



REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

Kiemelt közlemények

ZSOLT JURÁS:

Role of Drones in the Electricity Sector

PÉTER BALAJTI, KÁROLY BENEDA:

Experimental Study on the Effect of Water Injection on a Micro Turbojet Engine

**MAJOR GÁBOR, BODNÁR BALÁZS GYÖRGY,
SZILVÁSSY LÁSZLÓ:**

Mi lehetne a Gripen utódja?

33. évf. (2021)
3. 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. Dunai Pál (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Bottyán Zsolt (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Dr. Kavás László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Makkay Imre (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Pokorádi László (Óbudai Egyetem)
Dr.h.c. doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD., MBA, LL.M. (Kassai Műszaki Egyetem, Szlovákia)
Dr. Palik Mátyás (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)
Prof. Dr. Szabolcsi Róbert (Óbudai Egyetem)
Dr. Szilvássy László (Nemzeti Közszolgálati Egyetem)

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 Kóvári László † (jetplanes.blog.hu) készítette.



Tartalom

Madácsi Richárd: Data science workflow a radaradat-elemzésben	5
Novoszáth Péter: 75 éve végezte Bay Zoltán holdradarkísérletét – a magyar űrtevékenység kezdetei és jelene	25
Merényi Vivien: A szaknyelvi kifejezések használata az Oroszországi Föderáció polgári repülésében	43
Petra Kovács: The Battle of Britain and Its Opponents	49
Zsolt Jurás: The Role of Drones in the Electricity Sector	57
Molnár András: Diszkrét mérési pontos eljárással történő gamma-sugárzás dóziseloszlás-mérés drón segítségével	65
András Füleký: The Human Challenges of Modernising the Air Force	83
Péter Balajti, Károly Beneda: Experimental Study on the Effect of Water Injection on a Micro Turbojet Engine.	97
Gémes Levente: Urban Air Mobility, a 3. dimenzió (légi) bevonása a közlekedésbe.	111
Sándor Zsolt, Pusztai Máté: A polgári pilóta nélküli légi jármű-rendszerek hazai hatósági struktúrája	121
Major Gábor, Bodnár Balázs György, Szilvássy László: Mi lehetne a Gripen utódja?	139
Sziroczák Dávid, Gál István, Szilágyi Dávid, Rohács József, Rohács Dániel: Az autonóm felszíni közlekedés biztonságának növelése UAV-rendszerrel gyűjtött meteorológiai információk figyelembevételével	155



Madácsi Richárd

Data science workflow a radaradat-elemzésben

Az adatelemzés a 21. század egyik leginkább felkapott szakterülete. Ennek egyik oka vélhetően a fejlett, neurális hálózatokon alapuló gépi tanulási algoritmusok megjelenése, amivel a lehetőségek látszólag korlátlanok. Ebből következően azon cégeknek, amelyek nem szeretnék a versenyben lemaradni, komoly energiákat kell ebbe a területbe fektetni. Sokszor azonban elsikkadnak a gépi tanuló algoritmus futtatása előtti teendők, az adatok tisztítása, transzformálása, a felhasználni kívánt modellnek megfelelő magyarázó változók előállítás, amelyek sok esetben nagyobb hatást gyakorolnak az eredményre, mint a választott gépi tanuló algoritmus vagy annak paraméterei [1]. Számos ingyenes eszköz elérhető több különböző programozási nyelvben, amivel ezek a munkafolyamatok hatékonyan végezhetők, de az ATM¹-fókuszú radaradat-elemzésben egyedi elemző eszközök fejlesztése is szükséges lehet. A cikk célja, hogy egy ilyen eszközzel szemben támasztott követelmények egy részhalmozát konkrét példákön keresztül bemutassa.

Kulcsszavak: adatelemzés, mesterséges intelligencia, gépi tanulás, ATM, adatvizualizáció, adattisztítás

1. Bevezetés

Az adatelemzés még viszonylag fiatal terület, így nem alakulhatott ki olyan egyértelmű és hatékony munkafolyamat, mint a szoftverfejlesztésben [2]. Az ATM-területen történő adatbányászat, modellezés és gépi tanuláson alapuló termékfejlesztés pedig még ennél is kevesebb eddig felgyülemlett tapasztalatra építhet, így nem csoda, ha vannak félreértések egy cél elérése érdekében teendő lépéseket illetően. Sokan ugyanis úgy tekintenek a *data science* munkafolyamatra, hogy az pusztán a megfelelő adatok adatbázisból való lekérése és az azokon való gépi tanulási algoritmus futtatása. Ezt a tévhitet tovább erősíti a mesterséges intelligencia tudományának rohamos fejlődése, és az azzal szemben támasztott túlzott elvárások [3], például az, hogy bármilyen nem strukturált, csak alapadatokat tartalmazó információhalmazban lehetséges a rejtett összefüggések felfedése.

A *data science* projektekben érdekes módon gyakran a legtöbb energiát az adatlekérés és gépi tanulási algoritmusok futtatása közé beékelődő egyik fontos teendő, a megfelelő magyarázó változók előállítása igényli. A gépi tanulás könnyű, amennyiben rendelkezésre áll számos egymástól független változó, amelyek korrelálnak a célváltozóval. Ha nem ez a helyzet, akkor meg kell vizsgálni, hogy a rendelkezésre álló alapadatokból származtathatók-e jobb

¹ Air Traffic Management.

magyarázóváltozók [4]. A kérdés már csak az, hogy a radaradatok tekintetében ez milyen módon tehető meg.

A válaszhoz a HungaroControl Zrt. környezetirányítási rendszerében meghatározandó egyik környezetvédelmi mérőszám előállítását vesszük górcső alá. Az előállítandó adat – a repült útvonal hossza a T-bar eljárásokhoz képest – azt hivatott megvilágítani, hogy milyen gyakran van szükség a zajkoncentrációs céllal készült, elméleti legrövidebb útvonalként tekinthető eljáráshoz képest hosszabb útvonalra a hatékony forgalom áramoltatása érdekében. Ez az érték az extra repülések környezetvédelmi hatásainak vizsgálatán túl magyarázó változóként is szolgálhat, ha például a futópályaküszöbre érkezés várható idejét szeretnénk megbecsülni, ami megkönnyíthetné az egypályás futópályaüzem mellett a kapacitás maximalizálását. Ezen a területen már most is jelentős kutatások folynak [5].

2. Adatelemzői munkafolyamat

A *data science workflow* a [6] alapján a következők fő lépésekből áll.

2.1. Célkitűzés

Mivel semmilyen munka nem cél nélkül indul, az első lépés az elemzés konkrét feladatának meghatározása és annak pontos megértése. Utóbbi kiemelendő, hiszen bár fontos elvárás a szakterület megfelelő szintű ismerete (*domain knowledge*), az adatelemző ismeretei a szakterületi szakértőkével általában nem versenyezhet. A futópálya-elhagyási idő becslése jól definiált, aktívan kutatott terület [7], de a repülőtéri irányítótornyban a forgalom megfigyelésével töltött idő és az irányítókkal történő beszélgetések olyan egyedi látásmódot adhatnak, amelyek akár a becslési pontosság növekedéséhez is vezethetnek.

2.2. Adatforrás

Felderítő rendszerből származó adatoknál (az egyszerűség kedvéért a továbbiakban radaradatok) a nulladik lépés az adatforrásnak megfelelő, hatékony valós idejű adattovábbítást támogató tömörített bináris állomány kikódolása. Mivel ez egy műszaki standard (például ASTERIX²), elvégzése tekinthető adottnak, adatelemző bevonása nem szükséges.

A következő lépés a további szükséges adatok összegyűjtése. Szerencsés esetben ez a már meglévő, mindenre kiterjedő adatbázisból való lekéréssel teljesíthető, de sokszor lehet szükség akár manuális adatelőállításra (például kérdőíves felmérés az adott időszak szektorterhelésének szubjektív megítéléséről), külső adatforrás bevonására (például Eurocontrol – Aircraft Performance Database – géptípus alapján szárnyfesztség) vagy az adatok egy másik cégtől való megvásárlására (például FlightRadar24 Data Services).

² *All-purpose structured Eurocontrol surveillance information exchange.*

2.3. Csoportosítás

A radarjeleknek adatelemzés szempontjából megvan az a sajátosságuk, hogy bizonyos helyzetekben egyedi rekordként vizsgálandók, más esetekben pedig járatonként csoportosítva. Az előbbire példa a kisgépes forgalom ellenőrzése a tekintetben, hogy megsértették-e az ellenőrzött légtér határait. Ennél a feladatnál egy egyszerű, „*point-in-polygon*” algoritmussal meghatározható, hogy egy adott radarjel egy ellenőrzött légtér területén helyezkedik-e el, és a radarjel magasságát összevetve a légtér alsó határával meghatározható a légtérsértés ténye.

Az érkező légi járművek üzemenyag-hatékonyság miatt fontos folyamatos süllyedésének elemzése értelemszerűen nem végezhető el a radarjelek elkülönülten történő vizsgálatával. Az adatelemzési eszköztár egyik gyakran használt eleme az információk csoportosítása (*grouping*), amelyhez természetesen szükség van egy egyedi azonosítóra, amely alapján a csoportok képezhetők. Légi járművek esetén látszólag triviális ez a feladat, hiszen a légi jármű hívójele alapján könnyen egy járhoz társíthatók a radarjelek. A hívójel (például ABC123) viszont csak egy időpillanatban egyedi, heti, havi elemzések esetén több járat is szerepel az adatsomagban azonos értékkel. Felmerülhet megoldásként a dátum hozzáadása a hívójelhez (például ABC123-2019.10.17), ez viszont sok problémát okozhat például az éjfél előtti tervezett érkezési idővel rendelkező, de ténylegesen éjfél után megérkező járatoknál. Az éjfél utáni pár perces repülést az aznap késő esti radarjelekkel egyként kezelni természetesen nem megfelelő. Következő ötlet lehet az SSR-kód³ felhasználása a hívójelhez adva (például ABC123-2643), abban bízva, hogy az elemzés céljából származtatható elfogadhatósági kritérium alatt van annak az esélye, hogy egy adott időszakban több azonos hívójelű járat számára is azonos SSR-kód lett kiosztva. A Mode S radarok terjedésével, és az azon alapuló azonosítással az előbb vázolt lehetőség elvethető, hiszen ebben az esetben egységesen az 1000 állítandó be (*Mode S Conspicuity Code*). Gyakorlati tapasztalat alapján elfogadható megoldás lehet a hívójel mellé az SSR-kódot, a radar által kiadott track azonosítót és a Mode S transzponder kódját társítani, amivel az így képzett járatazonosító egyezésének esélye minimalizálható. Utóbbi állítás abban az esetben igaz, ha az egyszerre feldolgozandó radaradatok mennyisége relatíve alacsony, maximum havi bontású. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy egy big data projektben nem használható a módszer, hiszen egy több évtizedet felölelő radaradatbázis használata esetén sem lehet az összes adatot egyszerre betölteni a számítógép memóriájába, hanem kisebb részekre vágva kell azt feldolgozni.

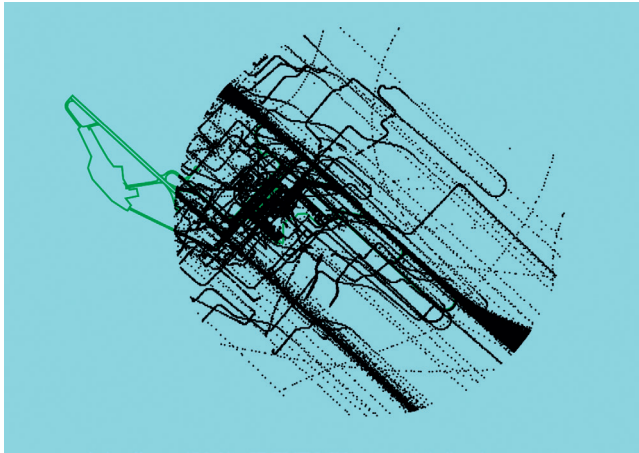
Egy szofisztikáltabb, de nagyobb erőforrás-igényű módszer az azonos hívójelű, nagyobb időszakot átölelő plotok csoportosítása, majd azokban az időbeli és térbeli „szakadások” azonosítása, és a szakadások által elválasztott tényleges járatok újracímkezése egy sorszám-mal. A legegyszerűbb módszer viszont az adatforrás specifikációjának módosítása úgy, hogy az abból kiexportált járatazonosító tényleg egyedi legyen, például az adott időpillanatban egyedi hívójel kiegészítése egy ténylegesen egyedi UUID⁴-vel.

³ *Secondary Surveillance Radar.*

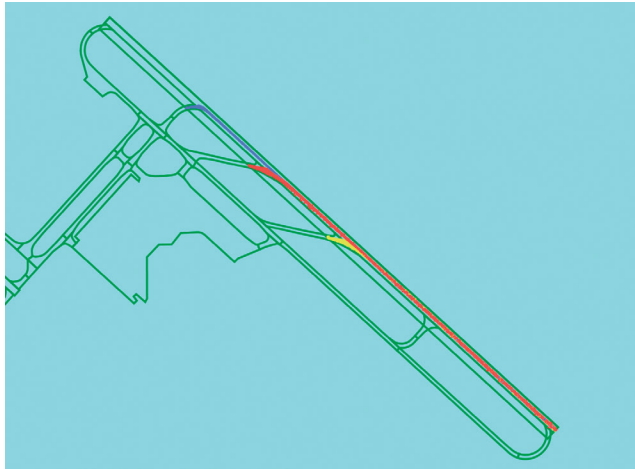
⁴ *Universally Unique Identifier.*

2.4. Adattisztítás

Egy adatbázisból betöltött adathalmaz ritkán lesz azonnal használható az elemzéshez. Az eltávolítandó rekordoknak két fő csoportja van. Az egyik a felderítő berendezésből származó fals jelek és más adattorzulások, valamint a hibát nem tartalmazó, csak egyszerűen az elemzéshez nem szükséges adatok, amelyek szintén eltávolítandók a munka gyors és hatékony végzéséhez. Az utóbbi a következő rész, a szűrés feladata (1. és 2. ábra).



1. ábra
Nyers ASMGCS⁵-adatok [a szerző]



2. ábra
Megtisztított és szűrt ASMGCS-adatok [a szerző]

⁵ Advanced Surface Movement Guidance and Control System.

Az adattisztításban kiemelendő a vizualizáció szerepe és annak pontos módja. A csoportosításnál említettekhez hasonlóan itt is különbség van abban, hogy radarjelként (pont) vagy járatként tekintünk (vonal) az adatokra. A különböző adattranszformációk végzése a pontok halmazán egyszerűbb, de bizonyos típusú anomáliák a járatok időben egymást követő radarjeleinek vonalakkal való összekötésével könnyebben azonosíthatók.

Az 3. ábrán egy a RWY31R futópályára érkező légi jármű helyzetei láthatók, ami éppen a D jelű gurulóúton hagyja el a pályát. Az összekötött radarjeleknek köszönhetően egyértelműen látszik, hogy az időalapú sorrendezésbe hiba csúszott, ami pontonkénti megjelenítéssel sokkal később, esetlegesen hibás vagy használhatatlan elemzések után derült volna csak ki. A MongoDB adatbázis használata JavaScript nyelven (+Node és Express) a Mongoose keretrendszerrel a legegyszerűbb. Itt a sémadefiniációs részben meg lehet adni, hogy az adatbázisból letöltött adatok változójánál milyen típuskonverzió (*casting*) szükséges. Esetünkben a „*timestamp*” értéke dátum, azaz String => Date átalakítás kell. A szerverről a kliensoldalra továbbítandó adatok nagy mennyisége miatt viszont érdemes a Mongoose által opcionálisként felajánlott „*lean*” funkcióval élni, amivel nem az alapértelmezett „*Document*”, hanem sima JavaScript objektumok (POJO – *Plain Old JavaScript Object*) lesznek használva. Emiatt viszont elveszik többek között a sémavalidáció és a típuskonverzió, így a sorrendezés az idők különbsége⁶ helyett szövegek különbsége alapján megy végbe, aminek természetesen nincs értelme. A megfelelő vizualizáció miatt a problémára hamar fény derült, és a feldolgozás javítása a fejlesztés korai fázisában megtörtént.

