok gyulladása ritmuszavarral, akut infarktussal, akár balkamra pumpafunkció elégtelenségével, amelyek keringési oldalról tovább súlyosbítják az elégtelen szervi vér- és oxigénellátást. Ezért szükséges a terápiás lépések (lehetséges gyógyszerelés és lélegeztetési eljárások) időbeli alkalmazása [23], [24].

A vírusfertőzés gyakran közvetlenül érintette és érinti az egyébként egészséges (rendszeres éves vagy féléves alkalmassági vizsgálatra kötelezett) és egészséges életmód iránt motivált katonai és polgári légi közlekedési szakszemélyzet tagjait is, gyakran ugyanolyan megmagyarázhatatlan és egyéni egészségi (például szív-, érrendszeri) kockázatból nem következő súlyos lefolyású betegséggel és elhúzódó gyógyulással, mint az idősebb, magasabb kockázatú korcsoportokban. Nem egyedi ilyen szempontból annak a 43 éves skót pilótának, Stephen Cameronnak az esete, aki hosszú távú interkontinentális repülése után már betegen úgy érkezett Vietnámba, hogy a reptérről hordágyon vitték a sürgősségi osztályra, a tüdőszövődmények miatt légzőfelülete 90%-át elvesztette, és csak a hosszú (két hónapos) intenzív terápia mentette meg a tüdőtranszplantációtól [25].

Az egészségügyi rendszer túlterhelése már az első hullámban a fejlett nyugat-európai országokban is bekövetkezett, így a súlyos állapotú betegek megmentéséhez már a betegek átcsoportosítására, vonaton vagy légi úton való elszállítására (egészségügyi kiürítésére) is szükség volt. A repülőfedélzeti, intenzív ellátást igénylő esetekben a MEDEVAC-feladatra teljes monitorozást, invazív beavatkozást lehetővé tévő kapszulaizoláció és az egészségügyi szakszemélyzet védelme (*barrier nursing*, fertőzésgátló ápolás) mellett kerülhetett sor.

¹⁰ ACE2: angiotenzin-konvertáz enzim 2 mint receptor (az angiotenzin 2 mint erős vérnyomásemelő polypeptid deaktiválásában játszik kulcsszerepet).

Az elhúzódó gyógyulás (posztcovid szövödmények, elsősorban a tüdőfibrozis vagy gyulladás okozta hegesedés és légzőfelszín-csökkenés, illetve kisérnyulladás több szervrendszerben) és a csökkent aerob terhelhetőség (akár nyugalmi fulladásos panaszok), a mentális szövödmények (depresszió és kognitív szellemi teljesítményromlás) sok beteg számára elhúzódóan alacsony fizikai aerob terhelhetőséget és csökkent munkavégző képességet jelent [26].

Vagyis az úgynevezett Wassermann-ciklusokkal jellemezhetően (a légzés–keringés–sejtanyagcsere „fogaskerekeinek” összeillesztésével) a csökkent oxigénfelvétel, károsodott szívműködés és romló szervi keringés (a vírus direkt toxikus hatásával együtt) a belső szervek, így az agy csökkent teljesítményéhez is vezethet sejt szinten [27, p. 126].

A repülés világában ez különösen így van, akár tartósan megkérdőjelezhetik a légi személyzet hosszú távú repülési alkalmasságát, illetve indokolttá teszik a repülő egészségügyi alkalmasság soron kívüli újbóli elbírálását. Mivel a tüdőhegesedés és légzőfelszín-csökkenés miatt a szervezetszintű hypoxia áll előtérben, az aerob terhelhetőség és a magassági oxigénhiány-tűrőképesség megfelelő regenerációs ütemének megítélése alapvető. Ez különösen a G-tűrőképesség szempontjából jelenthet problémát: a műrepüléssel vagy légi harccal járó túlterhelések jelentős regionális kompressziót okozhatnak a tüdőszövetben (főleg az alsó harmadban), amelyben atelectasia alakulhat ki, a tüdő léghólyagocskák összenyomódása és a levegő felszívódása miatt. Ezek a tüdőterületek csak jelentős légzési munka (akaratlagos túllihegés vagy köhögési roham) árán vonhatók be ismét a normális légzési gázcserébe [5]. Ugyanakkor a rekeszi alsó egyharmad tüdőkapacitás (mint az intenzíven fekvő súlyos Covid-betegek forgatásos technikája alapján is kiderült) alapvető a maradék légzőfelszín hasznosításában.

A katonai repülésben a NATO Repülőorvosi Munkacsoportja¹¹ online megtartott ülésén 2020 és 2021 novemberében áttekintette a Szövetség haderői által alkalmazott klinikai irányelveket, lezajlott Covid-fertőzés után, a repülés újbóli engedélyezésére vonatkozóan. A legtöbb tagállam (például Kanadai Légierő) saját hatáskörben mérsékelt terheléssel, közepes pulzusszámmal, például 6 perces gyaloglási teszt (6MWT)¹² során méri fel a fizikai teljesítőképességet, rögzíti a perifériás (ujjbegyem mért) oxigéntelítettséget (szaturációt), ennek 3 százalékpontot meghaladó esése ugyanis körjelző lehet a még beszűkült tüdőfunkcióra. Teljes VO_{2max} (maximális légzési és keringési kapacitásig fokozódó) aerob terhelést csak a francia Repülőorvosi Intézet vezetője (Manen professzor, Párizs, Percy AeMC¹³) vetett föl, de erre vonatkozó eredmények még nem ismertek. Ugyanakkor nemzetközi és hazai klinikai iránymutatások (országos intézetek, sportorvosi szakmai kollégium részéről) az azonnali, teljes erőfeszítéssel járó fizikai aktivitás visszaállítását nem javasolják [28], [29].

Jelenleg minden légierő, illetve a polgári légi közlekedés a panaszmentesség mellett a légzési funkció megfelelő regenerációjára és ennek egyszerű eszközökkel való igazolására helyezi a hangsúlyt. Alapvetően közös megközelítés, hogy a lezajlott Covid-fertőzés súlyossági besorolásának megfelelően kell igénybe venni a diagnosztikus eszközöket a tüdő (esetleg szív, máj, vese és vérerek) érintettségének igazolására, beleértve a labor- (vérsüllyedés, C-reaktív protein, Troponin-T, mint szívizom strukturális elem bomlására utaló marker, esetleg a légzési gázdifúziós kapacitást jellemző DLCO¹⁴ meghatározást), képpalkotó eljárásokat (mellkasröntgen

¹¹ AMDWG: *Aeromedical Working Group*.

¹² 6MWT: *6 minutes walking test*, 6 perc alatt gyaloglással megtett távolság, 500 m fölötti elvárt értékkel, minimális-mérsékelt szubjektív panaszokkal, Borg-skála szerint a megerőltetési szintet pontozva.

¹³ AeMC: *Aeromedical Center*, Polgári Repülőorvosi Központ.

¹⁴ DLCO: *Diffusion Capacity of CO*: szén-monoxid diffúziós kapacitásának mérésén alapuló légzésfunkciós vizsgálat.

vagy CT, szívultrahang), vese- és májfunkciós paramétereket, amelyekhez lehet csatolni egy aerob terhelhetőséget felmérő műszeres vizsgálatot. A Kanadai Légierő iránymutatása szerint csak a tünetek teljes megszűnése után, 4 hét múlva lehetséges a pilóta újraminősítése, a fizikai terhelhetőség visszaállítása (és ennek objektívizálása) után (3. táblázat) [30].

Saját, Covid-fertőzésen átesett és gyógyult légi közlekedési szakszemélyzeti tagoknál barokamrában 5500 m-es 15 perces standard hypoxiavizsgálat során szintén észleltük még a periférián (ujjbegyen mérve) is a súlyosabb mértékű, de még tolerálható oxigénhiányt, annak ellenére, hogy az érintett egyének közül mindenki könnyű esetnek minősült, vagyis kórházi sürgősségi felvételt, esetleg intenzíven oxigénlégzést vagy gépi lélegeztetést nem igényelt, és a vizsgálatra a MH által előírt egy hónapos regenerációs periódus után, soronkívüli ROB repülőalkalmassági vizsgálat keretében került sor. Tapasztalatunk szerint a vizsgálati alanyok sokszor csak maximális légzési munka mellett tudták fenntartani az elfogadható oxigénszintet a periférián is (mivel senki sem szorult kórházi kezelésre, lélegeztetésre, illetve a tüdőlégző-felszín-kiesés reverzibilis volt, vagyis gyógyulás után helyreállt). Így mindenki el tudta kerülni a kritikus 65%-os oxigéntelítettséget, amely a vizsgálat azonnali megszakítását indokolta volna.

3. táblázat
Covid-19-vírusfertőzés súlyossági beosztása [30]

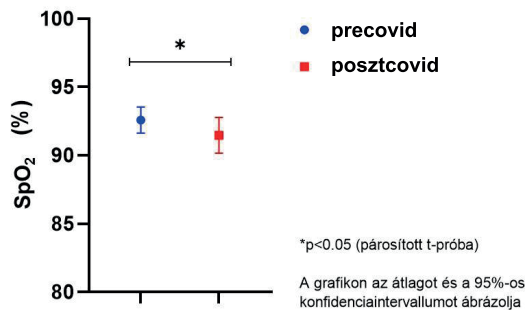
Súlyosság	Klinikai légúti és légzési tünetek	Szív- és keringési tünetek	Képzővizsgálat értékelése / kezelési alapelvek
enyhe	NINCS vagy csak kifejezett terhelésre	NINCS	Mellkasröntgen normális Önkéntes izoláció otthon
mérsékelt	Minimális terhelésre vagy mindennapi fizikai aktivitás mellett	Pihenésre szűnő mellkasi fájdalom, szapora szívdobogás / ritmuszavar, ájulásérzés (pre-syncope)	Mellkasröntgen vagy CT pozitív (de nincs „tejüveg homály” vagy üregképződési jel) Sürgősségi osztályon ellátás lehetséges, kiegészítő oxigén-terápia (FIO2 meghatározásával), vagy gyógyszeres kezelés pneumonia miatt
súlyos	Nyugalomban is jelentkeznek	Állandó vagy romló mellkasi fájdalom, syncope eszméletvesztés	Kórházi felvétel Mellkasröntgenen vagy CT-n súlyos elváltozások

Ugyanakkor a nagyfokú perifériás ingadozás az oxigéntelítettségben (előző eredményeinkből következően) maga után vonja a még sérülékenyebb agyi oxigénellátás oszcillációját, hiszen az még inkább ki van téve az érbelhártya- (endothel) funkciózavar okozta ingadozásának, alacsonyabb perifériás oxigéntelítettség mellett. Ennek további vizsgálata, az agyi oxigenizációra gyakorolt direkt hatásának elemzése folyamatban van, jelentőségét a szakirodalmi adatok is aláhúzzák, az agyban bekövetkező érbelhártya-funkció változását például az agyvérzés (stroke) kialakulásában alapvetőnek tartják a koronavírus-fertőzés szövődményeként [31] (9. ábra).

Míg a katonai légierők szigorú izolációs („buborék”) és tesztelési rendszerben, a váltások elkülönítésével megőrizték harcképességüket, addig az elhúzódozó lezárások, mozgási korlátozottság az egész polgári légi közlekedést, repülőipart súlyosan érintették. A nemzeti

és nemzetközi légügyi hatóságok (például EASA)¹⁵ a szükséges elméleti-gyakorlati kiképzések terén online oktatást vezettek be, meghosszabbították az egyes szakszolgálati típusengedélyek érvényességi idejét, sőt az egészségügyi alkalmasságot is kiterjesztették, amennyiben csak szemüveg miatti korlátozás állt fenn, vagy nem volt egyéb műveleti (például „csak biztonsági vagy másodpilótával repülhet”) és időbeli korlátozásra vonatkozó bejegyzés. A járványhelyzet remélhetőleg közeljövőbeli javulása után, a légi közlekedés újraindításával sajnos nem zárható ki, hogy a repülési tapasztalat csökkenése (vészhelyzetben az elveszett begyakorlottság, a gyors reakciókészség hiánya) a repülésbiztonsági kockázatok átmeneti emelkedését okozza. Ehhez járul még a vírusfertőzés okozta központi idegrendszeri gyulladós folyamatok direkt hatásaként és a tartós/átmeneti munkanélküliség (földi létlenség és motivációvesztés) indirekt hatásaként kialakuló depresszió, csökkent koncentrációképesség (agyi ködös állapot) kockázata [32].

Pre/postcovid SpO₂ mérések 5500 m-nek megfelelő hypoxiás állapotban



9. ábra

Perifériás oxigénszint barokamrában Covid-19-vírusfertőzés előtt és után [a szerző]

6. Összefoglalás

A napjaink katonai vadászgépein több alkalommal bekövetkező hypoxiás halálesetek mint UPE-k retrospektív elemzése és a magasságélettani kutatások legfrissebb eredménye a hypoxia megelőzésének és kezelésének revízióját indokolja. A Magyar Honvédség Egészségügyi Központ Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet barokamrájában végrehajtott VR-szimulált repülések során NIRS-technikával végrehajtott transzcranális agyi oxigénszintmérések során azt találtuk, hogy hypobáriás hypoxiában kellő mértékű parciális nyomáson használt oxigénlelegeztetéssel sem lehet feltétlenül biztosítani a hypobáriás expozíció előtti, a tengerszinti levegő belégzésével elért normális agyi oxigénszintet. A megváltozott pH,

¹⁵ EASA: *European Aviation Safety Agency*, az Európai Unió Repülésbiztonsági Szervezete, hatósági és törvényszintű (*Regulation*) jogszabályalkotási jogkörrel.

sav-bázis egyensúly miatt az agyi oxigenizáció még akár a földre visszatérés után 10–20 perccel sem tér vissza a behatás előtti szintjére, (miközben az ujjbegyen mért szaturáció már teljes, 100%-os értéket mutat).

Az agyi oxigéndeficit komoly idegrendszeri funkcionális kiesést jelenthet, ami a hypoxia másnaposság („poszthatás”) részjelensége lehet. Emiatt szükség van a repülésbiztonsági kockázatot jelentő hypoxia-tűrőképesség minősítésére barokamrában, sőt távlati célként a NIRS-EKG-HRV (agyivéráramlás- és szívfrekvencia-variabilitás) mint szenzoros monitorizálás és kiértékelési képesség fedélzeti (reális repülés alatti) alkalmazása (orvosi fekete doboz) is felmerül a harcképesség nyomon követésére.

Az aktuális világjárványra legérzékenyebben a repülés, a repülőipar és a légi közlekedés reagált, a katonai és a polgári repülésben súlyos és közvetlen fertőzési lehetőséget, a betegség direkt transzmisszióját és a repülésélettani kockázatokkal, mindenekelőtt a magassági oxigénhiánnyal való direkt kombinációja révén a klinikai tünetek gyors progresszióját okozva. Sőt a már gyógyultnak minősített esetek jelentős részében (egyes felmérések szerint akár 30%-ában) a ködös agy és a fulladás és fáradékonyság tünetei a „posztocovid” tünetegyüttesben akár hónapokig fennállhatnak, fokozhatják a magassági hypoxia önmagában is veszélyes hatását, csökkentve a pilóta munkavégző képességét, fizikai és mentális teljesítőképességét.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki Fischer Gábor főmérnök úrnak (Anamed Kft.) a Mindray orvosbiológiai őrzőpult barokamrai telepítéséért és a NIRS-, kapnograph és EEG-modul alkalmazási lehetőségéért.

Felhasznált irodalom

- [1] Szabó S. A., Tótká Zs., Dunai P., Domján K., Vada G., Az oxigéndeficit repülésbiztonsági jelentősége és lehetséges magyarázata agyi pulzoximetria NIRS eredményei alapján, szimulált repülési stresszhelyzetben. in *Repüléstudományi tanulmányok. Repüléstudományi Szemelvények 2020.* Szilvássy L., Békési B. szerk., Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó, 2021, pp. 11–42. Online: https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/17761/01_Szabo_Totka_Domjan_Dunai_Vada.pdf?sequence=1
- [2] A. R. Jr. Artino, R. V. Folga, B. D. Swan, „Mask-On Hypoxia Training for Tactical Jet Aviators,” *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 77. No. 8. pp. 857–863. 2006.
- [3] „F-35A Pilots Have Experienced Five Physiological Events Since June,” *Air Force Magazine*, 2017. október 25. Online: www.airforcemag.com/daily-report/October%2025%202017
- [4] T. Rogoway, Now That The F-35a Is Also Having Oxygen Issues a Solution is More Likely. *The Drive*, 2017. június 13. Online: www.thedrive.com/the-war-zone/11468/now-that-the-usafs-f-35a-has-oxygen-issues-too-a-solution-is-more-likely
- [5] J. J. Elliott, D. R. Schmitt, „Unexplained Physiological Episodes: A Pilot’s Perspective,” *Air & Space Power Journal*, Vol. 33. No. 3. pp. 15–32. 2019. Online: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1081774.pdf>

- [6] Magyar Honvédség Repülésbiztonsági konferencia, MH 59. Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis 2008.
- [7] MH 59. SzDRB 880-7-2021. sz. 2021. február 26.
- [8] Amerikai Képviselőház (US House of Representatives), Légierő vezetőjének (Department USAF) meghallgatása a Harckészültségi Albizottság (Subcommittee on Readiness), Fegyveres Erők Bizottság (Committee on Armed Forces) ülésén, in Rödíg, E.,: Unexplained Physiological Episodes (UPEs) – Phenomenon or an Inflight Hazard? 7th User Meeting of AMST, előadás Debrecen, 2019. szeptember 14.
- [9] R. Mayes, USAF & NATO STO HFM (Tudományos és Technológiai Szervezet, Humán Faktor és Medicina Panel) Summit, March 2017.
- [10] GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légiközlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen–VOLARE” című projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósult meg.
- [11] Domján K., Vada G., „Katonai pilóták élettani paramétereinek monitorozása szimulált repülési körülmények között,” *Haditechnika*, 54. évf. 3. sz. pp. 2–7. 2020. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.54.3.01>
- [12] Szabó S. A., „Orvosbiológiai monitorizálás jelene és jövője a katonai repülésben (különös tekintettel a stressz okozta szívfrekvencia variabilitás és agyi vérátáramlás variancia jellemzésére),” *Repüléstudományi Közlemények*, 30. évf. 2. sz. pp. 145–162. 2018. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/4360/3559>
- [13] J. B. Phillips, D. S. Horning, R. E. Dory, *A Comparison of Pulse-Oximetry, Near-Infrared Spectroscopy (NIRS), and Gas Sensors for In-Cockpit Hypoxia Detection*. Technical Memorandum Report Number 12–60. Naval Medical Research Unit – Dayton, 2012. Online: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA571028>
- [14] A. Moerman, S. D. Hert, „Recent Advances in Cerebral Oximetry. Assessment of Cerebral Autoregulation with Near-Infrared Spectroscopy: Myth or Reality?” *F1000Research*, Vol. 6. p. 1615. 2017. Online: <https://doi.org/10.12688/f1000research.11351.1>
- [15] J. Steppan, C.W. Hogue, „Cerebral and Tissue Oximetry,” *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, Vol. 28. No. 4. pp. 429–439. 2014. Online: <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2014.09.002>
- [16] Xu Cui, S. Bray, D. M. Bryant, G. H. Glover, A. L. Reiss, „A Quantitative Comparison Of NIRS And fMRI Across Multiple Cognitive Tasks,” *NeuroImage*, Vol. 54. No. 4. pp. 2808–2821. 2011. Online: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.10.069>
- [17] University of Iowa Health Care, *Pulse Oximetry Basic Principles and Interpretation*. Online: <https://medicine.uiowa.edu/iowaprotocols/pulse-oximetry-basic-principles-and-interpretation>
- [18] Hornyik Zs., „A koronavírus-járvány kezelésének hazai tapasztalatai az infektológus szemével nézve. Interjú dr. Szlávik Jánossal, a Dél-pesti Centrumkórház infektológiai osztályának vezetőjével,” *Belügyi Szemle*, (é. n.). Online: <https://belugyiszemle.hu/hu/node/532>
- [19] L. Wang, C. A. Alexander, „COVID-19 Compared with Other Viral Diseases: Novelities, Progress, and Challenges,” *Electronic Journal of General Medicine*, Vol. 18. No. 1. pp. 1–12. 2021. Online: <https://doi.org/10.29333/ejgm/8575>

- [20] A. Mangili, M. A. Gendreau, „Transmission of Infectious Diseases during Commercial Air Travel,” *The Lancet*, Vol. 365. No. 9463. pp. 989–996. Online: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)71089-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)71089-8)
- [21] M. Alonso, K. Murray, H. Silverman, „United Passenger Died of Covid–19 and Acute Respiratory Failure, Coroner Says,” *CNN*, 2020. december 22. Online: <https://edition.cnn.com/2020/12/19/us/united-passenger-died-covid-symptoms/index.html>
- [22] Nagy V., „A renin–angiotenzin–aldoszteron rendszer gátlása súlyos akut légúti tünetegyüttest okozó koronavírus 2 (SARS-COV-2) járvány idején,” *Cardiologia Hungarica*, 50. évf. 2. sz. pp. 93–99. 2020. Online: <https://doi.org/10.26430/CHUNGARICA.2020.50.2.93>
- [23] S. Dhont, E. Derom, E. Van Braeckel, P. Depuydt, B. N. Lambrecht, „The Pathophysiology of 'Happy'hypoxemia in COVID-19,” *Respiratory Research*, Vol. 21. No. 1. pp. 1–9. 2020. Online: <https://doi.org/10.1186/s12931-020-01462-5>
- [24] R. T. Gandhi, J. B. Lynch, C. Del Rio, „Mild or Moderate Covid–19,” *The New England Journal of Medicine*, Vol. 383. No. 18. pp. 1757–1766. 2020. Online: <https://doi.org/10.1056/NEJMcp2009249>
- [25] O. Barnes, „Coronavirus: Vietnam Coma Pilot Warns People 'Not To Be Blasé’,” *BBC News*, 2020. július 27. Online: www.bbc.com/news/uk-scotland-53544345
- [26] A. Nalbandian, K. Sehgal, A. Gupta et al., „Post-Acute COVID-19 Syndrome,” *Nature Medicine*, Vol. 27. No. 4. pp. 601–615. 2021. Online: <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01283-z>
- [27] Balogh L. (szerk.), *Bevezetés a sportdiagnosztikába*. Debrecen, Campus, 2015. Online: https://sportsci.unideb.hu/sites/default/files/upload_documents/bevezetes-a-sport-diagnosztikaba.pdf
- [28] Bogos K., Temesi G., Kerpel-Fronius A. et al., *A Covid–19 vírusfertőzésen átesett – és visszamaradó károsodásokat szenvedő – Poszt-Covid szindrómás betegek gondozási protokollja*. (EMMI és országos szakintézetek útmutatója) 2021. Online: <https://tudogyogyasz.hu/Media/Download/30445>
- [29] National Institute for Health and Care Excellence (UK), *COVID-19 Rapid Guideline: Managing the Long-Term Effects of COVID-19*. London, 2020. Online: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33555768/>
- [30] NATO Repülőorvosi Munkacsoport Fórum (publikus): Kanadai Légierő klinikai útmutatója post-Covid-betegek minősítésére (nso.nato.int védett honlap)
- [31] M. Sashindranath, H. H. Nandurkar, „Endothelial Dysfunction in the Brain Setting the Stage for Stroke and Other Cerebrovascular Complications of COVID-19,” *Stroke*, Vol. 52. No. 5. pp. 1895–1904. 2021. Online: <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.120.032711>
- [32] D. Yetman, „What to Know about Covid–19 and Brain Fog?” *Healthline*, 2021. március 17. Online: www.healthline.com/health/covid-brain-fog#causes
- [33] Rödíg, E.: Unexplained Physiological Episodes (UPes) – Phenomenon or an Inflight Hazard? 7th User Meeting of AMST, előadás Debrecen, 2019. szeptember 14.

Altitude Dependent Oxygen Deficit and Covid–19 Pandemic

In military flight even nowadays, one of the most important aeromedical hazards leading to sudden incapacitation is the threat of hypobaric hypoxia. Based on the data of flight safety statistics and disaster investigations there is a reasonable suspicion in increased rate that recently developed OBOGS (on-board oxygen generating system) cannot provide full oxygen supply, or the cerebral circulation cannot maintain proper oxygen utilization for every moment. There is a certain risk for pilot as an operator to lose physical-mental performance momentarily. Based on our experiments in bar chamber during VR (Virtual Reality) flight mission we concluded that in brain cells a long lasting oxygen utilization problem can commence due to the controversial compensation mechanisms and unpredictable stress response of heart-brain axis. The analysis of hypoxic incidents and fatal events (as UPEs, unexplained physiological events) on-board of most advanced fighter aircrafts is especially important after infection in Covid–19 pandemic, provoking even further aggravated pathophysiological abnormalities in virus pneumonia and ARDS (Adult Respiratory Distress Syndrome), even after recovery from acute phase.

Keywords: *hypobaric hypoxaemia, VR (Virtual Reality) flight profile in bar chamber, cerebral pulsoxymetry NIRS (near infrared spectroscopy), UPE (unexplained physiological events), Covid–19 pandemic and Adult Respiratory Distress Syndrome, post Covid symptoms*

<p>Nagy-Bozsok József Semmelweis Egyetem, 5. évf. orvostanhallgató Szegedi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Repülő és Űrorvosi Tanszék, TDK-hallgató</p> <p>jozsef.nagybozsoky@gmail.com orcid.org/0000-0003-3130-451X</p>	<p>József Nagy-Bozsok Semmelweis University 5th year medical student TDK (Students' Scientific Research Program) fellowship at University of Szeged Faculty of Medicine Department of Aviation and Space Medicine, jozsef.nagybozsoky@gmail.com orcid.org/0000-0003-3130-451X</p>
<p>Dr. habil. Szabó Sándor András PhD Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, egyetemi magántanár Katonai Műszaki Doktori Iskola oktatója Szegedi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Repülő és Űrorvosi Tanszék tanszékvezető docens</p> <p>sasi19620@gmail.com orcid.org/0000-0002-1362-4723</p>	<p>Sándor András Szabó, PhD. habil. University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training, Professor Lecturer of Doctoral School of Military Engineering University of Szeged Faculty of Medicine Department of Aviation and Space Medicine, assigned Associate Professor sasi19620@gmail.com orcid.org/0000-0002-1362-4723</p>

<p>Dr. Tótká Zsolt Magyar Honvédség Egészségügyi Központ Kecskeméti Repülőorvosi, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézet Magasság-élettani Osztály, osztályvezető főorvos</p> <p>tolzs@gmail.com orcid.org/0000-0002-4326-3287</p>	<p>Zsolt Tótká, MD, MC Military Medical Center of Hungarian Defence Forces, Aeromedical, Medical Screening and Healthcare Institute, Kecskemét Head of High Altitude Physiology Department</p> <p>tolzs@gmail.com orcid.org/0000-0002-4326-3287</p>
--	--



Fehér Balázs, Gáti Balázs, Illés Zoltán

A Magnus Fusion 213 tanúsításának tapasztalatai

Az első hazánkban tervezett és készült repülőgép típusalkalmassági engedélyének megszerzése során fontos tapasztalatok gyűltek össze. A cikkben először a tanúsítás folyamatának lépéseit foglaltuk össze, majd a berepülés során alkalmazott műszereket és érzékelőket mutatjuk be. A berepülési programot a keresztstabilitás és az emelkedési képesség mérésén keresztül szemléltetjük. Továbbá részletesen ismertetjük azt az adatgyűjtő és telemetriarendszert, amelyet a tanúsítási feladatokon túl a repülőgép tulajdonságainak optimalizálására fejlesztettünk.

Kulcsszavak: EASA, Magnus Fusion 213, tanúsítás, certification, telemetria, berepülés, stabilitás, teljesítmények

1. Áttekintés

A Magnus Fusion 213 története 2017. november 21-én kezdődött (hivatalosan), amikor a vállalat benyújtotta a típus tanúsítási kérelmét az Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynöksége (EASA) felé. Az első megbeszélésre, az úgynevezett „kick-off meeting”-re 2018. február 23-án került sor, Kölnben. Ekkor az EASA véglegesítette velünk a „certification basis”-t (ez a CS-LSA¹, az EASA vezetőjének 2013/015/R számú döntésével módosított követelményrendszer), és meghatározták azokat az eljárásokat (további biztonsági tényezők miatt, ETSO²-jövahagyással nem rendelkező műszerek alkalmazása stb.), amelyeket a tanúsítás során figyelembe kell venni. Ekkor határozták meg az EASA certifikációs csapatát, amely a következő szakterületeket foglalja magában:

- 1 fő PCM;³
- 1 fő berepülőpilóta;
- 1 fő szerkezeti mérnök;
- 1 fő hajtóműmérnök és mechanikai-hidraulikus rendszerekért felelős mérnök;
- 1 fő elektronikai és avionikai rendszerekért felelős mérnök;
- 1 fő zaj- és kibocsátáslimitéért felelős mérnök.

¹ *Certification Specifications for Light Sport Aeroplanes*. 600 kg maximális felszállótömeg, és 45 csomós maximálisan engedélyezett átesési sebesség teljesen kinyitott fékszárnyakkal.

² ETSO: *European Technical Standard Order*, a 748/2012 EU rendelet „O” alrészé szerint engedélyezett műszerek és repülőgép-fedélzeti berendezések [3].

³ *Project Certification Manager*: az EASA-nál egy adott tanúsítási projekt kezeléséért felelős megbízott.

Meghatározták az úgynevezett „*level of involvement*”-et is, ami azt jelenti, hogy az EASA milyen mértékben kér be minden adatot, mely tesztek akarják személyesen is megtekinteni. Ez egy „új cégnél” mindig magasabb, mint egy (az EASA számára) ismert társaságnál.

2018 végén adták be a repülőgép aerodinamikai adatait, a sebességi-terhelési többszörös burkológörbét, azaz a „*flight envelope*”-ot, az ebből adódó terhelésszámításokat, illetve tömegközéppont-analízist. Miután a szerkezeti mérnök részéről további észrevétel nem volt, a terhelési próbákra való prototípus (ami soha nem fog repülni, lévén akkora terheléseket kap, hogy végleges deformációt/törést szenvedhet, ami a repülésre való alkalmasságát kizárja) építése 2019 folyamán befejeződött. A prototípus elsődleges szerkezeti elemei (szárny, törzs, irányfelületek) terhelési próbáinak első része (az úgynevezett „*structural test campaign*”) 2019. október 17. és október 24. között zajlottak, a pécs-pogányi repülőtéren. Ezt az EASA képviselői is megtekintették, mivel a „*level of involvement*” elég magas ebben a projektben. Továbbá, mivel a prototípus építését az illetékes állam légügyi hatósága felügyeli, az ITM légügyi hatóság is képviseltette magát. A szárny terhelési próbája 2019. október 19-én történt, az ezt végrehajtó csapat látható az 1. ábrán.



1. ábra

A Fusion 213 földi strukturális tesztjét végrehajtó csapat a teszt sikeres végrehajtása után, 2019. október 17-én
[Michal Stepan felvétele]

Ezután a repülőképes prototípus építése kezdődött meg, sajnos a Covid-19-világjárvány miatt ez is lassabban haladt a vártnál. Ezalatt a vállalat újabb mérföldkőhöz ért, 2020. november 26-án jóváhagyták tervezési eljárásait, és az EASA kiadta a Magnus Aircraft Zrt. részére az EASA. AP.518 számú „AP-DOA”⁴-engedélyt. Ugyan a Fusion 213 típusú repülőgép úgynevezett

⁴ *Alternative Procedures to Design Organization Approval*, olyan tervezőszervezet-tanúsítás, ahol a szervezet tervezési és tanúsítási folyamatait hagyja az EASA jóvá.

„ELA1” (*European Light Aircraft-1*) kategóriájú légi jármű (azaz 1200 kg alatt van a maximális felszállótömege) az EASA egy ilyen kategóriájú légi jármű esetén is előírja a megfelelő tervezési (és ellenőrzési) eljárások meglétét. Ha nincs is tervező szervezet, legalább a tanúsítási programban részletezni kell az eljárásokat. Jóváhagyott tervezési eljárások esetén pedig elég csak ezt meghivatkozni a certifikációs dokumentumokban a 748/2012 EU rendelet 21.A.14 (b) szerint, továbbá AP-DOA megléte esetén a vállalat későbbiekben tervezhet és európai szabványok szerint tanúsíthat 2000 kg maximális felszállótömegű légi járművet, emellett bizonyos feltételekkel (lásd a 21.A.112B Guidance Material) 5700 kg feletti felszállótömegű, úgynevezett nagy repülőgépek módosításainál is eljárhat.