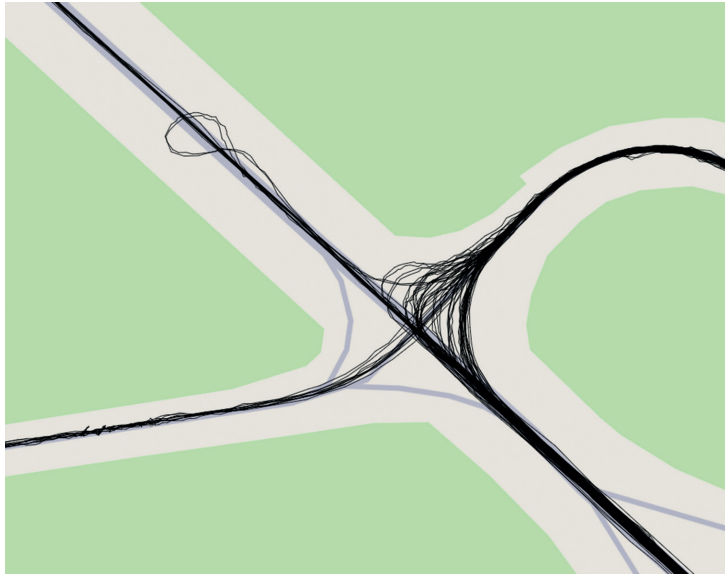


3. ábra
Hibás radarjel sorrendezés [a szerző]

A hamis vagy hibás radarjelek/járatok egyik eltávolítási módja lehet azon trajektóriák szűrése, ahol a radarjelek száma egy adott küszöbértéknél alacsonyabb [8]. A küszöbérték azonban adatforrástól, időszaktól, a radarrendszer beállításaitól is függhet, ezért nem javasolt azt kőbe vésni. Felmerül a kérdés, hogy hogyan határozható meg?

⁶ `data.sort((a, b) => a.timestamp - b.timestamp).`

A *data science* folyamatban gyakori lépés a különböző grafikonok megalkotásával történő feltáró célú adatelemzés (*exploratory data analysis*). A Python és R programozási nyelvek kiváló eszközökkel rendelkeznek ehhez (Matplotlib, ggplot2). Az így készített ábrák statikusak, így ha például a járatokhoz tartozó radarjelek számának hisztogramját kívánjuk megjeleníteni, akkor a szűréshez használt küszöbérték leolvasható, de az azzal való művelet plusz egy lépés. Ráadásul ez a háttérben történik, azaz egy Python vagy R parancs/kódrészlet lefuttatásával. Erre eklatáns példa az *outlier*-ek szűrése, az átlagtól való eltérés nagysága alapján, például [7] 2 szórásnál nagyobb eltérést tekint abnormális pályaelhagyási időnek. Egy hosszabb ideig tartó pályaelhagyásnál viszont nem mindegy, hogy az alacsony sebesség volt az ok, vagy például *backtrack*. Utóbbi egyértelműen kihagyható abból a halmazból, amely alapján végső egyenesen tartandó térköz számítható, hiszen a repülőtéri irányító (TWR) egy nagyobb forgalmú időszakban, ahol kritikus a mielőbbi pályafelszabadítás, ilyen manővert nem engedélyez. Az előbbi azonban ilyen egyszerűen nem ignorálható, gondoljunk csak arra az esetre, ha a légi járművek döntő többsége RWY13R irányból a J4-et használja, de néhány a J4-en való elhagyáshoz való fékezés után mégsem tudja ott a pályát felszabadítani, ezért visszagyorsítás nélkül el kell hogy guruljon a pálya végéig (A1-A2).



4. ábra
Pályaelhagyás backtracktel [a szerző]

Az adatok grafikonon való megjelenítését egy saját fejlesztésű programban interaktívá lehet tenni, például úgy, hogy a hisztogram oszlopaira való kattintással kiemelhetők az abban a csoportban szereplő radarjelek (4. ábra). Ezzel a módszerrel a munkafolyamat ténylegesen a szemünk előtt végződik, így az eredmény tekintetében is nagyobb a bizalom, hiszen pontosan tudható, hogy mi és miért törlődött. Ez különösen akkor jelentős, amikor például az ASMGCS adataival végzett pályaelhagyási idők mérésén alapul a végső egyenesen, egymást követő érkező légi

járművek között tartandó elkülönítés számítása. Blackbox jellegű elemzési folyamat után a repülésbiztonsági érvelés megírása a változtatásról és annak lehetséges hatásairól nehézkes.

2.5. Szűrés

Ha az adatok már nem tartalmaznak anomáliákat, a következő lépés az elemzéshez nem szükséges részhalmoz eltávolítása. Pályaelhagyási idők mérésénél például értelemszerűen az induló légi járművekkel nem kell foglalkozni. Ezek szűréséhez a legegyszerűbb módszer a repülési terv (FPL⁷-) adatok felhasználása, ahol, ha az ADEP-mező megegyezik LHBP⁸-vel, akkor egyértelműen indulóról van szó. De a pályaelhagyási idő nem repülőterre, hanem futópályára vonatkozik, azt viszont nem tartalmazza az FPL.

Az érkező forgalomnál a használatos küszöb meghatározása történhet az utolsó radarjel és a pályaküszöbök (THR⁹) közötti távolság mérésével [9], ahol a legkisebb távolsággal rendelkező küszöb a valós elméletileg. Utóbbi kitétel azért szükséges, mert a föld közelében a radarjelek eltűnhetnek, így előállhat az a helyzet, hogy egy RWY31L LHBP érkező utolsó radarjele a THR31R-hoz van közelebb. A másik problémaforrás, ha a földön lévő légi járműnél is tökéletesen lát a radar, és az utolsó radarjel a pálya felénél túl van, akkor az ellentétes küszöb lesz a járához rendelve (THR31R → THR13L).

Univerzális megoldásként a megfelelő szűréshez szintén a vizualizáció interaktív felhasználása a javasolt. A megjelenített radarjeleket manuálisan „körbe rajzolva” 2 dimenzióban egyértelműen meghatározható a valamilyen szempontból fontosnak ítélt radarjelek halmaza. Ezt kiegészítve a radarjelek attribútumaiban való szűrés lehetőségével, megkapjuk a leggyakrabban és legsokoldalúbban használható eszközt a radaradat-elemzésben.

A RWY13R érkezők elválasztása a RWY31L indulóktól történhet ezzel a módszerrel úgy, hogy a végső egyenes területén létrehozott poligonon belül azokat a radarjeleket jelöljük ki, ahol a haladás iránya (track) 110 és 150 fok között van. Ezután szükséges kijelölni az összes radarjelet járatonként, ahol legalább egy már kijelölt van, hogy majd a kijelölést megfordítva, a kijelölt radarjelek törölhetőkké váljanak. Természetesen az utóbbi lépéseket egy saját fejlesztésű elemzőrendszerben össze is lehet vonni egy olyan, szintén gyakran használt parancsban, amely azoknak a járatoknak a radarjeleit tartja meg, ahol van legalább egy kijelölt.

Az adatbázisból letöltött és megjelenített adatok sok helyet foglalnak a memóriában, ezért egy lépéssel tovább is lehet menni, és javasolt azokat az adatokat betölteni már az elején, amelyek adott térbeli és attribútum jellegű feltételeknek megfelelnek.

A radarjelek szűrésénél még számos fontos és sok területen felhasználható módszer azonosítható. A pekingi TMA¹⁰-ban lévő légi járművek vizsgálatához [8] csak a 25 NM (46,3 km) sugarú körön belül lévő adatokat használták. Mivel a Budapest TMA (és a pekingi) nem koncentrikus kör alapú, ez csak közelítő megoldásként jó. A terület alapú szűrés nemcsak interaktív módon rajzolt poligonon történhet, hanem már meglévő, adatbázisba betöltöttel is, például a TMA-szektorokkal, gurulóutak körvonalaival, vagy akár a zajvizsgálatoknál használt budapesti kerületek határaival is.

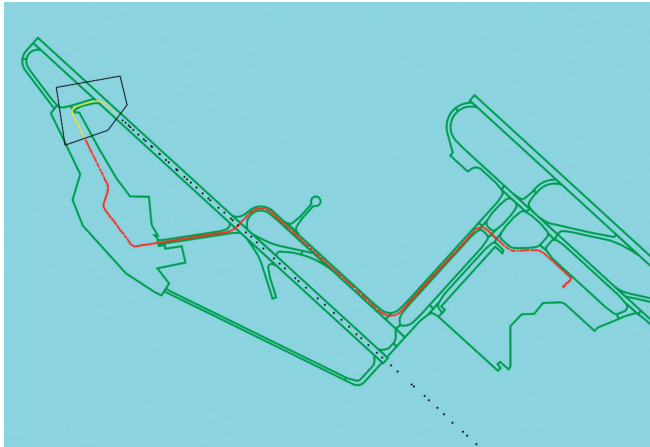
⁷ *Flight plan.*

⁸ Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér.

⁹ *Threshold.*

¹⁰ *Terminal Manoeuvring Area.*

Ezenkívül sokszor van szükség egy adott poligonba való belépés utáni első vagy az abból való kilépés előtti utolsó radarjel meghatározására, például a futópálya-elhagyási idők mérésénél. Utóbbinál azonban problémát okozhat az, ha RWY31L érkező C vagy D gurulóúton elhagyja a pályát, de a kettes terminál előterére kell hogy beguruljon a pálya keresztesével B1 B2 útvonalon. Ebben az esetben a futópálya téglalapját elhagyó járat utolsó radarjele nem az lesz, ami a pályaelhagyási idő méréséhez kell. Ilyenkor jól jön az a funkció, amellyel a kijelölést időben lehet módosítani. A tényleges pályaelhagyás radarjeleinek (sárga) meghatározása után azokat kell eltávolítani, amelyek a legutolsó kijelölt pontnál későbbi időbélyeggel rendelkeznek (piros). Így a pálya téglalapjába eső első és utolsó radarjel *timestamp*jeinek különbsége már a valós, szakmai szempontból releváns pályafoglaltsági időt adja meg (5. ábra).



5. ábra
Duplikált pályaelhagyás szűrése [a szerző]

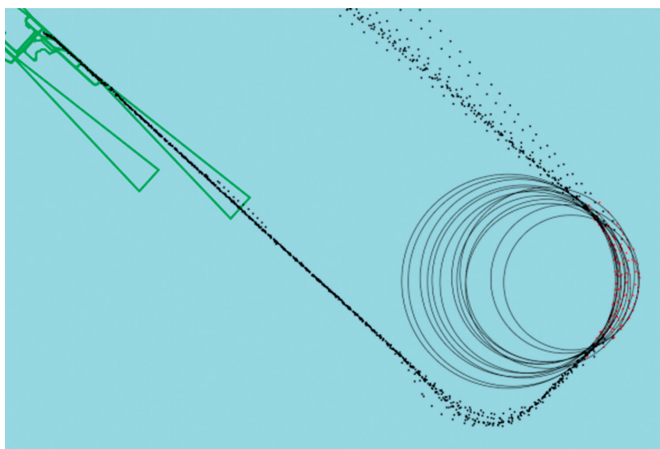
2.6. Feature engineering

A *feature engineering* [10] azt a folyamatot jelenti, amely során megfelelő szakmai háttérismerettel olyan származtatott változók állíthatók elő, amelyek az adott probléma kezelésére felállított prediktív modellt pontosabbá teszik.

Triviális *feature engineeringre* példa, ha a járat hívójelének első három karakterét levágjuk, és azt használjuk fel például a küszöbre érkezés várható idejének becslésére használt modellben. A RYR123-ból RYR, amely a járatot jelképezi, nagyon fontos magyarázó változó lehet, hiszen ugyanazt a géptípust másképp repülik a különböző légitársaságok. Kevésbé triviális lehetséges magyarázó változó a fordulóban lévő légi járművek radarjeleire illesztett kör sugarából és a légi jármű sebességéből becsülhető légi jármű bedöntési szöge (*bank angle*) [11] (6. ábra).

A pekingi érkezési idők becslésénél [8] az alapadatokon (radarjel: szélesség, hosszúság, magasság, sebesség, idő) kívül a szerzők felhasználták a radarjelnek egy mesterségesen kijelölt referenciaponttól való távolságát és irányát, valamint egy mesterséges vonatkoztatási rendszer egyik sarokpontját. A küszöbre érkezés ideje pedig a vizsgált járatok utolsó érzékelt radarjeleiből képzett átlagos pozíció (centroid).

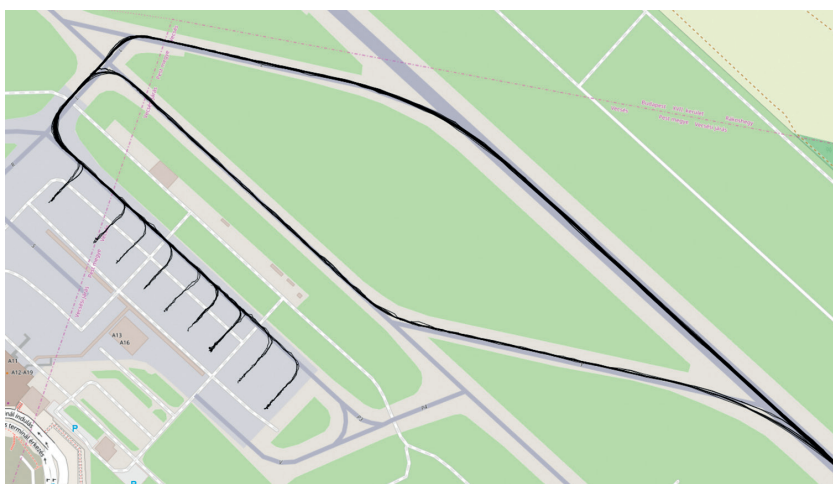
Az említett magyarázó változók előnye, hogy nagy mennyiségű adatokon „látatlanban” is kalkulálhatók. Hátránya viszont, hogy nem jellemzik megfelelően a forgalomkezelés mintázatát, így hiába a profi gépi tanuló algoritmus, ha nincs minta, amit felismerhetne. Miért kellene egy képzeletbeli pályaküszöbre (utolsó plotok átlaga) számolni a tényleges helyett? Miért egy képzeletbeli referenciaponthoz mérik a távolságot és irányt az eljárásnak a járat geometriájától függő *Initial Approach Fix-e* (IAF) helyett? A válasz: mert ez így egyszerűbb. A HungaroControl Zrt. Módszertani és Koordinációs Osztályánál nem engedhető meg az egyszerű megoldás, hiszen itt elsősorban nem egy cikk publikálása a cél, hanem adott esetben az ATM funkcionális rendszer működésének módosítása. Emiatt szükséges a saját elemző rendszer fejlesztése, ahol akár nagyobb munka árán is, de azok a magyarázó változók állíthatók elő, amelyek a legnagyobb előnnyel járnak.