Az AP-DOA-engedély megszerzésével párhuzamosan a repülőgép további elemeinek terhelési próbái (ülések, ELT⁵-tartó, biztonsági övek, motortartó, mentőernyőrendszer bekötési csomópontjai stb.) is befejeződtek.

A futómű terhelési próbáit (statikus és úgynevezett „dobási” teszt) is végrehajtottuk 2020. december 9-én (az EASA és ITM képviselőinek online jelenlétében, a járvány miatti utazási korlátozások következtében).



2. ábra
Egy dobási teszt mozzanatai 2020. december 9-én [7]

A dobási teszt sikeres volt, a repülőgép megterhelt törzse egy daruról 68,7 cm magasságból lett ledobva, és sem a kompozit laprugós futómű, sem a bekötés semmilyen kárt nem szenvedett (2. ábra). Ekkor lehetett a repülőgépet strukturálisan is véglegesíteni, és befejezni a prototípus építését (az újabb Covid-19-hullám miatt 2021 nyarán fejeztük be). Utolsó „simításként” meg kellett állapodni az EASA berepülőpilótájával a repülőgép berepülési programjában (2021. október 18-án sikerült), valamint a strukturális szakértővel a flattertulajdonságokat

⁵ *Emergency Locator Transmitter*, vészhelyzeti jeladó.

előrejelző vibrációs teszt kérdéseiben (ezt 2021. október 21-én hagyták jóvá). A flutteranalízist az FAA Report 45 [5] szerint végeztük el (3. ábra).



3. ábra

Földi vibrációs teszt a Fusion 213 prototípusán, 2021. szeptember 21-én [8]

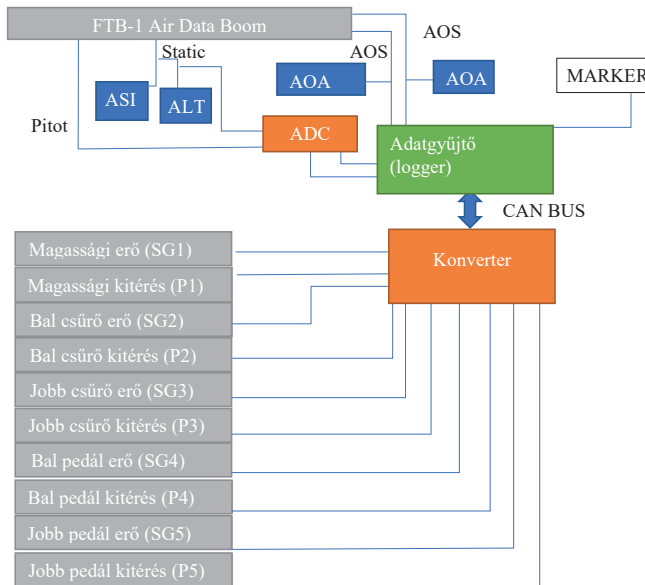
Ekkor a vállalat, a Fusion 213 prototípus számára megkapta a 748/2012 EU rendelet, P alrészének 21.A.708 pontja szerinti repülési feltételeket – „*flight conditions*” – (Magyarországról elsőként), majd az ITM légügyi hatóság 2021. október 29-én ki is állította az első magyar EASA-s *Permit to Fly*-t (repülési engedélyt) [3].

Másnap pedig „felkerült a pont az i-re”, a Magnus Fusion 213 prototípusa, HA-XAD lajstromjellel 2021. október 30-án 10 óra 03 perckor először szállt fel a pécs-pogányi repülőtér 16-os pályájáról, Fehér Balázs berepülőpilótával.

2. A berepülési program

Azóta a repülőgép 25 órát teljesített, 80 felszállásból. Az elején az alapvető repülési tulajdonságokat, valamint a motor megfelelő hűtését próbáltuk ki. Jelenleg az úgynevezett „*development flight test campaign*”, azaz a fejlesztési célú repülések zajlanak, néhány certifikációs repüléssel (például pitot-statikus rendszer beépítési hibáinak feltárása és kalibrálása, „*Position Error Correction*” – PEC). Az első 15 felszállás során a repülőgép le volt korlátozva sebesség és terhelési többszörös tekintetében is (maximálisan engedélyezett sebesség 95 csomó, a maximálisan engedélyezett pozitív terhelési többszörös +2,5, a minimum engedélyezett terhelési többszörös –1 volt) a korlátozásokat 2021. december 15-én oldotta fel az EASA. 2022. január 19-én és 20-án a repülőgép (több lépcsőben, a fokozatosság elvét szem előtt tartva, amit a szakma úgy hív, hogy „*build-up approach*”) – természetesen a megfelelő biztonsági határok figyelembevételével – ki lett gyorsítva a V_D tervezési sebességig (illetve fölé), ami 165 csomó. Káros rezgés, flutter, reverzálás nem lépett fel. Már a Fusion 212 DULV engedélyeztetésekor „jól bevált” gyorsulásmérők felhasználásával (ezeket a szárny, illetve a vezérsíkok végére szereltük) validáltuk e tulajdonságokat.

Amikor minden paraméter megfelelő, akkor kezdődik az úgynevezett „*certification flight test campaign*”. Ekkor a CS-LSA ([1]) B fejezetének 4. szakasza (Flight) meghatározott pontjainak való megfelelést demonstráljuk egy megfelelő műszeregyüttessel (4. ábra).



Jelölések magyarázata:

AOA – *angle of attack*, állásszög

AOS – *angle of sideslip*, csúszási szög

ASI – *airspeed indicator*, sebességmérő

ALT – *altitude indicator*, magasságmérő

ADC – *air data computer*, statikus és dinamikus nyomás feldolgozóegység

Szürke: szenzor (SG – *strain gage*, nyúlásmérő bélyeg, P – *position transducer*, helyzetszögadó)

Narancs: konverter, műveleti erősítő

Zöld: adatgyűjtő, logger

4. ábra

A berepülési műszerezettség (Flight Test Instrumentation) blokkdiagramja [9]

A műszerezettség használatára két példát mutatok be a jelenleg is futó berepülési programból. Az első a [1] 4.5.5.4, amely a „*Lateral stability shall be shown by a tendency for the airplane to return toward a level-wing attitude after release of the roll control from a slip condition.*” Tehát, a repülőgép keresztstabilitását azzal kell demonstrálni, hogy egy csúsztatásból a csűrő elengedésével a repülőgépnél vissza kell térnie vízszintes helyzetbe. Ezt hívják egyébként „*wing-pickup*”-nak. Ennek feltételeit a 4.5.5.5 pont taglalja:

„The airplane shall demonstrate compliance with this section while in trimmed steady flight for each flap and power setting appropriate to the following configurations: (1) climb (flaps as appropriate and maximum continuous power); (2) cruise (flaps retracted and 75 % maximum continuous power); and (3) approach to landing (flaps fully extended and engine at idle).”

Tehát három esetben kell ezt vizsgálni: (1) emelkedés közben, folyamatosan emelkedő teljesítménnyel és megfelelő fékszárnyakkal, (2) utazó repülési helyzetben és a maximális tartós teljesítmény 75%-ával, illetve (3) megközelítési helyzetben, teljesen kiterített fékszárnyakkal és alapjáraton működő motorral. Ezt úgy demonstráljuk, hogy (az EASA által jóváhagyott berepülési program szerint meghatározott biztonságos magasságban) konfiguráljuk a repülőgépet (emelkedés, utazó vagy süllyedés, hajtómű-teljesítmény, fékszárnyhelyzet), kitrimmeljük a repülőgépet, feljegyezzük a paramétereket. Normál csúsztatás végrehajtása után (minimum 10 fokos bedöntést kell elérni) elengedjük a csűrőt, és megfigyeljük, hogy visszatér-e a repülőgép vízszintes helyzetbe. Ezekről (a pilóta megfigyelései mellett) részletes adatsorelemzést végzünk a berepülési jegyzőkönyvben a következőkkel:

- nyomásmagasság;
- kalibrált sebesség;
- bedöntési szög;
- bólintási szög;
- állásszög;
- csúszási szög.

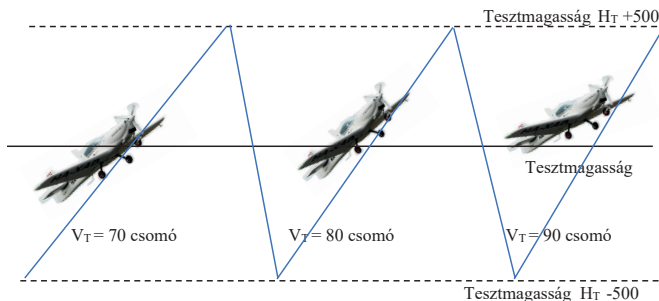
A második példa a repülőgép emelkedési tulajdonságai. A CS-LSA 4.4.3 pontja rendelkezik az emelkedési tulajdonságokról:

„4.4.3 Climb—At maximum takeoff weight, flaps in the position specified for climb within the POH⁶, and full throttle:

4.4.3.1 Rate of climb at V_V shall exceed 95 m/min (312 fpm).

4.4.3.2 Climb gradient at V_X shall exceed 1/12.”

Tehát maximális felszállótömeg esetén V_V sebességnél a függőleges sebesség (vario) haladja meg a 95 m-t percenként (312 láb per perc), illetve az emelkedési gradiens haladja meg az 1/12-t (azaz 8,33%). Itt az úgynevezett „fűrészfogas emelkedés” (*sawtooth climb*) módszerét kell alkalmazni, amikor két kiválasztott magasság között (adott tesztmagasság ± 500 láb), különböző sebességekkel végzünk emelkedéseket. (5. ábra).



5. ábra

A „sawtooth climb” sematikus vázlata, az egyes sebességeknél adódó különböző bólintási szögek érzékeltetésével [9]

⁶ Pilot's Operating Handbook – légi-üzemeltetési utasítás.

Fontos az emelkedési sebesség minél szűkebb határok között (± 3 csomó) tartása. Az alábbi paramétereket jegyzik fel:

- kalibrált sebesség (dinamikus nyomás a Pitot-csőn);
- kalibrált magasság;
- az eltelt emelkedési idő a két magasság között;
- külső hőmérséklet;
- hajtómű-paraméterek;
- felszállás óta eltelt idő, tüzelőanyagszint.

Az eltelt időből a két szignifikáns magasság között meghatározzuk a függőleges sebességet (VVi) láb/sec-ben:

$$VV_i = \left(\frac{dH_i}{dt} \right) \quad (1)$$

ahol

dH_i – a kijelzett magasság (*indicated altitude*) változása,

dt – eltelt idő.

A kalibrált sebességértékből valós légsebességet (*true airspeed*) számítunk, az alacsony (összenyomhatósági tényezőket elhanyagoló) sebességtartományban a q_c (összenyomható dinamikus nyomás) és a q (dinamikus nyomás) egyenlőnek tekinthető. Emiatt az alábbi formula alkalmazható:

$$V_T = V_e \sqrt{\sigma} \quad (2)$$

ahol a levegő sűrűségi aránya (σ) az alábbi módon számítható:

$$\sigma = \frac{\delta}{\theta} \quad (3)$$

ahol

θ -relatív hőmérséklet aránya ($\frac{T_a}{T_0}$), ahol T_a a külső hőmérséklet, T_0 pedig a standard hőmérséklet az adott magasságon (ICAO doc 7488 táblázat szerint),

δ -relatív nyomás aránya ($\frac{P_a}{P_0}$), ahol P_a a külső légnyomás (statikus), P_0 pedig a standard légnyomás az adott magasságon (ICAO doc 7488 táblázat szerint).

A valós légsebesség meghatározása után az úgynevezett „*tapeline altitude correction factor*” meghatározása következik.

$$\text{Tapeline altitude correction} = \frac{\text{Abszolút külső hőmérséklet } [^\circ K] - T_T}{\text{Abszolút standard hőmérséklet } [^\circ K] - T_S} \quad (4)$$

Ebből ki lehet számítani az aktuális (*tapeline*) függőleges sebességet:

$$\left(\frac{dH}{dt} \right)_{\text{tapeline}} = \left(\frac{dH}{dt} \right)_i \frac{T_T}{T_S} \quad (5)$$

Megtörténik a tömegkorrekció:

$$\left(\frac{dH}{dt}\right)_s = \left(\frac{dH}{dt}\right)_{\text{tapeline}} \frac{W_T}{W_S} \quad (6)$$

ahol

W_T – a repülőgép valós tömege a teszt során, ami a repülőgép felszállótömege – elfogyasztott tüzelőanyag mennyisége,

W_S – a repülőgép standard maximális felszállótömege (Fusion 213 esetén 600 kg).

Indukált ellenállás korrekció azért szükséges, mert a teszt során a repülőgép tömege nem azonos a repülőgép maximális standard felszállótömegével, így a szárnynak különböző állásszöggel repülve az indukált ellenállása is különböző lesz.

Az indukált ellenállás az alábbi módon számítható:

$$D_i = qSC_{Di} = qS \frac{C_L^2}{\pi ARe} \quad (7)$$

ahol

q – a dinamikus nyomás,

AR – a szárnykarcsúság,

e – Oswald-faktor (a repülőgép polárisából),

S – szárnyfelület,

C_L – felhajtóerő-tényező,

C_{Di} – indukáltellenállás-tényező.

Mivel $C_L = \frac{W}{qS}$, ezért

$$\Delta D_i = \frac{W_k^2 - W_s^2}{\pi ARe} \left(\frac{qS}{q^2 S^2}\right) = \frac{W_k^2 - W_s^2}{\pi ARe q S} \quad (8)$$

Beszorozva a valós légsebességgel:

$$\left(\frac{W_k^2 - W_s^2}{\pi ARe q S}\right) V_T = W_S \Delta \frac{dH}{dt} \quad (9)$$

Átrendezve és a dinamikus nyomást kifejtve:

$$\Delta \frac{dH}{dt} = \frac{V_T}{\pi ARe \frac{1}{2} \rho V_T^2 S} \frac{W_k^2 - W_s^2}{W_S} \quad (10)$$

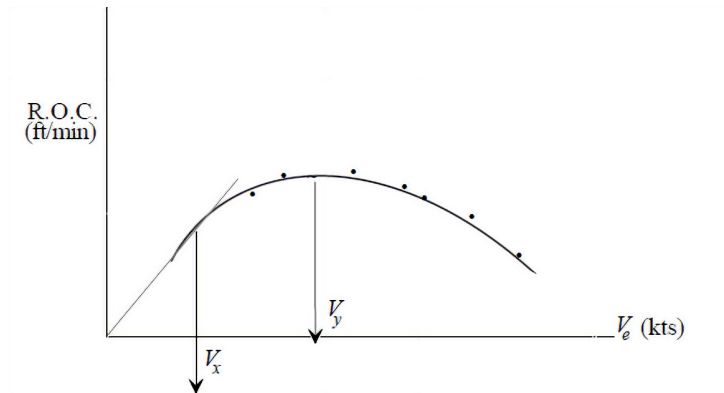
Ebből

$$\Delta \left(\frac{dH}{dt}\right)_{Di} = \frac{2}{\pi ARe \sigma \rho_0 V_T S} \quad (11)$$

Ez hozzáadódik az eddigi korigált függőleges sebességértékekhez:

$$\left(\frac{dH}{dt}\right)_{standard} = \left(\frac{dH}{dt}\right)_s + \Delta\left(\frac{dH}{dt}\right)_{Di} \quad (12)$$

Ebből lesz a valós, korigált függőleges sebesség feet/min-ben, amennyiben 60-nal beszorozzuk. Ebből az alábbi görbét szerkesztjük meg, felvéve a függőleges sebességi értékeket, és a hozzájuk tartozó ekvivalens sebességeket (6. ábra).



6. ábra

A függőleges sebesség és a pályamenti sebesség kapcsolata [9]

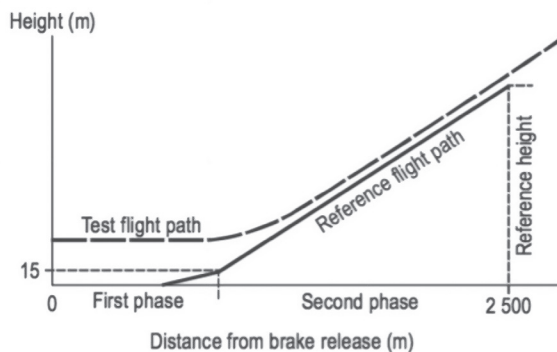
A görbe csúcspontján, a vízszintes tengellyel párhuzamos érintő pontjában lesz a V_y , a legnagyobb emelkedési sebességhez tartozó sebességértéket kapjuk, aminek a CS-LSA 4.4.3.1 [1] szerint minimum 312 feet/min értéket meg kell haladnia.

A legnagyobb emelkedési szöghöz tartozó sebesség (V_x) grafikusán az origóból húzott érintővel határozható meg. Ehhez az emelkedés mértéke az alábbi módon számítható, adott pálya menti és függőleges sebesség esetén:

$$\gamma = \sin^{-1} \frac{ROC\sqrt{\sigma}}{V_x} \quad (13)$$

aminek a CS-LSA 4.4.3.2 szerint az 1/12 értéket meg kell haladnia.

Az így nyert adatok később is elkísérik a repülőgépet, hiszen például a zajtulajdonságok megállapításához is ezeket kell használni. Az ICAO Annex 16 szerint ebben a kategóriában (8618 kg alatt) mindössze átrepülési zajszintet kell mérni, amelyet egy referencia repülési pálya (*reference flight path*) mentén kell meghatározni (7. ábra).



7. ábra
Átrepülési zajsztint mérésének elemei [2]

A referenciamagasságot (méterben) az alábbi módon kell megállapítani:

$$H_R = (2500 - D_{15}) \tan \left(\sin^{-1} \left(\frac{ROC}{V_Y} \right) \right) + 15 \quad (14)$$

ahol

D_{15} – a repülőgép felszállási úthossza 15 m magasságig, maximális felszállótömeg esetén és ISA-körülmények között;

ROC és V_Y pedig a fentiekből adott értékek.

3. A telemetriai rendszer

A berepülési program támogatására olyan adatgyűjtő rendszert készítettünk, amely túlmutat az előírások által megkövetelt adatok rögzítésén, és két szempontból is továbblépést jelent a könnyű repülőgépek berepülésénél használt műszerekhez képest.

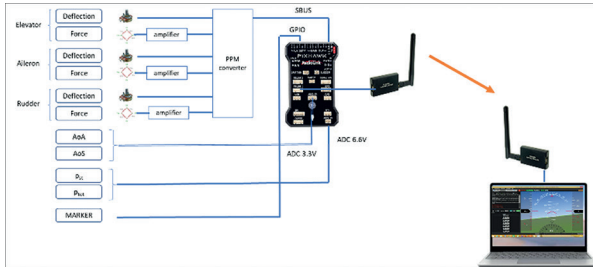
A berepülési program alapvetően állandósult (*stacioner*) repülési állapotok vizsgálatát jelenti. Ez alól kivételt képeznek például a dugóhúzótesztek vagy bizonyos dinamikus stabilitási vizsgálatok, amelyek során instacioner jelenségeket kell vizsgálni. Ezekben az esetekben a CS-LSA [1] (illetve az ASTM⁷ 2245-12d) és a CS-VLA [6] előírások nem követelik meg a repülési jellemzők időfüggésének rögzítését, hanem csak összesítő jellemzők mérését (például dugóhúzó kivételének késleltetési ideje vagy sajátlengések periódusideje). Azonban egy repülőgép optimalizálásához, illetve a tapasztalatok dokumentálásához hasznos egy olyan adatgyűjtő rendszer, amely alkalmas a repülési jellemzők alakulásának részletes és pontos rögzítésére.

Másik hasznos funkció a berepülések során a telemetriakapcsolat a fedélzet és a föld között. Ennek segítségével a földön tartózkodó személyzet nyomon követheti a berepülés folyamatát, segítheti a berepülőpilóta munkáját. Egyrészt egy adott mérés érvényességét bizonyos esetekben könnyebb eldönteni a grafikonokat nézve, másrészt a berepülési

⁷ American Society of Testing and Materials.

program dokumentálásának terhére tudja levenni a berepülőpilóta válláról, ezzel is csökkentve a munkaterhelését.

Az általunk készített adatrögzítő rendszer a könnyű robotrepülőgépekre kifejlesztett robotpilóta-rendszereken alapul, magját a Pixhawk hardware alkotja. A PX4 modul kiszámítja a repülőgép bedöntési szögeit a belső elektronikus szögsebesség- és gyorsulásmérői, valamint a GPS-antenna jelei alapján (9. és 10. ábra).

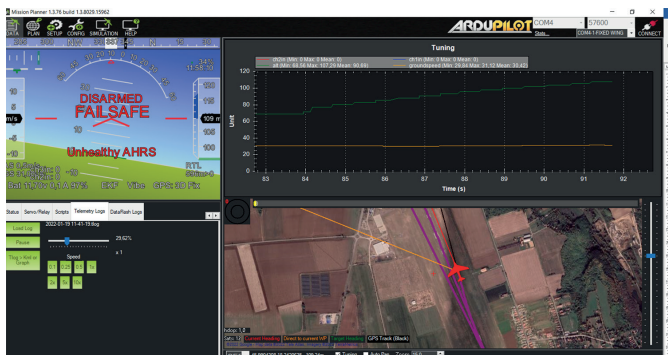


9. ábra
Az adatgyűjtő felépítése [Gáti Balázs]



10. ábra
Az adatgyűjtő nézete [Gáti Balázs]

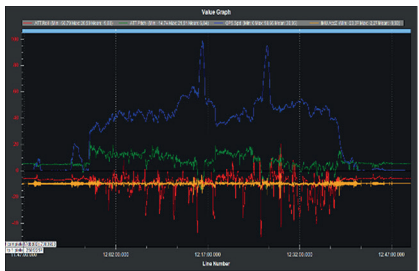
Az így mért adatokat az Amores Robotics Kft. által kifejlesztett telemetriarádió segítségével juttatjuk el a földi számítógépre. Az adatgyűjtő deszkamodelljének első éles tesztje során a legegyszerűbb negyedhullámhosszú, körsugárzó botantennákat használtuk a kapcsolat felépítésére, és ezek segítségével 10 km távolsáig stabil adatkapcsolat jött létre a Magnus Fusion 213 és a földi állomás között. A körsugárzó botantenna sajátossága, hogy az antenna meghosszabbításának irányába nem sugároz, tehát függőlegesen elhelyezett antenna esetén a fölötte átrepülő géppel megszűnik a kapcsolat. Ezt a hiányosságot küszöböli ki egy döntött kiegészítő antenna és a rádió diversity funkciója, amely két antennát kezel, és arról veszi a jelet, amelyiken magasabb a jel-zaj arány. A legtávolabbi adatsomag 15 km távolságból érkezett a gép fedélzetéről. Ez a hatótávolság tovább növelhető nagy nyereségű antennával, valamint ilyen esetben szükséges, az antennát irányba fordító készülékkel.



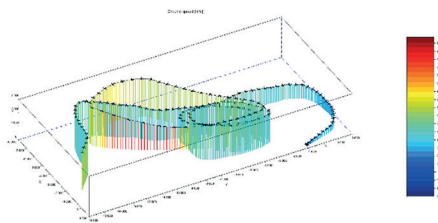
11. ábra
A földi munkaállomásról leolvasható információk [Gáti Balázs]

A földi számítógépen a könnyű UAV-k számára kifejlesztett Mission Planner szoftvert használtuk. Ezen nyomon követhető volt a repülőgép földrajzi helyzete egy térképen, valamint egy HUD-hoz hasonló felépítésű kijelzőn az elsődleges repülési jellemzők, amelyek a földi személyzet helyzetudatosságát (*situational awareness*) támogatják. Egy futó grafikon segítségével pedig az adott repülési feladathoz fontos adatok alakulása követhető nyomon (11. ábra).

Az adatok naplózása a telemetriakapcsolattól függetlenül a fedélzeten is megtörténik. Az utólagos kiértékeléshez a fedélzeten SD-kártyán tárolt adatokat használtuk, amelyet vagy a Mission Planner saját grafikonrajzolója segítségével tudunk elemezni (12. ábra), vagy CSV-fájlba exportálva saját analízist tudunk készíteni.



12. ábra
A beépített grafikonablak [Gáti Balázs]



13. ábra
Az exportált adatok vizualizálása SciLab segítségével [Gáti Balázs]

A 13. ábra a nagy sebességű tesztrepülést mutatja, amelynek érdekessége, hogy a repülés földrajzi pozícióját egyszerre mutatja egy kiválasztott repülési jellemzővel együtt. Az ábrán a függőleges vonalak színe vizualizálja a repülési sebességet a jobb oldalon látható szinkód alapján. Látható, hogy a vörössel jelzett szakaszon a gép talajhoz viszonyított sebessége megközelítette a 100 m/s-ot.

A repülés során szeretnénk mérni a kormánykitéréseket és a kormányerőket is, amire a Pixhawk-rendszer alapvetően nincsen felkészítve. A cél elérése érdekében készítettünk egy interface áramkört egy Arduino modulra alapozva. A modul a kormány pozícióit mérő potméterek jeleit, valamint a kormányerőket mérő nyúlásmérő bélyegek jeleit alakítja át a PX4-kormányjelek számára fenntartott bemenetén várt PPM modulált jellé. Így 16 csatornán tudunk mért adatokat fogadni, és 10 Hz-es mintavételezéssel rögzíteni.

4. Összefoglalás

A Magnus Fusion 213 típusú repülőgép az első hazánkban tervezett és készült motoros repülőgép, amely olyan „típusalkalmassági engedélyt” szerzett, amelyet már nem a hazai Polgári Légügyi Hivatal, hanem az európai EASA szervezet ad ki. A tanúsítási folyamat sok tanulsággal járt, és remélhetőleg ezekre a tapasztalatokra alapulva tovább fejlődhet a hazai repülőgépipar.



14. ábra
Magnus Fusion 213 szűzfelzárása [Magnus Aircraft Zrt.]

Felhasznált irodalom

- [1] European Union Aviation Safety Agency, CS-LSA, Annex to EASA ED Decision 2013-015-R, 2013.
- [2] ICAO, *Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation: Environmental Protection Volume I – Aircraft Noise*. Eighth Edition. 2017.
- [3] A Bizottság 748/2012/EU Rendelete (2012. augusztus 3.) járművek és kapcsolódó termékek, alkatrészek és berendezések légialkalmassági és környezetvédelmi tanúsítása, valamint a tervező és gyártó szervezetek tanúsítása végrehajtási szabályainak megállapításáról
- [4] *National Test Pilot School Manual, Volume III – Fixed Wing Performance Flight Testing, Chapter 07 – Climb and Acceleration Performance*. Second Edition. NTPS, Mojave (CA) United States, 1995.
- [5] R. Rosenbaum, A. A. Vollmecke, *Simplified Flutter Prevention Criteria for Personal Type Aircraft*. FAA Airframe and Equipment Engineering Report No. 45, National Technical Reports Library no. ADA955270 Washington, D.C., Federal Aviation Administration, 1955.
- [6] European Union Aviation Safety Agency, CS-VLA: Annex to EASA ED Decision 2017/025/R, 2017.
- [7] Magnus Aircraft Zrt., LSA-STR-32-02, Magnus Fusion 213 Landing Gear Static and Drop Test Report, revision 1, 2021.
- [8] Magnus Aircraft Zrt., LSA-FLT-09, Magnus Fusion 213 Flutter Analysis and Flight Test, revision 2, 2021.
- [9] Magnus Aircraft Zrt., LSA-FLT-08, Magnus Fusion 213 Flight Test Programme, revision 2, 2021.

Experiences Gained by the Certification of the Magnus Fusion 213

Paramount experiences resulted during development and certification testing of the first indigenous Hungarian-designed airplane under EASA type investigation process. In our publication, a short summary of the certification process is described. Moreover, the sensors and loggers used by the test flights are shown as well. The complexity of the certification flight testing is shown with two examples: the lateral stability and climb performance test. The data acquisition and telemetry system developed for the optimization of dynamic behaviour of the airplane is also shown.

Keywords: EASA, Magnus Fusion 213, certification, telemetry, test flight, stability, flight performance

Fehér Balázs (MSc) Bepülőpilóta és tanúsító mérnök Magnus Aircraft Zrt. balazs.feher@magnus-aircraft.com orcid.org/0000-0001-7990-2012	Balázs Fehér (MSc) Flight Test Pilot and Compliance Verification Engineer Magnus Aircraft Ltd. balazs.feher@magnus-aircraft.com orcid.org/0000-0001-7990-2012
Dr. Gáti Balázs Repülőmérnök Magnus Aircraft Zrt. balazs.gati@magnus-aircraft.com orcid.org/0000-0002-1202-9949	Balázs Gáti, PhD Aerospace Engineer Magnus Aircraft Ltd. balazs.gati@magnus-aircraft.com orcid.org/0000-0002-1202-9949
Illés Zoltán Légi alkalmassági vezető Magnus Aircraft Zrt. zoltan.illes@magnus-aircraft.com orcid.org/0000-0003-0279-2446	Illés Zoltán Airworthiness Manager Magnus Aircraft Ltd. zoltan.illes@magnus-aircraft.com orcid.org/0000-0003-0279-2446

Sándor Zsolt, Pusztai Máté

A „lakott terület” és kapcsolódó fogalmak jelentősége a pilóta nélküli légi járművek alkalmazásában

A pilóta nélküli légijármű-rendszerek használatával kapcsolatosan a felhasználók igen jelentős problémával néznek szembe a 2021. év eleje óta hatályos európai uniós jogszabályok Magyarországon való alkalmazása révén. A kihívás abból adódik, hogy az (EU) 2019/947 végrehajtási rendelet rendelkezéseit kiegészítik hazai jogszabályok, amelyek közül a légi közlekedésről szóló törvény 2020 decemberében bevezetett módosítása igen erős korlátozó feltételeket szabott meg a lakott terület feletti pilóta nélküli légi járművek használatára vonatkozóan, miközben a törvény nem határozta meg, hogy mi is számít lakott területnek, és azon belül mi a sűrűbben, illetve ritkán lakott terület.

Kulcsszavak: pilóta nélküli légi járművek; lakott terület, dróntörvény

1. Bevezetés

2020 decemberében jelent meg a légi közlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény (Lt.) módosítása [1], amelynek hatálybalépését követően a pilóta nélküli légijármű-rendszerek használata lakott terület felett kizárólag eseti légtér kijelölésével valósítható meg [Lt. 5. § (3) bekezdése szerint] [2]. A törvénymódosításban szereplő intézkedés elsősorban védelmi célokat szolgál, indokaként a magánélethez való alapvető jog védelmét jelölték meg, mivel ez csak a pilóta nélküli légi járművek használatának korlátozásával valósulhat meg. Ennek oka, hogy a technológia fejlődése okán a magánszféra védelme hétköznapi eszközökkel már nem biztosítható [3].

A problémát nem elsősorban a fenti korlátozás megjelenése okozta, hanem az, hogy sem az Lt., sem egyetlen más kapcsolódó – a légi közlekedési szempontokat figyelembe vevő – jogszabály, sem az uniós szabályok nem tartalmazzák a lakott terület definícióját. Az Lt. úgy használja a lakott terület fogalmát, hogy annak jelentését, definícióját nem adja meg – ezzel jogbizonytalanságot teremtve. Emiatt a jogszabály rendelkezéseinek betartása aránytalan adminisztrációs terhet ró a felhasználókra, illetve azon állami szervekre, amelyek az eseti légtérkijelölést megvalósítják.

A lakott terület mint fogalom nagy szerepet játszik abban is, hogy az unióban általánosan alkalmazott SORA kockázatelemzési módszertan alapján, speciális műveleti kategóriában

milyen lesz a műveleti forgatókönyv (*operational scenario*) jellege, és ezzel a művelet engedélyezésének menete.

Jelen cikkben a szerzők a hazai és nemzetközi jogszabályok elemzésével feltárják a lakott terület fogalmát, és javaslatot tesznek a jogszabály definícióval való kiegészítésére, a gyakorlati szempontok figyelembevételével. A szerzők kutatásának fókuszában a hazai ágazati jogszabályok, illetve az Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynöksége (EASA) által kiadott hivatalos iránymutatások álltak. Utóbbi azért lényeges, mert az EU által megfogalmazott iránymutatások a hazai környezetben is közvetlenül érvényesek, ha a hatóságok nem adnak ki olyan helyi szabályozókat (az eltérést és annak okát részletesen feltáró hivatalos dokumentumokat), amelyek ezeknek ellentmondanak.

Az iparágban az amerikai és az európai terminológia között különbségek alakultak ki. Amíg az USA-ban az emberek/személyek feletti repülés kifejezés használata terjedt el (*Operations Over People*), amely nem kizárólag a lakott terület, hanem általában a műveletben részt nem vevő személyek feletti minden repülést magában foglal, addig az uniós meghatározás ezt jobban differenciálja.

2. Meglévő jogszabályi definíciók és azok értelmezése

A lakott terület fogalmát a magyar joganyag több ágazati jogszabályban is definiálja.

2.1. KRESZ

A legismertebb ilyen jogszabály, a közúti közlekedés szabályairól szóló 1/1975. (II. 5.) KPM-BM együttes rendelet, közismertebb nevén KRESZ (Közúti Rendelkezések Egységes Szabályozása), amelynek 1. sz. függeléke III. részében a közúti forgalommal kapcsolatos fogalmak között kapott helyet a lakott terület fogalma [4]. A KRESZ szerint a *lakott terület* a „lakott terület kezdetét és végét jelző táblák közé eső terület”-et jelenti.

A KRESZ 1. §-a ugyanakkor arról rendelkezik, hogy a jogszabály kizárólag közutakon és a közforgalom elől el nem zárt utakon folyó közlekedést szabályozza, így a pilóta nélküli légi járművekre (drón) nem alkalmazható sem a jogszabály, sem annak lakott terület fogalma.

2.2. Vízgazdálkodásról szóló törvény

A vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvény a lakott terület fogalmát az alábbiak szerint határozza meg [5]:

Lakott terület a

„település közigazgatási területének belterületi része, valamint az övezeti besorolástól függetlenül minden olyan külterületi településrész, ahol a nyilvántartott földrészleteket (ingatlanokat) tekintve legalább 50%-ban állandó tartózkodási hely szerint bejelentett (nyilvántartott) lakosság él, és a területfelhasználás, valamint az infrastruktúra-hálózat kialakítása a települést érintő-jóváhagyott-országos és térségi területrendezési tervekkel összhangban lévő településrendezési tervnek megfelelő”.

Ez a fogalom – a KRESZ-hez képest – mindenképp jobban megfeleltethető lenne a drónokra, azonban a törvény 1. §-ára tekintettel a drónok esetében még mindig nem alkalmazható – mivel a törvény hatálya a felszín alatti és a felszíni vizekre, valamint ezek létesítményeire terjed ki.

2.3. Növényvédelmi jogszabályok

2.3.1. A növényvédelmi tevékenységről szóló miniszteri rendelet

Ugyanez igaz a növényvédelmi tevékenységről szóló 43/2010. (IV. 23.) FVM rendeletben szereplő *lakott területrész* fogalmára is, amely szerint ide tartozik „a település olyan bel- vagy külterülete, amelyen a tulajdonosok az év valamely szakában életvitelszerűen tartózkodnak” [6].

Itt is a jogszabály hatálya az, amely kizárja az alkalmazhatóságot.

2.3.2. A mező- és erdőgazdasági légi munkavégzésről szóló együttes miniszteri rendelet

Egy 2022 februárjában hatályba lépett módosítás révén a 44/2005. (V. 6.) FVM-GKM-KvVM együttes rendelet [7], amelynek hatálya kiterjed a mezőgazdasági repülést végző pilóta nélküli légi járművekre is, átvette a 2.3.1. pontban rögzített *lakott-területrész*-fogalmat.

Az Lt.-ben található törvényi és az együttes rendelet szerinti elnevezés azonban nevében eltér, így a *lakott területrész* inkább csak növényvédelmi szempontból meghatározó, és az eseti légtér igénylése, valamint a SORA kockázatelemzési módszertan (erről részletesen lásd a 3. fejezetet) szempontjából „az év valamely szakában tartózkodnak” fordulat nem értelmezhető. Hiszen ebben az is benne foglaltatik, hogy az év egyes szakában meg éppen nem tartózkodnak ott tulajdonosok. Ez a *lakott területrész* nem rendezi a bérelt ingatlanok kérdését sem, ahol a tulajdonosok életvitelszerű tartózkodása a lakásbérlet jellegéből adódóan fogalmilag kizárt.

A *lakott területrész* tehát kizárólag növényvédelmi aspektusból értelmezhető és vizsgálható, ezért ez a jogszabályi definíció sem biztosít megoldást arra, mit tekintünk *lakott területnek* – különösen a nem növényvédelmi műveletet végző – drónok reptetése esetén.

2.4. Területszerkezési kormányrendelet

A területszerkezési eljárásról szóló 321/2012. (XI. 16.) Korm. rendelet 1. § 8. pontja szintén *lakott területrész* elnevezést használva határozza meg a fogalmat az alábbiak szerint [8]:

„Lakott területrész: a képviselő-testületek eltérő megállapodása hiányában a fogadó település bel- vagy külterületéhez kapcsolódó és azzal összefüggő természetes vagy jelentős műszaki létesítmény mesterséges határvonala által lehatárolt bel- vagy külterület, amelyen az érintett választópolgárok életvitelszerűen lakóhellyel rendelkeznek.”

Ez a *lakott-területrész*-fogalom szintén problémás, hiszen a drónozás szempontjából sem a választópolgári minőség, sem az adott lakóhely életvitel-szerűségének vizsgálata nem

kivitelezhető. Kockázati szempontból a drónos műveletben részt nem vevő személyek között pedig nem lehet különbséget tenni aszerint, hogy rendelkeznek-e választójoggal vagy sem.

Igy ez a jogszabály sem ad kellően jó megoldást – a pilóta nélküli légi járművek alkalmazása szempontjából.

2.5. Hazai jogszabályok összefoglalása

A magyar jogi fogalmak közül a 2.3. pontban foglalt meghatározás tekinthető talán a leginkább alkalmazhatónak a pilóta nélküli légi járművek használatakor, ugyanis a drónok esetében – összhangban nemcsak az európai uniós, hanem más nemzetközi szabályozási példákkal – a művelettel érintett területen tartózkodó személyek száma határozza meg alapvetően egy művelet kockázati szintjét és ezen keresztül az alkalmazandó szabályokat (erről lásd részletesen a 3. fejezetet). Az itt megismert lakott területrész tehát jó kiindulási alap lehet, mivel a jelen fejezetben bemutatott definíciók ellenére sem egyértelmű, mikor kell a légi közlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény (Lt.) 5. § (3) bekezdése szerint eseti légteret igényelni és kijelölni.

3. Speciális műveletek kockázatértékelési módszertana – EASA AMC

Az EASA az (EU) 2019/947 végrehajtási rendelet (Végrehajtási Rendelet [9]) 11. cikkéhez fűzött útmutatójában (AMC) a műveletek kockázatértékelésére bevezetett SORA-módszertan fontos eleme a földi kockázati osztály (*Ground Risk Class*, GRC), amely az UAS-műveleteket aszerint osztályozza, hogy hány ember van kitéve a művelet jelentette veszélynek [10].

Az egyes pontszámokat műveleti forgatókönyvekhez (*operational scenario*) rendeli hozzá a módszertan, attól függően, hogy milyen tulajdonságokkal rendelkezik az a terület, amely felett a műveletet végrehajtják. Ez alapján az alábbi műveleti forgatókönyveket különböztethetjük meg:

- ellenőrzött földi műveleti terület feletti;
- ritkán lakott terület feletti;
- lakott terület feletti vagy
- embertömeg feletti repülés.

(A teljesség igényével kívánjuk hozzátenni, hogy ezek a forgatókönyvek tovább bonthatók még aszerint, hogy a távpilóta és a drón között mekkora a távolság, azaz látótávolságon belüli [VLOS] vagy látótávolságon kívüli [BVLOS] repülésről beszélünk.¹ Azonban VLOS/BVLOS elhatárolásnak az átrepült terület jellege és így a lakott terület szempontjából nincs jelentősége.)

E módszertan alkalmazását a tagállami hatóságoknak kötelező elfogadni a hozzájuk beérkező műveleti engedélyek és LUC-tanúsítványok kiállítása iránti kérelmek elbírálása során,

¹ VLOS-ról akkor beszélhetünk, ha a távpilóta szabad szemmel is látja a repülő drónt. Főszabály, hogy, ha a távpilóta és a drón közötti távolság meghaladja az 1 km-t, akkor a művelet – látási viszonyoktól és a drón méretétől függetlenül – BVLOS-nak minősül.

ennélfogva, a légi közlekedési hatóság a jogalkalmazás során a SORA-módszertan fogalmi rendszeréhez is köteles igazodni.

Mindezekre tekintettel a lakott terület fogalmát olyan módon kell szabályozni, amely illeszkedik abba a rendszerbe, amely szerint egy műveletet ellenőrzött műveleti terület/ritkán lakott terület/lakott² terület/embertömeg felett kiviteleznek.

Ebből adódóan a fenti négy fogalom meghatározása és megfelelő alkalmazása szükséges – az európai uniós jog elsőbbsége okán Magyarországon is.

3.1. Ellenőrzött földi műveleti terület (controlled ground area)

Ennek fogalmát – helytelenül – földi műveleti területnek fordítja a Végrehajtási Rendelet hivatalos magyar nyelvű változata. Jelentése pedig: az a földi terület, amelyen az UAS-t működtetik, és amelyre nézve az UAS üzemben tartója képes biztosítani, hogy csak a műveletbe bevont személyek tartózkodjanak rajta. Hogy az UAS üzemben tartó miként biztosítja ezt az állapotot, azt az EASA nem írja elő, mindössze annyi olvasható az EASA Guidance Material-ban (GM) [9], hogy az adott terület népsűrűségéhez igazodóan szigorú intézkedést kell alkalmazni. Ez lehet kerítés, kordon vagy egyéb az adott helyzetben megfelelőnek mutató eljárás is.

A bevont személyek (*involved persons*) definícióját az EASA GM-nek a Végrehajtási Rendelet 2. cikk 18. pontjához fűzött indokolása adja meg az alábbiak szerint [9]:

Nem kívülálló az a személy, aki megfelel az alábbi – konjunktív – feltételeknek:

- *lehetősége van dönteni a műveletben való részvételről, nemleges döntése pedig nem zárja ki az adott rendezvényen való részvételből vagy tevékenysége végzéséből;*
- *nagyjából tisztában van a kockázatokkal;*
- *a terület kezelője és a légi jármű üzemben tartója által bevezetett, észszerű védelem biztosított számára a drónos művelet során.*

Ezt egészítette ki a GM 2022. február 9. napján megjelent módosítása [9], amely tovább cizellálta a nem kívülálló, azaz bevont személy fogalmát és az ezzel kapcsolatos értelmezési kérdéseket.

A repülés előtt már vizsgálni kell, hogy kik lehetnek bevont személyek, hiszen ennek a kérdésnek még a nyílt kategóriájú műveletek esetében is jelentősége van a távolságtartás szempontjából.

Így az üzemben tartó kötelessége az is, hogy előzetesen tájékoztassa a közelben tartózkodókat a vészhelyzeti eljárásokról, illetve időben figyelmeztesse őket, ha ezek alkalmazására sor kerül. A fenti „nagyjából tisztában van a kockázatokkal” feltétel ugyanis kizárólag így teljesülhet.

Álláspontunk szerint – és különös figyelemmel arra, hogy az eseti légtér lakott terület feletti kötelezővé tételét adatvédelmi szempontokkal igazolta a jogalkotó – a bevont személyekre jellemző „nagyjából tisztában van a kockázatokkal” fordulat az adatvédelmi kockázatokat is magában foglalja, vagyis aki bevont személy, az tájékoztatva van a felvételkészítés és adatrögzítés lehetőségéről is, illetve ehhez hozzájárulását adja.

² Az uniós SORA-módszertan a ritkán lakott terület (*sparsely populated area*) és a lakott terület (*populated area*) fogalmakat különíti el, utóbbi a sűrűbben lakott területet jelenti, bár nincs pontos jogszabályi elhatárolás.

A műveletbe bevont és kívülálló személyek fogalmának tisztázása azért fontos, mert ahogyan azt a fenti idézetekből látni lehet, és az STS-01 (sztenderd forgatókönyv) szabályaiból, valamint az EASA GM PDRA-S01-hez (előzetes kockázatértékelés) fűzött magyarázatából kitűnik, az ellenőrzött földi műveleti terület lakott területen belül is kialakítható. Azaz, városi környezetben is lehetnek olyan területek, amelyek nem minősülnek lakott területnek, mert nincsenek ott kívülálló személyek (például azért, mert le van zárva és az adott területre való bejutás a fizikai korlátok figyelembevételével nem lehetséges) – következképp (ha ennek egyéb feltételei is fennállnak) az eseti légtér kijelölése sem kötelező. (Ilyenkor az eseti légtér előírásának másik célja, a magánélet védelme szempontjából is indokolatlanná válik az eseti légtér, hiszen nincs olyan személy, akiről tudta és hozzájárulása nélkül készülné így felvétel.)

Itt tehát csak a jogalkalmazónak kell felkészülnie arra, hogy az ellenőrzött földi műveleti terület esetében miként biztosítható és igazolható, hogy csak részt vevő személyek tartózkodnak a műveleti területen.

3.2. A ritkán lakott és lakott területek fogalma

Az AMC februári módosítása [10] szerint lakott terület fogalma alatt a Bizottság 965/2012/EU rendeletének melléklete [11] szerinti beépített terület fogalmát kell érteni.

Eszerint lakott terület egy város, nagyváros vagy egyéb település bármely olyan területe, amelyet főként lakóterületként, illetve kereskedelmi vagy rekreációs célra használnak.

A lakott területről a műveleti forgatókönyvek szempontjából alapvetően akkor beszélhetünk, ha a 3.1. pontban foglalt ellenőrzött földi műveleti terület és az embertömeg sem valósul meg, azaz nem kizárható, hogy csak a részt vevő személyek tartózkodjanak a művelettel érintett területen, de a drón útvárból való kitérésben a kívülálló személyek nincsenek akadályoztatva.

Az EASA AMC kimondja, hogy amennyiben nem ellenőrzött földi műveleti terület feletti műveleti forgatókönyv valósul meg, alaphelyzetben lakott terület feletti műveletként kell kiindulásként kezelni a műveletet [9] – és nem egyszerűen ritkán lakott terület felettiként. A kérelmező üzembn tartó – egyelőre nem meghatározott bizonyítékok használatával – bizonyíthatja, hogy a műveleti terület népsűrűsége alacsony, így kedvezőbb elbírálás alá tartozhat.

A probléma az, hogy a népsűrűsége vonatkozó adatok tekintetében nincs elfogadott módszer, a lakott vagy ritkán lakott terület elhatárolása ezért esetleges és jogbizonytalanságot szül.

Svájc légi közlekedési hatósága – amely nemzetközi szerződés alapján a légi közlekedés területén magára nézve kötelezőnek fogadja el az uniós szabályokat, és szabályozási szempontból is referenciaként tekinthetünk rá – a beépítettség felől közelíti meg a népsűrűség kérdését, amikor kimondja, hogy ritkán lakott a műveleti terület, ha a művelet 100 m-es körzetében 10 vagy annál kevesebb lakott épület található [13]. Előnye, hogy nem kell a folyamatosan változó népsűrűségi statisztikákat böngészni, hátránya viszont, hogy egy épület lakottsága (*inhabited house*) nem mindig egyértelmű, bár ez a lakóépület fogalmának (*residential building*) használatával kiküszöbölhető, nagyobb gond, hogy kívülálló, a műveleti forgatókönyv kockázati szintjét emelő személyek megjelenésére nemcsak lakóépületek, hanem egyéb ipari, kereskedelmi épületek közelében is lehet számítani. Ráadásul az 1:1 szabály alkalmazása miatt egy 120 m-en végrehajtott művelet esetében 120 m széles pufferezónát kell húzni a műveleti terület köré, ami miatt a 100 m nem fogadható el minden esetben.

3.3. Embertömeg

Ez esetben a Végrehajtási Rendelet siet ismét segítségünkre, hiszen az a fogalom is definiálva lett [8].

„Embertömeg: olyan összejövétel, ahol a résztvevők sűrű elhelyezkedése miatt az egyének korlátozottak mozgásukban.”

Az EASA AMC az alábbi példákat sorolja [12]:

- sport-, kulturális, vallási és politikai események;
- tengerpartok és szárazföldi parkok egy napsütéses napon;
- sétálóutcák az üzletek nyitvatartási időszakában és
- síterepek, sípályák.

Lényeges, hogy az egyes területek besorolása időről időre változhat az ott megjelenő személyek számának változásával, így a műveleteket mindig az aktuális adottságok figyelembevételével kell végrehajtani.

Maga az EASA által módosított GM [10] további adalékot szolgáltat az embertömeg fogalmával kapcsolatban. Ha tömegesen vannak jelen olyan személyek, akik ugyan a 3.1. pont szerinti feltételeknek megfelelnek, de fő céljuk egy „nem drónozással kapcsolatos” rendezvényen (például koncerten) való részvétel, ahol mellékesen drónfelvétel készül, akkor az így összegyűlő személyeket főszabály szerint embertömegnek kell tekinteni.

4. Szabályozási javaslatok – jogszabály vagy egyéb szervezeti irányító eszközök?

A jelenlegi szabályozási környezetben az eseti légtér kötelező előírása lakott terület feletti repülés esetén nem életszerű és nem is indokolt. Ezt több körülmény is alátámasztja:

- Az eseti légtér nem kifejezetten adatvédelmi, hanem légtérgazdálkodási eszköz és a pilóta nélküli légi járművek vonatkozásában képes azok biztonságos elkülönítését is szolgálni. Az eseti légtér ugyanis nem jár együtt azzal, hogy az a személy, akinek a javára a légtér kijelölték, nem készíthetne felvételeket a drón által átrepült területről. Önmagában tehát a személyiségi jogsértések elkövetését nem akadályozza, legfeljebb az utólagos felderítésben és a jogsértő drón üzemben tartójának beazonosításában lehet segítség a jogsérelmet szenvedett fél és a hatóságok számára.
- Ez utóbbit azonban a minden – tehát nem csak lakott terület feletti – repülés esetén kötelező mydronespace mobilalkalmazás is képes biztosítani, ráadásul még hatékonyabban, mint az eseti légtér intézménye. Az ilyen alkalmazások használata minden uniós tagállamban kötelező – szemben az eseti légtérrel. A külföldi drónosok nem tudnak a lakott terület feletti kötelező eseti légtérről, ugyanakkor saját országuk gyakorlata alapján tudnak a mobilapplikáció létéről és alkalmazásáról.
- Nem egyértelmű a felhasználók számára, hogy mit kell lakott területnek tekinteni, ami jogbizonytalanságot szül. Különösen annak tükrében nem egyértelmű ez, hogy vannak olyan területek, amelyeket ugyan sűrűn beépített területek vesznek körbe, azonban biztosított, hogy oda kizárólag olyan személyek lépjenek be, akik

a műveletbe bevont személynek tekinthetők. Mivel ők tudnak arról, hogy drónművelet zajlik éppen, az adatvédelmi kérdésekkel is tisztában vannak, így esetükben szintén nem indokolt az eseti légtér adatvédelmi okokból történő elrendelése. Ilyen területek lehetnek rendező-pályaudvarok, ipari létesítmények területe, egyes magánterületek.

Mindezekre figyelemmel javasolt az Lt. 5. § (3) bekezdésében foglalt rendelkezés módosítása. Az eseti légtér lakott terület feletti differenciálatlan kötelezővé tételének megszüntetését javasoljuk. Ezt adott esetben úgy is meg lehet tenni, hogy nem a hivatkozott jogszabályhelyet helyezzük hatályon kívül, hanem keretek közé szorítjuk a lakott terület fogalmát.

Álláspontunk szerint a lakott terület fogalmának szabályozása mint megoldási irányzat egyszerre képes az adatvédelmi és repülésbiztonsági szempontokat is érvényre juttatni.

4.1. Lakott terület

A 4. pontban leírt jogtechnikai megoldás azért is jobb, mert ha az Lt. 5. § (3) bekezdését hatályon kívül helyezzük, azzal a drónhasználattal összefüggő szabálysértési tényállások tisztázása nem oldódik meg. A szabálysértésekről, a szabálysértési eljárásról és a szabálysértési nyilvántartási rendszerről szóló 2012. évi II. törvény (Szabstv.) ugyanis annak 229. §-ában a „Pilóta nélküli légitárművel végzett jogosulatlan tevékenység” törvényi tényállása a lakott terület feletti szabálytalan drónhasználatot rendeli szankcionálni. E törvényi tényállás az eseti légtérre vonatkozó, fentebb már ismertetett rendelkezésektől függetlenül is fennmarad, így a lakott terület mint tényállási elem szabályozása továbbra is jogalkotási szükséglet marad.

Abban az esetben, ha az eseti légtér helyett a lakott terület feletti repülésekre másfajta szabályozási környezetet dolgoz ki a jogalkotó (például minimum repülési magasság), az esetben szintén szükséges a lakott terület fogalmának tisztázása.

Figyelemmel arra a körülményre, hogy a növényvédelemben a jövőben jelentős szerep hárul a pilóta nélküli légi járművekre, a lakott terület(rész) fogalma mindenképpen jogszabályi szinten szabályozott fogalom marad, így a lakott terület fogalmának végső meghatározása során javasolt e jogterület megoldásaiból kiindulni.

A 2.3.1. és 2.3.2. pontban ismertetett lakott területrész fogalma, amely részben a drónokra is alkalmazható lakott-terület-fogalmat jeleníti meg a szabályozásban, nem kellően absztrakt és kizárólag növényvédelmi szempontú. Kiindulási alapnak tekinthető, de továbbfejlesztése javasolt.

Álláspontunk szerint mindenképpen az Lt. szabályai között kell elhelyezni a lakott terület fogalmát, tekintettel az Lt. 5. § (3) bekezdésére, valamint a Szabstv.-re és a jogszabályi hierarchiára. Ennélfogva javasolt a lakott terület definícióját az Lt. 71. §-ban elhelyezni egyidejűleg az (EU) 2019/947 végrehajtási rendelet 2. cikk 18. pontja szerinti külső személy fogalmát is beemelni a jogszabályba az alábbiak szerint:

57. Lakott terület: UAS-művelet szempontjából a település olyan belterülete, amelyen külső személy tartózkodik;

58. Külső személy: az (EU) 2019/947 bizottsági végrehajtási rendelet 2. cikk 18. pontja szerinti fogalom.

A belterület fogalmát a területszervezési eljárásról szóló 321/2012. (XI.16.) Korm. rendelet 1. § 1. pontja meghatározza, ugyanakkor célszerű lehet a fogalom átemelése az Lt-be.

4.2. Lakott terület fajtái

Jóllehet a 4.1. pontban jelölt, de ettől még a ritkán lakott és lakott területek elhatárolása a napi jogalkalmazásban nem oldódik meg. Emiatt érdemes a cikk 3.2-es pontjában foglaltakat megfontolni, és mivel ezek a fogalmak az egyes műveletek kockázatértékeléséhez kötődnek, így őket nem feltétlenül szükséges merev jogszabályi struktúrába önteni. A ritkán lakott és lakott területek fogalmát hatósági útmutatások, AMC-k, GM-ek formájában érdemes tehát rögzíteni.

A hatósági útmutatók keretében a Google Earth, vagy ingatlan-nyilvántartási térképek, akár nem hiteles formában is elfogadhatók, és így nem jelentenek aránytalan költséget. Ugyanakkor az adatpontosság (vagyis a műveleti terület adatainak hitelessége) elvét is szem előtt kell tartani, ugyanis a repülésbiztonság a szolgáltatott térképadatok valóságától is függ, és biztosítani kell a hatóságnak, hogy adott esetben hiánypótlást rendeljen például a Google Maps alapján benyújtott kérelmek esetében, és költségesebb, de hiteles forrás alapján jelenítsék meg térképen a tervezett műveletet.

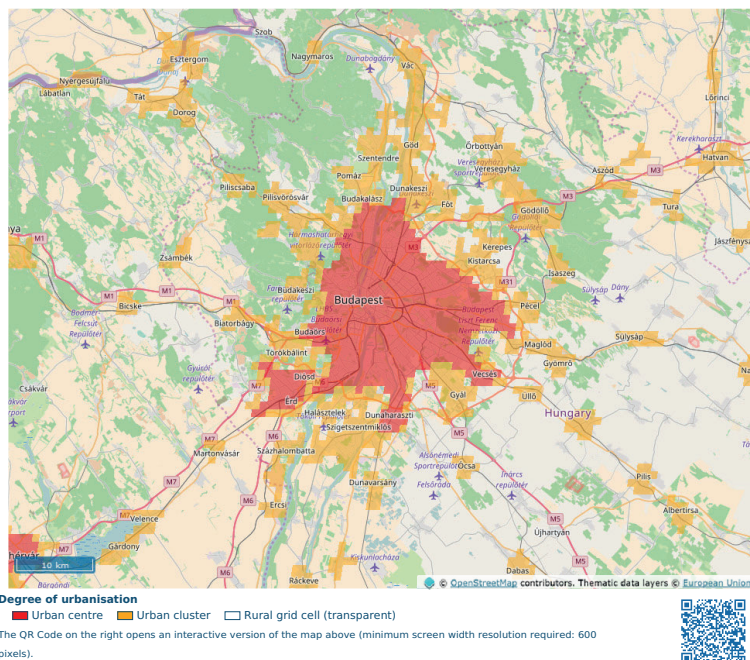
Éppen ezért a hatóság bevonásával komoly módszertani előkészítő munkát kell végezni, és a végeredményről megfelelő tájékoztatást adni a nyilvánosság számára. Hosszabb távon kizárólag az „irányított”, azaz útmutatókkal körbepátyázott engedélyezési folyamat lesz járható út, hatósági és üzemben tartói, kérelmezői és ügyfél oldalon is. Ezen eljárás helyességét a lenti német hatósági példa is igazolja.

4.2. Nemzetközi kitekintés

4.2.1. A német példa

A német szövetségi légügyi hatóság (*Luftfahrt Bundesamt*, LBA) speciális kategóriába tartozó műveletek megtervezésére kiadott útmutatója szerint a Google Earth szoftverben megrajzolt műveleti területeket is elfogadják [14]. (Azzal, hogy a Google-térkép esetleges pontatlansága miatt egyes védőtávolságok [például vészhelyzeti légtérész – *contingency volume*] szélességére 1 m-t rá kell számolni.)

Az LBA a lakott terület tekintetében egy másik tájékoztató anyagában vizsgálja a lakott terület fogalmát [15]. Hivatkozási alapként az Európai Bizottság részvételével zajló *Global Human Settlement Layer* (GHSL-) programot és annak megállapításait tekinti [16]. A GHSL metodikája szerint akkor beszélhetünk lakott területről, ha a népsűrűség legalább 300 fő/km². A GHSL révén Magyarországról is részletes adatok állnak rendelkezésre, ugyanakkor ezek az adatok 2015-ös állapotokat mutatnak, amelyek az utóbbi években tapasztalható belső migráció miatt már nehezen alkalmazhatók, különösen a Budapestet körülvevő agglomeráció esetében, lásd 1. ábra [17].



1. ábra
 Budapest népsűrűségi adatai [17]

4.2.2. Az amerikai példa

Az Amerikai Szövetségi Légügyi Hatóság (*Federal Aviation Administration, FAA*) látótávolságon túli (BVLOS-) műveletek szabályainak kidolgozásával megbízott testülete nemrégiben tette közzé jelentését [18].

Az FAA is érzékelte, hogy a ritkán lakott és lakott terület kérdése bizony fontos, említi is a két fogalmat (AG. 2.6.), de nem igazán tartják megfelelőnek őket. A jelentés szerint egy – amerikai mércével nézve – kisvárosnak tekintendő 50 ezer lelkes település és egy metropolisz népsűrűsége között nincs akkora különbség, amely miatt a kettőt érdemben el lehetne különíteni a kockázati besorolás szempontjából ritkán lakott, illetve lakott területre.

Ezért az FAA a külső személyek feletti művelet (*operation over people, OOP*) fogalmát javasolja használni, és aszerint tenne különbséget az egyes műveletek kockázati szintje között, hogy a külső személyek felett mennyi időt tölt el tervezetten a drón.

4.4. Embertömeg

Az embertömeg, ahogy a 3.3. fejezetben is bemutattuk, egy *sui generis* uniós jogi fogalom. A magyar jogalkotásban attól eltérő normatív definíció alkotása sértene az uniós jog elsőbbségét.

Az EASA AMC-GM maga is igyekszik példákkal illusztrálni az embertömeg fogalmát (ehhez szintén lásd a 3.3. pontot), mivel a definíció elég általános, és esetről esetre kell eldönteni, hogy valóban embertömegről beszélhetünk-e.

Az embertömeg feletti műveletté minősítésnek a SORA-módszertan szerint óriási jelentősége van. A 2021. szeptember 30. napján frissült AMC a speciális kategóriában értelmezhető műveleti forgatókönyveket az 1. táblázatban látható szempontok szerint csoportosítja [11].

1. táblázat
Földi kockázati osztály (GRC) meghatározása [9]

Intrinsic UAS ground risk class				
Max UAS characteristics dimension	1 m / approx. 3 ft	3 m / approx. 10 ft	8 m / approx. 25 ft	>8 m / approx. 25 ft
Typical kinetic energy expected	< 700 J (approx. 529 ft lb)	< 34 kJ (approx. 25 000 ft lb)	< 1 084 kJ (approx. 800 000 ft lb)	> 1 084 kJ (approx. 800 000 ft lb)
Operational scenarios				
VLOS/BVLOS over a controlled ground area ³	1	2	3	4
VLOS over a sparsely populated area	2	3	4	5
BVLOS over a sparsely populated area	3	4	5	6
VLOS over a populated area	4	5	6	8
BVLOS over a populated area	5	6	8	10
VLOS over an assembly of people	7			
BVLOS over an assembly of people	8			

Table 2 — Determination of the intrinsic GRC

A sötétszürke rész azt mutatja, hogy ezek az esetek a SORA szerint nem kezelhetők a speciális műveleti kategóriában, azaz az embertömeg feletti repülés speciális műveleti kategóriában csak nagyon korlátozottan lehetséges az EASA – tagállami hatóságok által kötelezően követendő – útmutatása alapján.

Éppen ezért itt is a hatósági útmutatók, tájékoztatók és egyéb „soft law” eszközök alkalmazása javasolt, különös tekintettel a használatban lévő közutak és egyéb közlekedési infrastruktúrák feletti repülésre.

4.4.1. A közlekedés intenzitása, azaz elhatárolás a forgalom nagysága alapján

A közlekedési útvonalak embertömegként való minősítése szempontjából megoldás lehet forgalmi adatok, szempontok alapján elhatárolni a közutakat és vasutakat.

Az M1 autópálya forgalma és az ott engedélyezett sebesség miatt nem kérdés, hogy embertömeg feletti repülésnek kell tekinteni. Egy sokadrangú bekötő út külterületi szakasza esetében viszont lehetséges, hogy ne embertömegként, pusztán lakott területként kezeljük, ugyanakkor az adott útszakaszra megengedett sebességet figyelembe kelljen venni a kinetikus

energia szempontjából. (A lebegő drónba 90 km/h-val behajtó autó szempontjából a drón mozgási energiájának kiszámításakor a „v”, azaz sebesség 90 km/h, akkor is, ha a drón a tervezett legnagyobb repülési magasságról szabadesésben érkezve sem érne el ekkora sebességet.) Így nem minősítenénk minden közút feletti repülést – differenciálatlanul – embertömeg feletti repülésnek, de kifejezésre juttatnánk azt a tényt, hogy minimálisan növelt kockázattal kell itt is számolni.

Az persze kérdéses, hogy miként lehet a forgalmi adatokat megfelelően bizonyítani a nagy forgalmú, de nem elsőrangú (jellemzően három- vagy négyszámjegyű) országutak felett. A Magyar Közút Zrt. által évenként kiadott forgalmi adatokat tartalmazó kiadványok iránymutatást biztosítanak [19].