6. ábra
Forduló sugár mérése [11]

Feature engineering esetén felmerülhet kérdésként, hogy a származtatandó változó az elemzési munka során álljon elő, vagy az adatok esetleges előfeldolgozásánál. Elsőre logikusnak tűnhet, hogy például a futópálya-elhagyási időt ne az alap, felderítési berendezésből származó pozícióadatokról kalkuláljuk, hanem maga az ASMGCS-berendezés tegye ezt meg, és egyből az elemzéshez szükséges értéket mentse el az adatbázisba. Alternatív, hasonló eredményre vezető megoldásként a felderítő berendezésből ASTERIX-szabvány formátumban exportálható bináris adatcsomag dekódolásakor, amit a pozícióadatokat az adatbázisba való feltöltése előtt meg kell tenni, is előállítható a kívánt érték automatizáltan. A *dashboard* jellegű, döntéshozóknak szánt havi statisztika készítésénél ez a módszer hatékony lehet, de a *data science* terület alapvető célja az adattermék [12] előállítása, nem pedig az időszakosan generált riport. Az adattermék lehet egy szoftver (például új légiforgalmi irányítói eszköz), vagy ahhoz egy algoritmus (például küszöbre érkezés várható idejének pontos becslése), egy adatokból kiolvasható szabály, amely végrehajtva biztosítja a rendszer megfelelő működését (például amennyiben képes a pilóta a RWY31R esetén az Y gurulóúton való pályaelhagyásra, akkor csökkentett elkülönítés is elegendő), de akár egy érdekes minta való figyelemfelhívás (például egy géptípus pályaelhagyási paraméterei szignifikánsan eltérnek a kategóriájának átlagától).

Az előre feldolgozott adatok használata esetén nagymértékben beszűkül az adatelemző mozgásteret. A RWY31R futópálya-elhagyási idő mérésénél tegyük fel, hogy a küszöbhez közelebbi Y gurulóúton elhagyó légi járművek 95%-ának sebessége a gurulóút előtt adott távolságon nagyobb, mint 30 knot (15,43 km/h). Kérdés, hogy ha egy érkező légi jármű a távolabbi Z gurulóúton hagyja el a pályát, mert így könnyebb az állóhelyére beállni, de a sebessége az előbbieken meghatározott helyen a példaként említett érték alatt van, akkor a relatíve magas pályaelhagyási időt figyelembe vegyük-e a végső egyenesen tartandó térköz meghatározásánál. Ez a járat egyértelműen rontja az AROT¹¹-statisztikát, de nem azért mert nem lett volna képes gyorsabb pályafelzabarádításra, hanem mert nem volt rá szükség. Előfeldolgozott pályaelhagyási adatok esetén ilyen típusú mélyebb vizsgálatokra nincs mód, ezért egy adatelemző rendszer kialakításakor az adatbázisba való feltöltésnél csak a legszükségesebb adattranszformáció elvégzése javasolt (7. ábra).



7. ábra
31R pályaelhagyás Y és Z gurulóúton [a szerző]

2.7. Exportálás

Természetesen egy saját fejlesztésű elemzőrendszernek nem kell mindent tudnia. A gépi tanuló algoritmusok futtatásához továbbra is az R vagy Python programozási nyelvek megfelelő eszköze javasolt. Ehhez azonban az előállított, megfelelően tisztított, addicionális magyarázó változókkal ellátott adathalmazt a megfelelő formátumba ki kell tudni exportálni. Szoftverfejlesztési szempontból a legegyszerűbb, ajánlott formátum a CSV,¹² amelyet bármilyen keretrendszerbe be lehet olvasni, de akár még szöveggént is könnyen értelmezhető, ha gyors ellenőrzés szükséges.

¹¹ Arrival Runway Occupancy Time.

¹² Comma Separated Values.

Gyakran van szükség az adatok megjelenítésére az elemzőrendszeren kívül, így az ingyenes Google Earth program KML-formátumában való kiexportálási lehetőség kifejlesztése is javasolt.

2.8. Automatizálás

A háttérben történő, vizualizáció nélküli adattranszformációs műveletekkel kapcsolatban több kritika is megfogalmazódott eddig. A módszer vitathatatlan előnye azonban az automatizálás. Ha egy elemzés egy R vagy Python script futtatásával történik, akkor a vizsgált időszak kibővítése vagy módosítása a dátumparaméterek átírásával könnyen megtehető. Ha az adatokat vizualizálva, poligonok megrajzolásával alakítgatjuk, felmerül a kérdés, hogy egy másik időszakban is újra meg kell-e csinálni minden műveletet. Mivel a számítógép memóriája korlátos, így tetszőleges mennyiségű adatot beolvasni és kezelni nem lehet, tehát muszáj napi, heti, esetleg havi bontásban végezni a munkát. Emiatt javasolt olyan rendszer kidolgozása, ahol a manuális és egyéb műveletek makroprogramként is elmenthetők, így a vizsgált időszak módosítása és az elemzés megismétlése az alternatívához hasonlóan egyszerű.

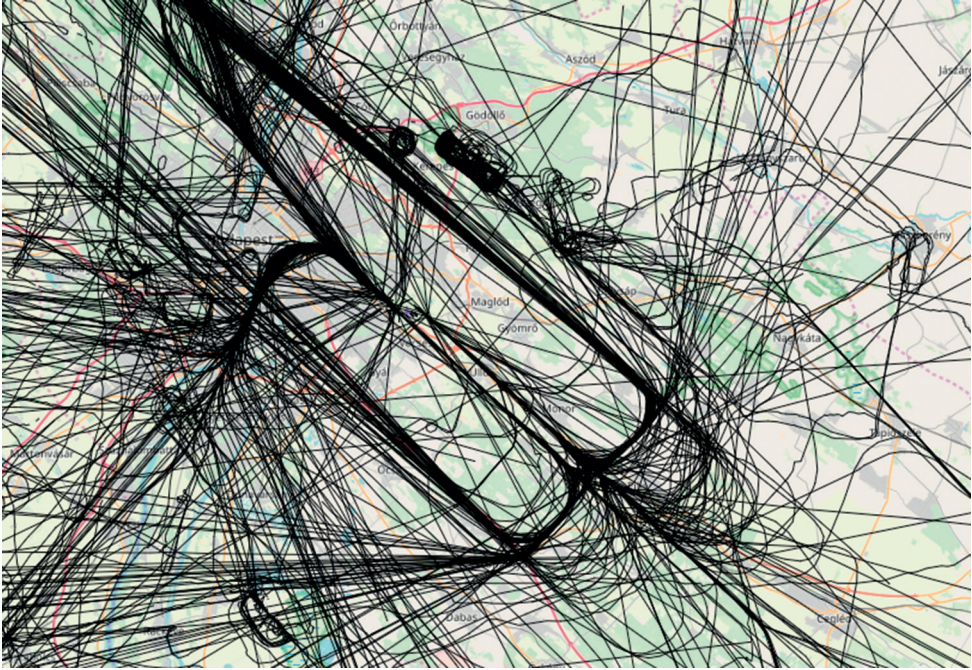
3. Esettanulmány

3.1. Célkitűzés

A bevezetőben említett meghatározandó érték járatonként a Budapest TMA-ban az érkezők által ténylegesen lerepült útvonal és a T-bar kezdőpontjára való közvetlen repüléssel, majd az eljárás követésével előálló elméleti legrövidebb útvonal hosszának különbsége. A futópályaküszöbre érkezés várható idejének becslésénél ez különösen fontos magyarázó változó lehet, hiszen bármilyen pontosan is becsülhető egy légi jármű sebességprofilja, ha közben a lerepülő távolság nagysága bizonytalan. Szükséges tehát azokat a faktorokat azonosítani, amelyek előre jelzik az elméleti minimum útvonalnál hosszabb repülést és annak nagyságát. Ha ez már megfelelő pontossággal működik, már a lassulással is van értelme foglalkozni.

3.2. Adatforrás

A felhasznált adatok a *back-up* radarirányítási rendszer archív állományából származnak, amelyeket a könnyebb felhasználás érdekében a HungaroControl Zrt. Módszertani Csoportján fejlesztett adatelemző rendszer MongoDB adatbázisába töltik át. Ebből egy JavaScript nyelven, Express keretrendszerben készített szerverből egy OpenStreetMap térképet használó webes applikáción keresztül jut el az információ a felhasználóhoz. Az adott időszak kiválasztása után, a példánkban az áttekinthetőség miatt ez egy nap (2019. 08. 01), a 8. ábrát kapjuk.

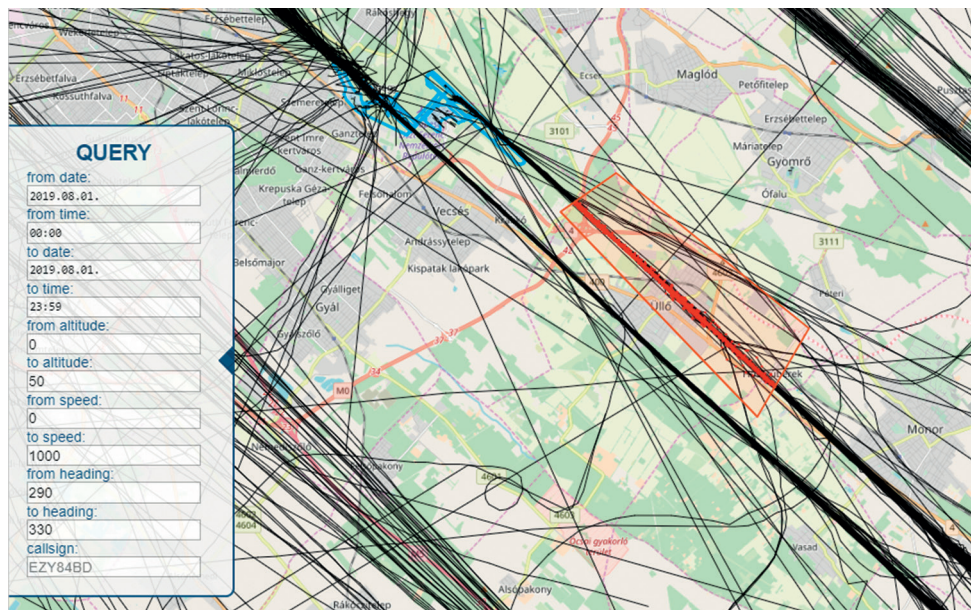


8. ábra
Nyers radaradatok [a szerző]

Látható, hogy a letöltött adatokban induló, kiséges forgalom és anomáliák is találhatóak, így adattisztítás és szűrés szükséges.

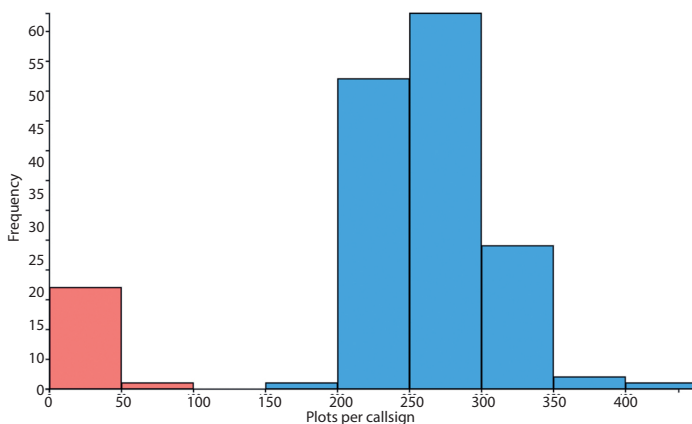
3.3. Adattisztítás és szűrés

A probléma jellege miatt érdemes előre venni a szűrésfázist. Az RWY31R végső egyenes környékén rajzolt polygonon 5000 láb (1524 m) alatt 290° és 330° közötti irányon áthaladó járművek az RWY31R érkezők, amelyeket meg kell tartani. A többi a program memóriájából és a megjelenítésből törölhető. A 9. ábrán a kijelölnél látszik, hogy nem váltak pirossá a RWY13L indulók, amelyek a felszállás után 13° -kal balra fordulnak. Ezek a radarjelek szintén áthaladnak a kijelölt területen, de a beállított paramétereknek (*track*) nem felelnek meg. Az azonos területen a TMA átrepülő forgalma pedig a magassági korlát miatt nem kerül a kiválasztottak közé.



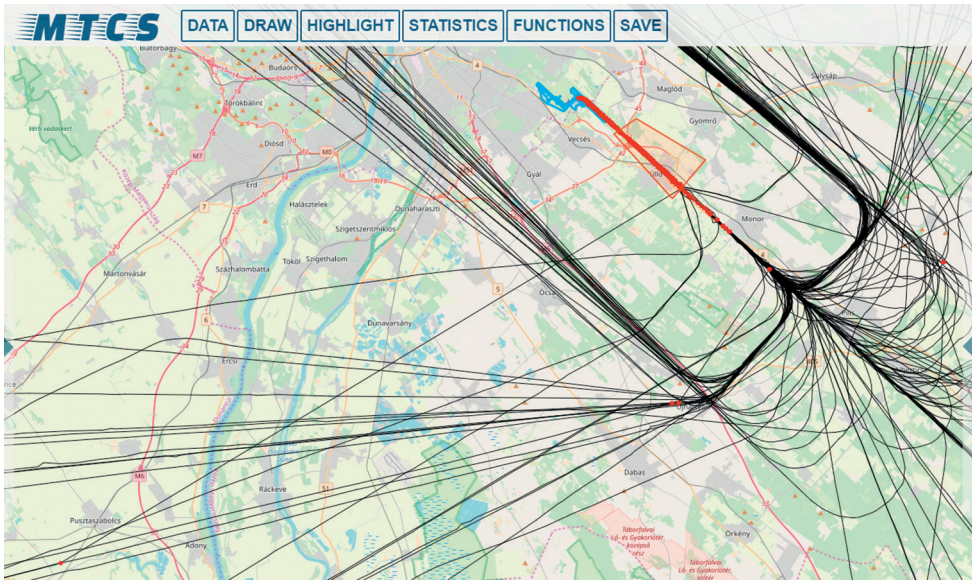
9. ábra
Érkezők és indulók leválasztása [a szerző]

Az első szűrés után a vizualizációnak hála rögtön nyilvánvalóvá válik, hogy egy pár radar-anomália is került a rendszerbe. A kiegészített hívójel alapján azonosított járatokhoz tartozó radarjelek számából készített gyakoriságeloszlásból látszik, hogy vannak olyanok, amelyek kilógnak a többségtől (10. ábra).



10. ábra
Radarjelek járatonkénti számának gyakoriságeloszlása [a szerző]

Ezeket a hisztogramon kijelölve ellenőrizhetővé válnak a térképes nézetben, hogy valóban törölhető fals adatok, vagy valamilyen előre nem várt, de szakmai szempontból igazolható furcsaság eredménye. Jelen esetben az alacsony radarjelszámmal rendelkező járatok fő csoportja az éjfélt után érkezők végső egyenesre eső része, a másik pedig a valódi hívójel, de azonos radarazonosítóval rendelkező fals jelek. Utóbbira lehet példa a 11. ábrán a bal alsó sarokban lévő piros kör, amely egy végső egyenesen lévővel van közvetlen összekötve, ami nem lehet valós járat, vagy ha igen, hiányos a végső egyenesig való eljutás útvonala, így törölhető.



11. ábra
Azonosított anomáliák [a szerző]

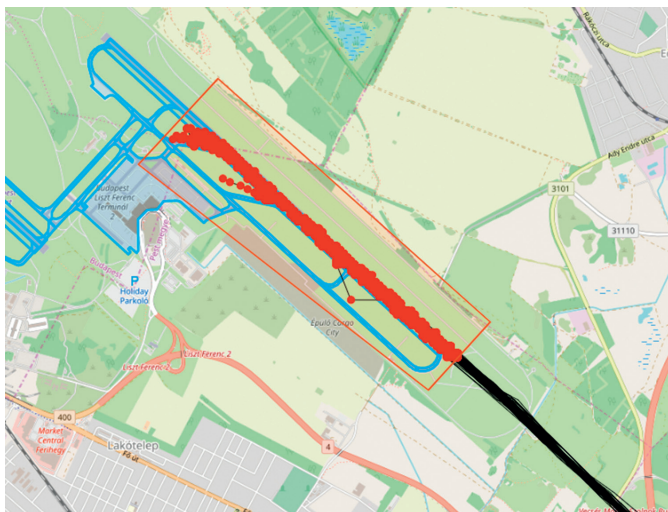
Az érkezők szűréséhez hasonlóan törölhetőek a RNAV¹³ Y eljárást követő légi járművek is, mivel ezek nem az alapértelmezett legrövidebb útvonalat repülik.