A kockázati besorolás javítását ugyanakkor segíthetik egyéb egyedi művelettervezési megoldások is: ha az üzemben tartó kizárólag forgalommentes időszakban végez átrepülést, akár útzár, akár helyszíni forgalomfigyelő alkalmazásával. Utóbbi esetben az átrepülés a forgalomfigyelő utasítása és megfigyelése alapján akkor történne, ha éppen egyetlen autó sem közlekedik az adott szakaszon. Ebben az esetben az üzemeltetési kézikönyvben, vagy LUC Kézikönyvben kell ezeket az eljárásokat megfelelően kidolgozni az üzemben tartónak, így a légi közlekedési hatóságnak van lehetősége érdemben elbírálni azokat.

Mutatis mutandis – a szükséges változtatásokkal – alkalmazhatók a fentiek a vasútvonalak esetében. Azzal, hogy itt a vasúti mellékvonalak esetében (ahol alacsony sebesség és járat-sűrűség a jellemző) a MÁV, illetve GYSEV forgalomirányításért illetékes szervezeti egységével való kapcsolattartás révén (például menetrend-egyeztetés, élő vonatkövetés, a vasúti GSM-R rendszerrel való kapcsolódás stb.) biztosítható, hogy csak vonatmentes időszakokban közlekedjen a drón. Így, ha ellenőrzött földi műveleti terület nem is, de ritkán lakott területként történő minősítés is biztosítható bizonyos vonalszakaszok felett végrehajtott műveletek esetében, megnyitva ezzel az utat a könnyebben engedélyezhető (értsd kisebb engedélyezési dokumentációs kötelezettséggel terhelt) BVLOS-műveletek előtt az ipari felhasználásban.

4.4.2. Embertömeggel érintett területek meghatározása földrajzi övezetként

Érvként lehet felhozni a 4.4.1. pontban jelölt módszerrel szemben, hogy – bár az „egyéniesítés” révén képes egyedi eseteket kezelni – éppen az egyedi jellegből adódóan a légi közlekedési hatóság mérlegelésére van bízva, hogy az adott esetben embertömeg lesz-e az érintett közlekedési útvonal. Erre a helyzetre – némileg drasztikus ugyan, de – szintén megoldás lehet a Végrehajtási Rendelet 15. cikkében jelölt földrajzi övezetek kijelölése.

A 15. cikk (1) bekezdés a) pontja szerint a tagállamok biztonsági okokból „különleges feltételeket szabhatnak valamennyi UAS-művelet vagy azok egy része tekintetében” az így kijelölt földrajzi övezetekben.

Egyes útszakaszokat, vasútvonalakat így olyan földrajzi övezetté lehet minősíteni, amelyekben az UAS-műveletekhez az általános szabályoknál szigorúbb feltételeket kell teljesíteni, illetve további engedélyeket kell beszerezni, például a közút kezelőjétől. Az engedélyezés során előírt többletterhek révén az alacsonyabb kockázati besorolás is megtartható lenne.

Mivel az ilyen földrajzi övezeteket megfelelő módon közzé kell tenni, a távpilóták a művelet megtervezését megelőzően tudomást szerezhetnek a létezésükről, kiterjedésükről, és nem szükséges egyedi jogértelmezés bekérése a hatóságtól. Ezt a megoldást segítheti, hogy

a jövőben a piacra kerülő drónok esetében kötelező lesz olyan földrajzi helyzettudatosságot biztosító berendezések felszerelése, amely ismeri ezeket a földrajzi övezeteket [20], illetve az, hogy minden tagállamnak egységes jelölést és kategorizálást kell alkalmazni ezeknek a földrajzi övezeteknek a meghatározása során [10].

5. Összefoglalás

A jelen publikációban bemutatjuk a már meglévő, normatív definíciókat. Ugyanakkor a 3. és 4. fejezetek célja szólni nem pusztán a meghozandó jogszabályról, hanem az új szabályozás formáiról és a gyakorlatban való alkalmazás, megvalósítás lehetséges módjairól is.

Éppen ezért e dokumentum kiindulópont lehet a későbbi kodifikáció számára egy olyan kérdésben, amely döntően befolyásolja az UAS-ok professzionális, ipari felhasználásnak jogi és engedélyeztetési környezetét.

A jelen cikkben tárgyalt kérdések jelentősége túlmutat hazánk határain. A Végrehajtási Rendelet 13. cikke értelmében a műveleti forgatókönyvekbe való besorolásnak és a kockázatnak kitett kívülálló személyek száma meghatározásának kiemelkedő jelentősége van a másik tagállamban kiállított műveleti engedély vagy LUC alapján Magyarországon UAS-műveletet végrehajtani kívánó üzemben tartók nyilatkozatainak vizsgálatakor, illetve annak alapján kiegészítő kockázatcsökkentő intézkedések alkalmazásának elrendelése során.

Felhasznált irodalom

- [1] 2020. évi CLXXIX. törvény a pilóta nélküli légi járművek üzemelésével összefüggő egyes törvények módosításáról
- [2] A légi közlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény
- [3] www.parlament.hu/irom41/13666/13666ind03.pdf
- [4] 1/1975. (II. 5.) KPM-BM együttes rendelet a közúti közlekedés szabályairól
- [5] 1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról
- [6] 43/2010. (IV. 23.) FVM rendelet a növényvédelmi tevékenységről
- [7] 44/2005. (V. 6.) FVM-GKM-KvVM együttes rendelet a mező- és erdőgazdasági légi munkavégzésről
- [8] 321/2012. (XI. 16.) Korm. rendelet a területszervezési eljárásról
- [9] A Bizottság (EU) 2019/947 végrehajtási rendelete (2019. május 24.) a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról.
- [10] EASA, ED DECISION 2022/002/R, 2022. február 9. Online: www.easa.europa.eu/document-library/agency-decisions/ed-decision-2022002r
- [11] A Bizottság 965/2012/EU Rendelete (2012. október 5.) a légi járművek üzemben tartásához kapcsolódó műszaki követelményeknek és igazgatási eljárásoknak a 216/2008/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet értelmében történő rögzítéséről. Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX%3A32012R0965>
- [12] EASA, *Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems*. 2021. szeptember. Online: www.easa.europa.eu/downloads/110913/en

- [13] Federal Office for Civil Aviation, Online: www.bazl.admin.ch/bazl/en/home/drohnen/drohnen/wichtigsten-regeln/bewilligungen/standardverfahren/ch-sts.html
- [14] Luftfahrt-Bundesamt, *Leitfaden zur Dimensionierung und Visualisierung von Flight Geography, Contingency Volumen und Ground Risk Buffer*. 2022. április 25. Online: www.lba.de/SharedDocs/Downloads/DE/B/B5_UAS/Leitfaden_FG_CV_GRB_LUC.html?sessionId=F23B56B285B8EACCE5016719B6E3C0B2.live11294?nn=2996768
- [15] Luftfahrt-Bundesamt, *Vortrag – Antrag in der speziellen Kategorie*. 2021. november 2. Online: www.lba.de/SharedDocs/Downloads/DE/B/B5_UAS/Vortrag_Antrag_sepzielle_Kategorie.html?nn=2996768
- [16] European Commission, *About the GHSL*. Online: <https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/about.php>
- [17] European Commission, *Testing the Degree of Urbanisation at the Global Level. Hungary – Country Summary*. Online: https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/documents/cfs01/V3/CFS_Hungary.pdf
- [18] Federal Aviation Administration, *Unmanned Aircraft Systems Beyond Visual Line of Sight Aviation Rulemaking Committee*. Final Report. 2022. március 10. Online: www.faa.gov/regulations_policies/rulemaking/committees/documents/media/UAS_BVLOS_ARC_FINAL_REPORT_03102022.pdf
- [19] Magyar Közút, *A 2021. évi országos közúti keresztmetszeti forgalomszámlálás eredményei*. 2022. Online: <https://internet.kozut.hu/kozerdeku-adatok/orszagos-kozuti-adatbank/forgalomszamlalas/>
- [20] Pusztai M., „Földrajzi övezetek és No drone zónák,” *Professional Drone Consulting*, 2022. április 1. Online: https://droneconsulting.blog.hu/2022/04/01/foldrajzi_ovezetek_es_no_drone_zonak

The Importance of “Populated Area” and the Connected Terminologies in the Use of Unmanned Aircraft Vehicles

Users of the unmanned aircraft systems envisage significant problems by the implementation of the EU regulations effective from the beginning of 2019 in Hungary. The Hungarian rules complement the EU regulation (947/2019) and they limit the use of unmanned aircraft vehicles over populated areas. The Hungarian Aviation Law obligate the users to apply for segregated airspace if the UAS operation affects a populated area, but the definition of populated area is completely missing from the regulations, moreover, there is no indication for the differences between sparsely of densely populated areas.

Keywords: *unmanned aircraft systems, drone law, populated areas*

Dr. Sándor Zsolt, PhD légi közlekedési szakértő KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. Légiközlekedési Kutatóközpont sandor.zsolt@kti.hu orcid.org/0000-0002-5678-6760	Zsolt Sándor, PhD Aviation Expert KTI Institute for Transport Sciences Non-profit Ltd. Research Centre for Air Transport sandor.zsolt@kti.hu orcid.org/0000-0002-5678-6760
Dr. Pusztai Máté légi közlekedési szakértő KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. Légiközlekedési Kutatóközpont pusztai.mate@kti.hu orcid.org/0000-0001-6983-4554	Máté Pusztai Aviation Expert KTI Institute for Transport Sciences Non-profit Ltd. Research Centre for Air Transport pusztai.mate@kti.hu orcid.org/0000-0001-6983-4554



Szilágyi Balázs

Az új lengyel központi repülőtér és közlekedési csomópont stratégiai jelentősége

Lengyelország új központi repülőteret épít Varsó közelében, amely a közúti és vasúti közlekedés új csomópontjaként gyorsan elérhető lesz egész Lengyelországból. A légikikötő építését és a kapcsolódó közlekedési és urbanisztikai fejlesztéseket egységben kezeli a lengyel kormányzat. A tanulmány a projekt ismertetése mellett áttekinti a tudományos igényvel megfogalmazott kritikákat és alternatív elképzeléseket, majd elemzést ad a lengyel repülőterek és a lengyel légitársaság földrajzi és piaci lehetőségeiről. A Covid-19-válság és az Oroszországgal kapcsolatos szankciók komoly kihívás elé állították a lengyel gazdaságot és a légi közlekedést. A nagyszabású fejlesztések hozzájárulhatnak Lengyelország válságok utáni gazdasági kiemelkedéséhez, új távlatokat nyithatnak a légi közlekedés számára. Egy ilyen volumenű projekt ugyanakkor jelentős kockázatokat is hordoz. A megvalósíthatóság terén komoly pénzügyi korlátok jelentkezhetnek. A szűk gazdasági értelemben vett megtérülés kétséges, ugyanakkor a fejlesztések hozzájárulhatnak Lengyelország és a lengyel légitársaság stratégiai jelentőségű újrapozicionálásához.

Kulcsszavak: Lengyelország, repülőtér, nagy sebességű vasút, közlekedési csomópont

1. Bevezetés

Lengyelországban új nemzetközi repülőtér építését tervezik a főváros közelében, a repülőtér építésének költségeit várhatóan meghaladja a vasúthálózatot érintő fejlesztések volumene, további jelentős beruházással „Aerocity” is épülhet az új repülőtér mellett. A jelentős költségekkel járó projekt indoklását a lengyel tudományos térben megnyilvánuló szakértők többsége hiányosnak találja. Számos lengyel publikáció igyekezett alátámasztani vagy cáfolni a lengyel kormány várakozásait.

Ahhoz, hogy az új varsói repülőtér Európa élvonalába kerüljön, az elemzések szerzői kiemelt kérdésként kezelik a lengyel légitársaság fejlődését. A Covid-válság és az ukrajnai fegyveres konfliktus jelentős törést hozott a légi közlekedésben, amelyek feltárása még kezdeti fázisban van. A lengyel kormány a járvány által okozott gazdasági visszaesésre adott válaszában kiemelt szerep jut a stratégiai beruházásoknak, amelyek jelentős részben az új repülőtéri projekthez kapcsolódnak. A tervezett fejlesztések magas költségekkel járnak, a finanszírozás forrásai még csak részben adottak. A magas költségek mellé nem állítható közvetlen gazdasági megtérülés, a projekt inkább Lengyelország nemzetközi pozicionálásának egyik eszközeként fogható fel.

E tanulmány elsősorban európai uniós keretek közt keresi a lengyel légi közlekedés és – azon belül – az új csomópont helyét. Európai Unió alatt – az összehasonlíthatóság kedvéért – minden esetben a brexit utáni 27 tagállam értendő, a brit kilépést megelőző időszakra vonatkozóan is.

2. Az új központi repülőtér

A lengyel kormány értékelése szerint a Varsói Chopin repülőtér és a Varsótól északkeletre, Modlinban működő Mazóviai Repülőtér néhány éven belül eléri kapacitásai felső határát, a bővülő légi közlekedési igények nem elégíthetők ki a jelenlegi repülőterek bővítésével. A Chopin repülőtér két kifutópályája keresztezi egymást – korlátozva áteresztő képességüket, harmadik pálya építésére fizikailag nincs lehetőség a Varsót elkerülő S2 gyorsforgalmi út közelsége miatt [1], a környék beépítettsége következtében jelentős zajvédelmi korlátozások is útját állják az elméleti kapacitás kihasználásának. Ezért a Varsót jelenleg kiszolgáló repülőtereket egy új, Varsótól távolabb felépítendő repülőtérrel kívánják felváltani.

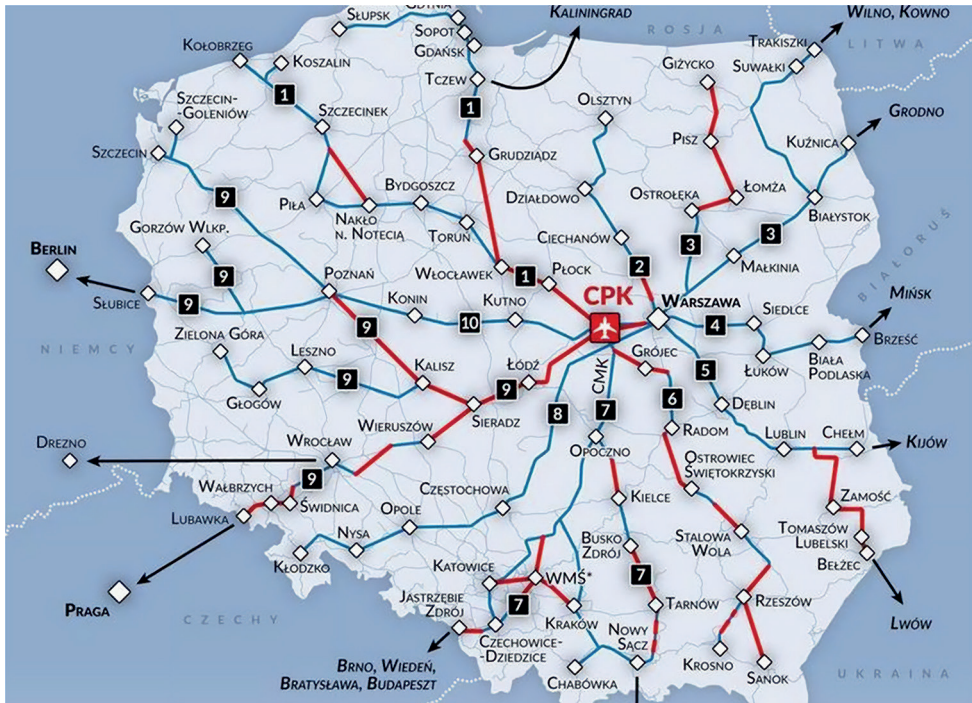
A tervezett új repülőteret Központi Légikikötőként (*Centralny Port Lotniczy, CPL*) vagy Szolidaritás (Légi) Kikötőként említik. A projekt további infrastrukturális elemeket is magában foglal, együttesen Központi Közlekedési Csomópontként¹ (*Centralny Port Komunikacyjny*), lengyel rövidítéssel CPK-ként hivatkoznak rá. A kormány 2017-ben döntött a projektről, CPK-ért felelős kormánybiztos és CPK-projektvállalat kezdte meg működését. 2018-ban fogadták el a CPK-törvényt, amely általános szabályoktól való eltéréssel egyszerűsíti a fejlesztéshez szükséges eljárásokat, és a kormánybiztos közreműködését írja elő a közlekedést érintő eljárások széles körében [2]. A törvény jogi alátámasztást ad annak a kormányzati szándéknak, hogy Lengyelország közlekedését a CPK-hoz kapcsolódó célkitűzéseket figyelembe véve fejlesszék. A repülőtér építését 2023-ban kezdik, 2027-ben tervezik üzembe helyezni.

Az új repülőtér két kifutópályával, 45 milliós utaskapacitással nyilhat meg, távolilag további két kifutópályát terveznek még, és akár évi 100 millió utas fogadását lehetővé tevő bővítést. A tervezett nagy sebességű vasút Varsóból 15 perc, Łódźból 25 perc alatt ér majd a közlekedési csomóponthoz, további vasúti kapcsolatok, a tervezett külső agglomerációs gyorsforgalmi közúti gyűrű (északi félkör: S50 autótűt, déli félkör: A50 autópálya) és a kiszélesítendő tervezett A2 autópálya az ország egyik legkönnyebben elérhető pontjává teszi a helyszínt. Erre építve jelentős üzleti és lakáscélú urbanizációs fejlesztéseket is terveznek [3]. A repülőtér szomszédságában újonnan létrejövő város („*Aerocity*”) a légi közlekedésben és az azt kiszolgáló ágazatokban dolgozók lakhelyévé, valamint számos jelentős cég – külföldről és a nagyobb lengyel városokból gyorsan elérhető – telephelyévé válhat.

3. A vasúthálózat új szerkezete

A központi repülőtér tervezésénél azzal számolnak, hogy az ország központi területei mellett a varsóihoz mérhető további agglomerációkból (Poznań, Wrocław, Katowice és Krakkó környékéről) is a központi repülőteret részesíti előnyben az utazók többsége. A 2023-ban nagyrészt

¹ Szó szerinti fordításban kikötő, honlapja: <https://cpk.pl/>. A lengyelül szélesebb jelentésű kikötő (*port*) szó szerepel „Szolidaritás Kikötő” nevében is, megkülönböztetendő a szcczeci Szolidaritás Repülőtértől.



2. ábra

A CPK-projekt keretében megvalósítandó vasúti fejlesztés [16]

4. Előzmények

Már 1974-ben készült egy kormányzati elemzés új varsói repülőtér lehetséges helyszínéről. Ezzel kapcsolatban akkor nem született döntés. A jelenleg tervezés alatt álló új repülőtér előzményének egy 2003-ban készült tárcaközi szakértői jelentés tekinthető. Akkor a jelenleg Varsót kiszolgáló „fapados” repülőtérnek otthont adó, a fővárostól északnyugatra fekvő Modlin és a Varsótól mintegy 50 km-re délnyugatra található Mszczonów közül javasolták kiválasztani a helyszínt. Mszczonów irányában két másik település környékét is a döntéshozók figyelmébe ajánlották (Skierniewice, Sochaczew). Vizsgáltak, de elvetettek egy Varsóhoz közelebbi (északnyugati irányban: Wołomin) és két távolabbi (délre: Nowe Miasto nad Pilicą és Radom) helyszínt is. A technikai paramétereket illetően azóta is mérvadó a 2003-as jelentésben szereplő két, egyenként 60 × 4000 m-es kifutópálya, amit akkor egymástól 2000 m távolságban, párhuzamosan javasoltak megépíteni. A 2003-as jelentés is kiemelte a közúti és vasúti kapcsolatok jelentőségét.

A Polgári Légügyi Hatóság (ULC) megrendelésére 2006-ban készült el az INECO-SENER konzorcium tanulmánya, amely Mszczonów és Babsk térségét jelölte meg ideális helyszíneként, alternatívaként Baranów környékét. Az Infrastrukturális Minisztérium által 2010-ben készítettett koncepció vizsgálta a varsói Chopin (korábban Okęcie) repülőtér bővítésének

lehetőségét is, de inkább új központi légikikötő építését javasolta. A helyszínt illető javaslat az addig előnyben részesített Mszczonówtól kissé északra, a Varsó–Poznań autópálya közelébe tolódott. A 2017-es döntés alapján nagyjából a 2010-es javaslat szerinti helyszínen, Baranów járásban épülhet meg az új közlekedési csomópont.

5. Kritikák

Az elsődleges kérdés, amelyet a kritikusok felvetnek: szükség van-e a tervezett repülőtérre. A jelenlegi varsóinál nagyobb új repülőtér az ezredforduló óta alig épült az Európai Unió területén: 2001-ben nyílt meg az athéni, 2020-ban a schönefeldi repülőtér bázisán épült Brandenburg-Berlin Repülőtér. A földrajzi Európában Isztambulban nyílt új légikikötő 2018-ban. A meglévő infrastruktúra bővítése, átépítése a jellemző fejlesztési irány. Több javaslat született a most üzemelő (Chopin és Modlin) repülőterek fejlesztésére zöldmezős beruházás helyett. A Chopin repülőtér környezete beépült, főként lakóövezetek veszik körül. Összehasonlítható példa híján több elemző kockázatosnak, eltúlzottnak lát egy ilyen léptékű beruházást. A modlini és a Chopin repülőtér párhuzamos fejlesztésével elérhető fejlesztés pártolói részéről elhangzó érvek szerint Gatwick területigénye alig nagyobb, mint a Chopiné, jó szervezéssel jelentősen növelhető a kapacitás, még a környezetvédelmi (zajvédelmi) korlátozások mellett is [6].

Bár kormányzati részről nem tették közzé a helyszínválasztás részletes indokait, független vizsgálat hozzáférhető, amely alátámasztja, hogy a baranówi járás megfelelő helyszín – a konkrét elhelyezkedést illetően viszont vízföldrajzi és klimatikus megfontolásokból minimális korrekcióval [7].

Külön kritika tárgya a vasúthálózat átszabása. Az Európai Unió három nagy repülőtere: a párizsi Charles de Gaulle, az amszterdami Schipol repülőtér és a Frankfurti repülőtér nagy sebességű vasúti kapcsolata a múlt század végén épült ki. Ez a három repülőtéri nagy sebességű vasútállomás integrálódott Franciaország, Hollandia és Németország hálózatába, egymás közti kapcsolat is kiépült Belgiumon keresztül. Ezekkel a nagy forgalmú repülőterekkel és a hozzájuk kapcsolódó vasúthálózattal nem vethető össze a várható varsói légi és vasúti forgalom. Európában a Frankfurti repülőtérre érkezők között a legmagasabb a vasutat választók aránya, mintegy 30%. Optimista várakozások szerint sem fog az új lengyel repülőtéren a teljes lengyel távolsági és regionális (nem elővárosi) vasúti személyforgalom több mint 5%-a fel- vagy leszállni [8]. A témában eddig megjelent egyetlen könyv is csak átmeneti megoldásként tér ki a Modlin–Chopin duoport fenntartására, a Varsótól távol eső vasúti csomópont és a sugaras szerkezet hátrányaira is felhívja a figyelmet. Számításai szerint a kívánt célok 80%-át teljesítő vasúti hálózat megvalósítható a költségek 20%-ából [9], a logisztikai szakember szerint a vasúthálózat átszabása egy mesterségesen létrehozott központba futó küllős szerkezetbe aránytalan költségekkel igazítja az egész hálózatot az utasok néhány százalékának feltételezett igényeihez.

A repülőtér építésének bármilyen finanszírozású állami támogatásával kapcsolatban kihívást jelent az európai uniós versenyszabályoknak való megfelelés, ugyanis ez a komplex közlekedési fejlesztés regionális repülőterek jövőjét veszélyeztetheti az utas- és áruforgalom elszívása révén [10]. Az új légi csomópont megnyitása magával hozhatja több regionális reptér (Łódź, Radom, Bydgoszcz) bezárását, vagy kereskedelmi utasforgalommal nem járó

funkcióváltását [11], ami korlátozza az uniós források felhasználhatóságát, sőt a lengyel állami támogatás EU-konform folyósíthatóságát is.

A CPK és az onnan szétágazó nagy sebességű vasúthálózat építését megalapozó forgalmi becsléseket a járvány és az ukrajnai háborús válság előtt is többen túlzottnak találták, a jelenlegi két repülőtér fejlesztésével is kezelhető forgalommal számoltak [11]. A lengyelországi légiutas-forgalom jelentős forgalomművekedésére vonatkozó becslések az átszálló forgalom arányának jelentős növekedését feltételezik [1], [11]. Az új beruházás létjogosultságát támasztaná alá, ha a LOT a Turkish Airlines-hoz hasonló utat járna be. Ám a LOT ambíciói nem állíthatók párhuzamba a török légitársaság szerves fejlődési útjával. A LOT egyelőre nem tud felmutatni *joint venture* típusú szerződések terén sem sikereket. A 2010-es évek gyors fejlődési trendjének tartósságát már a koronavírus megjelenését megelőzően is többen [12] megkérdőjelezték a makrogazdasági korlátokra, a lengyel légitársaság sajátos viszonyaira (a repülőgépek lízingszerződéseire, a de facto foglalkoztatottak „vállalkozási szerződéseire”) és a tengerentúli járatok alacsony részarányára hivatkozva.

Lengyelország geopolitikai jelentőségű határterületen helyezkedik el [13], aminek lehetséges következményei alapos elemzést érdemelnek stratégiai infrastrukturális döntéseknél. Ez már azt megelőzően felmerült, hogy a keleti irányú légi forgalom az ukrán infrastruktúra rombolása és a szankciós tiltások miatt teljesen ellehetetlenült.

Az új repülőtérre szánt befektetések hatékonysága nehezen becsülhető előre, a fejlesztés megalapozottsága legalább annyira értelmezhető politikai, stratégiai síkon, mind gazdasági megtérülés szempontjából [14]. A gyors elérhetőség nem fog olcsó elérhetőséget jelenteni. A magas beruházási költségek magas infrastruktúra-használati díjakat eredményezhetnek. A távolabb kerülő repülőtér elérése nagyobb költségekkel járhat.

6. Új kihívások: Covid-19, Oroszország

A Covid-válság előzmény nélküli, drasztikus csökkenést eredményezett a légi személyforgalomban. Lengyelországban a vírusvédelmi intézkedések része volt a légi forgalom teljes leállítás 2020-ban. A beutazási és karantén szabályok az üzleti, magánéleti és turisztikai célú utazások többségét is ellehetetlenítették. A fertőzés hullámai a légi közlekedési forgalmi előrejelzések gyakori revíziójához vezettek. A rövid távú hatások és az utazási szokások tartós változásainak tendenciáit egyelőre csak részlegesen sikerült feltárni.

Az Ukrajnában zajló háború nyomán Oroszország, Belarusz és Ukrajna felé teljesen ellehetetlenült a légi forgalom. Ez az átrepülésekre is vonatkozik, ami Európa északi fele és Ázsia közt költséges és időigényes kerülőket kényszerít ki. A tengerentúli járatok jelentős részét amúgy is tartósan visszavetették az Európán belüli utazáshoz képest szigorúbb járványügyi korlátozások. A Covid- és az ukrajnai válság negatív hatásai egymást is erősítik.

Itt csak arra szorítkozunk, hogy néhány 2020-ra és 2021-re vonatkozó adat alapján a rövid távú pozícióváltozásokra mutassunk rá – a szélesebb Európa trendjeitől a lengyel vonatkozások felé közelítve. Figyelemre méltó, hogy a 2020-ban bekövetkezett drasztikus forgalomcsökkenés által átrendezett relatív pozíciókon a 2021-es részleges kilábalás csak keveset változtatott. A háborús helyzet és a légi közlekedést ezzel összefüggésben sújtó szankciók elsősorban Oroszország pozícióit gyengítik.

Az Európai Unión kívüli Európa legnagyobb légi forgalmi csomópontjait – az Európai Unióhoz képest és egymáshoz viszonyítva is – eltérő módon érintette a járványhelyzet. Az Isztambuli Nemzetközi Repülőtér 2020-ban Európa legnagyobb forgalmú légikikötőjévé vált, vezető pozícióját 2021-ben tovább erősítette. A földrajzi Európán kívüli Antalya repülőtere is nagyobb forgalmat bonyolított 2021-ben, mint az EU ötödik legforgalmasabb repülőtere. A Seremetyovói repülőtér 2021-ben került a második helyre (2019-ben a 8., 2020-ban az 5. helyen állt), a három moszkvai repülőtér² forgalma (73,7 millió fő) megközelítette az Európai Unió három legnagyobb repülőterének együttes forgalmát (76,4 millió fő). Európa 12 legforgalmasabb repülőtere közt 4 orosz volt 2021-ben. A londoni repülőterek szerepe csökkent, különösen 2021-ben. Európa legforgalmasabb légikikötőiről az 1. táblázat ad áttekintést.

1. táblázat
A földrajzi Európa legforgalmasabb repülőterei 2019 és 2021 között. Millió utas [Eurostat, Roszaviacija]

Repülőtér	2019	Repülőtér	2020	Repülőtér	2021
1. London Heathrow	80,9	1. Isztambul	23,4	1. Isztambul	37,2
2. Párizs De Gaulle	76,2	2. Párizs De Gaulle	22,2	2. Moszkva Seremetyevo	30,6
3. Amszterdam Schipol	71,7	3. London Heathrow	22,1	3. Párizs De Gaulle	26,2
4. Frankfurt am Main	70,6	4. Amszterdam Schipol	20,9	4. Amszterdam Schipol	25,5
5. Madrid	59,8	5. Moszkva Seremetyevo	19,6	5. Moszkva Domodedovo	25,1
6. Isztambul	52,0	6. Frankfurt am Main	18,7	6. Frankfurt am Main	24,8
7. Barcelona	51,8	7. Madrid	16,5	7. Madrid	23,2
8. Moszkva Seremetyevo	49,9	8. Moszkva Domodedovo	16,4	8. London Heathrow	19,4
9. München	48,0	9. Moszkva Vnukovo	12,6	9. Barcelona	18,5
10. London Gatwick	46,6	10. Barcelona	12,4	10. Szentpétervár	18,0

Az Európai Unión belül a Párizs–Amszterdam–Frankfurt–Madrid–Barcelona sorrend változatlan maradt, a legnagyobb forgalmú repülőterek közti különbség csökkent. A 6. és 10. helyezettek között jelentős átrendeződés ment végbe. A párizsi Orly repülőtér 2019-ben még az EU 9. legnagyobb repülőtere volt, 2021-ben már a 6., Palma de Mallorca és Athén is látványosan előbbre került a rangsorban.

Az EU légi személyforgalma 2021-ben a 2019-es szint 37%-át tette ki. Varsó arányosan kevéssel volt magasabb (39%). A legforgalmasabb európai repülőterek közt négygel, az Európai Unión belül eggyel előre lépett. Az orosz repülőterek forgalmának csökkenése tovább javíthatja relatív pozícióit. A szűkebb régióban a Covid-19-válság alatt Varsó és Bécs jól tartotta relatív helyzetét, figyelemre méltó Bukarest teljesítménye is. Prága és Budapest légi forgalma lassabban épül vissza. Összességében Európához és a szűkebb régióhoz képest minimális mértékben kevesebb veszteséggel vészelt át Varsó a járványidőszakot.

7. Finanszírozás

A teljes projekt állami (európai uniós) forrásból megvalósuló költségei az első becslések szerint 40:35:25 arányban oszlanak meg a szárazföldi közlekedési, a repülőtér-fejlesztési

² Seremetyovo, Vnukovo, Domodedovo. Az adatok forrása: <http://favt.gov.ru/dejatelnost-ajeroporty-i-ajerodromy-osnovnie-proizvodstvennie-pokazateli-aeroportov-obyomy-mau/>

és a városfejlesztési beruházások között. A városfejlesztés alapvetően nem illeszkedik az uniós fejlesztésekhez, de „zöld” és digitális vonatkozások révén esélyes lehet némi támogatásra. A repülőtér megépítése a szűken vett építési munkálatok szintjén ugyan nem számíthat uniós forrásra, de az utas- és forgalomirányítás informatikai megoldásai támogathatók. A kritikák bemutatása során felmerült az a kérdés is, hogy a repülőtér építése akár tiltott állami támogatásnak is bizonyulhat, ennek elvi kockázatát a lengyel kormányzat minden bizonnyal kellő körültekintéssel kezeli.