3.4. Feature engineering

A kitűzött feladat megoldásához a legfontosabb teendő a ténylegesen lerepült útvonal meghatározása járatonként. Ez úgy történik, hogy a kibővített hívójel alapján csoportosított és időrendbe tett radarjelek közti távolságot kumuláljuk. Itt két kérdés merülhet fel. Mi legyen a nulla pont, és időben előre vagy hátrafelé történjen a távolságok összeadása. Mivel érkező forgalom a vizsgálat tárgya, ezért az a megoldás a jó, ha a végső egyenesen, azonos pontban azonos a küszöbig lerepült távolság értéke. Ennek két folyamánya van. Az első, hogy időben hátrafelé kell az összesítést megtenni, hiszen ellenkező esetben attól függően, hogy hol lépett be a járat a TMA-ba, különböző eredményt kapnánk. A másik, hogy a küszöb átrepülése utáni

¹³ Area Navigation.

radarjeleket el kell távolítani, mert ha csak egyszerűen az utolsó érzékelt radarjeltől, amely járatonként eltérő, történik visszafelé az összesítés, akkor szintén nem egymással összevethető eredményt kapunk (12. ábra).

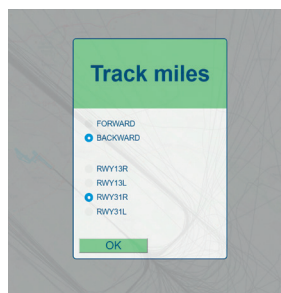


12. ábra

A számításhoz nem szükséges radarjelek törlése [a szerző]

A pálya felett lévő radarjelek kijelölése nem feltétlen kell hogy hajszálpontosan történjen, az adatbázisban szereplő futópálya-koordináták alapján, mert a küszöb átrepülése előtti radarjel biztosan nem esik a pályaküszöbre. Ezért némi pontatlanság, amely a későbbiekben korrigálva lesz, a radarjelek frissítési gyakoriságából elkerülhetetlen.

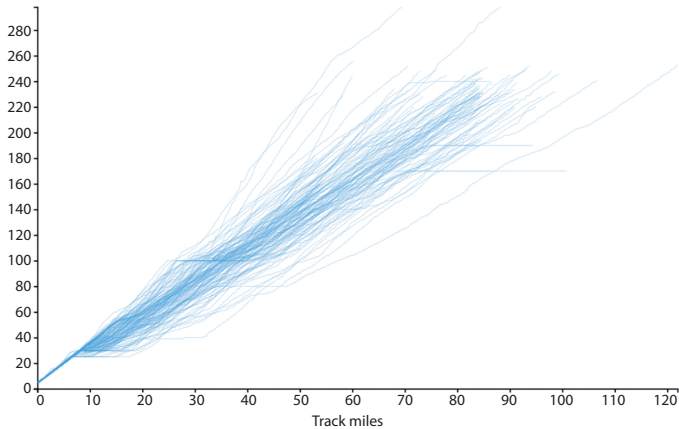
Az említett pontatlanságot az „add track miles” funkció kezeli, ami egy input ablakon keresztül bekéri a távolságok összesítésének irányát, valamint a referenciapontként kezelhető pályaküszöböt. Ezután az időrendben utolsó radarjel lerepült távolság értéke a referenciaponttól való távolság lesz, az összes többinél pedig az előző távolság plusz az előző radarjel és az aktuális távolsága (13. ábra).



13. ábra

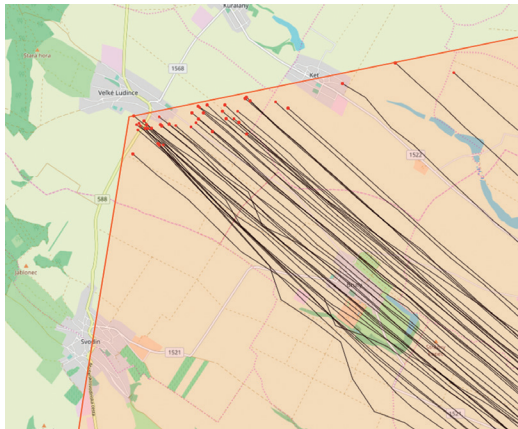
Többcélú funkció kezelőpanelje [a szerző]

Ez a funkció szintén nagyon sokoldalú, hiszen például a süllyedési profilok elemzése, kirajzolása e nélkül nem tehető meg. A 14. ábránál, ha nincs távolsáérték, akkor nincs X tengely, és ha a futópálya területén lévő radarjelek nincsenek kiszűrve, akkor az eltérő utolsó radarjel-pozíció miatt a várttal ellentétben nem rajzolódna ki a fix 3 fokos siklópálya az utolsó 6 NM (11,1 km). Azaz járatonként különböző lenne az X tengelyen a nulla pont.



14. ábra
Érkező légi járművek süllyedési profilja [a szerző]

Az elméleti legrövidebb útvonal számítása a MergeStrip koncepciónak [13] megfelelő módon történik. Ehhez először az adatbázisban szereplő TMA körvonala alapján meg kell határozni azokat a radarjeleket, amelyek éppen beléptek az APP¹⁴-irányítók illetékességi légterébe (15. ábra).



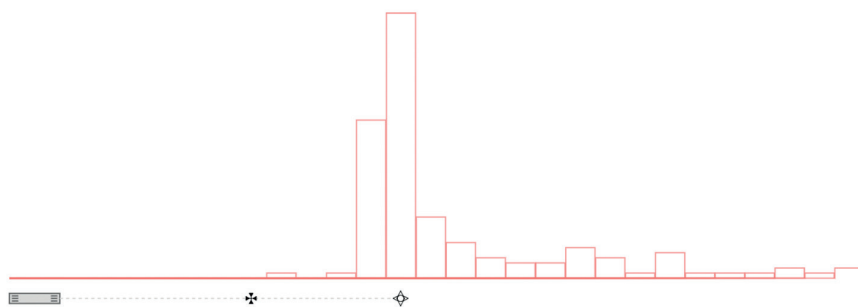
15. ábra
Adott területen a járatonkénti első radarjel [a szerző]

¹⁴ Approach.

A kijelölt radarjelekhez már társítható a megfelelő pályaküszöb kiválasztása után a TMA-ba való belépés helyétől függő T-bar eljárás IAF-jéig terjedő távolság és az eljárás hosszának összege. Mivel minden egyes radarjelre meg lett határozva a küszöbig lerepült távolság, az előbbi fázisban kijelölt radarjeleknél a két számított érték különbsége az előállítandó potenciális magyarázó változó.

3.5. Eredmények prezentálása

A Python és R programozási nyelvekhez több kiváló vizualizációs eszköz létezik, amelyekkel könnyen lehet a leggyakrabban használatos grafikonokat jó minőségben előállítani. Ezek azonban nem adnak lehetőséget az egyedi elgondolások megvalósítására. Példánkban a cél annak megmutatása, hogy a publikált T-bar eljáráshoz képest milyen arányban repülnek a járatok hosszabb, illetve rövidebb útvonalon. Ezt átfogalmazva azt is mondhatjuk, hogy a kérdés az, hogy a végső egyenes meghosszabbított vonalára az érkezők a közbülső megközelítési pont (IF¹⁵) előtt vagy után kerülnek és mennyivel. Ebből kiindulva már egy kifejezőbb ábra is alkotható (16. ábra).



16. ábra
T-bar eljáráshoz képesti repülések hossza [a szerző]

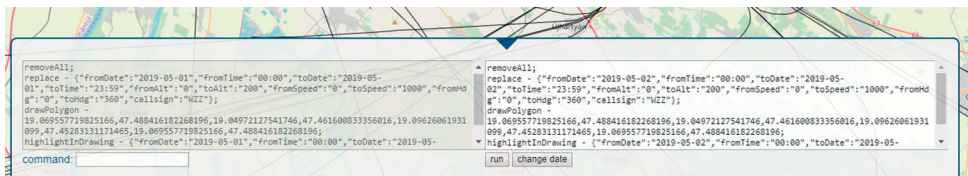
Az X tengelyen számok nélkül is egyértelmű, hogy a vizsgált adatoknál a végső egyenes kezdetét jelölő kereszt előtt senki sem került a futópálya középvonalára, és a leggyakoribb útvonal az eljárás közbülső megközelítési pontját jelölő ponton, azaz a T-bar eljáráson keresztül vezetett, azaz a lerepült útvonal és az elméleti legrövidebb útvonal különbsége 0.

3.6. Automatizáció

A HungaroControl Zrt. Módszertani Csoportjában fejlesztés alatt álló elemző rendszerben minden manuálisan kiadott parancsnak van egy szöveges megfelelője. Ezt és az ehhez esetlegesen

¹⁵ *Intermediate Fix.*

tartozó paramétereket (például rajzolt poligon koordinátái) a rendszer visszajelzi a felhasználónak a munkavégzés során, így az elmenthető makróként, vagy módosítható. A leggyakoribb módosítási igény a dátum, azaz ugyanazt az elemzést kell lefuttatni más időszakra.



17. ábra

Makró futtatásának kezelőfelülete [a szerző]

A makró inputként bevihető a rendszerbe, a 17. ábra jobb oldali paneljébe, így egy elemzés egyszeri elvégzése tetszőleges számban és időszakra újra futtatható. Ez nemcsak a nagyobb adatmennyiségen történő adatelemzést könnyíti meg, de az elemzés eredményéből adódó szakvélemény is pontosan és bárki által reprodukálhatóvá válik, hiszen dokumentáció mellékleteként csak az elmentett parancsok sorozatát kell csatolni. Így az elemzési folyamat nemcsak hatékony, de transzparens is.

4. Következtetések

A felderítő rendszerekből származó adatok elemzése során elengedhetetlen a nyers adatok és a származtatott eredmények vizualizációja. Amennyiben az elemzési munka hatással lehet az ATM funkcionális rendszerre, nem javasolt a munkafolyamatok leegyszerűsítése, a lehető legpontosabb végeredményre kell törekedni, ami azonban sok munkával jár. A munkafolyamatok automatizálhatósága ezt megkönnyíti, továbbá biztosítja az eredmények reprodukálhatóságát.

Felhasznált irodalom

- [1] The Official Blog of Kaggle.com, *Q&A with Xavier Conort*. Online: <http://blog.kaggle.com/2013/04/10/qa-with-xavier-conort/>
- [2] C. Byrne, *Development Workflows for Data Scientists*. Sebastopol, California, O'Reilly Media, 2017.
- [3] Szarvas D., Tichy R., Rohács D., „Mesterséges intelligencia alkalmazása az aviatikában,” *Repüléstudományi Közlemények*, 31. évf. 1. sz. pp. 183–204. 2019. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2019.1.15>
- [4] P. Domingos, „A Few Useful Things to Know about Machine Learning,” *Communications of the ACM*, Vol. 55 No. 10. pp. 78–87. 2012. Online: <https://doi.org/10.1145/2347736.2347755>
- [5] Z. Wang, M. Liang, D. Delahaye, „Short-Term 4D Trajectory Prediction Using Machine Learning Methods,” In *SID 2017, 7th SESAR Innovation Days*, 2017. pp. 1–9. Online: www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/sid/2017/SIDs_2017_paper_11.pdf

- [6] D. Cielen, A. D. B. Meysman, M. Ali, "The Data Science Process," In *Introducing Data Science*. New York, Manning Publications, 2016.
- [7] F. Herrema, et al., „A Novel Machine Learning Model to Predict Abnormal Runway Occupancy Times and Observe Related Precursors,” In *12th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2017)* 2017. pp. 1–11. Online: https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/314444878/12th_ATM_RD_Seminar_paper_107.pdf
- [8] Z. Wang, M. Liang, D. Delahaye, Automated Data-Driven Prediction on Aircraft Estimated Time of Arrival, *SID 2018, 8th SESAR Innovation Days*, 2018. pp. 1–8.
- [9] V. Kumar, L. Sherry, R. Kicinger, „Runway Occupancy Time Extraction and Analysis Using Surface Track Data,” In *Transportation Research Board Annual Meeting, Transportation Research Board Paper*, 10-3676, Washington, D.C., Jan. 2010.
- [10] S. Ayhan, P. Costas, H. Samet, „Predicting Estimated Time of Arrival for Commercial Flights,” In *KDD '18 Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining* London, 2018. pp. 33–42. Online: <https://doi.org/10.1145/3219819.3219874>
- [11] R. Madacsi, R. Markovits-Somogyi, „Bank Angle Estimation Using Radar Data,” *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, Vol. 47, No. 1. pp. 1–5, 2019. Online: <https://doi.org/10.3311/PPtr.11653>
- [12] C. O’Neil, R. Schutt, *Doing Data Science: Straight Talk from the Frontline*. Sebastopol, California, O’Reilly Media, 2013.
- [13] Madácsi R., Baráth M., Sándor Zs., *A speciális térgeometriára támaszkodó „PointMerge” légiforgalmi irányítási módszer továbbfejlesztése*. Budapest, IFFK, 2015.

Data Science Workflow in Radar Data Analysis

Data science is one of the hottest topics in the 21st century. The reason for this is probably the emergence of advanced machine learning algorithms based on neural networks, with which the possibilities seem to be endless. Therefore, those companies which do not want to be left behind, have to invest in this field heavily. However, most of the time the tasks that need to be done before applying machine learning algorithms do not get enough attention. These are data cleaning, filtering, transforming, feature engineering, which can affect the accuracy of the model more than the selection of the algorithm or its parameters. Quite a few tools are available for free, which makes the data science workflow efficient, although in data analysis focusing on ATM developing bespoke software is often necessary. The article aims to present the most common requirements of that through examples and a small case study.

Keywords: data analysis, machine learning, artificial intelligence, ATM, data visualisation, data cleaning

<p>Madácsi Richárd Szenior légiforgalmi eljárásstervező és adatelemző HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zártkörűen Működő Részvénytársaság Módszertani és Koordinációs Osztály richard.madacsi@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-3132-4679</p>	<p>Richárd Madácsi Senior Flight Procedure Designer and Data Analyst HungaroControl Hungarian Air Navigation Services Pte. Ltd. Co. ATS Operational Planning and Airport Coordination Department richard.madacsi@hungarocontrol.hu orcid.org/0000-0002-3132-4679</p>
--	---

Novoszáth Péter

75 éve végezte Bay Zoltán holdradarkísérletét – a magyar űrtevékenység kezdetei és jelene

2021. február 6-án ünnepeltük a 75. évfordulóját annak, hogy Bay Zoltán fizikaprofesszor és csapata a Tungsram kutatólaboratóriumában észlelte a Holdra bocsátott radarhullámok visszhangját forradalmian új mérési technikájával. A háború után mostoha körülmények között elvégzett, világhírű kísérlet a magyar űrtevékenység és a nemzetközi radarcillagászat kezdetét is jelentette. A holdradarkísérletek jelentősége abban állt, hogy ezek voltak az első természettudományos vizsgálatok, amelyeket Földön kívüli tárgyon végeztek. Az égitestekről szerzett ismeretek évezredekken keresztül kizárólag passzív megfigyeléseken alapultak, de a mikrohullámú technika lehetővé tette a távoli objektumok fizikai vizsgálatát is. Tulajdonképpen ekkor bizonyosodott be, hogy a Hold egy anyagi jellemzőkkel rendelkező tárgy, jól meghatározható távolságra a Földtől. Magyarországon jelenleg számos nemzetközi űripari együttműködési és kutatási projekt folyik, amelyek évről évre egyre több jelentős magyar szellemi és technológiai hozzáadott értéket hoznak létre. Az immáron több mint 75 éves múlttal büszkélkedő magyar űrkutatás és űrtevékenység komoly potenciállal rendelkezik. E tanulmány a magyar űrtevékenység főbb résztvevőit, projektjeit, sikereit és eredményeit kívánja bemutatni a kezdetektől napjainkig.

Kulcsszavak: *asztrofizika, csillagászat, Nap és Naprendszer kutatása, radarcillagászat, űralkalmazások, űripar, űrkutatás, űrtávközlés és navigáció, űrtechnológia, űrtevékenység, űrtudomány*

1. Bevezetés

Magyarország űrtevékenysége közvetlenül a II. világháború után kezdődött, amikor magyar fizikusok és mérnökök egy csoportja Bay Zoltán (1. ábra) vezetésével 1946-ban radarvisszhangot kapott a Holdról. Bay Zoltán magyar fizikus a debreceni Református Kollégiumban tanult, a budapesti Pázmány Péter Tudományegyetemen doktorált 1926-ban. Négyéves berlini tanulmányút után a szegedi egyetem elméleti fizika professzora lett 1930-ban, ahol Szent-Györgyi Alberttel került kutatási kapcsolatba. 1936-ban az Egyesült Izzó Tungsram Kutatólaboratóriumának igazgatója lett. Itt dolgozta ki a magyar rádiólokátort. 1938 és 1948 között a Műegyetemen létrehozott atomfizika tanszék tanára volt. Ebből az időből valók az elektrokardiográf és a színét változtató neonreklámcső találmányai. A II. világháború után az Egyesült Izzó egyik vezetőjeként radarral végzett Holdvisszhang kísérletet, amely 1946. február 7-én hozott eredményt. A személyét is érintő fenyegetések elől az USA-ba emigrált, ahol 1948 és 1955 között a Washingtoni Egyetem kutatóprofesszora, 1955 és 1972 között a National

Bureau of Standards osztályvezetője lett. 1972-től – nyugdíjasként – volt az American University professzora. Kutatásainak főbb eredményei még: az elektronsokszorosító tökéletesítése és a méterdefiníció reformja a nagy pontossággal meghatározott fénysebesség¹ alapján [1]. 1990-ben jelent meg dokumentumkötete *Az élet erősebb* címmel [2].



1. ábra

Bay Zoltán-bélyeg, tervező Dudás László [3]

2. A magyar űrkutatás kezdetei

Nem szabad ugyanakkor elfelejtenünk azokról a magyar, illetve magyar származású tudósokról sem, akik már 1946 előtt is nemzetközi hírnévre tettek szert a világgal kapcsolatos kutatásokban. Közülük Hermann Oberth (1894–1989) a mai rakéatechnika elméletét dolgozta ki. Kármán Tódor (1881–1963) aerodinamikai és rakéatechnikai kutatásokat végzett. Ő volt az alapítója és első elnöke a Nemzetközi Asztronautikai Akadémiának, nevét a Holdon és a Marson kráter őrzi. Fonó Albert (1881–1972) a sugárhajtóművek és a sugárhajtás terén végzett jelentős munkát [4]. De kellő tisztelettel meg kell emlékeznünk azokról a tudósokról is, akik 1946 előtt a magyar csillagászati kutatások hírnevét öregbítették munkájukkal. Többek között Konkoly-Thege Miklós (1842–1916) csillagászról, aki ógyallai birtokán 1869-ben csillagvizsgálót épített, és akinek a közreműködésével létesült a Haynald-obszervatórium Kalocsán 1878-ban, Gothard Jenő és Sándor obszervatóriuma Herényben 1881-ben és a Podmaniczkyéké Kiskartalon 1886-ban. Leginkább a meteorok és üstökösök kutatása során ért el jelentősebb eredményeket, de foglalkozott bolygók észlelésével és spektroszkópiás (színképelemzéses) vizsgálatokkal is. De a csillagászat műszaki oldala sem hagyta hidegen, több távcsövet, spektroszkópot is tervezett, illetve készített [5]. És szintén illik megemlékeznünk Hell Miksáról és Sajnovics Jánosról is, akik a norvég király felkérésére együtt megmérték az 1769. június 3-i Vénusz-átvonulás kontaktusainak időpontját az észak-norvégiai Vardø szigetről (2. ábra).

¹ A cikk a 2021. évi Repüléstudományi Konferencián elhangzott előadás írott változata.



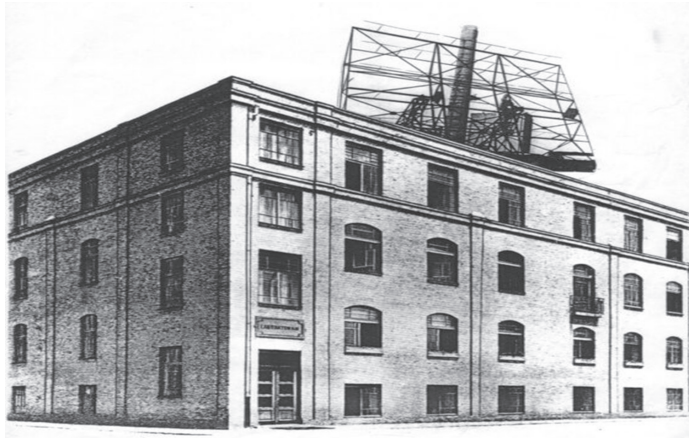
2. ábra
 Waardöhuus (Vardø) egyik korai látképe [6]

A Vénusz Nap előtti átvonulásának óriási jelentősége volt, hiszen egyértelműen igazolta az ókori tudós, a Szamosz szigetén élő Arisztarkhosz, majd több mint 1500 év múlva Kopernikusz, Kepler és végső soron Newton állításait, az egyetemes tömegvonzás törvényét. A két csillagász megfigyelése egyértelművé tette, hogy a bolygók nem a Föld, hanem a Nap körül keringenek [7]. Hell Miksának jelentős szerepe volt három magyarországi csillagvizsgáló megalapításában (Eger, Egri csillagda 1776; Buda, Budai Csillagvizsgáló 1780; Gyulafehérvár, Batthyáneum 1794). Csillagászati munkásságának elismeréseként nevét ma egy kráter is őrzi a Holdon, továbbá róla nevezték el a 3727 Maxhell kisbolygót [8].

Kétségtelen ugyanakkor, hogy a legnagyobb feltűnést Bay Zoltán és kutatócsoportja 1946-os holdradarkísérlete keltette, amikor a Holdról visszaverődő rádióhullámokat először fogták fel. A magyar kutatócsoportban vezető szerepet játszott a kiváló fizikus, Simonyi Károly, *A fizika kultúrtörténete* című könyv későbbi szerzője, a „második magyar származású” űrhajós, Charles Simonyi édesapja [9]. Az ő általa megírt könyv ma minden mérnök könyvtárában ott kell hogy legyen, annyi érték van benne. S mivel e mű valóban a fizika kultúrtörténete, olyan sarkalatos tényeket tartalmaz, amelyek ma is helytállóak, s a jövőben is azok maradnak [7, p. 296].

Az évforduló kapcsán illendő, hogy megemlékezzünk Bay Zoltán a kísérletben részt vett munkatársairól is, a már említett Simonyi Károly mellett Papp Györgyről, Dallos Györgyről, Winter Ernőről, Sólyi Antalról, Barta Istvánról, Istvánffy Edvinről, Budincsevics Andorról, Szepesi Zoltánról, Takács Lajosról, Magó Kálmánról és Horváth Tiborról. A kommunista hatalomátvétel után ezek a kutatások félbeszakadtak, Bay Zoltán elhagyta Magyarországot, s az Egyesült Államokba emigrált, csoportja felbomlott, s kísérletei itthon már nem is folytatódtak [10].

A Holdról sikeresen detektált radarvisszhang egyúttal a radarcillagászat kezdetét is jelentette az 1946. január 10-i sikeres amerikai holdradarkísérlettel együtt.



3. ábra
Holdradar a Tungsram gyárpületén [11]

„Míg a 30-as években, az Egyesült Államokban megalapított rádiócsillagászat a közeli és távoli égitestekről hozzánk érkező rádióhullámok révén kutatja a Világegyetem titkait, addig a radarcshellagászat a Naprendszer egyes égitesteire bocsátott, majd azokról visszaverődő rádióhullámok segítségével igyekszik felfedni azok tulajdonságait” [11].

A radarcshellagászat történetírói Bay Zoltánt e tudományág szülőatyjának tartják és nevezik [12].

Kevesen tudják azt, hogy Bay csoportja már a II. világháború alatt megkezdte a Hold távolságára vonatkozó méréseket (3. ábra). Akkoriban jól ismert volt, hogy Bay doktor megvizsgálta a mikrohullám terjedését a légkörben és visszaverődéseit az ionoszférából. Gyermekkora óta az volt az álma, hogy megmérje a Föld–Hold-távolságot [13]. Bay Zoltán néhány további kiemelkedő tudományos eredménye [11]:

- 1938-ban Bay volt a világon az első, aki elektronsokszorozójával egyes elektronokat tudott észlelni. A fotoelektron-sokszorozót többek között a gamma-spektruskópiában használták;
- 1938-ban megszervezte a Budapesti Műszaki Egyetemen az Atomfizika Tanszékét a Tungsram támogatásával;
- kimutatta a fénysebesség állandóságát, frekvenciafüggetlenségét;
- 1965-ben beterveztett javaslata alapján a Súlyok és Mértékegységek Nemzetközi Konferenciája 1983-ban az űrtechnikai igényeknek megfelelő, új méterdefiniációt fogadott el: „A méter a fény által a vákuumban a másodperc 1/299 792 458 része alatt megtett távolság.” A hossz mérés egységét tehát időmérésre vezeti vissza, a fény sebességének állandó voltát feltételezve.

A nanoszekundum pontosságú időmérési eljárások kidolgozásával és az új méter definiálásával hozzájárult a mesterséges holdakon alapuló helymeghatározás és navigáció kialakulásához, így a GPS és hasonló rendszerek megalapozásához. Nem véletlen, hogy Bay már 1946-ban felvetette a mesterséges holdakon alapuló távközlés lehetőségét.

1946 és 1948 között tudományos munkásságának elismeréséül megválasztották a Magyar Tudományos Akadémia Matematika és Természettudományi Osztálya elnökének.

Űrkutatásunk Bay Zoltán sikeres holdradarkísérletét követően egy évtizeddel később a hőskor műholdjainak optikai, majd fotografikus megfigyelésével folytatódott, amihez a Föld felső légkörének kutatása kapcsolódott. Időközben fiatal mérnökök és mérnökhallgatók rakétaépítéssel és műholdak rádióadásának vételével próbálkoztak, de munkájukat politikai okokból ellehetetlenítették.

Jelentős kihagyás után az űrkutatással foglalkozó első magyar szervezetek az ötvenes évek közepétől alakultak meg, többségében természettudományos és műszaki tudományos ismeretterjesztő társaságokon belül.

A BME-n egyetemi hallgatók Ferencz Csaba irányításával 1961-ben megalapították az első űrkutatási csoportot, Rakétatechnikai TDK néven, amely részt vett műholdak rádiókövetésében, űreszközök elektronikájának és mechanikájának tervezésében, rakétakísérletekben és a telemetriai adatok regisztrálásában. A csoport egy saját tervezésű rádiós megfigyelőállomást hozott létre a Hármashatár-hegyen. 1965. március 20-án itt hajtották végre az első hazai tudományos célú, rádiós műholdkövetést. Ugyancsak saját fejlesztésű berendezéssel Ferencz Csaba és csoportja 1966-ban Közép-Európában elsőként vette meteorológiai holdak APT-képeit. A meteorológiai műholdak felhőképeinek vétele és feldolgozása a hazai műholdas meteorológia kialakulásának kezdete [10].

Az ötvenes évek végétől a világűr jellemzőit és a felső légkör tulajdonságait mérték a magyar szakemberek. Az eszközöket is itthon fejlesztették ki. 1958-ban a Szovjet Tudományos Akadémia felkérésére az MTA Csillagvizsgáló Intézete megkezdte a mesterséges holdak átvonulásának vizuális megfigyelését Baján, Budapesten, Miskolcon és Szombathelyen. 1962-től a felső légkör változásainak megfigyelésére szerveződött nemzetközi program (INTEROBS) koordinátora Magyarország volt. 1966-tól a Budapesti Műszaki Egyetem Űrkutató Csoportja rádiós műholdmegfigyeléssel, űreszközök elektronikájának és mechanikai szerkezeteinek tervezésével foglalkozott. Magyarországot 1959-ben felvették a Nemzetközi Aeronautikai Szövetségbe (IAF), 1962-ben pedig a COSPAR-ba (Tudományos Szövetségek Nemzetközi Tanácsa [ICSU] Űrkutatási Bizottsága). A többi szocialista országgal együtt 1967-ben Magyarország is aláírta a Szovjetunió által kezdeményezett Interkozmosz együttműködést [4].

3. Magyar űrkutatók nemzetközi űrkutatási projekteken

Mesterséges holdakat és űrszondákat, illetve azokon elhelyezett mérőműszereket az első évtizedekben csak a két nagyhatalom, az Amerikai Egyesült Államok és a Szovjetunió fejlesztett ki és bocsátott fel. Más országok – így Magyarország is – csupán a mesterséges égitestek optikai és rádiós megfigyelésébe, az űreszközök mérési eredményeinek tudományos feldolgozásába kapcsolódhattak be [10].

Ezt követően az első jelentősebb fellendülést Magyarország az Interkozmosz programhoz csatlakozása hozta. Föld körüli pályára kerülhettek az első magyar passzív mérőműszerek, majd az egyre bonyolultabb elektronikus eszközök. Két okból is fordulópontot jelentett 1980-ban – ugyancsak az Interkozmosz keretében – az első magyar űrhajós egyhetes küldetése a Szaljut-6 szovjet űrállomás fedélzetén.

A magyar szakemberek ekkor olyan tartalmas tudományos programot állítottak össze Farkas Bertalan számára, amely évtizedekre meghatározta a hazai űrkutató fő tevékenységi területeit. Nemzetközileg is elismert munka kezdődött többek közt az űrdozimetria, az űrellettan, a távérzékelés és az anyagtudományok területén. Az Interkozmosz programban a hazai közreműködés másik csúcspontját az jelentette, amikor a Vega űrszondák fedélzetén jelentős magyar tudományos műszerek jutottak el a Föld körüli pályán túli térségbe is.

A KFKI szakemberei a Budapesti Műszaki Egyetemen (BME) együttműködve elkészítették a Vénusz bolygót és a Halley üstököszt 1985–1986-ban vizsgáló űreszköz tv-elektronikáját és vezérlő számítógépét. A MIR űrállomáson ma is használják a Mikroszvit számítógépes rendszert, amelyet magyar és szovjet szakemberek közösen fejlesztettek ki [4].

Az Interkozmosz program lezárulása után az 1990-es évektől kezdve megtettük az első lépéseket az Európai Űrügynökség (ESA) felé, miközben más irányokban is szélesítettük nemzetközi kapcsolatainkat. Ennek köszönhetően több tucat újabb berendezés jutott különböző országok űreszközein a világűrbe, európai együttműködő államként pedig az ESA számos programjába kapcsolódhattunk be.

Az Egyesült Államokban élő Pavlics Ferenc² vezetésével fejlesztették ki az 1971. évi Apollo űrhajóval felbocsátott NASA-holdjárművet, a Lunar Roving Vehicle-t (LRV). A szintén Amerikában élő Bejczy Antal komoly részt vállalt a Sojourner, az 1997. évi Nyomkereső (*Pathfinder*) Mars-űrszonda távirányításos kis járművének fejlesztésében.