A közúti és vasúti fejlesztéseknek széles köre kapcsolódik az új csomópontozhoz, ezeknek a 2. ábrán pirossal jelölt szakaszai jelennek meg a CPK-projektvég mint beruházó költségeiként. Nagyrészt a TEN-T törzshálózatba [17] illeszkedő fejlesztésekről van szó, transzeurópai közlekedési hálózat folyamatban lévő revíziója révén az EU-támogatásra esélyes szakasza tovább bővíthető. A legnagyobb költségű elem, a Varsó–Lódz–Poznań/Wrocław nagy sebességű vasútvonal kiépítése a TEN-T törzshálózatba tartozik: a repülőtér megépítése nélkül is prioritást élvez. Összességben a CPK általi beruházásban tervezett vasúti infrastruktúra-fejlesztések fele-negyede részben fedezhető EU-forrásokból – a 2021–2027-es és 2028–2034-es pénzügyi keretekkel kapcsolatos konkrét alkuk függvényében.

A repülőtér-fejlesztés melletti érvek közt korábban a kínai relációban felmerülő kereskedelmi és finanszírozási lehetőségek is alátámasztást kaptak [15]. A vasúti és légi szállítás különböző kombinációit tenné lehetővé, hogy a háborús helyzetet megelőzően Lódz felé futott a Kínából Európába érkező vasúti szállítmányok túlnyomó többsége. Ennek relevanciáját csökkenti az Oroszország és Ukrajna feletti átrepülés perspektívájának elbizonytalanodása és a kínai pénzügyi kapcsolatok vonatkozásában megfogalmazó kétségek, biztonságpolitikai megfontolások, nem utolsósorban a transzszibériai és Kazahsztánon keresztüli szállítmányozás leállása.

A vírusválság utáni gazdasági kilábalás programja (lengyel „deal” – *polski ład*) jelentős forrásokat mozgósít a stratégiai infrastrukturális beruházások számára. Ennek fő keretét a Lengyel Deal Kormányzati Alap (*Rządowy Fundusz Polski Ład*) adja,³ amelyet a BGK lengyel fejlesztési bank kezel. Még ha korlátozottan sor kerül is magántőke bevonására, összességében az államadósságot növelő finanszírozásból történik a projekt megvalósítása. Nagyságrendileg a lengyel éves GDP 10%-át kitevő összegről van szó.

8. A lengyel légi közlekedés helyzete, kilátásai

A két Varsó környéki repülőtér együttes utasforgalma 22 millió fő volt 2019-ben, ami a 2009. évi 8,3 millióhoz képest jelentős növekedést mutat. A teljes lengyelországi utasforgalom pedig 17 millió főről 47 millióra bővült 2009 és 2019 között. A varsói repülőtér az utolsó járványmentes évben az Európai Unió legforgalmasabb légikikötői közt a 22. (2021-ben 21.) helyen állt. A 2. táblázatban a jelenlegi EU legforgalmasabb repülőtereinek adatai szerepelnek. A varsóinál nagyobb forgalmat bonyolított le 2019-ben 4 brit, 3 török, 3 orosz, 2 svájci és egy 1 norvég légi csomópont is, a földrajzi Európában csak a 34. helyen (2021-ben 30.) állt a Chopin repülőtér.

³ www.bgk.pl/polski-lad/

2. táblázat
Az Európai Unió legforgalmasabb repülőterei (utasforgalom, millió fő) [Eurostat]

Repülőtér \ Év	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Párizs/De Gaulle	61,6	62,0	63,8	65,8	66,0	69,5	72,3	76,2	22,2	26,2
Amszterdam/Schiphol	51,1	52,6	55,0	58,3	63,7	68,7	71,2	71,7	20,9	25,5
Frankfurt am Main	57,8	58,2	59,7	61,1	60,9	64,6	69,6	70,6	18,7	24,8
Madrid/Adolfo Suarez	45,2	39,7	41,6	46,3	49,2	52,1	56,4	59,8	16,5	23,2
Barcelona/El Prat	35,1	35,1	37,4	39,4	43,8	46,8	49,6	51,8	12,4	18,5
Paris/Orly	27,2	28,3	28,8	29,7	31,2	32,0	33,1	31,9	10,8	15,7
Palma de Mallorca	22,6	22,7	23,1	23,7	26,2	27,9	29,1	29,6	6,1	14,5
Athén/Venizelosz	12,9	12,5	15,2	18,1	20,0	21,7	24,1	25,6	8,8	13,4
München	38,5	38,8	39,8	41,1	42,3	44,6	46,3	48,0	11,1	12,5
Lisszabon	15,1	15,9	18,0	19,9	22,3	26,5	29,1	31,2	9,3	12,2
Róma/Fiumicino	37,2	36,4	38,4	40,6	41,9	41,1	43,1	43,7	9,8	11,6
Bécs/Schwechat	22,3	22,1	22,6	22,9	23,5	24,5	27,2	31,8	7,8	10,5
Berlin-Brandenburg	7,1	6,7	7,3	8,5	11,7	12,9	12,7	11,4	3,2	9,9
Milánó/Malpensa	18,7	18,1	19,0	18,7	19,5	22,3	24,4	28,9	7,2	9,6
Brüsszel/Zaventem	19,1	19,2	22,1	23,7	21,9	24,8	25,7	26,4	6,7	9,4
Koppenhága/Kastrup	23,3	24,0	25,7	26,6	29,0	29,2	30,3	30,2	7,5	9,1
Malaga/Costa del Sol	12,5	12,9	13,7	14,4	16,6	18,6	18,9	19,6	5,1	8,7
Dublin	19,1	20,1	21,7	25,0	27,8	29,5	31,3	32,7	7,3	8,3
Düsseldorf	20,8	21,2	21,9	22,5	23,5	24,6	24,3	25,5	6,6	7,9
Stockholm/Arlanda	19,7	20,7	22,5	23,2	24,7	26,7	27,0	25,8	6,5	7,5
Varsó/Chopin	9,6	10,7	10,6	11,2	12,8	15,8	17,8	18,9	5,5	7,4

A jelentősebb európai (köztük részben ázsiai területen tevékenykedő orosz és török) légitársaságok utasszámát a 3. táblázat tartalmazza a 2019-es forgalom sorrendjében egy évtizedes visszatekintésben. A szakirodalom jellemzően külön tárgyalja a hagyományos légitársaságok piacát a „fapadosokétól”. A légi személyszállítás hagyományos szegmensét három nagy csoport uralja Európában (Lufthansa, Air France-KLM és IAG). A Covid-válság nyomán Európa délkeleti perifériáján hasonlóan jelentős szereplővé vált a Turkish Airlines, a keleti periférián pedig az Aeroflot. Az északi periférián jelentősen zsugorodott a SAS piaca, a Finnair forgalma a 2019-es 15 millióra az ötödét sem érte el 2021-ben. A déli periféria legnagyobb önálló légitársasága (a 2019-ben még 23 milliós utasforgalmú Alitalia) csődbe ment, a megmaradt két jelentősebb társaság (a TAP és az Aegean) jelentős veszteségekkel maradt talpon. A „fapadosok” piaci szegmensében a két piacvezető (Ryanair és Easyjet) mellé felzárkózó Wizz Air a közép-európai térség meghatározó szereplője. A fapadosok közé sorolják a Norwegiant is, amely 2018-ig több utast szállított, mint a Wizz Air. A LOT 2019-ben gyors növekedéssel érte el (a LOT Chartert is ideszámítva) a 12 milliós utasszámot, de a járványhelyzet (Lengyelországban ez a légi közlekedés leállításával járt 2020-ban) miatt a forgalom felívelése megtört. A táblázatban szereplő orosz társaságok előtt álló kihívások további átrendeződést hozhatnak az európai légi közlekedésben.

3. táblázat
 Európa legnagyobb forgalmú légitársaságai (szállított utasok, millió fő)
 ([18] és a társaságok honlapjai alapján)

Légitársaság (csoport) \ Év	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ryanair	76	80	81	86	101	117	129	139	152	52	72
Lufthansa Group	112	109	110	113	115	117	130	142	145	36	47
Aeroflot Group	16	28	31	35	39	43	50	56	61	30	46
Turkish Airlines	33	39	48	55	61	63	69	75	74	28	45
Air France-KLM	76	78	78	87	90	93	99	101	104	34	45
International Airlines Group	52	55	67	77	95	101	105	113	118	31	39
Wizz Air	11	12	14	16	19	23	28	34	40	17	22
Easyjet	56	59	61	65	70	75	82	89	103	16	20
Pegasus Airlines	11	14	17	20	22	24	28	30	31	15	20
S7 Airlines	5	8	9	10	11	13	14	16	18	12	18
Ural Airlines	3	4	4	5	5	6	8	9	10	6	9
SAS Group	25	25	25	27	27	29	28	30	30	9	9
Aegean Airlines	10	9	9	10	12	12	13	14	15	5	7
UTair Aviation	6	8	10	11	9	7	7	8	8	5	7
Norwegian Air Shuttle ASA	16	18	21	24	26	29	33	37	36	7	7
Nordwind Airlines	2	2	4	4	3	2	4	5	6	3	6
TAP Air Portugal	10	10	11	11	11	12	14	16	17	5	6
LOT Polish Airlines	6	6	6	6	6	6	7	11	12	4	4
Azur Air	-	-	-	0	2	2	4	4	6	2	4
Smartavia	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	4

A legnagyobb európai repülőterek egyben a legnagyobb légitársaságok átszállási csomópontjai (*hubjai*, Párizs és Amszterdam: Air France-KLM, Frankfurt és München: Lufthansa, Madrid és Barcelona: IAG). A 2010-es években látványos növekedést produkáló dublini repülőtér forgalmának felfutása mögött az átszállásoknak az Aer Lingus IAG általi átvétele miatt megnőtt száma áll, viszont 2020–2021-ben a forgalom háromnegyede elveszett. A hagyományos csoportok növekedését gyakran a csoportba tartozó fapados társaságok adják.

Ha LOT nem kíván valamelyik nagy európai csoport részévé válni, az önálló felemelkedés mintájaként a TAP és Finnair is szóba jöhet. A TAP Lisszabon és Latin-Amerika közelségére építve emelkedett fel, a Finnair pedig a jelentős forgalmú ázsiai desztinációknak köszönhetette a Covid-19-járvány előtti jelentős pozícióját. Helsinkiből olyan menetrendi kínálat alakítható ki Ázsia felé – a 24 órán belül fordulásoknak köszönhetően, amely már Stockholmból sem valósítható meg, nemhogy Varsóból. A háborús helyzetben bevezetett oroszországi átrepülési tilalom ugyanakkor Isztambul és a Turkish Airlines pozícióját erősíti Ázsia felé.

Varsó fő regionális légi közlekedési konkurense Bécs. A LOT-nak a Tallinn–Bécs–Athén–Kijev négyzögben kellene domináns pozíciót kialakítania ahhoz, hogy Európa élvonalába emelkedjen. Nyugatról a Lufthansa-csoport erős pozíciói – különös tekintettel a csoportba tartozó, bécsi bázisú Austrian Airlinesra –, keletről pedig a háborús helyzet szűkíti a mozgásteret.

A tendenciák vizsgálatánál ki kell térnünk a teljes lengyel légi közlekedés fejlődésére. Spanyolország és Görögország példája bizonyítja, hogy be lehet kerülni az élvonalba anélkül,

hogyan felépítenék Európa vezető repülőtérét. Spanyolország légi forgalma 2019 óta magasabb, mint az Európai Unió bármelyik jelenlegi tagállamában, anélkül, hogy repülőtér-fejlesztésben a Párizs–Amszterdam–Frankfurt hármast másolná. Bár Amszterdam repülőtere 2016 óta tartja második helyét az Európai Unió jelenlegi tagjai között, Hollandia légi forgalmát évtizedek óta „megarepülőtér” nélkül is kétszeresen meghaladja az olasz, 2021-ben pedig Görögország is megelőzte Hollandiát. Lengyelország nyolcadik helye az EU-tagállamok között stabil, Portugália is megelőzi a légi forgalom tekintetében.

Az új repülőtér kilátásait elemző viták ritkán térnek ki a légi áruszállításra. Varsó, és általában a közép-európai régió e téren nem mutatott fel olyan ütemű felzárkózást Nyugat-Európához, mint a személyszállítás terén. Míg az Európai Unió légi személyforgalmának 5,0%-át adja a lengyel, az európai uniós áruforgalomban Lengyelország részaránya mindössze 0,9%.⁴ Regionális versenytársként jelentkeznek a bécsi és a budapesti repülőtér, de ezek áruforgalma is eltölpül a német, francia, belga és holland légikikötőkhöz képest, amely utóbbiak 2020-ban és 2021-ben is tovább növelték dominanciájukat az Európai Unión belül.⁵ A Lipcse-Halle-i repülőtér egymaga a varsói áruforgalom tízszeresét bonyolítja, jelentős növekedési dinamika mellett. Az új infrastruktúra lehetőséget ad expanzióra, ha megfelelő, átfogó stratégia is párosul hozzá.

9. Következtetések

Lengyelország olyan léptékű zöldmezős repülőtér-építésbe kezd, amelyre időben és térben közeli példát egyedül az Isztambuli Nemzetközi Repülőtér vonatkozásában találunk. A lengyel légi közlekedés estében ugyanakkor nem mutatható ki olyan organikus fejlődés, amely az isztambulit tette a földrajzi Európa legnagyobb forgalmú repülőtérévé, a Turkish Airlines török légitársaságot pedig Európa negyedik legnagyobb személyforgalmú társaságává.

A lengyel vasúthálózat fejlesztési irányát aránytalanul befolyásolja, hogy a nem elővárosi utasok legfeljebb 5%-a az új repülőtéren száll fel vagy le. A tervezett küllős szerkezetnek megfelelően a távolsági járatok többsége a repülőtéri állomáson keresztül fog haladni, a fennmaradó járatok is ezekhez csatlakoznak.

Az új, nagy léptékű fejlesztésnek jelentős előzményei vannak, de nem készült olyan átfogó tanulmány, amely a szakmai közvélemény kétségeire érdemi válaszokat ad. A magas költségek csak részben ismertek, a várható bevételek nem vetítenek előre belátható időn belüli megtérülést. A beruházások közt szerepelnek ugyanakkor olyanok is (például a nagy sebességű vasúti hálózat), amelyeket az új repülőtér nélkül is terveztek. A jelentős államadósság-növekedéssel járó fejlesztések mögött nagy a presztízs- és hosszú távú stratégiai szempontok súlya.

A Covid-válság nem érintette jobban a lengyel légi közlekedést, mint Európát általában, de nem is hozott érdemi relatív pozíciójavulást. A háborús helyzet és annak következményei távolabbi jövőbe helyezik a keleti piacokon és a távolkeleti irányokban elvileg adott kitorési lehetőségeket. Az orosz pozíciók romlása a földrajzi Európán belül relatív előnyöket is tartogat

⁴ 2020-ra vonatkozó Eurostat-adat.

⁵ Az Eurostat 2020-ra vonatkozó adata szerint a német, francia, belga és holland repülőtereken le- és felrakodott árutömeg részaránya 77,4%-ra nőtt, 2021-ben további növekedést jeleznek az előzetes adatok.

a lengyel légi forgalom számára, a repülőterek és légitársaságok rangsorában elérhető jobb helyezés ugyanakkor átmenetinek bizonyulhat.

Felhasznált irodalom

- [1] T. Balcerzak, K. Kostur, „Szanse i wyzwania Centralnego Portu Lotniczego (Komunikacyjnego)-czas na decyzje,” *Revista Europea de Derecho de la Navegación Marítima y Aeronáutica*, pp. 81–197. 2020. Online: <https://revistasdederecho.com/wp-content/uploads/2020/09/notas-2.pdf>
- [2] P. Świątecki, „Ustawa o Centralnym Porcie Komunikacyjnym,” *Przegląd komunikacyjny*, 73. évf. 5. sz. pp. 32–34. 2018. Online: www.transportation.overview.pwr.edu.pl/UPLOAD/BAZA-ARTYKULOW/PL/2018/05/A_PL_18_05_07.pdf
- [3] J. Blachut, „The Polish Air HUB or the Central Airport in Poland, the Solidarity Port,” *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 471. köt. 11. sz. pp. 1–10. 2019. Online: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/11/112081>
- [4] O. Stryhunivska, K. Gdowska, R. Rumin, „A Concept of Integration of a Vactrain Underground Station with the Solidarity Transport Hub Poland,” *Energies*, Vol. 13. No. 21. pp. 1–23. 2020. Online: <https://doi.org/10.3390/en13215737>
- [5] A. Pomykała, „Centralny Port Komunikacyjny w systemie transportu kolejowego,” *Problemy Kolejnictwa*, No. 179. pp. 27–35. 2018. Online: <https://doi.org/10.36137/1794p>
- [6] S. Chabiera, „Centralny Port Lotniczy – studium z zakresu zarządzania rynkiem lotniczym w Polsce,” *Infolotnicze*, 2017. november 6. Online: www.infolotnicze.pl/2017/11/06/centralny-port-lotniczy-studium-z-zakresu-zarzadzania-rynkiem-lotniczym-w-polsce/
- [7] S. Białousz, J. Jaroszewicz, J. Chmiel, S. Różycki, „Analizy przestrzenne lokalizacji Centralnego Portu Komunikacyjnego RP Solidarność,” *Roczniki Geomatyki*, Vol. 3. No. 82. pp. 175–198. 2018. Online: <http://rg.ptip.org.pl/index.php/rg/article/view/RG2018-3-Bialousz-inni>
- [8] A. Pomykała, „Uwarunkowania obsługi Centralnego Portu Komunikacyjnego przez transport kolejowy,” *TTS Technika Transportu Szybowego*, 9. sz. pp. 35–41. 2017.
- [9] T. Wardak, *Piasta i szprychy. Centralny Port Komunikacyjny, kolej i nasza przyszłość*. Szerzői kiadás, 2021.
- [10] J. Kociubiński, „Budowa Centralnego Portu Komunikacyjnego z perspektywy prawa subwencyjnego,” *Przegląd Komunikacyjny*, Vol. 73. No. 5. pp. 35–39. 2018. Online: https://doi.org/10.35117/A_ENG_18_05_08
- [11] M. Serafin, R. Zaremba, „Wstęp do prognoz dla wielkiego CPK – podejście popytowe,” *Przegląd Komunikacyjny*, Vol. 74. No. 9. pp. 14–20. 2019. Online: www.transportation.overview.pwr.edu.pl/UPLOAD/BAZA-ARTYKULOW/PL/2019/09/A_PL_19_09_03.pdf
- [12] M. Serafin, *Centralny Port Komunikacyjny. Analiza rynkowa*. Warszawa, Fundacja Kaleckiego, 2019. Online: <http://kalecki.org/uploads/media/5dd7a35099d34-cpk-raport.pdf?v=asd12asd1>
- [13] Z. Matyjas, „Uwzględnienie zagadnień geopolityki i geostrategii w analizach strategicznych,” in *Zarządzanie strategiczne w dobie cyfrowej gospodarki sieciowej*. Repozytorium Uniwersytetu Łódzkiego, 2020. pp. 483–495. Online: <https://doi.org/10.18778/8220-335-6.29>

- [14] E. Kowalska-Napora, „Hub- and- spoke: Centralny port lotniczy,” *Autobusy*, Vol. 19. No. 12. pp. 1094–1098. 2018. Online: <https://doi.org/10.24136/atest.2018.557>
- [15] D. Choińska, J. Jakubik, K. Panaszewicz, „Potencjał logistyczny Centralnego Portu Lotniczego jako elementu Pasa i Drogi,” *Akademia Zarządzania*, Vol. 4. No. 2. pp. 132–144. 2020. Online: <http://info.wiz.pb.edu.pl/Nauka/Czasopismo-Akademia-Zarz%C4%85dzania>
- [16] Centralny Port Komunikacyjny, *Program kolejowy*. Online: <https://cpk.pl/pl/inwestycja/kolej>
- [17] Az Európai Parlament és a Tanács 1315/2013/EU rendelete (2013. december 11.) a transz-európai közlekedési hálózat fejlesztésére vonatkozó uniós iránymutatásokról és a 661/2010/EU határozat hatályon kívül helyezéséről. Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:32013R1315>
- [18] Wikipedia, the free Encyclopedia, *List of largest airlines in Europe*. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_airlines_in_Europe

The Strategic Significance of the New Polish Central Airport and Transport Hub

Poland is constructing a new airport near Warsaw, which, as a new hub of road and rail transport will be available quickly from the whole country. The construction of the airport and the development of transport as well as a new urban area are dealt in unity by the Polish government. Besides, reviewing the project, the paper surveys the critics formulated with a scientific pretension and alternative ideas, and then it gives an analysis of geographic and market opportunities of Polish airports and the Polish airlines. Covid-19 crisis and sanctions linked to Russia have challenged the Polish economy and air transport. The large-scale developments may contribute to the economic emergence of Poland after the crises, opening new perspectives for the air transport. A project of such a volume carries substantial risks too. Regarding feasibility, serious financial limits may appear. Economic return in a narrow sense is questionable, at the same time the development may contribute the strategic repositioning of Poland and the Polish airlines.

Keywords: *Poland, airport, high speed train, transport hub*

Szilágyi Balázs
Doktori hallgató
Nemzeti Községi Egyetem
Közigazgatás-tudományi Doktori Iskola

Szilagyibalazs@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0003-2794-6464

Balázs Szilágyi
PhD student
University of Public Service
Doctoral School in Public Administration
Sciences

Szilagyibalazs@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0003-2794-6464



Szabolcsi Róbert

Autonóm járművek kooperatív irányítása

Az elmúlt és a következő évek egyik nagy kihívása az autonóm (A) járművek kooperatív irányítása. Az autonóm járművek, mint például a pilóta nélküli légi jármű (AUAV), a vezető nélküli felszíni jármű (AUGV), a vízfelszíni jármű (AUSV) kooperatív irányítása viszonylatában számos esetben találkozunk olyan foratókönyvvel, hogy egy-egy közös cél (például UAV zárt kötelékes repülési alakzatainak létrehozása, vagy az UAV repülési alakzatának bontása, UAV földi utántöltése, felderítő UAV-repülések, UAV leszállása autonóm földi jármű fedélzetére, UAV automatikus leszállása hajók fedélzetén stb.) elérése érdekében a különféle autonóm járművek együttműködnek egymással. A szerző célja néhány speciális UAV-alkalmazás koncepciójának leírása, és a fő kooperatív irányítási stratégiák bemutatása.

Kulcsszavak: (A)UAV, (A)UGV, (A)USV, autonóm jármű, kooperatív irányítás, optimális irányítás

1. Bevezetés, motiváció, problémafelvetés

Az UAV-k a modern kor leginkább dinamikus fejlődő eszközei közé tartoznak. Az UAV-kat széles körben használják az állami (katonai és nem katonai) és a nem állami (magán-) repülésben. Mindazonáltal a kis (SUAV) és a közepes (MALE) kategóriába tartozó UAV-k alkalmazásának egyik fontos korlátja a fedélzeten rendelkezésre álló üzemanyag (fosszilis vagy villamos) mennyisége. Könnyű belátni, hogy légi utántölthetőség hiányában a belső égésű motorokkal hajtott légi eszközök a földön vételeznek üzemanyagot újabb repülési feladataik végrehajtásához.

A háborús műveletekben azonban a leszállóhely megközelítése és maga a leszállás is kifejezetten veszélyes, hiszen ekkor földközelségben, alacsony sebességgel közelítik meg az UAV-k a leszállóhelyet, és így maguk is kiszolgáltatott célponttá válnak. Másodsorban pedig maga a repülőtér, ahonnan üzemeltetik az UAV-kat, könnyű célpont, és a repülőtéren telepített infrastruktúrát könnyen és gyorsan el lehet pusztítani, így módon is gátolva az UAV-k fel- és leszállását. Az UAV-k földi irányító állomását (GCS) rendszerint mobil eszközökre telepítik, így védelmük érdekében azok szükség esetén gyorsan más helyre telepíthetők. Ilyen esetben is jól szolgálja az UAV-k harci alkalmazhatóságának és harcértékének megőrzését, ha az UAV-kat felszíni, mobil utántöltő- és karbantartó állomások szolgálják ki. Ily módon, az UAV-k akár megfelelő módon kiépített és előkészített közúton vagy autópálya-szakaszon is leszállhatnak üzemanyagot és egyéb felszerelést vételezni, vagy szükség esetén mobil karbantartó csoport akár javításokat is végezhet az UAV-kon.

Az UAV-k leszállása sokszor nagy kihívás a kezelők számára. A SUAV-kategóriához tartozó légi járművek leszállását akár ejtőernyő segítségével is tervezhetjük. E módszer hátránya, hogy

az ejtőernyőzés során az UAV már nem irányítható, és rossz időjárási feltételek (például erős szél) esetén a légi jármű számottevő mértékben sodródhat el a leszállás tervezett helyétől. A legrosszabb esetben akár el is veszíthetjük őket.

A SUAV-kategóriában a másik gyakran alkalmazott leszállási módszer a hasra szállás. E módszer előnye, hogy a megfelelő módon előre kiválasztott leszállóhelyen maga a leszállás nem igényel semmilyen eszközt. Más szóval, a leszállóhely fizikai mérete és felszíne határozza meg a leszállás végrehajthatóságát. Hátrányként jelentkezik ebben az esetben, hogy az UAV alsó részeit, főként a törzset megfelelő módon meg kell erősíteni, hogy az ütközési és a súrlódási energiát el tudja nyelni. Ez azonban az UAV saját tömegének növekedésével, míg a hasznos teher csökkenésével jár.

A fent ismertetett leszállási módok hátrányai jól kezelhetők, ha az UAV-t egy mozgó platformra szállítjuk le. Az UAV felszíni jármű fedéltetere való leszállítása már régen foglalkoztatja a mérnököket, mert a leszállás folyamata jól automatizálható. Ilyenkor a megfelelően felépített UGV vagy AUGV tetején egy leszállóplatformot hoznak létre, amelyre az UAV leszáll, és a megfelelő földi kiszolgálás és egy esetleges karbantartás után, ha a felszálláshoz megvannak a technikai eszközök, új bevetésre indulhat.

Végezetül, nagy kihívást jelent az UAV-k hajók fedéltetéről való üzemeltetése is. Sem a felszállás, sem pedig a leszállás nem tűnik egyszerű feladatnak, ha a leszállóhely egy mozgó hajó fedélzete, amely kitéve a hullámnak, folyamatosan változtatja a le- és felszálló platform helyét. Érdemes megemlíteni, hogy a hajófedélzeti UAV-leszállást sokszor hálós befogással oldják meg. Mindazonáltal, a forgószárnyas UAV-k a függőleges emelkedési és süllyedési képességük miatt képesek leszállni hajófedélzeti leszállóhelyre is.

2. Szakirodalmi áttekintés

Az automatikus repülésszabályozás annak kezdeti éveitől központi helyet foglal el az irányítás, napjainkban pedig a kooperatív irányítás különféle területein. Rendszerint olyan modellalapú irányításokkal van dolgunk, amelyek a klasszikus repülésszabályozás feladatait (értéktartó és értékkövető szabályozások megvalósítása) újabb, modern és posztmodern irányítási feladatokkal (optimális repülési pálya tervezése, összeütközés-mentes repülések, mesterséges intelligencia alkalmazása a repülési feladatok végrehajtása során stb.) egészíti ki.

A klasszikus automatikus repülésszabályozás az egyedi légi járművek térbeli mozgásának irányítását helyezi középpontba, amelynek fontosabb területei az értéktartó és értékkövető szabályozási rendszerek tervezése, az alapjelkövetési tulajdonságok vizsgálata, a külső és belső szenzorajok káros következményeinek szűrése, a stabilitás és a minőségi jellemzők teljesülésének vizsgálata, optimális irányítások, időben változó, paraméterbizonytalanságokkal terhelt nemlineáris, dinamikus rendszerek tervezése.

Műholdak mozgásának szabályozásával az [1] és a [15] irodalom foglalkozik részletesen. A légi járművek mozgásának modellezésével, és a légi járművek automatikus repülésszabályozásának kérdéseivel a [2], [7], [8], [11], [14] irodalmak foglalkoznak behatóan, és vizsgálják az automatikus repülésszabályozási rendszerek előzetes tervezésének kérdéseit is.

Megemlítjük, hogy a légi járművek klasszikus automatikus repülésszabályozása nem foglalkozik a kooperatív irányítás kérdéseivel. Az automatikus repülésszabályozás az egyedi légi járművek térbeli mozgásának irányítását helyezi középpontba.

Az UAV-k kooperatív irányítása ma az automatikus repülésszabályozás egyik kulcsfontosságú eleme. A gyakorlatban előfordul, hogy az újabb küldetés sikeres teljesítése érdekében (például felderítési feladat, térképezés, földi célok támadása kötelékben stb.) az egyébként önállóan tevékenykedő UAV-kat kötelékbe rendezzük, és a (zárt) kötelék kialakítása után az UAV-k együtt hajtják végre repülési feladataikat [3], [4], [5], [6], [9], [13], [16], [17].

A kooperatív járműirányítás másik fontos forгатókönyve, ha az UAV földi utántöltése oly módon valósul meg, hogy a felszínen a helyét folyamatosan változtató töltőjármű közelében hajtja végre a leszállást [12]. Az UAV–UGV-viszonylatban egy másik fontos repülési forгатókönyv lehet az UAV automatikus leszállítása a földön megadott pályán mozgó járművön kiépített platformra [10]. Végezetül, a multirotoros UAV-k hajófedélzeti automatizált leszállását [10] mutatja be. A fent felsorolt és a szerző által hivatkozott irodalmak mellett természetesen számos egyéb szakirodalom is elérhető és rendelkezésre áll az egyes irányítási feladatok megoldása során.

3. Az UAV–UGV-rendszer kooperatív irányítása

A pilóta nélküli légi járművek irányítása és azok sikeres alkalmazása során egyre gyakrabban merül fel az igény azok kooperatív irányítására. Az UAV-k vizuális látómezőn túl (*Line of Sight*, LoS) végrehajtott repülése, valamint a repülési feladatok komplexitásának növekedése (együttműködés más autonóm járművekkel, például felszíni vagy vízi járművekkel) miatt egyre gyakrabban találkozunk olyan autonóm irányításokkal, amikor a repülési feladatok sikeres végrehajtását mesterséges intelligencia is segíti. A következő fejezetekben olyan UAV repülési forгатókönyvekkel foglalkozunk, amelyek az alkalmazók körében ma a legnagyobb érdeklődésre tartanak számot.

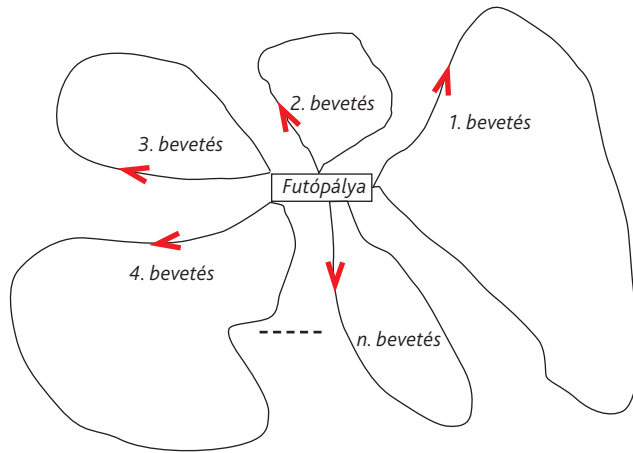
3.1. Az (A)UAV földi utántöltése (A)UGV segítségével

A merev szárnyú közepes méretű UAV-k (MALE kategória) széles körben használatosak az állami célú repülésben. A MALE UAV-k lehetővé teszik a légi felderítést és a légi térképezést is, amikor nagy területekről kell információt szerezni.

Számos esetben, amikor felmerül az UAV elvesztésének reális esélye (például műveleti területi alkalmazások esetén), akkor a veszteségek minimalizálása érdekében az UAV olcsó megoldásokkal, olcsó eszközökből és minimális anyagi ráfordítással épül meg, így a fedélzeten rendelkezésre álló üzemanyag mennyisége is korlátozott [12].

Ily módon, hosszú idejű repülések esetén felmerül az utántöltés biztosításának szükségessége. Az egyik kézenfekvő megoldás a légi utántöltés, de annak kivitelezésével kapcsolatos nehézségek miatt a SUAV és a MALE UAV kategóriákban ez eléggé ritkán fordul elő. A leginkább kézenfekvő és a legolcsóbb megoldás, ha az UAV-kat a földön töltik fel újra üzemanyaggal, látják el egyéb hadianyaggal, és készítik fel az újabb bevetésre.