Az Amerikai Űrkutató Hivatal (NASA) tesztelte az úgynevezett űrkegencét, amelyet a Miskolci Egyetemen fejlesztettek ki a NASA-val kötött együttműködés keretében. Az űrkegencé valószínűleg a jövő évezred elején kerül a világűrbe. A műszer segítségével a súlytalanság állapotában (pontosabban mikrogravitációs körülmények között) megolvasztják, majd újrakristályosítják az anyagokat, és ennek következtében új ötvözeteket hozhatnak létre.

1992 óta működik az MTA Csillagászati Kutatóintézetében a NASA planetáris adatbázisának európai alközpontja, amely a Naprendszer apróbb égitestjeinek adatait tartalmazza [4].

4. A magyar űrkutató napjainkban

Magyar kísérleti eszközök és berendezések kerülhettek a Nemzetközi Űrállomásra, 2012-ben pedig európai hordozórakéta állította pályára Magyarország első műholdját. Míg korábban a világűrbe kerülő berendezések kutatóintézetekben és egyetemeken készültek, e negyedszázad fontos eredménye volt, hogy megjelentek az első önálló űripari cégek is nálunk.

A második jelentősebb fellendülés 2015-ben kezdődött, amikor Magyarország az ESA teljes jogú tagállama lett. Ennek köszönhetően jelentősen bővültek a hazai űrtevékenység anyagi forrásai, az ESA felzárkóztatást segítő programja keretében pedig magasabb szintre emelkedett a hazai közreműködők részvétele az európai programokban. Eközben stratégiai cél nemzetközi kapcsolataink szélesítése. Folyik a hazai űrtevékenység tartalmi szélesítése és megerősítése, ennek érdekében stratégiai célunk, hogy anyagi lehetőségeinket figyelembe

² Pavlics Ferenc, gépészmérnök, aki évtizedeken át a General Motors mérnökeként az autóiparban dolgozott. Az 1960-as években a NASA alvállalkozójaként ő volt annak a holdjárónak a főkonstruktor, amellyel az Apollo-15, -16 és -17 küldetések űrhajósai a Holdon közlekedtek. A jármű kerekének különleges technikai megoldása az ő szabadalma [14].

véve az ESA egyre több önkéntes programjába kapcsolódjunk be, elsősorban a társadalom számára a legtöbb közvetlen hasznot hozó területeken [15].

Bagil László több díjnyertes asztrofotójával szerzett hírnevet Magyarországnak a világban (4. ábra). Aki további távoli csodákban szeretne gyönyörködni, érdemes Bagil László honlapját, a www.bagil.hu-t is felkeresnie.



4. ábra

A nap csillagászati képe a NASA-nál (Bagi László magyar asztrofotós alkotása) [16]

A kutatók a magyar kutatóintézetekben is egyre nagyobb számban fordultak a világűr felé. Napjainkban a magyar szervek és intézmények három szakterületen folytatnak az űrkutatással kapcsolatos tevékenységet. Ezek a szakterületek az űrtudomány, az űralkalmazások és az űrtechnológia területei. E meghatározások szerinti szakterületeken a 2020-as helyzetet figyelembe véve, Magyarországon az alábbi szervezetek tartanak kapcsolatot a KKM Űrkutatásért és Űrtevékenységért Felelős Főosztályával [15].

Az Admatis Kft. szerkezeti/termikus tervezést végez űripari projektekben. Minden ESA-követelménynek megfelel. A cég CAD-, VEM-modellezéssel, 3D méréssel, többrétegű hőszigeteléssel, TVC-működtetéssel, szereléssel, tisztaszobai tevékenységgel is foglalkozik. 2009 óta szállít TRL9 szinten kvalifikált űrberendezéseket műholdakhoz. Vevői közt az ESA, az Airbus, a Thales Alenia Space és a RUAG szerepelnek [17]. Az Aedus Space Kft. 2014-ben alakult. Nagy tapasztalattal rendelkezik lézertechnológia tervezésében, folyamatfejlesztésben és anyagtudományban. Jelen van az energetikában, űriparban, védelmi és orvosi iparban, különös tekintettel a sugárvédelmi anyagok és alkalmazások fejlesztésére és gyártására [18].

Az Airbus DS GEO Hungary Kft. távérzékelési adatok előállítására (űrfelvételek), széles körű feldolgozására, hasznosítására, valamint a képi információkra épülő értéknövelt termékek

létrehozására vállalkozik. Ennek érdekében nagy kapacitású szerverparkot és hatékony képfeldolgozó rendszereket üzemeltetnek [19].

1. táblázat
Hazai szervezetek az űrkutatás területén. [15, p. 63]

Admatis Kft.	Aedus Space Kft.
Airbus DS Geo Hungary Kft.	Atommagkutató Intézet
Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.	BHE BONN Hungary Elektronikai Kft.
BL-Electronics Kft.	Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
BME Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék	BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék
C3S Elektronikai Fejlesztő Kft.	Cosima Kft.
CSFK Földtani és Geokémiai Intézet	CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet
CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet	DE-SPACE Debreceni Egyetem Űrkutatási Program
ELKH-Miskolci Egyetem Anyagtudományi Kutatócsoport	ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Űrkutató Csoport
Energiatudományi Kutatóközpont	Envirosense Hungary Kft.
EKE Planetológiai és Műholdas Földmegfigyelő Kutatócsoport	GEOADAT Kft.
Geo-Sentinel Kutató, Szolgáltató és Tanácsadó Kft.	Goodwill-Trade Kft.
H-ION Kutató Fejlesztő és Innovációs Kft.	Innobay Hungary Kft.
Innostudio Zrt.	Isotoptech Zrt.
Julius-Globe Kft.	Lechner Tudásközpont Területi, Építészeti és Informatikai Nonprofit Kft.
Magyar Asztronautikai Társaság	MBFSZ, Geofizikai Observatóriumi és Alapkutatási Osztály
Magyar Csillagászat Nonprofit Kft.	Matmod Kft.
Országos Meteorológiai Szolgálat	Óbudai Egyetem Geoinformatikai Intézet
PCB Design Kft.	REMRED Technológia Fejlesztő Kft.
SGF Technológiai Fejlesztő Kft.	Space Apps Kft.
Szegedi Tudományegyetem Nemlineáris Dinamika és Kinetika Csoport	Szegedi Tudományegyetem Repülő- és Űrorvosi Tanszék
TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet	Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske- és Magfizikai Intézet
Wigner Fizikai Kutatóközpont Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet	Hiventures Kockázati Tőkealap-kezelő Zrt.
HATP Magyar Repülő és Űrtechnológiai Platform	HUNSPACE Magyar Űripari Klaszter

Az Atommagkutató Intézet alaptevékenysége a természet törvényeire irányuló kutatás: atom-, molekula-, mag- és részecskefizika, valamint ezek alkalmazásai, a korszerű laboratóriumokban folyó környezet-, ionnyaláb-analitikai és felületfizikai kutatások. Részecskegyorsító Központjában van a hazai kutatási célú iongyorsítók túlnyomó része. Az ionválaszték átfogja az 500 eV–20 MeV energiatarományt [20].

A Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. elsősorban a hazai vállalatok versenyképességének és hatékonyságának segítésére törekszik sikeres innováció, illetve technológiatranszfer révén, együttműködésben hazai és külföldi partnerintézményekkel [21].

A BHE BONN Hungary Elektronikai Kft. fő tevékenysége RF és mikrohullámú részegységek, berendezések és rendszerek fejlesztése és gyártása a távközlési, védelmi, repülő- és űripar

részére, főként nemzetközi vevői és partneri kört célozva. A BHE mérnökei által tervezett és gyártott berendezések megtalálhatók a Nemzetközi Űrállomáson, repülőgépek fedélzetén, műholdkövető földi állomásokon és modern távközlési rendszerekben. Ma a BHE világszerte közel 30 országban van jelen, és exportja gyorsan növekszik. A fő referenciák között vannak a mobilszolgáltatók, az indiai és a nyugat-európai repülőgépipar és a védelmi ipar. Technológiája révén a BHE komplex polgári biztonsági megoldásokat is kínál, amelyek a pilóta nélküli járműrendszertől a modern távközlés számos területéig terjednek [22].

A BL-Electronics Kft. 1991-ben alakult, és technológiai és fejlesztési háttértámogatást nyújt tudományos intézeteknek és laboratóriumoknak a kutatásaikhoz kapcsolódó műszerek és berendezések kifejlesztésével és kivitelezésével [23].

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen már évtizedek óta kutatóműhelyek egész sora végez űrkutatással kapcsolatos tevékenységet, az elméleti kutatástól a különféle eszközök és szolgáltatások gyakorlati megvalósításán át az űrtechnológiai és űrfizikai ismeretek oktatásáig [24].

C3S Elektronikai Fejlesztő Kft. a nemzetközi nanoműholdipar jelentős szereplője, amely űripari igényeket és tudományos kísérleteket egyaránt kiszolgál. Tevékenysége lefedi a 3-16U méretű, skálázható, nagy megbízhatóságú nanoműholdas platform- és alrendszer-tervezést, felbocsátás előtti szimulációk, szoftver és hardver, valamint küldetésoperációs környezet biztosítását [25].

A Cosima Kft. műholdak felvételsorozatainak kvantitatív kiértékelésén alapuló, innovatív megoldásaival többletnyereséget nyújt alkalmazóinak a mezőgazdaságban [26].

CSFK Földtani és Geokémiai Intézet eredetileg a geokémiai vizsgálatok fejlesztése céljából jött létre. Azóta jelentős bővüléssel egyedi hazai laboratóriumi kapacitást képvisel. A műszeres fejlesztések és kutatómunka űrszondás detektorok tesztelésében, földi referenciamérések kivitelezésében zajlanak, jelenleg az ExoMars rover, a Hera, a Comet Interceptor és az MMX űrszondák támogatása céljából [27].

CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet fő tevékenysége a geofizikai és geodéziai alap kutatás, amelynek számos földtani és űrkutatási vonatkozása is van [28].

CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet alap kutatásokat végez csillagászati és asztrofizikai témákban, erős űrcsillagászati dominanciával [29].

A Debreceni Egyetemnek hat kutatócsoportja vesz részt a DE SPACE programban, amelynek keretében az űrutazás emberi szervezetre kifejtett hatásait, valamint technikai feltételeit vizsgálják [30].

Az ELKH – Miskolci Egyetem Anyagtudományi Kutatócsoport 1996-ban alakult, és fő tevékenysége az ötvözetekben lezajló fázisátalakulások, kiemelten a kristályosodási folyamatok vizsgálata és szimulációja [31].

Az ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Űrkutató Csoport az 1960-as évek közepén alakult, és megalakulása óta egyik fő kutatási iránya az űrfizika, ezen belül az elektromágneses hullámterjedés mágnesezett plazmákban [32].

Az Energiatudományi Kutatóközpontnak 1970 óta már közel 80 eszköze jutott fel a világűrbe [33].

Az EnviroSense Hungary Kft. fő tevékenysége a különböző távérzékelési eljárások (légi, UAV, műhold) alkalmazási lehetőségeinek feltárása különböző szakterületek számára [34].

Az EKE Planetológiai és Műholdas Földmegfigyelő Kutatócsoport 2019 elején alakult, csillagászat, asztrofizika és meteorológia kompetenciákkal [35].

A Geodat Kft. minőségi szolgáltatásokat nyújt térinformatikai adatbázisaikhoz közművek, mezőgazdaság, területi igazgatás, minőségbiztosítás, földmegfigyelés szakterületén [36].

A Geo-Sentinel Kutató, Szolgáltató és Tanácsadó Kft. meghatározó szerepet tölt be a pontos deformációmegfigyelési szolgáltatások területén [37].

A Goodwill-Trade Kft. 1993 óta vákuumtechnikával összefüggő, speciális, egyedi célbevezetések tervezésével és kivitelezésével foglalkozik [38].

A H-ION Kutató Fejlesztő és Innovációs Kft. 2017-ben kezdett foglalkozni az anyagterületek űripari vonatkozásaival [39].

Az Innobay Hungary Kft. egy 2011 óta működő, független, integrált innovációs szolgáltató vállalkozás [40].

Az Innostudio Zrt. a ThalesNano/Darholding Csoport tagja, amely egyike a legnagyobb közép-európai innovatív technológiai hálózatoknak [41].

Az Isotoptech Zrt. fő profilja a természettudományi, műszaki kutatás-fejlesztés [42].

A Julius-Globe Kft. 2800 m² alapterületű, modern gépparkkal rendelkező üzemében 1998 óta precíziós CNC-megmunkálással (marás, esztergálás, köszörülés, szikraforgácsolás), mérőeszközök, gyártósorok, szerelő- és mérőkészülékek tervezésével, gyártásával foglalkozik, az űr-, energia-, elektronikai, autó-, csomagoló-, műanyag-, orvosi műszertechnikai, high-tech-, dohány- és nyomdaipar számára [43].

A Lechner Tudásközpont Területi, Építészeti és Informatikai Nonprofit Kft. rendkívül széles körű szakértelemmel rendelkezik a távérzékelés, űrgeodézia (GNSS, InSAR), kataszter, földmérés és térségi tervezés területén [44].

A Magyar Asztronautikai Társaság közhasznú egyesület, amelynek célja a világűrrel kapcsolatos szakmai ismeretek terjesztése [45].

Az MBFSZ, Geofizikai Observatóriumi és Alapkutatási Osztály 2017-ben alakult, az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, a Magyar Állami Földtani Intézet és a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal fokozatos egyesülésével. Az MBFSZ az űrkutatás téma keretében mindenekelőtt a Nap–Föld fizikai kölcsönhatásokat, a Föld mágneses terének időbeni változásai és a Föld körüli térség állapotváltozásai közötti kapcsolatokat vizsgálják [46].

A Magyar Csillagászat Nonprofit Kft. a világűrrel kapcsolatos műszaki, tudományos, valamint ismeretterjesztési tevékenységet végző nonprofit cég, amely megalapítása után létrehozta a Svábhegyi Csillagvizsgáló Interaktív Csillagászati Élménközpont műszaki eszközparkját, részben saját fejlesztések keretében [47].

A Matmod Kft. fő tevékenységi területe űrmissziók alumínium alkatrészeinek környezetkímélő felületkezelése, a technológiafejlesztés infrastruktúrájának biztosítása [48].

Az Országos Meteorológiai Szolgálat központi költségvetési intézmény, meteorológiai, levegőkörnyezeti és éghajlati információkat szolgáltat, valamint a szélsőséges időjárási riasztások hiteles forrása [49].

Az Óbudai Egyetem székesfehérvári Geoinformatikai Intézetében a földmegfigyelés, távérzékelés területén folynak különféle kutatások [50].

A PCB Design Kft. egy elektronikai tervezéssel foglalkozó mérnökiroda [51].

A Remred Technológia Fejlesztő Kft. célja űralkalmazási, elsősorban az űridőjárás és a kozmikus sugárzás kutatására alkalmas technológiák, módszerek, szoftverek kifejlesztése, tesztelése és alkalmazása hazai, valamint nemzetközi ipari felhasználók részére [52].

Az SGF Technológiai Fejlesztő Kft. elsősorban űrkutatási tudományos kísérletek fedélzeti műszereinek támogatására fejleszt nagy megbízhatóságú fedélzeti vezérlő és adatgyűjtő rendszereket, valamint azok földi ellenőrző berendezéseit 1996 óta [53].

A Space Apps Kft. a távérzékelés, IoT, gépi tanulás és webalapú technológiák térnyerése által létrejött új szolgáltatási, piaci lehetőségeket tesz elérhetővé [54].

A Szegedi Tudományegyetem Nemlineáris Dinamika és Kinetika Csoport 2012-ben sikerrel vett részt az ESA által koordinált 56. parabolarepülési kampányban. A tapasztalatokat felhasználva, optimalizált kísérleti körülményekkel a CDIC-3 modul a CHYPI-MARCHE kísérlet keretében részt vett a 2015. december 1-jén sikeresen indított MASER-13 szuborbitális rakétarepülésen [55].

A Szegedi Tudományegyetem Repülő- és Űrorvosi Tanszéke 2000 óta oktatja és kutatja a repülő- és űrorvoslással kapcsolatos élettani és pszichológiai problémákat, a hazai szakorvosképzés bázisa, tudományos ismeretterjesztést végez. Jelenleg a Honvédelmi Minisztérium és a Szegedi Tudományegyetem közötti szakmai együttműködés keretében az EU, az ESA és az MTA felé benyújtott pályázatokban működnek közre [56].

A TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet fő funkciója a pszichológiai és a hozzá kapcsolódó idegtudományi alapkutatás [57].

A Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske- és Magfizikai Intézet az űrkutatás területén űrfizikával, nagy megbízhatóságú fedélzeti műszerekhez, rendszerekhez, illetve azok földi ellenőrző berendezéseikhez kapcsolódó hardver és szoftver fejlesztésével foglalkozik [58].

A Wigner Fizikai Kutatóközpont Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet feladata számítógépes anyagtudományi háttér biztosítása mikrogravitációs anyagtudományi kísérletekhez [59].

A Hiventures Kockázati Tőkealap-kezelő Zrt. Kelet-Közép-Európa egyik legnagyobb kockázati tőkealap-kezelőjeként európai uniós és saját forrásból több mint 271,4 milliárd forintnyi tőkével segíti a hazai kis- és középvállalkozói szektort, valamint a startupokat inkubációs, magvető és növekedési befektetési életszakaszokban [60].

A HUNSPACE Magyar Űripari Klaszter 2007-ben alakult, hogy a magyar űrorientált szervezeteket összefogja és képviselje érdekeit belföldön és külföldön egyaránt [61].

Miniszteri biztosi szintre emelkedett az űrtevékenység képviselője a kormányzaton belül, a külgazdasági és külügyminiszter ugyanis 2018. november 1-jei hatállyal Ferencz Orsolyát űrkutatásért felelős miniszteri biztossá nevezte ki. Feladatkörébe tartozik, hogy gondoskodik az űrkutatási tárgyú szerződések, a szükséges szabályozás kidolgozásával, a szerződések előkészítésével, egyeztetésével kapcsolatos feladatok ellátása. Felügyeli továbbá az űrkutatás fejlesztésére vonatkozó stratégiák, szakpolitikák összehangolását és megvalósítását, képviseli a Kormányt a hazai és nemzetközi űrkutatási szervezetekben és fórumokon, és tudományos-szakmai irányítást gyakorol az űrkutatásért Felelős Főosztály tevékenysége felett [62].³

4.1. Magyar műholdak az űrben

Az első űrbe küldött hazai műhold a Masat-1 volt [63]. A mintegy öt éves fejlesztés eredményeként elkészült eszközt 2012. február 13-án indították útnak, és csaknem három éven át

³ A 20/2019. (XI. 14.) KKM utasítás értelmében 2019. november 1-jétől meghosszabbították újabb egy évre a miniszteri biztos megbízatását.

kiválóan működött. Számos csúcspont megdöntött az 1061 napig a Föld körül keringő Masat-1, de egyszer minden csoda véget ér. 2015 januárjában a légkör sűrűbb rétegeit elérve megsemmisült az első magyar műhold.

Az akkori sikeren felbuzdulva több magyar eszköz fejlesztése kezdődött egymással párhuzamosan. A SMOG-P miniműhold fejlesztése 2014-ben indult a Műegyetemen, végül két éves késéssel 2019. december 6-án startolt el Új-Zélandról. Küldetését 2020. szeptember 28-án sikeresen befejezve elégett a légkörben. A SMOG-P-re több szempontból is világszenzációként tekintenek. Ez volt a világ első működő 1-PocketQube méretű, vagyis $5 \times 5 \times 5$ cm-es műholdja. Élettartamát három hónapra tervezték, de még nyolc hónappal az indítás után is teljes kapacitással üzemelt. A rendszerek és a tartalékegységek jól funkcionáltak, áramköri meghibásodást nem tapasztaltak a fejlesztők. Végül csaknem 10 hónapig tartott a misszió [64].

A SMOG-P-vel egyszerre indult a nála kétszer nagyobb ($5 \times 5 \times 10$ cm-es) ATL-1, a teljes egészében magánvállalkozásban, a SMOG-csapat bevonásával kifejlesztett hazai műhold. Ez az eszköz is bőven meghosszabbítva a tervezett időszakát teljesítette küldetését, majd pályáját lerövidítve tavaly októberben a légkörbe ért és elégett.

A Bajkonuri Űrközpontból induló Fregat végfokozattal szerelt orosz Szozjuz-2.1a hordozórakéta elsődleges hasznos terhe a dél-koreai CAS-500-1 műhold, amelyen kívül még 37 űreszközt állított Föld körüli pályára. A SMOG-1-et a 32 kg-os olasz Unisat-7 műhold indította útjára március 24-én a kora délutáni órákban egy automatizált kidobószerkezet segítségével, öt másik kisműhold társaságában, 550 km magasságban [65].

A SMOG-1 is a Budapesti Műszaki és Gazdasági Egyetem oktatóinak irányításával, egyetemi hallgatók aktív részvételével, szponzorok támogatásával készült. Újdonsága, hogy egy fékező hatású szerkezetet tettek a napelemek alá, ami várhatóan lecsökkenti a 18–25 éves pályaelettartamot, így minimalizálva azt az időt, amelyet űrszemétként tölt a Föld körül a műhold, miután befejezi aktív küldetését [66].



5. ábra

Szozjuz-2.1a típusú teherűrhajó indulása Bajkonurból, 2021. március 22-én [67]

A Szozjuzsal jutott a világűrbe a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) hallgatóinak és oktatóinak új űreszköze, a SMOG-1 zsebműhold, amely az UNISAT-7 olasz műhold fedélzetéről áll pályára. A magyar űreszköz a világ első működő $5 \times 5 \times 5$ cm-es (1 PocketQube) méretű kisműholdjának, a SMOG-P-nek az ikertestvére. Elsődleges küldetése a Föld körüli térségben mérhető, ember által keltett elektromágneses szennyezettség, az elektroszmog vizsgálata. Másodlagos küldetesként egy totálionizáló dózismérő került a fedélzetre, amellyel a Napból érkező részecskék elektronikára gyakorolt hatását vizsgálja az űreszköz.

Az orosz űrhajón indult az űrbe a magyar–szlovák–japán projekt keretében készült GRBAlpha nevű kisműhold is, amelynek tervezője és projektvezetője az Eötvös Loránd Kutatási Hálózat Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpontja. A $10 \times 10 \times 10$ cm-es, gammasugárzás-detektorral felszerelt kockaműhold az első, kísérleti példánya egy nagyszabású csillagászati műhold hálózatnak, amelynek segítségével igen pontosan azonosítani lehet majd a gammakitörések forrását (5. ábra).

5. Összefoglaló megállapítások

Büszkeséggel kell hogy eltöltsenek a múlt sikerei, de a jövőre is figyelniük kell. Napjainkban már az egyetemi fiatalok is komoly lehetőséget kaptak az űrkutatási fejlesztésekbe való bekapcsolódásra. A hallgatók és a fiatal oktatók az első magyar műholdak kifejlesztésében vállaltak és vállalnak szerepet. Külön öröm, hogy immáron a Nemzeti Közszolgálati Egyetem is igyekszik bekapcsolódni ebbe a folyamatba a Világűr Társadalomtudományi Kutatóműhely 2020. szeptemberi létrehozásával.⁴

Kétségtelen az, hogy több évszázad hazai űrtevékenységét nem lehet néhány szóval összefoglalni. És ugyanígy hosszú lista kellene az űrkutatásban itthon és külföldön dolgozó magyarok összes eredményének ismertetésére. Remélem ugyanakkor, hogy ezzel a rövid megemlékezéssel és ismertetéssel is sikerült sok olvasó érdeklődését felkelteni a magyar űrkutatás iránt.

Felhasznált irodalom

- [1] Digitális Képtár, „Bay Zoltán,” Online: <https://dka.oszk.hu/html/kepoldal/index.phtml?id=60802>
- [2] Bay Z., *Az élet erősebb*. Debrecen–Budapest, Csokonai–Püski, 1990.
- [3] Digitális Képtár, „Hevesi Erzsébet és Vermes Anna bélyeggyűjteménye,” Online: <https://dka.oszk.hu/html/kepoldal/index.phtml?id=60802>
- [4] MTI, Magyarok az űrkutatásban, *Origo*, 2000. május 26. Online: www.origo.hu/tudomany/20000526magyarok.html
- [5] Wikipedia, a szabad enciklopédia, *Konkoly-Thege Miklós*. Online: https://hu.wikipedia.org/wiki/Konkoly-Thege_Miklós
- [6] „A Hell és Sajnovics tudományos pályafutásában meghatározó jelentőségű hely: Waardöhuus (Vardø) egyik korai látképe. Hans Hansen Lilienskiöld (1650–1703) Speculum

⁴ Lásd erről bővebben például a *Jogok, szabályok és lehetőségek a világűrben* című cikket [68].

- Boreale (1694) c. művéből," in Hadobás S., *Hell Miksa és Sajnovics János bibliográfiája*. Rudabánya, Érc- és Ásványbányászati Múzeum Alapítvány, 2008. Online: <http://real-eod.mtak.hu/1264/1/06237.pdf>
- [7] Szabó J., „Magyarország és az űrkutatás," *Hadmérnök*, 13. évf. 3. sz. pp. 295–305. 2017. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2017.3.26>
- [8] Wikipédia, a szabad enciklopédia, *Hell Miksa*. Online: https://hu.wikipedia.org/wiki/Hell_Miksa
- [9] Simonyi K., *A fizika kultúrtörténete*. Budapest, Gondolat, 1978. p. 223.
- [10] A magyar űrkutatás kezdetei. In Fábry Gy. (szerk.), *Magyarország a XX. században*. Online: <http://mek.oszk.hu/02100/02185/html/630.html>
- [11] Balogh Gábor 75 éve érintette meg Bay Zoltán a Holdat. *Újpest Média*, 2021. február 6. Online: <https://ujpestmedia.hu/75-eve-erintette-meg-bay-zoltan-a-holdat/>
- [12] Bay Zoltán Kutatóintézet, *Névadónk*. Online: www.bayzoltan.hu/hu/tortenetunk-2/nevadonk/
- [13] I. Balajti, F. Hajdú, „Surprising Findings from the Hungarian Radar Developments in the Era of the Second World War," *The Radio Science Bulletin*, No. 358 September, pp. 82–108. 2016. Online: www.ursi.org/content/RSB/RSB_358_2016_09.pdf
- [14] Both E., A nemzetközi űrkutatásban való magyar részvétel, *Magyar Örökség*, é. n. Online: www.magyarorokseg.hu/fajlok/urkutatas_roid.pdf
- [15] *Hazai űrkörkép 2020*. Budapest, Magyar Asztronautikai Társaság, 2020. p. 63. Online: www.mant.hu/kiadvanyok/Urkorkep2020.pdf
- [16] NASA, *Astronomy Picture of the Day*. <https://apod.nasa.gov/apod/ap171102.html>
- [17] Admatis – Advanced Materials in Space, *History*. Online: <https://admatis.com/history/>
- [18] Aedus Space Kft. Online: www.aedusspace.com/aedusspace.html
- [19] Airbus, *Next-Level Cloud Processing in OneAtlas Provides Fast Access to Satellite Imagery*. Online: www.intelligence-airbusds.com/
- [20] Atommagkutató Intézet. Online: <https://atomki.hu/>
- [21] Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., *Vezetői köszöntő*. Online: www.bayzoltan.hu/hu/vezetoi-koszonto/
- [22] BHE BONN Hungary Elektronikai Kft., *About us*. Online: www.bhe-mw.eu/about-us
- [23] BL-Electronics Kft. Online: www.bl-electronics.hu/
- [24] BME, *Ismét magyar műhold az űrben: pályára állt és működik a SMOG-1*. 2021. március 25. Online: www.bme.hu/hirek/20210325/ismet_magyar_muhold_az_urben_palyara_allt_es_mukodik_a_SMOG_1
- [25] C3S Elektronikai Fejlesztő Kft., *About us*. Online: <https://c3s.hu/about-us/>
- [26] Pecze Zs., Hozammérés az űrből, szemléletes hozamterkép, azonnal használható adatok a precíziós gazdálkodásban! *Agro Napló*, 2020. augusztus 5. Online: www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2020/08/pr/hozammeres-az-urbol-szemleletes-hozamterkep-azonnal-hasznalható-adatok-a-precizios-gazdalkodásban
- [27] Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, *Földtani és Geokémiai Intézet*. Online: www.geochem.hu/
- [28] Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet. Online: <http://epss.hu/>
- [29] Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet. Online: <https://konkoly.hu/index.shtml>
- [30] DE-SPACE Debreceni Egyetem Űrkutatási Program. *New Technology*, 2020. július 31. Online: <https://newtechnology.hu/urkutatas-a-debreceni-egyetemen/>

- [31] Miskolci Egyetem, Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet. Online: www.matsci.uni-miskolc.hu/new/
- [32] ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Űrkutató Csoport. Online: <http://sas2.elte.hu/>
- [33] Energiatudományi Kutatóközpont, *Rólunk*. Online: <http://spacedosimetry.com/rolunk>
- [34] Envirosense Hungary Kft., *Rólunk*. <https://envirosense.hu/rolunk/>
- [35] Az Eszterházy Károly Egyetem Planetológiai és műholdas földmegfigyelő kutatócsoportja. Online: <https://uni-eszterhazy.hu/egyetem/m/tudomany/kutato csoportok/kari-kutato csoportok/ttk-kutato csoportok>
- [36] Geodat Kft., *Cégünk*. Online: <https://geodat.hu/cegunk/>
- [37] Geo-Sentinel Kutató, Szolgáltató és Tanácsadó Kft. Online: <https://geo-sentinel.hu/rolunk/>
- [38] Goodwill-Trade Kft., *Rólunk*. Online: www.goodwilltrade.hu/hu/rolunk
- [39] H-ION Kutató Fejlesztő és Innovációs Kft., *Bemutkozás*. Online: <https://hion.hu/bemutkozas>
- [40] Innobay Hungary Kft. Online: <https://norbertbabcsan.wixsite.com/website>
- [41] Innostudio Zrt. Online: <https://innostudio.org/about-us/>
- [42] Isotoptech Zrt. Online: www.isotoptech.com/hu/rolunk.html
- [43] Julius-Globe Kft. Online: www.jglobe.hu/Cegbemutato.html
- [44] Lechner Tudásközpont, *Bemutkozás*. Online: <http://lechnerkozpont.hu/oldal/bemutkozas>
- [45] Magyar Asztronautikai Társaság, *Rólunk*. Online: www.mant.hu/rolunk
- [46] MBFSZ, Geofizikai Observatóriumi és Alapkutatási Osztály. Online: www.mbfisz.gov.hu/index.php/kutatasi-projektek/urfizikai-kutatas
- [47] Svábhegyi Csillagvizsgáló. Online: www.svabhegyicsillagvizsgalo.hu/
- [48] MATMOD Kft. Online: www.matmod.eu/index.html
- [49] Országos Meteorológiai Szolgálat. Online: www.met.hu/omsz/tevekenysegek/
- [50] Óbudai Egyetem Geoinformatikai Intézet. Online: www.amk.uni-obuda.hu/index.php/hu/kutatas/740
- [51] PCB Design Kft., *Rólunk*. Online: <https://pcbdesign.hu/hu/rolunk/>
- [52] Remred Technológia Fejlesztő Kft. Online: <http://remred.space/home>
- [53] SGF Technológiai Fejlesztő Kft. Online: www.sgf.hu/index-H.html
- [54] Space Apps Kft. Online: www.space-apps.net/
- [55] Szegedi Tudományegyetem, *Nemlineáris Dinamika és Kinetika Csoport*. Online: www2.sci.u-szeged.hu/physchem/nld/index.html
- [56] Szegedi Tudományegyetem, *Repülő- és Űrorvosi Tanszék*. Online: www.klinikaiko zopont.u-szeged.hu/repulo/index_hu.htm
- [57] TTK Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet. Online: www.ttk.hu/kpi
- [58] Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske- és Magfizikai Intézet. Online: <https://wigner.hu/hu/urfizikai-es-urtechnikai-osztaly>
- [59] Wigner Fizikai Kutatóközpont Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet. Online: <https://wigner.hu/szilardtestfizikai-es-optikai-intezet>
- [60] Hiventures Kockázati Tőkealap-kezelő Zrt. Online: www.hiventures.hu/hu
- [61] HUNSPACE Magyar Űripari Klaszter. Online: <http://hunspace.org/>
- [62] 27/2018. (X. 30.) KKM utasítás miniszteri biztos kinevezéséről
- [63] Masat-1. Online: www.masat.space/2012/03/14/a-masat-1-elkeszitette-az-elsu-urfel-veteleket/