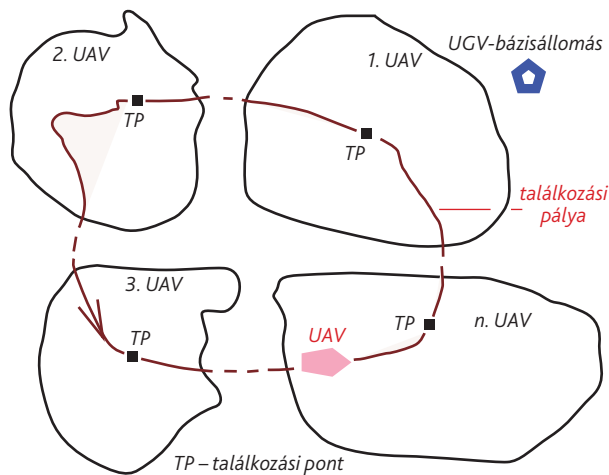
A földi utántöltés klasszikus forгатókönyve, hogy az UAV-t repülőtérről üzemeltetik, ahol lehetőség van üzemanyag vételezésére is (1. ábra).



1. ábra
Az UAV utántöltése repülőtéren [a szerző]

Be kell azonban látni, hogy a repülőterek könnyen megsemmisíthetők, vagy funkciójukban nagymértékben korlátozhatók, akár csekély eszközökkel is. Ily módon a repülőteres üzemeltetés és az UAV-k üzemanyaggal való földi utántöltése csak abban az esetben működhet, ha az UAV az ellenséges erők fegyvereinek hatótávolságán jóval kívül esnek, vagy a repülőtér olyan saját védelmi rendszerrel rendelkezik, amely elrettentő a támadó erők számára.

Eme hátrány kiküszöbölésére szolgál az a koncepció, amikor az üzemanyagtöltő jármű autonóm módon, a földön egy olyan, előre megadott pályán halad végig, amely átfedi az UAV-k repülési pályáit, így azok megadott helyen és megadott időben leszállhatnak üzemanyagot vételezni (2. ábra).



2. ábra
Az UAV-UGV-rendszer kooperatív irányításának síkbeli elvi vázlatja és koncepciója [a szerző]

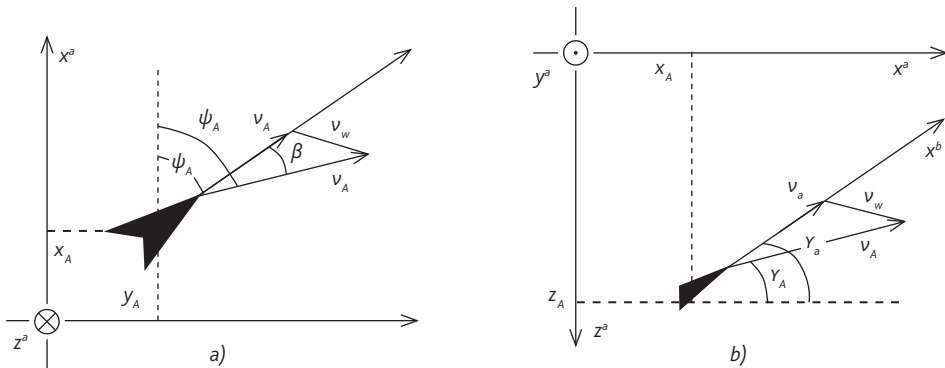
A koncepció lényege: az UGV (AUGV) előre megadott pályán, megadott sebességgel halad végig, így a tartózkodási helye könnyen számítható. Az UAV(-k) megadott időben leszállnak, és az egyes találkozási pontokon a földi üzemeltetők utántöltik az UAV-t, és az ismételt felszállás előtt elvégzik a további szükséges repülés előtti ellenőrzéseket és egyéb munkálatokat (például függesztmények elhelyezése a fedélzetre).

Ezzel a módszerrel sikerül csökkenteni az utántöltések idejét, hiszen növelni tudjuk a valós bevetési időt, növelni tudjuk egy-egy utántöltés ideje alatt feltérképezett terület nagyságát, vagy növelni tudjuk a fedélzeti fegyverrendszerek alkalmazásának hatékonyságát is. Az UAV-flotta vagy egy-egy UAV optimális repülési pályáinak megtervezése és a leszállás végrehajtása során az UAV által szolgáltatott adatok jól használhatók az UGV mozgási pályáinak tervezéséhez (ha ez lehetséges), az UGV-k helyzetéről megosztott információ pedig segíti az UAV-kat azok repülési pályáinak megtervezésében.

A koncepció magában foglalja, hogy minden egyes találkozási ponton rendelkezni kell az UGV-bázisállomásról kitelepített, megfelelő földi üzemeltető és karbantartó szakemberegárdával.

Könnyű belátni, hogy az UAV-k biztonságos üzemeltetése, azok gyors rendelkezésre állása érdekében ez a befektetés megtérül, hiszen nem tesszük ki az UAV üzemeltetéséhez használt repülőteret, annak infrastruktúráját és a repülőtéren tárolt UAV-kat az ellenséges csapásoknak.

Vizsgáljuk meg az UAV–UGV-rendszer kooperatív irányítását a sebességháromszögek segítségével (3. ábra).



3. ábra

Az UAV mozgása az aerodinamikai (szél) koordináta-rendszerben [a szerző]

A 3. ábrán az alábbi jelöléseket alkalmaztuk: $Ox^a y^a z^a$ az aerodinamikai (szél) koordináta-rendszer, $Ox^b y^b z^b$ az UAV test (húr) koordináta-rendszere, ψ_A az UAV irányszöge, Ψ_A az UAV útvonal szöge, β a csúszási szög (oldalszél szöge), γ_a a pályaszög, $\gamma_a = 0$ esetén; v_a az UAV levegőhöz viszonyított repülési sebessége, v_A az UAV földhöz viszonyított repülési sebessége, v_w a szélesebesség vektora [7], [8], [12].

A 3. ábra alapján az UAV térbeli mozgásának egyenleteit az alábbi alakban írhatjuk fel [1], [2], [7], [8], [11], [12], [14], [15]:

$$\left. \begin{aligned}
 \dot{x}_A &= v_A \cos \Psi_A \cos \gamma_A \\
 \dot{y}_A &= v_A \sin \Psi_A \cos \gamma_A \\
 \dot{z}_A &= -v_A \sin \gamma_A \\
 \dot{v}_A &= \frac{u_1 - D}{m} - g \sin \gamma_A \\
 \dot{\gamma}_A &= \frac{1}{v_A} \left(\frac{L \cos \psi_A}{m} - g \cos \gamma_A \right) \\
 \dot{\psi}_A &= \frac{1}{v_A \cos \gamma_A} \left(\frac{L \sin \psi_A \cos(\beta)}{m} \right) \\
 \dot{\phi}_A &= u_2 \\
 L &= \frac{1}{2} \rho v_a^2 S C_L; D = \frac{1}{2} \rho v_a^2 S C_D; C_D = C_{D_0} + K_{D/L} C_L^2
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Az UAV térbeli mozgásának irányításához az alábbi irányító bemeneteket használjuk: $u_1 = T$ az UAV hajtóműve toló-/vonóerejének változása; $u_2 = \dot{\phi}_A$ az UAV orsózó szögsebessége; és az $u_2 = C_L(\alpha)$ felhajtóerő-tényező.

Az UAV v_A és a v_a sebességeire igazak az alábbi összefüggések:

$$\left. \begin{aligned}
 v_A \cos \Psi_A \cos \gamma_A &= v_a \cos \psi_A \cos \gamma_a + v_{w_x} \\
 v_A \sin \Psi_A \cos \gamma_A &= v_a \sin \psi_A \cos \gamma_a + v_{w_y} \\
 -v_A \sin \gamma_A &= -v_a \sin \gamma_a + v_{w_z}
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Az UAV dinamikus mozgásegyenleteinek felírásakor feltételezzük, hogy a repülési paraméterek és az irányító bemeneti jelek az alábbiak szerint korlátozottak:

$$\left. \begin{aligned}
 v_{a_{min}} &\leq v_a \leq v_{a_{max}} \\
 n_{lf_{min}} &\leq n_{lf} \leq n_{lf_{max}} \\
 \gamma_{A_{min}} &\leq \gamma_A \leq \gamma_{A_{max}} \\
 0 &\leq u_1 \leq u_{1_{max}} \\
 |\phi_A| &\leq \phi_{A_{max}} \\
 |u_2| &\leq u_{2_{max}} \\
 |u_3| &\leq u_{3_{max}} \\
 n_{lf} &= \frac{L}{mg}
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Korábban ismeretes, hogy az UGV előre megtervezett pályán is mozoghat (2. ábra). Az UGV mozgását felszíni, egyenes és görbe vonalú pályán az alábbi egyenletekkel adhatjuk meg (4. ábra) [12]:

$$\left. \begin{aligned}
 \dot{x}_G &= v_G \cos \Psi_G \\
 \dot{y}_G &= v_G \sin \Psi_G \\
 \dot{v}_G &= a_e = u_4 \\
 \dot{\psi}_G &= v_G \sigma_G
 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

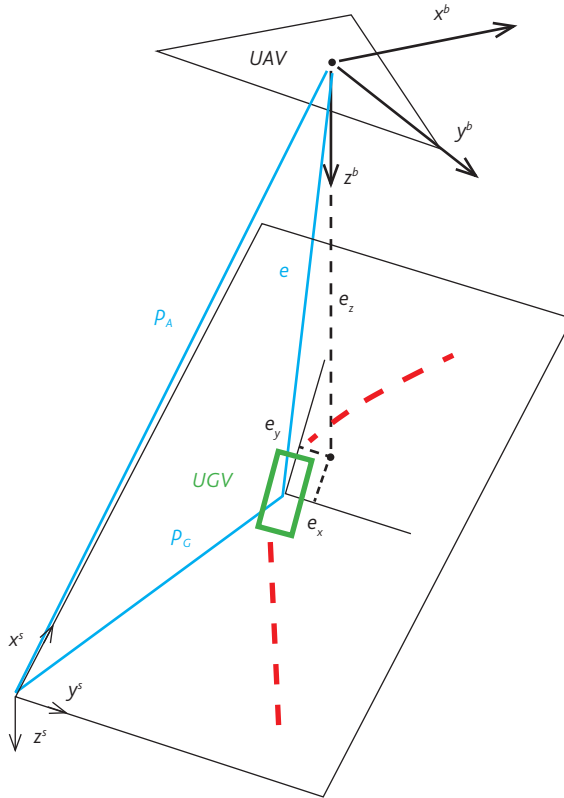
Az UGV irányító jele $u_4 = a_e$, az egyenes vonalú mozgás gyorsulása, míg ha görbe vonalú pályán mozog az UGV, akkor a mozgás gyorsulása $a_G = v_G^2 \sigma_G$ lesz, ahol

$$\sigma_G = \int_0^t \sqrt{x^2(t) + y^2(t)} dt \quad (5)$$

a pályagörbület értéke.

Az UGV mozgása során vegyük figyelembe az alábbi egyenlőtlenségi korlátot:

$$a_e^2 + a_G^2 \leq a_{max}^2 \quad (6)$$



4. ábra

Az UAV és az UGV mozgása az inerciarendszerben [a szerző]

A 4. ábra alapján könnyű belátni, hogy az UAV $p_A = [x_A \ y_A \ z_A]^T$ inerciarendszerben felvett egyenleteit az UGV $p_G = [x_G \ y_G \ z_G]^T$ koordináta-rendszerébe transzformáló egyenlet az alábbi alakban írható fel:

$$p_A = p_G + R_z(\Psi_G)e \quad (7)$$

ahol

$$\mathbf{e} = [e_x \quad e_y \quad e_z]^T \quad (8)$$

és

$$\mathbf{R}_z(\Psi_G) = \begin{bmatrix} \cos\Psi_G & -\sin\Psi_G & 0 \\ \sin\Psi_G & \cos\Psi_G & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Mivel az UGV a földfelszínen ($z_G = 0$) manőverezik, ezért igaz, hogy $e_z = z_A$. Deriváljuk a (7) egyenletet idő szerint. Az alábbi egyenletet kapjuk:

$$\dot{\mathbf{p}}_A = \dot{\mathbf{p}}_G + \begin{bmatrix} -\sin\Psi_G & -\cos\Psi_G & 0 \\ \cos\Psi_G & -\sin\Psi_G & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dot{\Psi}_G \mathbf{e} + \mathbf{R}_z(\Psi_G) \dot{\mathbf{e}} \quad (10)$$

Az (1) és a (4) egyenletrendszerek figyelembevételével a (10) egyenlet az alábbi alakban írható fel [12]:

$$\dot{\mathbf{e}} = \mathbf{R}_z(\Psi_G)^T \mathbf{R}_z(\Psi_A) \mathbf{R}_y(\gamma_A) \begin{bmatrix} v_A \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (1 - e_y \sigma_G) v_G \\ e_x \sigma_G v_G \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

A (11) egyenlet az UAV-UGV-rendszer \mathbf{e} hibajelének változását írja le. Az $e_\psi = \Psi_A - \Psi_G$, az $e_v = v_A - v_G$, az $e_\gamma = \gamma_A$, végezetül az $e_\phi = \phi_A$ hibajelek esetén az (1) és a (4) egyenletrendszereket az

$$(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = (e_x, e_y, e_z, e_v, e_\gamma, e_\phi, e_\psi, v_G, \sigma_G, u_1, u_2, u_3, u_4) \quad (12)$$

rendszerben az alábbi egyenletekkel írhatjuk le [12]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{e}_x &= (e_v + v_G) \cos e_\psi \cos e_\gamma - (1 - \sigma_G e_y) v_G \\ \dot{e}_y &= (e_v + v_G) \sin e_\psi \cos e_\gamma - e_x \sigma_G v_G \\ \dot{e}_z &= -(e_v + v_G) \sin e_\gamma \\ \dot{e}_v &= \frac{u_1 - D}{m} - g \sin e_\gamma - u_4 \\ \dot{e}_\gamma &= \frac{1}{(e_v + v_G)} \left(\frac{L \cos \phi_A}{m} - g \cos e_\gamma \right) \\ \dot{e}_\psi &= \frac{1}{(e_v + v_G) \cos e_\gamma} \left(\frac{L \cos \phi_A \cos \Psi_G}{m} \right) \sigma_G v_G \\ \dot{e}_\phi &= u_2 \\ \dot{v}_G &= u_4 \\ \dot{\sigma}_G &= v_G \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

A továbbiakban az \mathbf{e} hibajel összetevőire vezessünk be újabb korlátokat:

$$|e_\Psi| \leq \left. \begin{array}{l} e_z \leq 0 \\ \left(\frac{e_x}{\bar{e}_x}\right)^2 + \left(\frac{e_y}{\bar{e}_y}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{\bar{e}_z}\right)^2 + \bar{e}_\Psi \end{array} \right\} \quad (14)$$

ahol \bar{e}_x , \bar{e}_y , és \bar{e}_z a hibajel összetevőinek megengedett stacionerértékei. Könnyű belátni, hogy hibajel e_x , e_y , e_z összetevőinek zérusértékei mellett az UAV-t sikerül az UGV-hoz egy előre megadott \bar{e}_Ψ pontossággal kivezetni.

Az UAV találkozási helyre való repülésének automatizálása során keressük azt az optimális vezérlési törvényt, amely az (1) dinamikus rendszert úgy viszi át a (4) rendszerhez, hogy a [7], [12]

$$\min_{\mathbf{x}(\cdot), \mathbf{u}(\cdot)} \frac{1}{2} \int_{t_0}^T \|\mathbf{x}(t) - \mathbf{x}^d(t)\|_Q^2 + \|\mathbf{u}(t) - \mathbf{u}^d(t)\|_R^2 dt + \frac{1}{2} \|\mathbf{x}(T) - \mathbf{x}^d(T)\|_P^2 \rightarrow \text{Min}. \quad (15)$$

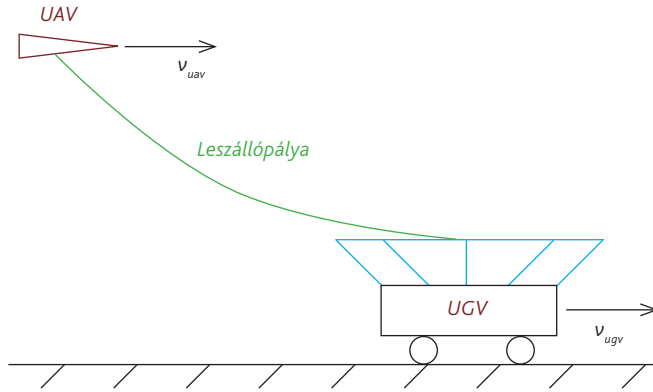
nemlineáris integrálkritérium minimális értéket vegyen fel az átmenet során [1], [2], [7], [8], [11], [12], [14], [15]. A (15) egyenletben: $\mathbf{x}^d(t)$ az állapotvektor, $\mathbf{u}^d(t)$ a kívánt (referencia) jellemzőket magában foglaló bemeneti vektor, míg \mathbf{Q} , \mathbf{R} és \mathbf{P} megfelelően megválasztott átlós, súlyozó mátrixok. A súlyozó mátrixok kiválasztásakor használhatjuk a Bryson-szabályt [1], amikor az $\mathbf{x}^d(t)$ állapotvektor és az $\mathbf{u}^d(t)$ bemeneti vektor rendezőire felvett korlátokat ismerjük. E korlátok ismeretének hiányában támaszkodhatunk az azonos súlyozás elvére, amikor a súlyozó mátrixok fő átlóin egységnyi értékeket állítunk be, majd a zárt rendszer viselkedésének és a minőségi jellemzők értékeinek függvényében heurisztikusan, támaszkodva korábbi tapasztalatainkra és mérnöki intuícióinkra, több iteratív lépésben hangoljuk a súlyozó mátrixok elemeit annak érdekében, hogy a szabályozási cél (az UAV eljuttatása az UGV-vel való találkozási pontba) megvalósuljon.

3.2. (A)UAV automatikus leszállása (A)UGV-jármű fedélzetére

A 3.1. fejezetben bemutatott utántöltési repülési feladat megoldására kézenfekvőnek kínálkozik, ha az UAV akár a töltőjármű fedélzetén kialakított megfelelő leszállóhelyen száll le (5. ábra).

Szüksége lehet az UAV ilyen módon végrehajtott leszállására akkor is, ha például meghibásodás miatt nem engedélyezett a leszállása a leszállóhelyen, vagy futóműves UAV-k esetén, ha nem sikerül kiengedni a futóműveket, és az UAV törzse nem megfelelően megerősített egy kényszerleszálláshoz, amit hasra szállással hajtanak végre.

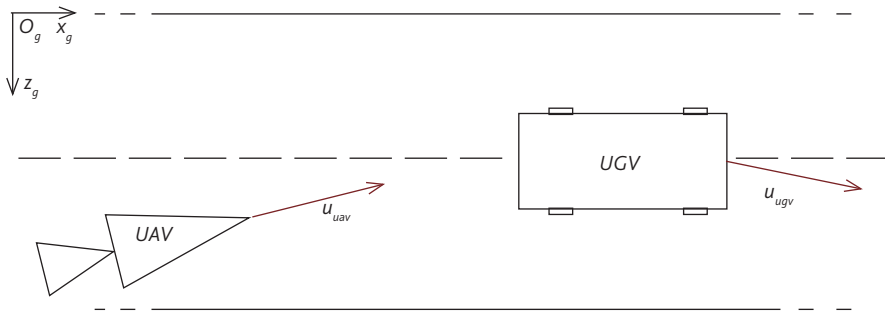
Az UGV fedélzetén a „leszállóhely” egy megfelelően kialakított „kosár”, amelybe a leszállás során az UAV be kell találnon.



5. ábra

Az UAV–UGV-rendszer kinematikája a függőleges síkban [a szerző]

Az UAV és az UGV mozgását a vízszintes síkban a 6. ábrán láthatjuk.



6. ábra

Az UAV–UGV-rendszer kinematikája a vízszintes síkban [a szerző]

Ha forgószárnyas UAV leszállásának irányítását tervezzük, akkor az UGV fedélzetén kialakított kellő méretű leszállóhely mellett a biztonságos leszállás álló UGV fedélzetére könnyen tervezhető és könnyen végrehajtható [12].

Ha az UGV fedélzetére merev szárnyú UAV-val tervezünk leszállni, akkor a leszállást csak olyan sárkányszerkezeti kialakítású UAV hajthatja végre, amelynek a légcsavarlapátjai nem sérülhetnek a leszállás során.

Az UAV és az UGV kölcsönös, kooperatív irányítása e feladat végrehajtása során számos ok miatt nehézkes, mivel:

- a leszállás folyamata a valós fizikai környezetben nagyon kitett a környezeti zavarásoknak (például légköri turbulencia, útfelület minősége stb.);
- a manőver során az UAV térbeli és az UGV síkbeli mozgását nemlineáris differenciálegyenlet-rendszerrel írhatjuk le, amelyek valós idejű megoldása nagy számítási kapacitást igényel;

- a leszállás során az UAV leszálló sebességéhez igazított UGV haladási sebessége is nagy értékű lesz;
- a repülési feladat biztonságkritikussága: egy esetleges durva leszállás veszélyezteti az UAV-t és az UGV-t is; illetve ha az UGV maga a tankerjármű, akkor egy esetleges balesetben a környezetre is veszélyes lehet az UGV sérülése.

Az UAV leszállása során a repülési magasság tekintetében a repülés alábbi fázisait különböztetjük meg:

- a leszállás megkezdése előtt az UAV állandó értéken tartja a repülési magasságot;
- az UAV megadott, előre megtervezett repülési pályán süllyed, és a szükséges értékűre csökkenti repülési magasságát;
- az UAV az UGV-n kialakított leszállóhelyre úgy érkezik, hogy e repülési fázis végén a sebességük megegyezik;
- a biztonságos repülés érdekében a leszállás megszakítható a leszállás bármelyik fázisában, és előkészítendő az újabb leszállást, az UAV a levegőben átstartol.

Az UAV és az UGV sebességeinek és az irányszögeinek referenciaértékeit az alábbi egyenletekkel adhatjuk meg [12]:

$$\left. \begin{aligned} v_{uav}^{ref}(t) &= k_1[x_{uav}(t) - x_{ugv}(t)] \\ v_{ugv}^{ref}(t) &= k_2[x_{ugv}(t) - x_{uav}(t)] \\ \psi_{uav}^{ref}(t) &= k_3[y_{uav}(t) - y_{ugv}(t)] \\ \psi_{ugv}^{ref}(t) &= k_4[y_{ugv}(t) - y_{uav}(t)] \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

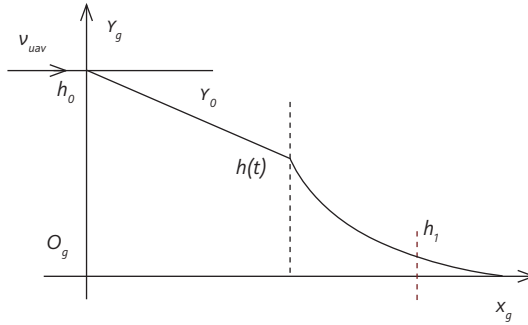
ahol $k_1 \geq 0$, $k_2 \geq 0$, $k_3 \geq 0$, és $k_4 \geq 0$.

A függőleges síkban az UAV repülését a $h(t)$ repülési magassága függvényében az alábbi algoritmus szerint változtatjuk:

$$h(t) = \begin{cases} h_0 - \gamma_0 t, & \text{ha } h(t) \geq -(T \sin \gamma_0 v_0 + h_1) \\ \dot{h}(t) + \frac{1}{T}(h(t) + h_1) = 0, & \text{ha } h(t) < -(T \sin \gamma_0 v_0 + h_1) \end{cases} \quad (16)$$

ahol γ_0 az UAV pályaszöge, T az időállandó, és végül h_0 a kezdeti repülési magasság, és h_1 a repülési magasság a leszállás végén.

A (16) egyenlet a következő repülési pályát adja meg (7. ábra):



7. ábra

Az UAV automatikus leszállítása mozgó UGV fedélzetére [saját szerkesztés]

A leszállás első fázisában az UAV állandó γ_0 pályaszöggel, lineáris pályaszakaszon közelíti meg az UGV-t, majd a megadott feltétel teljesülésekor az UAV belép a kilebegtetés fázisába (*flare*), ahol a repülési magasság exponenciálisan csökken a h_1 repülési magassáig, ahol az UAV betalál az UGV fedélzetén a leszállóhelyébe, és ezzel a leszállás befejeződik.

Ismeretes, hogy az UAV-ra ható aerodinamikai erők és nyomatékok az alábbi egyenletekkel írhatók fel az UAV test-koordináta-rendszerében [2], [7], [8], [11], [12], [14], [15]:

$$\mathbf{F}_{aero}^b = \begin{bmatrix} X^B \\ Y^B \\ Z^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -QSC_D \\ qSC_L \\ -qSC_C \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\mathbf{M}_{aero}^b = \begin{bmatrix} L \\ M \\ N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} qSbC_p \\ qScC_q \\ qSbC_r \end{bmatrix} \quad (18)$$

ahol $q = \frac{1}{2} \rho v^2$ a torlónyomás, S a szárnyfelület, b a fesztávolság, c közepes aerodinamika húr; C_D , C_L és C_C az aerodinamikai erők együtthatói; C_p , C_q és C_r nyomatéki együtthatók, amelyek függenek a repülési paramétereiktől, a környezeti levegő jellemzőitől és az UAV paramétereitől is.

A merev szárnyú, hagyományos aerodinamikai elrendezésű UAV rendszerint négy bemenettel irányított, amelyek a magassági kormánylapok szöghelyzetváltozása, a csűrőlapok szöghelyzetváltozása, az oldalkormány szöghelyzetváltozása és a hajtómű toló-/vonóerejének megváltozása. Mindezen megfontolások alapján, az anyagi pontnak tekintett, merev UAV egyenes vonalú mozgásának egyenletei a test-koordináta-rendszerben az

$$\left. \begin{aligned} m(\dot{u} + qw - rv) &= X^b - mg\sin\theta \\ m(\dot{v} + ru - pw) &= Y^b - mg\cos\theta\sin\phi \\ m(\dot{w} + pv - qu) &= Z^b + mg\cos\phi\sin\theta \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

egyenletrendszerrel, míg a test-koordináta-rendszer tengelyei körül végrehajtott forgómozgás az

$$\left. \begin{aligned} I_x\dot{p} + (I_z - I_y)qr - I_{xz}(pq + \dot{r}) &= L \\ I_y\dot{q} + (I_x - I_z)pr - I_{xz}(p^2 - r^2) &= M \\ I_z\dot{r} + (I_y - I_x)pr - I_{xz}(qr - \dot{p}) &= N \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

egyenletrendszerrel írható le, ahol I_i az \mathbf{I} tehetetlenségi tenzor főtehetetlenségi nyomatékai, míg I_{ij} a centrális nyomatékok. A tengelyek körüli forgómozgások Euler-féle kinematikai egyenletei a következő alakban adhatók meg [1], [2], [7], [8], [11], [12], [14], [15]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\phi} &= p + tg\theta \sin\phi q + tg\theta \cos\phi r \\ \dot{\theta} &= \cos\phi q - \sin\phi r \\ \dot{\psi} &= \frac{\sin\phi}{\cos\theta} q + \frac{\cos\phi}{\cos\theta} r \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

A (19)–(21) egyenletrendszerek egy kilencdimenziós, nemlineáris állapotteret határoznak meg, amelyet gyakran egyszerűbb alakban adunk meg. Így tehát, az UAV térbeli mozgása az

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_{uav}(t) &= u_{uav}(t) \cos\gamma_{uav}(t) \cos\psi_{uav}(t) \\ \dot{y}_{uav}(t) &= u_{uav}(t) \cos\gamma_{uav}(t) \sin\psi_{uav}(t) \\ \dot{h}_{uav}(t) &= u_{uav}(t) \sin\gamma_{uav}(t) \\ \dot{v}_{uav}(t) &= a_{uav}(t) \\ \dot{a}_{uav}(t) &= f_1(a_{uav}(t), a_{uav}^{com}(t)) \\ \dot{\gamma}_{uav}(t) &= f_2(\gamma_{uav}(t), \gamma_{uav}^{com}(t)) \\ \dot{\psi}_{uav}(t) &= f_3(\psi_{uav}(t), \psi_{uav}^{com}(t)) \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

egyenletrendszerrel, míg az UGV síkbeli mozgása az

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_{ugv}(t) &= u_{ugv}(t) \cos\psi_{ugv}(t) \\ \dot{y}_{ugv}(t) &= u_{ugv}(t) \sin\psi_{ugv}(t) \\ \dot{v}_{ugv}(t) &= a_{ugv}(t) \\ \dot{a}_{ugv}(t) &= f_4(a_{ugv}(t), a_{ugv}^{com}(t)) \\ \dot{\psi}_{ugv}(t) &= f_5(\psi_{ugv}(t), \psi_{ugv}^{com}(t)) \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

egyenletrendszerrel adható meg, ahol a „com” felső index az irányítási parancsjeleket jelöli. Automatikus repülésszabályozásból ismeretes, hogy repülésbiztonsági és egyéb okok

miatt az állapotvektor és a bemeneti vektor rendezői is korlátosok, vagy éppen mi magunk határozunk meg korlátot az egyes állapotváltozókra, vagyis

$$x_i \in \{a_{uav}, a_{ugv}, v_{uav}, v_{ugv}, \psi_{uav}, \psi_{ugv}, \gamma_{uav}\} \quad (24)$$

és

$$u_j \in \{a_{uav}^{com}, a_{ugv}^{com}, \psi_{uav}^{com}, \psi_{ugv}^{com}, \gamma_{uav}^{com}\} \quad (25)$$

esetén igaz, hogy

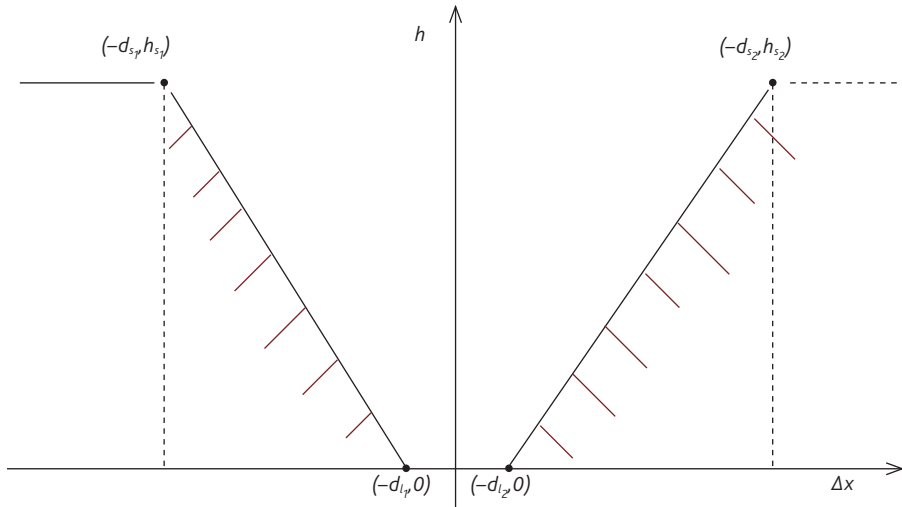
$$\begin{cases} x_{min} \leq x_i(t) \leq x_{max} \\ u_{min} \leq u_j(t) \leq u_{max} \end{cases} \quad (26)$$

A pontos és kíméletes leszállás érdekében a függőleges sebességre vegyük figyelembe a következő korlátot:

$$w(t_{TD}) = u_{uav} \sin \gamma(t_{TD}) \geq w_{TD} \quad (27)$$

ahol $w_{TD} \leq 0$ az a legkisebb megengedett függőleges sebesség, amivel az UAV eltalálhatja az UGV fedélzetén a leszállókosarat.

Végezetül, az UGV megközelítésére vezessünk egy térbeli korlátot is (8. ábra), amely az UGV megközelítése szempontjából azt a veszélyes teret jelöli ki, ahová az UAV nem léphet be az UGV megközelítése során.



8. ábra

Az UAV veszélyes repülési zónája UGV-re való leszálláskor [saját szerkesztés]

A 8. ábrán látható korlátot az alábbi egyenlőtlenségek határozzák meg:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -1 \\ \pm h_s & d_l - d_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x(t) \\ h(t) \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} h_s \\ 0 \\ h_s d_l \end{bmatrix} \quad (28)$$

ahol $\Delta x(t)$ távolság az UAV és az UGV tömegközéppontjai között az Ox tengely mentén, d_s , d_l és h_s azon tervezési paraméterek összessége, amelyek segítségével a tiltott repülési zóna geometriája már könnyen meghatározható. A $(-d_{s_1}, h_{s_1})$ és a $(-d_{l_1}, 0)$, s a $(-d_{l_1}, 0)$, valamint a (d_{s_2}, h_{s_2}) és a $(d_{l_2}, 0)$ pontokon az átmenő görbe most egyenes vonal, de ettől eltérő korlátokat (geometriákat) is használhatunk (exponenciális függvény, hatványfüggvény, körív stb.) a gyakorlatban. Megemlítjük, hogy általános esetben $h_{s_1} \neq h_{s_2}$, $d_{s_1} \neq d_{s_2}$, és $d_{l_1} \neq d_{l_2}$.

A (22) és a (23) egyenletrendszerekkel megadott UAV–UGV kooperáló dinamikus rendszer számára tervezhető hagyományos (PI-, PD-, PID, PID_LQR, LQR, H_2 , H_∞ stb.) és modern (MPC, Fuzzy stb.) irányítási rendszer [1], [2], [7], [8], [11], [12], [14], [15].

3.3. Multirotoros (A)UAV automatikus leszállása (A)USV-jármű fedélzetére

A multirotoros UAV-k egyik fontos alkalmazási területe lehet a felszíni vizek vizsgálata is, valamint állami célú, katonai repülésben felderítési, aknakeresési és egyéb műveletet hajthatnak végre.

Ismeretes, hogy a quadrotorok mozgásegyenletei a test-koordináta-rendszerben a következő kifejezéssel adhatók meg [1], [2], [7], [8], [11], [12], [14], [15]:

$$\Sigma \mathbf{F} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{bmatrix} + \mathbf{R}_{ib} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \sum_{k=1}^4 T_k \end{bmatrix} + \mathbf{F}_D + \mathbf{F}_E \quad (29)$$

ahol g a nehézségi gyorsulás, $\mathbf{F}_D = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_D$ a légellenállás ereje, \mathbf{F}_E a teljes külső zavaró erő (például légköri turbulenciából adódó), T_k az egyes rotorlapátok által létesített felhajtóerő, és végül, $\mathbf{R}_{ib}(t)$ a quadrotor inercia- és a test-koordináta-rendszere közötti forgatómátrix [1], [2], [7], [8], [11], [12], [14], [15].

Az UAV térbeli mozgásának irányítására használjuk az alábbi paramétereket: $\phi_{com}(t)$, $\theta_{com}(t)$, $\psi_{com}(t)$, és a $w_{com}(t)$ bemeneti referenciajeleket. Feltételezzük, hogy a multirotor (*quadrotor*) irányítása a függőleges irányítási csatornában az alábbi átviteli függvény segítségével történik:

$$W(s) = \frac{w(s)}{w_{com}(s)} = \frac{k_w}{\tau_w s + 1} \quad (30)$$

Az UAV légcsavarlapátjai minden időpillanatban a

$$T(t) = \sum_{k=1}^4 T_k(t) = \frac{g + \dot{w}(t)}{\cos\theta(t)\cos\phi(t)} = \frac{g + 1/\tau_w (k_w w_{com}(t) - w(t))}{\cos\theta(t)\cos\phi(t)} \quad (31)$$

teljes felhajtóerőt hozzák létre.

Feltételezzük, hogy az UAV orsózó- és bólintómozgásának dinamikáját másodrendű dinamikus rendszer írja le, vagyis

$$W_\phi(s) = \frac{\phi(s)}{\phi_{com}(s)} = \frac{k_\phi \omega_\phi^2}{s^2 + 2\xi_\phi \omega_\phi s + \omega_\phi^2} \quad (32)$$

$$W_\theta(s) = \frac{\theta(s)}{\theta_{com}(s)} = \frac{k_\theta \omega_\theta^2}{s^2 + 2\xi_\theta \omega_\theta s + \omega_\theta^2} \quad (33)$$

Az irányszög irányítása az alábbi matematikai modell alapján történik:

$$W_\psi(s) = \frac{\psi(s)}{s \psi_{com}(s)} = \frac{1}{s} \frac{k_\psi}{\tau_\psi s + 1} \quad (34)$$

A multirotoros UAV térbeli mozgásának dinamikus modelljét a következő egyenletrendszer írja le [12]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\mathbf{p}}(t) &= \mathbf{v}(t) \\ \dot{\mathbf{v}}(t) &= -\mathbf{g} + \mathbf{R}_{ib}(t)\mathbf{T}(t) - \mathbf{D}\mathbf{v}(t) + \frac{1}{m}\mathbf{F}_E \\ \dot{\boldsymbol{\theta}}(t) &= \boldsymbol{\omega}(t) \\ \dot{\boldsymbol{\omega}}(t) &= \mathbf{f}_\omega(\boldsymbol{\omega}(t), \boldsymbol{\theta}(t), \boldsymbol{\theta}_{com}(t)) \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

ahol $\mathbf{p}(t)$ az UAV helyvektorát, $\mathbf{v}(t)$ a sebességvektorát, $\boldsymbol{\theta}(t)$ a szöghelyzetét, és végül $\boldsymbol{\omega}(t)$ a szögsebességvektorát adja meg, míg az \mathbf{f}_ω függvényt a (32)–(34) átviteli függvények határozzák meg.

A (35) egyenletrendszer a második egyenlet miatt nemlineáris, az egyenletrendszer többi egyenlete lineáris. A (35) egyenletrendszer második egyenletében a nemlinearitást okozó $\mathbf{R}_{ib}(t)\mathbf{T}(t)$ tag most a következő alakban adható meg:

$$\mathbf{R}_{ib}(t)\mathbf{T}(t) = (g + \dot{w}(t)) \begin{bmatrix} \frac{\cos\psi\cos\phi\sin\theta + \sin\psi\sin\phi}{\cos\theta\cos\phi} \\ \frac{\sin\psi\cos\phi\sin\theta - \cos\psi\sin\phi}{\cos\theta\cos\phi} \\ 1 \end{bmatrix} = (g + \dot{w}(t)) \begin{bmatrix} \cos\psi t g\theta + \frac{\sin\psi t g\phi}{\cos\theta} \\ \sin\psi t g\theta - \frac{\cos\psi t g\phi}{\cos\theta} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (36)$$

Feltesszük, hogy az UAV θ bólintó, és a ϕ dőlési szögei kis értékűek a leszállás során, így módon, a (36) nemlineáris egyenlet az alábbi linearizált alakban is felírható:

$$\mathbf{R}_{ib}(t)\mathbf{T}(t) \approx (g + \dot{w}(t)) \begin{bmatrix} \theta + \psi \phi \\ \psi \theta - \phi \\ 1 \end{bmatrix} \quad (37)$$

Összefoglalva az eddig bemutatott mozgás- és kinematikai egyenleteket, az UAV mozgás-egyenletei az alábbi állapotterez (többváltozós) alakban írhatók fel:

$$\dot{\mathbf{p}}(t) = \mathbf{v}(t) = \begin{bmatrix} \dot{p}_x \\ \dot{p}_y \\ \dot{p}_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (38)$$

$$\dot{\mathbf{v}}(t) = \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} k_{d_x} & 0 & 0 \\ 0 & k_{d_y} & 0 \\ 0 & 0 & k_{d_z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} + \frac{1}{m} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} +$$

$$+(g + \dot{w}(t)) \begin{bmatrix} \cos\psi t g \theta + \frac{\sin\psi t g \phi}{\cos\theta} \\ \sin\psi t g \theta - \frac{\cos\psi t g \phi}{\cos\theta} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (39)$$

$$\boldsymbol{\omega}(t) = \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{bmatrix} \quad (40)$$

$$\dot{\boldsymbol{\omega}}(t) = \begin{bmatrix} \dot{\omega}_1 \\ \dot{\omega}_2 \\ \dot{\omega}_3 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \omega_\phi^2 & 0 & 0 \\ 0 & \omega_\theta^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 2\xi_\phi \omega_\phi & 0 & 0 \\ 0 & 2\xi_\theta \omega_\theta & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\tau_\psi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_\phi \omega_\phi & 0 & 0 \\ 0 & k_\theta \omega_\theta & 0 \\ 0 & 0 & \frac{k_\psi}{\tau_\psi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_{com} \\ \theta_{com} \\ \psi_{com} \end{bmatrix}. \quad (41)$$

Az A(USV)-jármű (hajó) dinamikáját [12] alapján az alábbi nemlineáris, állapotterés alakban írhatjuk fel:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{M}\dot{\mathbf{v}}_r(t) + \mathbf{C}(\mathbf{v}_r)\mathbf{v}_r + \mathbf{D}(\mathbf{v}_r)\mathbf{v}_r + \mathbf{g}(\boldsymbol{\eta}) &= \boldsymbol{\tau}_{com} + \mathbf{w}_E \\ \dot{\boldsymbol{\eta}} &= \mathbf{J}_\theta(\boldsymbol{\eta})\mathbf{v} \end{aligned} \right\} \quad (42)$$

ahol: $\boldsymbol{\eta} = [x^b \ y^b \ z^b \ \phi^b \ \theta^b \ \psi^b]^T$ az USV helyzetét (pozíció és szöghelyzet) leíró helyvektor, $\mathbf{v}_r = [u^b \ v^b \ w^b \ p^b \ q^b \ r^b]^T$ az USV sebességeit (egyenes-vonalú és forgómozgás) leíró vektor; \mathbf{M} a dinamikus rendszer inerciamátrixa, és az USV szimmetrikus felépítése miatt feltételezzük, hogy $I_{xy} = I_{yz} = 0$; $\mathbf{C}(\mathbf{v}_r)$ a Coriolis-erők vektora, $\mathbf{D}(\mathbf{v}_r)$ a centrifugális erők vektora, $\boldsymbol{\tau}_{com}$ a kormányerők és nyomatékok vektora, \mathbf{w}_E a külső környezeti (zavarások) erők vektora.

Az USV test-koordináta-rendszerben felvett $\boldsymbol{\eta}$ helyzete tetszőleges új $\boldsymbol{\eta}_p$ helyzetbe átvihető, mert

$$\boldsymbol{\eta}_p = \mathbf{P}^T(\psi_b)\boldsymbol{\eta} = \begin{bmatrix} \cos\psi_b & -\sin\psi_b & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin\psi_b & \cos\psi_b & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \boldsymbol{\eta} \quad (43)$$

Kis értékű ϕ bedöntési, és kis értékű θ bólintószögek esetén, valamint a hajó állandó haladási sebessége $u = u_o = \text{áll.}$ mellett a dinamikus rendszer $\mathbf{x}_b = [\boldsymbol{\eta}_p^T \ \Delta\mathbf{v}^T]^T$ állapotvektorára felírható, hogy

$$\dot{\mathbf{x}}_b = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{G} & -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{N}(u_o) \end{bmatrix} \mathbf{x}_b + \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{M}^{-1} \end{bmatrix} u_b + \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{M}^{-1} \end{bmatrix} w_b + \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \mathbf{v}_0 \quad (44)$$

ahol $\mathbf{N}(u_o)$ a Coriolis- és a csillapító erők vektora. A továbbiakban feltételezzük, hogy a hajó hullámzásmentes vízfelületen közlekedik (a függőleges tengely mentén nem változik a helyzete), és $\phi = \phi_0 = 0$, valamint $\theta = \theta_0 = 0$. Ebben az esetben az USV egyenes vonalú és oldalirányú mozgást végez a vízszintes síkban. Az USV korábban meghatározott mozgásegyenletei most az alábbi egyszerűbb alakot veszik fel:

$$\dot{\boldsymbol{\eta}}(t) = \begin{bmatrix} \cos\psi_b & \sin\psi_b & 0 \\ -\sin\psi_b & \cos\psi_b & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{v}_r(t) \quad (45)$$

$$\dot{\mathbf{v}}_r(t) = \mathbf{M}^{-1}(-\mathbf{N}(\mathbf{v}_r)\mathbf{v}_r + \boldsymbol{\tau}_{com} + \mathbf{w}_E) = \mathbf{M}^{-1}(-\mathbf{C}(\mathbf{v}_r)\mathbf{v}_r - \mathbf{D}(\mathbf{v}_r)\mathbf{v}_r + \boldsymbol{\tau}_{com} + \mathbf{w}_E) \quad (46)$$

ahol $\boldsymbol{\eta} = [x \ y \ \psi]^T$, és $\mathbf{v}_r = [u \ v \ r]^T$.

ahol $\boldsymbol{\eta} = [x \ y \ \psi]^T$, és $\mathbf{v}_r = [u \ v \ r]^T$.

Végezetül, az \mathbf{M} inerciamátrix most a következő alakban írható fel:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m - X_{\ddot{u}} & 0 & 0 \\ 0 & m - y_{\ddot{u}} & mx_g - Y_{\dot{r}} \\ 0 & mx_g - Y_{\dot{r}} & I_z - N_{\dot{r}} \end{bmatrix} \quad (47)$$

A korábban bemutatott $\mathbf{C}(\mathbf{v}_r)$ és a $\mathbf{D}(\mathbf{v}_r)$ mátrixokat alapvetően az USV típusa határozza meg. Ha az USV térbeli mozgását szeretnénk modellezni, akkor a vízfelszín hullámzását is figyelembe kell venni, amit leggyakrabban szinuszos jellel szokás modellezni [12]:

$$z = A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (48)$$

ahol az A amplitúdó értéke:

$$A = \sqrt{\frac{2}{n} \sum_{i=1}^n z_i^2(t)} \quad (49)$$

Könnyű belátni, hogy a hajó Oz függőleges tengelye mentén az $a_z(t)$ gyorsulást az alábbi egyenlettel adhatjuk meg:

$$a_z(t) = \ddot{z}(t) = -\omega^2 A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (50)$$

Az UAV-k USV fedélzetére való automatikus leszállása során, hasonlóképpen, mint az UGV fedélzetére leszálláskor, szükséges olyan biztonságos repülési zóna definiálása, ahol az UAV nem ütközhet hajófedélzeti eszközökkel (például antennák, egyéb tornyok stb.). A repülési pálya formájának megválasztása alapvető fontosságú, mert ez alapvetően befolyásolja az UAV repülésbiztonságát és az USV-jármű épségét. A multitoros UAV automatizált leszállása lehetővé teszi a hagyományos hajófedélzeti befogóhálók elhagyását, ami nagyban egyszerűíti az UAV-k leszállásához szükséges eszközrendszert. Az UAV és az USV dinamikus mozgásegyenleteinek ismeretében már megtervezhetjük a leszállás irányításának folyamatát.

4. Befejezés, eredmények értékelése, kitekintés

E cikk az UAV–UGV- és az UAV–USV-járműrendszerek kooperatív irányításának néhány példáját mutatta be. Az első alkalmazás az UAV-k üzemanyag-utántöltését támogató manőverező UGV-k esetét vizsgálta. E módszer nagyban javítja az UAV-k hadrafoghatóságát, csökkenti az üzemanyaggal való utántöltés és egyéb függesztmények elhelyezésének idejét. Ily módon, az UAV-alkalmazások hatékonysága lényeges mértékben növelhető, míg az UAV-k elvesztésének valószínűsége csökken.

A második alkalmazás egy olyan UAV repülési forgatókönyvet ír le, amikor az UAV felszíni jármű fedélzetén megfelelő módon kialakított leszállóplatformon landol. Előfordulhat, hogy az UAV nem tudja kiengedni a futóműveit, vagy nem tudja kinyitni a leszálláshoz az ejtőernyőjét, és ő maga nem felkészített hasra szállásra, ily módon, a vázolt koncepció nagyban segítheti az UAV-k biztonságos leszállását és azok mentését.

Számos UAV-alkalmazásban a légi jármű hajók fedélzetéről száll fel, és oda is tér vissza. A hajófedélzeti, merev szárnyú UAV-k főleg állami célú, katonai alkalmazásokban jeleskednek. A nem hordozóhajóról indított UAV-k leszállása meglehetősen nehézkes, főként a hálós befogás terjedt el a haditengerészeti erőknél. Ez azonban meglehetősen hely- és eszközigényes leszállási módszer, így abban az esetben, ha multitoros UAV-t használnak, automatizált leszállást végrehajtva az UAV a hajók fedélzetén akár kis helyen és gyakorlatilag egyéb más eszköz nélkül is leszállhat.

Megemlíteni szükséges, hogy eme UAV repülési forgatókönyvek gyakorlati alkalmazása terén még csak a kezdeti lépések történtek meg, ily módon, a cikkben vázolt kooperatív repülési feladatok számítógépes szimulációja, az irányítási rendszer tervezése a következő időszak feladata.

Felhasznált irodalom

- [1] A. E. Bryson Jr., *Control of Spacecraft and Aircraft*. Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1994.
- [2] B. Dickinson, *Aircraft Stability and Control for Pilots and Engineers*. London, Sir Isaac Pitman & Sons, Ltd., 1968.
- [3] L. Guoliang, X. Dongjing, H. Jianyong, J. Guting, Z. Ziyang, „Distributed Cooperative Control Algorithm for Multi-UAV Mission Rendezvous,” *Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, Vol. 34. No. 6. pp. 617–627. 2017.
- [4] N. Harl, S. N. Balakrishnan, „Co-Ordinated Rendezvous of Unmanned Air Vehicles to a Formation Using a Sliding Mode Approach,” *Journal of Aerospace Engineering*, Vol. 225. No. 1. pp. 105–119. 2011. Online: <https://doi.org/10.1243/09544100JAERO714>
- [5] T. W. McLain, P. R. Chandler, S. Rasmussen, M. Pachter, „Cooperative Control of UAV Rendezvous,” *BYU ScholarArchive*, 2001. Online: <https://doi.org/10.1109/ACC.2001.946096>
- [6] T. W. McLain, P. R. Chandler, S. Rasmussen, M. Pachter, „Cooperative Control of UAV Rendezvous,” in *Proceedings of the American Control Conference*, 2001. pp. 2309–2314. Online: <https://doi.org/10.1109/ACC.2001.946096>
- [7] D. McLean, *Automatic Flight Control Systems*. New York, Prentice-Hall International Ltd., 1990.

- [8] R. C. Nelson, *Flight Stability and Automatic Control*. Boston, McGraw-Hill Companies, Inc., 1998.
- [9] A. Papan, R. Vandenhoeck, J. Boltong, F. Defay, „Collision-Free Rendezvous Maneuvers for Formations of Unmanned Aerial Vehicles,” *IFAC Paper-OnLine*, Vol. 50. No. 1. pp. 282–289. 2017. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.047>
- [10] L. Persson, *Autonomous and Cooperative Landing Using Model Predictive Control*. Sweden, KTH Royal Institute of Technology, 2019. Online: www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1296460/FULLTEXT01.pdf
- [11] R. W. Pratt szerk., *Flight Control Systems*. Reston, Virginia, American Institute of Aeronautics, and Astronautics, Inc., 2000.
- [12] A. Rucco, S. Baliyarasimhuni, P. Auigar, „Optimal Rendezvous Trajectory for Unmanned Aerial-Ground Vehicles,” *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 54. No. 2. pp. 834–847. 2018. Online: <https://doi.org/10.1109/TAES.2017.2767958>
- [13] Z. Shao, F. Yan, Z. Zhou, X. Zhu, „Path Planning for Multi-UAV Formation Rendezvous Based on Distributed Cooperative Particle Swarm Optimization,” *Applied Science*, Vol. 9. No. 13. p. 2621. 2019. Online: <https://doi.org/10.3390/app9132621>
- [14] B. L. Stevens, F. L. Lewis, E. N. Johnson, *Aircraft Control and Simulation: Dynamics, Control Design and Autonomous Systems*. 3rd Edition. Hoboken, NJ, Wiley-Blackwell, 2015.
- [15] R. K. Yedavalli, *Flight Dynamics and Control of Aero and Space Vehicles*. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, Ltd., 2020.
- [16] Z. Wang, L. Liu, G. Xu, „Efficient Unmanned Aerial Vehicle Formation Rendezvous Trajectory Planning Using Dubins Path and Sequential Convex Programming,” *Engineering Optimization*, Vol. 51. No. 8. pp. 1412–1429. 2019. Online: <https://doi.org/10.1080/0305215X.2018.1524461>
- [17] Q. Zhang, J. Tao, F. Yu, Y. Li, H. Sun, W. Xu, „Cooperative Solution of Multi-UAV Rendezvous Problem with Network Restrictions,” *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2015. pp. 1–14. Online: <https://doi.org/10.1155/2015/878536>

Cooperative Control of Autonomous Vehicles

The largest challenge both in the past and in the upcoming years is the cooperative control of autonomous vehicles. In several relations like UAV–UGV, and UAV–USV there are many scenarios (like close formation control, UAV recce flight missions, UAV refuelling using UGV, UAV landing on moving vehicles like ground or surface vehicles etc.), when autonomous vehicles are forced to cooperate to improve their mission effectiveness and other safety issues. Main goal of the author is to highlight few of those UAV flight scenarios listed above, and to present the main cooperative control strategies.

Keywords: (A)UAV, (A)UGV, (A)USV, autonomous vehicle, cooperative control, optimal control

<p>Prof. Dr. habil. Szabolcsi Róbert egyetemi tanár Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Mechatronika és Járműtechnikai Intézet Mechatronika Tanszék</p> <p>szabolcsi.robert@bgk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0002-2494-3746</p>	<p>Prof. Róbert Szabolcsi, PhD. Habil. Professor Óbuda University Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering Institute of Mechatronics and Vehicle Engineering Department of Mechatronics</p> <p>szabolcsi.robert@bgk.uni-obuda.hu orcid.org/0000-0002-2494-3746</p>
---	---



Major Gábor, Borgulya János, Szilvássy László,
Békési Bertold László

A légierő fejlesztésének következő lépcsője, az Airbus H225M típusú helikopter

Mint minden szakmában, a honvédelemben dolgozók között is tetten érhető az egészséges rivalizálás. Nemcsak a szárazföld-légierő vonatkozásában, de a repülésen belül is „versengés” érezhető a „forgószárnyasok” és a „merevszárnyasok” között. Ezek a csipkelődések az amúgy is erős „harci morált” fenntartják, még inkább erősítik – ez nem kétséges. Ahhoz sem fér kétség, hogy a haza védelmében mindkét fegyvernemnek jelentős feladatrendszere és a történelem során sokszor bizonyítottan, elévülhetetlen érdemei vannak. A 2016-ban elindított Zrínyi 2026 elnevezésű program remek lehetőséget biztosít az előttünk álló időszak további kimagasló eredményeihez, amelyhez csúcstechnológia párosul. A publikációban az olvasó megismerkedhet a Magyar Honvédség légierőjét érintő és a következő évtizedekre jelentős hatással lévő haderőfejlesztési program egy bizonyos elemével, a Franciaországból érkező Airbus H225M típusú helikopterrel.

Kulcsszavak: Airbus, H225M, Zrínyi 2026, helikopter, légierő-fejlesztés, Helikopter Bázis, MH 86 SzHB

1. Bevezetés

Magyarország rég nem látott honvédelmi és haderőfejlesztési programba kezdett 2016-ban, amely a magyar hadiipar újraindítását, fellendítését is magában foglalja. Többen jó okkal tehetik fel a kérdést, milyen igény indokolja, egyáltalán szükséges-e egy geopolitikai helyzetét tekintve, alapvetően békésnek mondható környezetben? Köztudott, hogy Magyarország 1999 óta a NATO¹ tagja, ám az ország hadi potenciálja és haditechnikai eszközei, fegyverrendszere, sokkal inkább a hidegháborús időszakból maradt meg, már mondhatni, elavult. A program egyik definiált célja tehát az ország haderejének és technikai eszközeinek modernizálása, másrészt pedig, a NATO GDP-arányos (jelenleg 2%) kiadáselvárásának teljesítése. Természetesen ebbe a védelmi kiadásba beleértendő a haditechnikai eszközök beszerzése, bérlése, fenntartása, licenck vásárlása, valamint a személyi jellegű (bér, illetmény) kiadások is. A haderőfejlesztés kapcsán az illetmények rendezése és bizonyos kézi lőfegyverek

¹ North Atlantic Treaty Organisation: Észak-atlanti Szerződés Szervezete (franciául Organisation du Traité de l'Atlantique Nord).

licencvásárlását követő gyártás már elkezdődött. Az eddig megtett lépések sikere okán, a Csehországtól vásárolt CZ Bren 2 típusú gépkarabélyok és a CZ P07 és -P09-es pisztolyok, a német Leopard 2A harcokocsi², valamint az Airbus H145M típusú helikopterek megkezdték „munkájukat” a Magyar Honvédség kötelékében. Megfigyelhető tehát, hogy a szárazföldi és a légierő szempontjából új eszközparkkal fognak rendelkezni a honvédelmi alakulatok. Jelen állás szerint a francia Airbus A319-112 csapatszállító katonai repülőgépet, a francia Dassault Falcon 7X típusú nagy hatótávolságú futár repülőgépet, valamint a német Airbus H145M (20 db) könnyű, többfeladatú helikoptert szereztek be. A program további részeként beszerzés alatt áll az Airbus H225M (16 db) közepes katonai szállító helikopter, a KC-390 (2 db) katonai szállító repülőgép, amely légi utántöltésre is alkalmas, valamint a közelmúltban megjelent hírek alapján az L-39NG (12 db) kiképző és könnyű támadó repülőgép. Tanulmányunkban arról a légi járműről szeretnénk írni részletesebben, amelynek az érkezése legkorábban 2023-ban várható, s ez nem más, mint az Airbus H225M típusú közepes katonai szállító helikopter. Munkánk célja bemutatni az adott típus paramétereit, összehasonlítani azokkal a rendszerben levő orosz légi járművekkel, amelyeket le fog váltani. Kifejtjük, hogy zajlik a felkészülés az eszközök érkezésére műszaki és pilótaképzési szempontból [13].

2. A ma is üzemben lévő orosz gépek

Az ország forgószárnyas gépparkja az MH 86. Szolnok Helikopter Bázis légijármű-állományában található. Jelenleg már mind a 20 db H145M megérkezett, és várhatóan 2023 márciusától érkezni fognak a már gyártás alatt levő H225M típusú helikopterek is. Ezekből feltehetően néhány db a pápai bázisrepülőterre is kerülni fog. Először is vizsgáljuk meg a jelenlegi helyzetet és az elmúlt évek tapasztalatait, mi vezetett az új helikopterek beszerzéséhez, és miért az Airbus cég helikopterére esett a választás?

Magyarország repülőtörténelmét áttekintve, az orosz jelenlét és befolyás igen nagy hatással volt polgári és katonai szempontból egyaránt, ahogyan az Varga Béla [32] összefoglaló publikációjában is olvasható, ahol a helikopterek múltjával, jelenével és néhány érdekességet felvillantva a jövő lehetőségeivel is foglalkozik. A rendszerváltás után a Magyarországon állomásozó orosz haderő bizonyos elemei ugyan kivonultak az országból, ám az orosz gyártású katonai eszközök még mai napig jelen vannak. Ilyen eszközök többek között az OKB-329³ tervezőiroda által tervezett és gyártott Mi-8, Mi-17 és Mi-24 típusú helikopterek, amelyek közül például a Mi-8-as helikopter tömeggyártása már 1964-ben elkezdődött. Magyarországon a Mi-8-as típus öt változatát rendszeresítették [23]:

- Mi-8T: katonai változat, csapat- és teherszállításra;
- Mi-8P: utasszállító változat;
- Mi-8PPA/Mi-17P: elektronikai harcra és rádiózavarásra alkalmas változat;
- Mi-8MT/Mi-17: az erősebb TV3-117MT típusú hajtóművel felszerelt változat (1. ábra);

² A Magyar Honvédség eszközparkjában 2020-tól először 12 db Leopard 2A4 harckocsi jelent meg, később – tervezetten 2023-tól – a legmodernebb változatából 44 db 2A7+ harckocsi jelenik meg [24].

³ Kísérleti Tervezőiroda vagy Különleges Tervezőiroda, Szovjetunióban a repülés, a rakéatechnika és általában a hadiipar területén működött (ОКБ, Опытно-конструкторское бюро, vagy отдельное /особое/ конструкторское бюро). Itt tervezték a „Mi” típusjelű helikoptereket, többek között ehhez az irodához fűződik a Mi-2, Mi-4, Mi-6, Mi-8, Mi-10, Mi-12 és a Mi-24 helikopter tervezése, gyártása.

- Mi-8IV/Mi-9: kommunikációs rendszerekkel ellátott légi harcálláspont.



1. ábra
Magyar Mi-17 repülés közben [10]

A fent említett típusok méretük, kialakításuk és utasterük révén alkalmasak néhány raj szállítására harctéri körülmények között is, ám igazi harcértékkel és tűzerővel, a MiL⁴ tervezőiroda által készített Mi-24 típusú harci helikopter rendelkezik (2. ábra). A típus alapjait a Mi-8-as szolgáltatta, ám a mérete csökkent, páncélozott lett a pilótafülke és a deszanttér, valamint „segédszárnyakat” kapott a két oldalára, így alkalmas egyszerre nagyobb mennyiségű fegyver szállítására és alkalmazására. Oroszországban több változata is ismert, valamint a mai napig több országban is használatban van, és a gyártása jelenleg is folyik. Magyarországon a Mi-24V és Mi-24P változatok vannak jelenleg alkalmazásban.



2. ábra
Magyar felségjellel repülő, nagyjavított Mi-24P [8]

Az új Airbus helikopterek sem páncélozottságban, sem pedig tűzerőben nem veszik fel

⁴ Mihail Leontyjevics (1909-1970) szovjet mérnök, helikoptertervező, a „Mi” típusjelű helikopterek főkonstruktor.

a versenyt a Mi-24-gyel (a pilótafülke hermetikusságáról említést se tegyünk, ugyanis azzal nem rendelkeznek a francia helikopterek), de megérkezésüket követően várhatóan a régi technikákat kiválthatják, így a helikopterek, a leszolgált több évtized után végre „nyugdíjba mehetnek”. Így tehát amit várunk a helikopteres haderőfejlesztési programtól az, hogy legyen az országban felfegyverezhető és részben páncélozott, magas harcértékű, valamint az 1. és a 2. ábrán látható helikopterek személyszállítási kapacitásánál több ember befogadására alkalmas csapat- és teherszállító helikopter [23].

3. A következő generációk

A jelenlegi szerződések alapján, az ország forgószárnyas gépparkjának modernizálása egy gyártó által fog megvalósulni, amely a francia Airbus Helicopters. Két változatát rendszerezítik, a H145M-et és a H225M-et. Ebből a H145M kisebb, mozgékonyabb és többcélú, míg a H225M egy, az előző változatnál nagyobb, már közepes kategóriájú helikopter, nagyobb befogadóképességgel és teherbírással.



3. ábra

A H225M repülés közben a tenger felett [19]

Merevszárnyas repülőgépek tekintetében már több új, az Airbus által gyártott, a korábbi fejezetben említett repülőgépet találunk Kecskeméten, valamint új szerződés keretében két brazil KC-390 teherszállító repülőgépet fognak beszerezni, ami az ország nagy távolságú, légiszállítási kapacitását hivatott növelni. Vadászipülőgépek tekintetében a Magyar Honvédség légierőjében található 12 + 2 db JAS-39 C/D EBS HU változatainak a lízingszerződése 2026-ban jár le, vagyis ezek a merevszárnyú repülőgépek végleg magyar tulajdonba kerülhetnek így. Maróth Gáspár védelmi fejlesztésekért felelős kormánybiztos 2021 szeptemberében megállapodást kötött a svéd SAAB-bal a Gripenek legújabb informatikai upgrade-jének beszerzéséről (MS20 Block 2 képességfejlesztés), amelynek köszönhetően jelentősen növekszik majd a merevszárnyasok harcászati értéke. Így gyakorlatilag eldőlni látszik a sokszor feltett kérdés, mi lehet a Gripen

utódja. A repülőgépek 2026-ban a tervezett szolgálati idejük körülbelül 2/3-ánál fognak járni, vagyis még legalább 10 évig hadrendben tarthatók [21], [27], [31], [33].



4. ábra

Az új H145M helikopter magyar felségjelzéssel [4] (Fotó: Kiss Béla)

3.1. A H225M bevezetése

Franciaországban már a gyártósoron van a Magyarország által megrendelt 16 helikopter. Annak ellenére, hogy még csak gyártásban van, már néhány paraméterét közzé tették az eszköznek, illetve a gyártó honlapján is sok részletet megtalálunk a helikopterről, amiből le lehet vonni néhány konklúziót, miért is lesz alkalmas a hazai szolgálatra, s milyen feladatok és körülmények között kell majd helytállnia. A H225M egy sokoldalú konfigurációval rendelkező, két-hajtóműves közepes szállítóhelikopter, amely a Super Puma/Puma helikopterek családjának tagja, amelyeket korábban az Eurocopter fejlesztett ki. A H225M helikoptert a H225 polgári változatából fejlesztették ki, az M a military (katonai) változatot jelöli. A helikopter első repülését 2000 novemberében hajtotta végre, és jelenleg a világ tíz országában alkalmazzák, köztük Franciaországban, Braziliában, Mexikóban, Malajziában, Indonéziában, Kuvaitban, Szingapúrban, Thaiföldön és nemsokára Magyarországon is [7], [22].

Az új H225M törzse, a Puma Mk2 használata során bizonyított szerkezeti kialakításán alapul, új ötlapátos forgószárnyal és megerősített főreduktorral. A helikopter műszerfalán többfunkciós kijelző, elektronikus műszerek adatkijelzője és integrált tartalék műszerrendszer kijelző található, amely a légi jármű állapotfigyelő rendszer része (lásd részletesebben a 3.3. fejezetben). Az új H225M változat a többcélú, sínes padlórendszernek köszönhetően nagyobb szállítási kapacitással rendelkezik, miközben mindezt nagyobb sebességgel és nagyobb távolságra képes szállítani. Alkalmas különböző feladatokra, mint például a harcászati csapatszállítás, a különleges műveletek, a kutatás és mentés (SAR⁵), akár harci körülmények között

⁵ Search and Rescue.

is (CSAR⁶), a tengeri felügyelet, a humanitárius logisztikai támogatás és az orvosi evakuálás (MEDEVAC⁷).

A harcászati erők szállítási szerepében a helikopter 19 felfegyverzett katonát képes szállítani a légi jármű repülési hatósugarán belül [7], [22], [25].

3.2. A hajtómű

A H225M helikoptert a Safran Helicopter Engine⁸ által gyártott két Turbomeca Makila 2A1 gázturbinás hajtómű hajtja, amelyek már a modern kornak megfelelően digitális vezérlésűek (kétszatornás, teljes körű digitális hajtóművezérlő rendszerrel [FADEC⁹] vannak felszerelve) [18]. A két hajtómű egyenként 1567 kW (2101 LE)-s felszállási és 1470 kW (1970 LE) teljesítményt ad le utazó üzemmódon. A maximális teljesítmény egy hajtómű működése esetén (az OEI¹⁰ besorolással) 30 s időtartamig 1776 kW-ot (2382 LE) biztosít a helikopternek [5], [18]. A hajtóművek a főreduktoron keresztül az ötágú kompozit forgószárnylapátok és a négyágú faroklégsavar meghajtását biztosítják. A kompozit lapátoknak köszönhetően a gép vibrációja lényegesen csökkent, valamint halkabb lett, ami harctéri körülmények között sem elhanyagolható tulajdonság, ezzel növelve a helikopter túlélőképességét. Hasonló célt szolgál a helikopterre felszerelhető hőképcsökkentő eszköz, amely csökkenti a hajtóműből kiáramló gázok hőmérsékletét, így megnehezítve az infravörös tartományú befogását, de a fedélzeti fegyverekről és önvédelmi képességekről majd később lesz szó. A megrendelő ország dönthet arról, hogy a helikoptereket jégtelenítő rendszerrel felszereljék-e, így védve a forgószárnyakat és a hajtóművet, valamint növelve az eszköz alkalmazhatóságát hideg, téli időjárási körülmények között is [5].

3.3. A H225M helikopter műszerezettsége

A H225M helikopter műszerezettségét tekintve rendkívül korszerűnek tekinthető, megfelel a 21. század elvárásainak. A rendszer alapvetően ellátja a repülés vezérlési és irányítási; a navigációs feladatokat; a légi járműnek, a hajtóműveinek a menedzsmentjét; és a repülési feladatok, műveletek menedzsmentjét.

A H225M helikopter műszerfalába (5. ábra) az alábbi egységeket építették be [14]:

- *Figyelmeztető panel*,¹¹ amely központilag figyelni a főbb rendszereket és vizuális figyelmeztetést ad (tablófényt) azok meghibásodásáról;
- *Többfunkciós kijelző(k)* (MFD¹²), összesen 4 db LCD-technológiájú kijelző, amely saját integrált jelfeldolgozó rendszerrel rendelkezik és jeleket, jelzéseket kap a légijármű-

⁶ *Combat Search and Rescue.*

⁷ *MEDical EVAcuation.*

⁸ Az 1938-as alapításától Turbomeca néven ismert gyár a világ vezető gázturbinás hajtóműgyártója polgári és katonai helikopterekhez egyaránt. Ugyanez a vállalat gyártja a Magyar Honvédség H145M helikopterek Arriel 2E hajtóműveit, amelyről elemző írást olvashatunk Barta Gábor és Varga Béla publikációjában [9].

⁹ *Full Authority Digital Engine Control.*

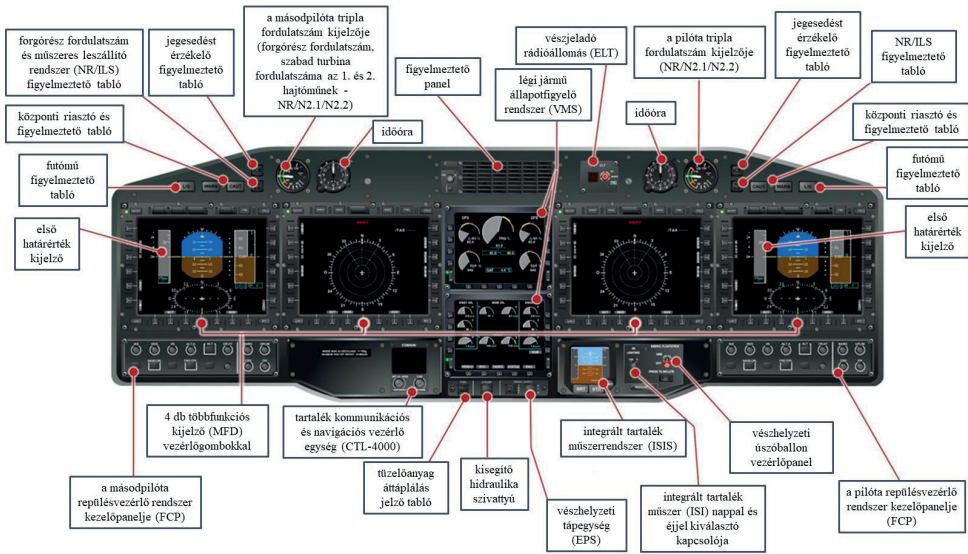
¹⁰ *One Engine Inoperative.*

¹¹ *Warning Caution Panel.*

¹² *Multi-Function Display.*

rendszerektől, valamint a fő számítógépektől (AMC, *Aircraft Management Computer*), amely feldolgozza és kijelzi azok információit különböző formátumokban;

- *elektronikus műszerek adatkijelzője* (EID¹³) 2 db, amely a légi jármű állapotfigyelő rendszer (VMS¹⁴) része;
- *1 db integrált tartalék műszerrendszer kijelzővel* (ISIS¹⁵), ez a különálló műszer érzékeli és feldolgozza a saját integrált szenzorainak a jelzéseit, úgy, mint a helikopter inerciális (térbeli helyzet) és levegőparaméter-adatait (magasság, sebesség).



5. ábra
A H225M helikopter műszerfala ([14] szerkesztette Békési Bertold)

Az MFD-k kölcsönösen felcserélhetők és integrált funkció-, nyomó- és forgatógombok található rajtuk. Az MFD-k számozása balról jobbra MFD1, MFD3, MFD4, MFD2, amely a hajózárszemélyzet számára olyan információkat képes megjeleníteni, mint a repülési és navigációs adatok (*Flight and Navigation Display, FND*); a navigációs, időjárásradar-adatok és akár a digitálístérkép-információk (*Navigation Display, NAVD*).

3.4. Felszereltség és extrák

A H145M-hez hasonlóan, amint azt az előzőekben bemutattuk, a H225M pilótafülkében is több kijelzőt találunk, amelyek teljesen a pilóta igényei alapján alakíthatók, mikor, mit jelenítsen meg, mikor épp mire van a pilótának szüksége. Természetesen, ezen új elektronikai rendszerek

¹³ *Electronic Instruments Display* (EID).

¹⁴ *Vehicle Monitoring System*.

¹⁵ *Integrated Standby Instrument System*.

ismerete és használatuk elsajátítására az Airbus Helicopters kínál egy oktatócsomagot, szimulátort, amellyel a pilóta képzési ideje csökkenthető, valamint hatékonysága növelhető. Hazánk már jelenleg rendelkezik egy ilyen szimulátorral, amely a H145M-hez készült, s vélhetően lesz ilyen a H225M gépekhez is. Ez a rendszer természetesen nagy segítséget nyújt az avionika területén dolgozó repülőműszaki szakembereknek is, akik majd a helikopterek üzemben tartásáért lesznek felelősek. A gép alkalmas légi utántöltésre is, ám ez azon extrák közé sorolandó, amelyek csak a megrendelő kérésére elérhetők, nem része az alapfelszereltségnek. A férőhelyek számát tekintve, elméletileg a helikopter a két pilóta mellett 28 fő befogadására alkalmas, ám a katonai gyakorlatban ez inkább 19 főt jelent az egyéni felszereléssel együtt, mivel ennyi kiegészítő páncélvédelemmel ellátott férőhely van. A padló alatt található fő tüzelőanyag-tartály 2539 l-es, valamint a helikopter hátuljába beszerelhető egy plusz tartály, amely 990 l befogadására alkalmas. Ezen felül lehetőség van két külső póttartály felfüggesztésére, egyenként 324 l kapacitással, így akár az 5 órás repülési idő is elérhető, ami természetesen megnövekedett hatótávolsággal párosul. Ezt a távolságot nehéz pontosan megbecsülni, hiszen a gyártó az alapszemélyzettel és terhelés nélkül, valamint a kiegészítő tartályokkal 1300 km-re mondja. Gyakorlatban, átlagos terheléssel a gép körülbelül 750–850 km-t képes megtenni. Legnagyobb sebessége 324 km/h, míg az utazósebessége 262 km/h. Ez az utazósebesség jelenti azt az optimális sebességet, amellyel a gép a legalacsonyabb tüzelőanyag-fogyasztást produkálja. Emelkedési sebessége eléri az 5,4 m/s-os értéket, s egészen 6000 m-ig képes emelkedni. Természetesen a forgószárnyas repülőeszközök rendeltetésszerű használata nem ezen a magasságon történik, ám olykor hasznos lehet harctéri körülmények között gyorsan a magasba emelkedni [2], [3], [5], [15], [19].

Magyarországon felhasználási területét tekintve, a helikopterek egyik része kutató-mentő feladatokra lesz rendszeresítve, így kiváltva a jelenleg üzemben levő Mi-8/17-es helikoptereket. E tekintetben is beszélhetünk extra felszereltségekről és extrákról, ami még inkább többcélúvá teszi az eszközt. E feladat ellátására rendelkezik a gép fejlett navigációs rendszerrel és térképhálózattal, valamint éjjellátóval, hogy akár az éjszakai sötétben is alkalmazható legyen. Érdemes megemlíteni az Airbus helikopterekhez használható elektrooptikai rendszert (EOS¹⁶), amely „lehetővé teszi a célok felderítését, azonosítását és felismerését közepes távolságig nappal/éjszaka és rossz látási viszonyok között is a nappali, alacsony fényszintű és infravörös képalkotó szenzorainak köszönhetően” [20]. Mentési feladatok tekintetében a gép 6-10 hordággal szerelhető fel, s hozzá négy-öt fő egészségügyi személyzet szállítható. A kutató-mentő feladatok sikeres végrehajtása érdekében a helikopter mindkét oldalára felszerelhető a Goodrich csörlőrendszer, amelynek egyenként 280 kg a teherbírása és 88 m acélsodronnyal van ellátva. A helikopter a robotpilóta segítségével képes akár fél órán keresztül egy adott pont felett függeszkedni, tartva a magasságot úgy, hogy a kötél végének kilengése nem haladja meg a 0,5 m-t sem [1], [15].

3.5. Fegyverrendszer

Természetesen, ahogy a H145M, a H225M is többcélú forgószárnyas repülőeszköz, amelyet, ha a körülmények és a feladat indokolja, néhány kiegészítő páncélzat és fegyverrendszer

¹⁶ *Electro-Optical System*: elektro-optikai rendszer.

felszerelését követően egy páncélozott és felfegyverzett helikoptert kapunk. A gyártó erre a célra is kínál több alternatívát, hogy a megrendelő ország a saját feladatai és igényei szerint válogassa össze a szükséges modulokat. Rendelhető hozzá az Airbus saját fejlesztésű HForce fegyvervezérlő rendszere, amely képes a függeszthető fedélzeti fegyverek különböző típusait kiszolgálni, és az EOS-sel, valamint a sisakra épített célzó- és kijelzőrendszerrel a HMSD¹⁷-vel együttműködve nagy pontosságú célzást biztosítani.

A „Core”, vagyis az HForce rendszer központi eleme az alaprendeltetésű számítógép (GPC¹⁸), amely felelős a rendszer általános kezeléséért, ami magában foglalja az alábbi funkciókat [20]:

- a helikopter avionikai rendszereihez való csatlakozás;
- a funkciók elosztása;
- a videójelek multiplexelése és a szimbólumok megjelenítése;
- tűzvezetés;
- és az egész rendszer felügyelete.

A HForce rendszer lehetővé teszi a szabvány tűzérő fegyverek, 12,7 mm-es géppuska és/vagy 20 mm-es géppágyú, 70 mm-es irányítható és nemirányítható rakéták alkalmazását blokkokból, valamint irányítható páncéltörő rakéták (Rafael Spike ER) alkalmazását is.

A HForce moduláris fegyverrendszert 4 különböző konfigurációban lehet megrendelni:

- HForce 0-opció: amely a fegyverzet függesztéséhez szükséges rendszerek előbeépítését jelenti;
- HForce 1-opció: amely a ballisztikus fegyverek¹⁹ alkalmazását teszi lehetővé a HMSD segítségével;
- HForce 2-opció: amely a fentebb említett fegyverzet alkalmazási lehetőségét (elsősorban éjszaka/rossz látási viszonyok között) kibővíti az EOS alkalmazásával;
- HForce 3-opció: amely a fentebb említett képességeken túl lehetővé teszi az irányítható rakéták alkalmazását is.

A H225M tökéletesen alkalmazható a szárazföldi csapatok korlátozott légi támogatására, de a függeszthető fegyverek széles palettájának ellenére egy igazi harci helikoptert soha nem fog pótolni [6], [12], [16], [18], [20], [28], [29], [30].

3.6. Túlélőképesség

Mint az előző fejezetekben említettük, a helikopter korábbi változatai már a 2000-es évek elején repültek, és az azóta eltelt időszak tapasztalatai és eredményei alapján fejlesztették ki a H225M típust. Gyakorlatilag minden új és modern technológiával rendelkezik, ami lehetővé teszi, hogy nemcsak a repülőgéppiacon, de a harctéren is a legjobbak között legyen megemlítve. A helikopter magas túlélési képességgel rendelkezik, ami már a sárkányszerkezet kialakításánál is megfigyelhető. Ez megmutatkozik abban, hogy megerősített törzskeretekkel, nagy energiákat elnyelő futóművel rendelkezik, valamint önzáró és ütközés-ellenálló üzemyangtartályokkal

¹⁷ *Helmet Mounted Sighting and Display System*: sisakcélzó.

¹⁸ GPC, *General Purpose Computer*: alaprendeltetésű számítógép.

¹⁹ Ballisztikus fegyverek – a tűzérő fegyvereket és a nemirányítható rakétákat (NIR) foglalja magában.

van felszerelve. A pilótafülke védelmét páncélozott és energiaelnyelő ülések biztosítják, míg a kabin a padlón és a falakon páncélzattal ellátott, vagy páncélozott lemezekkel szerelhető. A forgószárnylapátok konstrukciója növeli a lövedékekkel szembeni ellenállásukat. Elektronikai védelemmel is kellőképpen el van látva a helikopter, hiszen rendelkezik radarbesugárzás-jelző rendszerrel²⁰ (RWS-300), rakéta indítására figyelmeztető rendszerrel²¹ (MAW-300) és lézeres besugárzást jelző rendszerrel²² (LWS-310). A helikopter hajtóműve porkiválasztó rendszerrel és jég elleni védelemmel is rendelkezik, valamint légi utántöltésre is alkalmas lehet, megrendelés függvényében [15], [18].

4. Összehasonlítás

Ebben a részben az új H225M, az orosz Mi-17 – a Magyar Honvédségnél rendszeresített változatát –, valamint az orosz Mi-17V-5 változat ismert paramétereit vetjük össze az 1. táblázatban megjelölt adatok alapján. A Mi-24 harci helikopterrel való összehasonlítása a már korábban ismerttetett okok miatt nem lenne releváns [29]. Az üzemeltetési tapasztalatokat még nem tudjuk összehasonlítani, hiszen az új Airbus helikopterekre körülbelül egy évet kell várunk, ám azt biztosan elmondhatjuk, hogy a Magyar Honvédség forgószárnyas képessége nagyban megerősödik és elismerésre méltó gépparkkal fog rendelkezni a Zrínyi 2026 program végére.

1. táblázat

A H225M, a Mi-17 és a Mi-17V-5 helikopterek összehasonlító paramétermátrixa [3], [11], [15].

Tulajdonságok	Helikopter típusa	H225M	Mi-17 (Mi-8MT)	Mi-17V-5 (Mi-8MTV-5)
Hosszúság [m]		19,5	18,5	18,5
Személyzet [fő]		3	3	3
Rotorátmérő [m]		16,20	21,25	21,3
Magasság [m]		4,6	5,6	5,34
Felszálló tömeg [kg]		11 200	13 000	13 000
Hajtómű-teljesítmény [kW]		1567 (2101)	1618 (2200)	1618 (2200)
Utazósebesség [km/h]		262	225	220–230
Emelkedési sebesség [m/s]		5,4	8	n. a.
Maximális terhelhetőség [kg] belső/külső		4750/4750	4000/3000	4000/4000
Maximális repülési magasság [m]		6095	6000	6000
Hatósugár [km] (póttartály nélkül/póttartállyal)		909/~1400	610	675/1180
Üzemanyag-feltöltés alap/póttartállyal		2539/4177	1800/3700	n. a.
Férőhelyek [fő]		28	24	36
Géppuska-/géppágyúkonténer		2×12,7 v. 20 (egycsővű)	2×23 (ikercsővű)	2×23 (ikercsővű)
Nemirányítható rakéta indítóblokk [mm]		70 mm	57 mm	80 mm
blokk [db]/rakéták száma [db]		2/38	6/96	4/80

²⁰ Radar Warning System: Radar figyelmeztető rendszer.

²¹ Missile Approach Warning System: Rakéták megközelítésére figyelmeztető rendszer.

²² Laser Warning System: Lézer figyelmeztető rendszer.

Természetesen önmagában a harcászattertechnikai paraméterek összehasonlítása még nem mutatja be teljesen a helikopter képességeit, üzemeltethetőségét, de a száraz adatok összevetése jó kiindulási pont lehet az „elvárások” megfogalmazásánál [5], [23], [26].

5. Konklúzió

Az előzetesen megismert adatok alapján egy alacsony karbantartási igényű, valódi több-célú, sokoldalú, világszínvonalú és modern katonai forgószárnyas légi jármű érkezik a haza légi védelmi kötelékébe, ami a minimálisra csökkentett állásidőt figyelembe véve hatékony „igáslova” lehet a légierőnek. Ez a helikopter komoly harci értékkel, túlélőképességgel és a kor legmagasabb színvonalú elektronikai rendszereivel rendelkezik, amelyek megbízhatóságát és tartósságát olyan harci körülmények között és válságövezetekben bizonyította már, mint Libanon, Afganisztán, Csád, Elefántcsontpart és a Közép-afrikai Köztársaság, Szomália és Mali. Az Airbus véleménye szerint a gép üzemeltetése egyszerű, tábori körülmények között is könnyen és gyorsan üzemkész, bevethető állapotba helyezhető.

Am bármennyire is egyszerű a gép üzemeltetése, szükség lesz a hozzáértő és a megfelelő tudással, tapasztalattal rendelkező műszaki személyzetre, hogy a gép az elkövetkezendő évek során is a legmagasabb üzemképességi szintet legyen képes biztosítani. Szükséges egy franciaországi gyári képzés, ahol az ottani üzemeltetési módszereket, eljárásokat, szerelési, javítási technológiákat el tudja sajátítani az üzemeltető állomány, valamint a hajózóképzés esetében is egy teljesen új típusról van szó, még ha már a H145M típussal időközben mindenki mélyrehatóan, valós körülmények között ismerkedik is. Kezelése és mérete is más, mint a régi orosz technika volt, vagy mint amilyen az új H145M helikopterek.

Bátran kijelenthetjük minden repülésben jártas és repüléssel foglalkozó nevében, hogy izgatottan várjuk az új helikopterek érkezését és az első tapasztalatokat.

Felhasznált irodalom

- [1] Aerossurance, *Military SAR H225M Caracal Double Hoist Fatality Accident*. Online: <http://aerossurance.com/helicopters/h225-hoist-fatal-accident/>
- [2] Airbus Helicopters, *EC225 Civil*. Online: www.airbushelicopters.ca/wp-content/uploads/2011/11/EC225.pdf
- [3] Airbus Helicopters, *H225M Military*. Online: www.airbushelicopters.com/website/docs_wsw/pdf/EC725/H225M-BR-0515E.pdf
- [4] Airbus, *H145 with HForce*. Online: www.airbus.com/sites/g/files/jlcbita136/files/styles/airbus_1440x1440/public/2021-09/H145M%20with%20HForce%20%282%29.jpg?itok=wU-wkad6
- [5] Airbus, *H225 Technical Information*. Online: www.airbus.com/en/products-services/helicopters/civil-helicopters/h225/h225-technical-information
- [6] Airbus, *HForce*. Online: www.airbus.com/en/products-services/helicopters/military-helicopters/hforce
- [7] Airforce Technology, *H225M Cougar Medium Multimission Helicopter*. 2019. Online: www.airforce-technology.com/projects/ec-725/

- [8] AIRportal.hu, *Bemutakoztak a Magyar Honvédség nagyjavított Mi-24-esei*. Online: https://airportal.hu/wp-content/uploads/2019/03/DSC_3242-1920-ap.jpg
- [9] Barta G., Varga B., „Az Arriel 2E turboshaft hajtómű termikus elemzése,” *Repüléstudományi Közlemények*, 32. évf. 3. sz. pp. 69–82. 2020. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2020.3.6>
- [10] CzechAirSpotters.com, *Mi-17*. Online: www.czechairspotters.com/search.php?generic_type=t16&airline=&airport=&category=&author=&order=1&per_page=15
- [11] D. Donald, „Airbus Delivers First H225M Helicopters to Singapore,” *AIN Online*, 2021. Online: www.ainonline.com/aviation-news/defense/2021-03-29/airbus-delivers-first-h225m-helicopter-singapore
- [12] Domán L., „Az Airbus H145M helikopter és a túlélőképesség,” *Repüléstudományi Közlemények*, 31. évf. 1. sz. pp. 85–102. 2019. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.1.8>
- [13] Draveczy-Ury Á., „A Magyar Honvédség pontosan tudja, mit kell venni,” *Honvédelem*, 2020. Online: <https://honvedelem.hu/hirek/a-magyar-honvedseg-pontosan-tudja-mit-kell-venni.html>
- [14] *EC225 LP T4 Training Manual*. Airbus, 2019. 07.
- [15] Exclusive Military Hardware, „Mire lesznek jók a H225M helikopterek?” *Harci Vasak Blog*, 2019. Online: https://killermetals.blog.hu/2019/01/09/mire_lesznek_jok_a_h225m_helikopterek
- [16] Gervai B., Szilvássy L., „Az Airbus H145M helikopter fegyverzete,” *Repüléstudományi Közlemények*, 32. évf. 1. sz. pp. 161–174. 2020. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2020.1.11>
- [17] *H225M*. Online: <https://bit.ly/3T24l4T>
- [18] Thai Military and Asian Region, *H225M/EC 725 Cougar Medium Multimission Helicopter*. 2015. Online: <https://thaimilitaryandasianregion.wordpress.com/2015/11/22/eurocopter-ec725/>
- [19] Helicopter Specs, *Airbus H225M Specs, Interior, Cockpit, and Price*. Online: www.helicopterspecs.com/2019/08/airbus-h225m.html
- [20] Horváth G., Szilvássy L.: „Az Airbus H145M helikopter fegyverei II. – HForce fegyverrendszer,” *Repüléstudományi Közlemények*, 33. évf. 2. sz. pp. 129–141. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.2.9>
- [21] Huszák D., „Megszületett a döntés: valóban el kell búcsúznunk a magyar Gripen vadászgépektől?” *Portfolio*, 2021. szeptember 5. Online: www.portfolio.hu/global/20210905/megszuletett-a-dontes-valoban-el-kell-bucsuznunk-a-magyar-gripen-vadaszgepektol-499080
- [22] „Forgószárnyas típusváltás: a H225M,” *Jetplanes Blog*, 2019. február 3. Online: https://jetplanes.blog.hu/2019/02/03/forgoszarnyas_tipusvaltas_a_h225m
- [23] Kelecsényi I., „Mi-8-asok Magyarországon: keserédes évforduló 1. rész,” *IHO*, 2014. február 12. Online: <https://iho.hu/hirek/mi-8-asok-magyarorszagon-keseredes-evfordulo-1-resz-140211>
- [24] KurczK., Vég R., Hegedűs E., „A Leopard 2 harcokocsisalád és a Magyar Honvédség 2A4 és 2A7+ típusváltozatai I. rész,” *Haditechnika*, 54. évf. 5. sz. pp. 2–7. 2020. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.54.5.01>
- [25] Nótin T., „Az Airbus ajtót nyit Magyarországnak a légijármű-gyártási iparágba,” *Index*, 2021. július 11. Online: <https://index.hu/belfold/2021/07/11/az-airbus-ajtot-nyit-magyarorszagnak-a-legijarmu-gyartasi-iparagba/>

- [26] RosOboronoExport, *Mi-17V-5 Military/Transport Helicopter*. Online: <http://roe.ru/eng/catalog/aerospace-systems/helicopters/mi-17v-5/>
- [27] Snoj P., „Forgószárnyas sikersztori,” *Honvédelem*, 2021. november 7. Online: <https://honvedelem.hu/hirek/forgoszarnyas-sikersztori.html>
- [28] Szilvássy L., „Harci helikopterek modernizációs kérdései,” *Repüléstudományi Közlemények*, 26. évf. 1. sz. pp. 236–262. 2013. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2013_1/2013-1-20-Szilvassy_Laszlo.pdf
- [29] Szilvássy L., „Harci vs. felfegyverzett szállító helikopter,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 3. sz. pp. 203–216. 2017. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_3/2017-3-16-0444_Szilvassy_Laszlo.pdf
- [30] Szilvássy L., A H145M helikopter fegyverei, in *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2021 Konferencia*. Békési B., Buday T. szerk., Környezet- és Földtudományok, Műszaki Hidrológia és Repüléstudomány Szekció előadások kiadványa, Debrecen, MTA TABT Debreceni Területi Bizottság Titkársága, 2021. pp. 100–103.
- [31] Trautmann B., „Gripenek: nincs megállás!” *Honvédelem*, 2022. március 11. Online: <https://honvedelem.hu/hirek/gripenek-nincs-megallas.html>
- [32] Varga B., „Katonai helikopterek múltja, jelene és jövője,” *Repüléstudományi Közlemények*, 32. évf. 3. sz. pp. 29–32. 2020. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2020.3.2>
- [33] „A Saab szállítja a modernizációt a magyar Gripen flottához,” *Világgazdaság*, 2022. január 12. Online: www.vg.hu/nemzetkozi-gazdasag/2022/01/a-saab-szallitja-a-modernizaciott-a-magyar-gripen-flottahoz
- [34] Yves Le Marquand, „H225 Makes a Comeback after Four Years,” *Helicopter Investor*, 2022. július 17. Online: www.helicopterinvestor.com/articles/h225-makes-a-comeback-after-four-years-539/

The Airbus H225M Helicopter, the Next Step in the Development of the Air Force

Like in all professions, among those who are working in defence there is a healthy rivalry. Not only between the Land and Air Force, but also in Air Force itself, there is a “competition” between “rotary-wing” and “fixed-wing” aircraft staff. No doubt that this competition maintains and reinforces the already strong “morale”, just as there is no doubt that both branch have a significant role to play in the defence of the homeland and have a proven track record of unparalleled merit. The Zrínyi 2026 Programme with state-of-the-art technologies, launched in 2016, provides a great opportunity for further outstanding results in the period ahead. In this paper, the reader can learn about a particular element of the force development programme of the Hungarian Defence Forces, the French Airbus H225M helicopter, which will have a significant impact in the coming decades.

Keywords: Airbus, H225M, Zrínyi 2026, helicopter, air force development, Helicopter Base, MH 86 SzHB

<p>Major Gábor tanársegéd Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék</p> <p>major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X</p>	<p>Gábor Major Assistant Lecturer University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems</p> <p>major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X</p>
<p>Borgulya János BSc-hallgató Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék</p> <p>bjani1413@gmail.com orcid.org/0000-0003-4338-1619</p>	<p>János Borgulya BSc student University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft and Engine</p> <p>bjani1413@gmail.com orcid.org/0000-0003-4338-1619</p>
<p>Dr. Szilvássy László (PhD) egyetemi docens Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék</p> <p>szilvassy.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0455-4559</p>	<p>László Szilvássy, PhD Associate Professor University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems</p> <p>szilvassy.laszlo@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0455-4559</p>
<p>Dr. Békési Bertold László (PhD) egyetemi docens Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék</p> <p>bekesi.bertold@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5709-789X</p>	<p>Bertold László Békési, PhD Associate Professor University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems</p> <p>bekesi.bertold@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-5709-789X</p>

Tartalom

SZABOLCSI RÓBERT: <i>Pilóta nélküli légi járművek kooperatív irányítása</i>	5
BENE VIKTÓRIA: <i>A monitoringrendszerek és a pilóta nélküli légi járművek lakosságvédelmi célú alkalmazása a veszélyes üzemek környezetében</i>	23
LÁSZLÓ DOMÁN: <i>Overview of Reliability-Based Risk Assessment Methods and their Possible Application to Electronic Warfare Self-Protection Systems for Military Helicopters</i>	43
MAJOR GÁBOR, TÓTH ZOLTÁN: <i>A pilóta nélküli légi járművek együttműködésének lehetőségei a szárazföldi erőkkel egyes katonai műveletekben</i>	61
GAJDÁCS LÁSZLÓ: <i>Pilóta nélküli légi járművek megjelenési gyakoriságának vizsgálata</i>	77
SZABÓ LÁSZLÓ ISTVÁN: <i>A polgári repülés és repülőterek fejlődése, a modern repülőterek létesítésének, korszerűsítésének szempontjai</i>	91
SZILÁGYI DÉNES: <i>Számítógépes teljesítményanalízis helyettesítő függvényekkel</i>	111
NAGY-BOZSOKY JÓZSEF, SZABÓ SÁNDOR ANDRÁS, TÓTKA ZSOLT: <i>Magasságfüggő oxigénhiány és a Covid-19-világjárvány</i>	129
FEHÉR BALÁZS, GÁTI BALÁZS, ILLÉS ZOLTÁN: <i>A Magnus Fusion 213 tanúsításának tapasztalatai</i>	151
SÁNDOR ZSOLT, PUSZTAI MÁTÉ: <i>A „lakott terület” és kapcsolódó fogalmak jelentősége a pilóta nélküli légi járművek alkalmazásában</i>	165
SZILÁGYI BALÁZS: <i>Az új lengyel központi repülőtér és közlekedési csomópont stratégiai jelentősége</i>	181
SZABOLCSI RÓBERT: <i>Autonóm járművek kooperatív irányítása</i>	195
MAJOR GÁBOR, BORGULYA JÁNOS, SZILVÁSSY LÁSZLÓ, BÉKÉSI BERTOLD LÁSZLÓ: <i>A légierő fejlesztésének következő lépcsője, az Airbus H225M típusú helikopter</i>	217