- [64] Ötvös Z., Újabb magyar mini műhold az űrben. *Magyar Nemzet*, 2021. március 22. Online: <https://magyarnemzet.hu/gazdasag/ujabb-magyar-minimuhold-az-urben-9549542/>
- [65] BME, Ismét magyar műhold az űrben: pályára állt és működik a SMOG-1. Online: www.bme.hu/hirek/20210325/ismet_magyar_muhold_az_urben_palyara_allt_es_mukodik_a_SMOG_1
- [66] Ötvös Z., Újabb magyar mini műhold az űrben. *Magyar Nemzet*, 2021. március 22. Online: <https://magyarnemzet.hu/gazdasag/ujabb-magyar-minimuhold-az-urben-9549542/>
- [67] MTI, Magyar műholdakkal startolt el egy Szójuz teherűrhajó. *Origo*, 2021. március 22. Online: www.origo.hu/tudomany/20210322-magyar-muholdakkal-a-fedelzetten-startolt-el-egy-szojuz-teherurhajo-bajkonurbol.html
- [68] Falyuna N., Jogok, szabályok és lehetőségek a világűrben. *Ludovika*, 2021. március 17. Online: www.ludovika.hu/podcast/2021/03/17/jogok-szabalyok-es-lehetosegek-a-vilagurben/

Jogforrások

27/2018. (X. 30.) KKM utasítás miniszteri biztos kinevezéséről

20/2019. (XI. 14.) KKM utasítás

Zoltán Bay Conducted the Moon Radar Experiment 75 Years Ago – The Beginnings and Present of Hungarian Space Activities

On 6 February 2021, we celebrated the 75th anniversary of Professor Zoltán Bay, professor of physics, and his team at the Tungstam research laboratory detecting the echoes of radar waves sent to the moon using a revolutionary new measurement technique. The world-famous experiment, carried out under harsh conditions after the war, also marked the beginning of Hungarian space activities and international radar astronomy. The significance of the lunar radar experiments was that they were the first scientific studies to be conducted on an extraterrestrial object. Knowledge of celestial bodies has been based solely on passive observations for millennia, but microwave technology has also made it possible to physically examine distant objects. In fact, it was at that time established that the Moon was an object with material characteristics, at a well-defined distance from Earth. There are currently a number of international space industry cooperation and research projects underway in Hungary, which create more and more significant Hungarian intellectual and technological added value every year. The Hungarian space research and space activity, which now boasts a history of more than 75 years, has serious potential. This study aims to present the main participants, projects, successes and results of Hungarian space activities from the beginning to the present day.

Keywords: *astronomy, astrophysics, radar astronomy, solar and solar system research, space activities, space applications, space industry, space research, space science, space technology, space telecommunications and navigation*

Novoszáth Péter (PhD) egyetemi docens Nemzeti Közszerológati Egyetem Államtudományi és Nemzetközi Tanulmányok Kar Közpénzügyi Tanszék novoszath.peter@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8755-6858	Péter Novoszáth (PhD) Associate Professor University of Public Service Faculty of Public Governance and International Studies Department of Public Finance novoszath.peter@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8755-6858
---	--



Merényi Vivien

A szaknyelvi kifejezések használata az Oroszországi Föderáció polgári repülésében

A rádió-távbeszélő kifejezések és a szakszargon pontos ismerete és helyes használata nélkülözhetetlen a léggépjármű-vezetők és a légitforgalmi irányítók munkájában. Megfelelő alkalmazás mellett lehetővé válik egy repülőtér számára a precíz munkavégzés, valamint a fel- és leszálló járművek biztonságos mozgása és közlekedése. Ezen területre az Oroszországi Föderációban különösen nagy hangsúlyt fektetnek, speciális szabályozások mellett.

Kulcsszavak: légitforgalmi irányítás, szaknyelv, adástechnika, fónia, orosz nyelvhasználat, Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet

1. A terminológia

A *The Languages and Publications* hosszú évek óta tolmácsolási, fordítási és szerkesztési szolgáltatásokat és segítséget nyújt a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet¹ számára, az ENSZ² jelenleg hivatalos, hat munkanyelvén: angol, orosz, francia, spanyol, kínai és arab.

Következésképpen nem csak az angol nyelv – mint nemzetközi kommunikációs nyelv – a teljesen elfogadott ezeken a területen, de nagyon fontos, hogy ki, mikor és miért használhatja anyanyelvét a munkájában, vagy mikor célszerű, vagy mikor *kötelező* angolul beszélni.

1.1. Az alkalmazás területe

Napjainkban összesen három típusú légitforgalmi irányítói egység létezik:

- TWR³ (repülőtéri irányító szolgálat): felelős a repülőtéri utazásért, lehetővé téve az érkező légi járművek számára a leszállást, és a felszállást az induló repülőgépek részére, valamint a taxiway⁴ működéséért, helyes használatáért;

¹ *International Civil Aviation Organization* (ICAO).

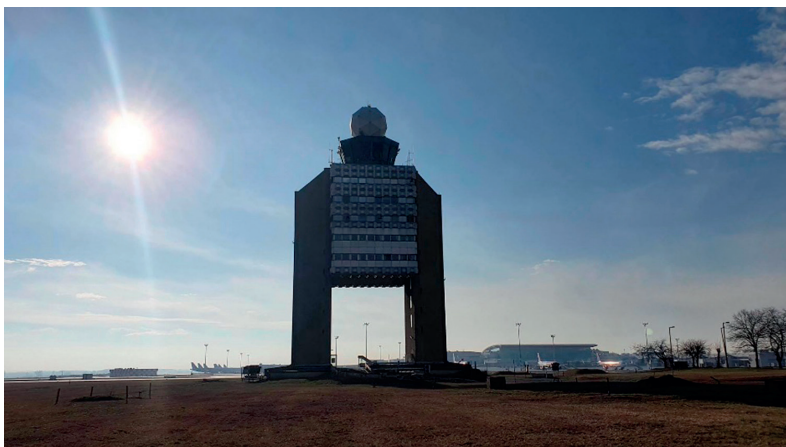
² Egyesült Nemzetek Szervezete.

³ *Tower* (Командно-диспетчерский пункт), vagy ahogy a szakszargon emlegeti *вышка* (tower).

⁴ Gurulót.

- APP⁵ (bevezető irányító szolgálat): figyelemmel kíséri a repülőtér körüli ellenőrzött légteret (TCA⁶). A felszálló gépeket a körzet vagy zóna határára irányítja, majd átadja az útvonal-ellenőrzésnek. Átveszi a leszálló repülőgépeket a körzeti irányítástól;
- ACC⁷ (körzeti légiforgalmi irányító szolgálat): biztosítja az ellenőrzött légtérben, a légi útvonalakon vagy azokon kívül eső repülőtereken, illetve az azokról induló repülőterek felett működő repüléseket.

Ezt a három irányítói egységet véve példaként: egy toronyban (TWR, 1. ábra) dolgozó légiforgalmi irányítónak van lehetősége a csak orosz nyelven folytatott kommunikációra, de csak abban az esetben, ha az a repülőtér, ahol dolgozik – ami nagyon fontos – nem rendelkezik nemzetközi státusszal. Ha az ellenőrzés egy nemzetközi repülőtéren történik – mint például a *Pulkovo repülőtér* (Szentpétervár) – akkor már kötelező a repülésben bármilyen módon részt vevő vagy az azt segítő személyek számára az angol nyelvű kommunikáció. Napjainkban hivatalos eljárások alapján az ACC már csak angolul tud – *egyértelműen kötelező számára* – információt átadni, nagyobb légteret és forgalomirányítási lehetőséget biztosítva számára.



1. ábra
Irányítótorony, Budapest [Karádi Dániel]

1.1.1. De mi a szakzsargon?

„A szakmai nyelvnek alapi szerkezete van, amelynek magját a nemzeti nyelv mintái szerint felépített egységek alkotják, azaz a terminológia a tudomány nyelvének kodifikált, rendszerezett része, amely normatív egységeket – hivatalos szakmai kifejezéseket és megnevezéseket – tartalmaz. A periférián vannak nem normatív egységek, kodifikálatlan szakmai szókincs – professionalizmus és szakzsargon, valamint interprofesszionizmus” [2, p. 27].

⁵ Approach Controller (диспетчер захода на посадку).

⁶ Terminal Control Area (узловой диспетчерский район).

⁷ Area Control Centre (Центр управления зонами).

Ez egyértelmű lehet abból adódóan, hogy a szaknyelv egyetlen nyelvi rendszer, amelyre minden szakmának és ágazatnak szüksége van. A nyelvi rendszer szerepe és helyzete tagadhatatlan, ezért a szaknyelv annyira „magánjellegű”, hogy csak az adott területen dolgozó emberek értik.

Az aviatikában a szaknyelv pontos és egyértelmű használata különösen fontos, mivel egy repülőtér és a légtér csak így működhet és létezhet hibátlanul. A szaknyelv nem ismerete vagy helytelen használata sok problémát okoz: baleset (halál), anyagi kár (repülőgépben, repülőtéren) stb.

1.2. A rádióösszeköttetések alapvető szabályai és a nyelvhasználat

„A levegő-föld közötti rádió-távbeszélő közleményváltásokat rendszerint a földi állomás által rendes körülmények között használt nyelven kell lefolytatni. A földi állomás által rendes körülmények között használt nyelv nem feltétlenül egyezik meg annak az állomásnak a nyelvével, ahol a földi állomás található. Amíg az általános használatra a légiforgalmi rádió-távbeszélőn folytatott kommunikációban egy erre a feladatra alkalmas közlési formát nem fejlesztenek ki és fogadnak el, addig lehetőség szerint az angol nyelvű kifejezéseket kell használni, és bármely, a nemzetközi légi közlekedés használatára kijelölt repülőtéren, útvonalon, vagy légtérben ilyen módon kell a légi járművek számára rendelkezésre állnia.

A földi állomás által rendes körülmények között használt, valamint a kérésre használható egyéb nyelveket közzé kell tenni a Légiforgalmi Tájékoztató Kiadványban (AIP⁸) [1, p. 1].

A rádió-távbeszélő kifejezések a kommunikáció eszköze a pilóták és a földi személyzet között. Az alaposan átgondolt, precíz információcsere hozzájárul a jobb tájékoztatáshoz, ez nagyban megkönnyíti a repülőgép biztonságos és hatékony üzemeltetését. A kommunikáció során mindig be kell tartani a legmagasabb fokú fegyelmet. Ezeket a kollokációkat mindig a szabvány szerint meghatározott módon szükséges alkalmazni.

Például:

- NATO⁹ fonetikus ábécé;
- ICAO repülésszaknyelvi angol.

1.3. Az orosz nyelv

Az angol és az orosz repülési szaknyelv folyamatosan változik a szakma folyamatos fejlődése és újításai miatt – ami angolul megjelenik, azt szintén oroszra kell fordítani, vagy szükség esetén újabb szót kell rá alkotni.

Példa gyanánt, az egyik legújabb irányzat a pilóta nélküli légi járművek – megvalósításuk, tesztelésük és üzemeltetésük sok olyan szót hoz magával, amelyekre még nincs megfelelő szakszó és kifejezés az orosz nyelvben; Oroszországban angol kifejezéseket használnak rá, például: drone (дрон). A pilóta nélküli repülőgép olyan légi jármű, amelyet úgy lehet alkalmazni, hogy a fedélzetén nincs irányítást végző személy. Az UAV bizonyos típusai közé tartoznak

⁸ Aeronautical Information Publication.

⁹ The North Atlantic Treaty Organization.

a rádióval vezérelt repülőgépek, drónok és távvezérelt sárkányok. Várhatóan ez a szerkezet sok új szakkifejezést fog hozzáadni az orosz repülési nyelvhez. Köztudott, hogy számos létező és nem használt alkalmazási terület van a drónok számára, ezért ezeket az orosz repülési szektorban is meg fogják jeleníteni.

1.4. A szaknyelvi környezet Oroszországban

„Voltaképpen megfigyelhetünk néhány különbséget, amelyeket a következők határoznak meg:

- a nyelv terjedelme;
- kommunikációs célok;
- a beszélő és a hallgató társadalmi jellemzői;
- a kommunikátorok személyközi kapcsolatai.

Általánosságban elmondható, hogy az aviatika nyelvezete a társadalom azon részét kiszolgáló nyelvként és nyelvi rendszerként tartható számon, amely egy nyitott szakmai rendszerhez, az Orosz Föderáció és az angol nyelvű országok légierőjének és polgári repülésének társadalmi környezetéhez kapcsolódik. A szóban forgó szakmai közösség elfogadja a társadalom egészében általánosan elismert viselkedési normákat, kiegészítve azokat sajátjaikkal, amelyek csak a légierő, a polgári repülésben foglalkoztatott személyek és a légi közlekedés alkalmazottainak szakmai társadalmára jellemzők.

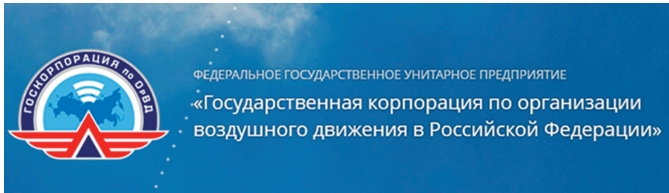
„A légierő és a polgári repülés ipari és technológiai komplexuma egy összetett infrastruktúra, amely a légvonalak hálózatán alapul, és amely közvetlenül kielégíti a katonai és polgári légi közlekedés igényeit” [2, p. 72].

1.5. A szaknyelvi képzés elmélete és módszertana

„A repülési nyelv oktatásának fő célja, hogy az aviatika oktatásában részt vevő bármely intézmény felmérje a kadétok szaknyelvi kompetenciáit és ez alapján tegye szükségessé – kötelezővé – a nélkülözhetetlen tudás megszerzését, a gyakran 4 éves alapképzés és szakmai orientációs képzés során. A legfontosabb szempontokat figyelembe véve nagy hangsúlyt fektetnek az olvasásra és a szövegértésre, valamint a fordítási gyakorlatokra is; emellett sok időt szentelnek arra, hogy repüléssel kapcsolatos szövegeket hallgassanak, ami bőségesen tartalmaz szakmai kifejezéseket – ilyenkor is mindent orosz nyelvről angolra fordítanak, szintén ismétlés céljából. Később megjelennek a »szakmai beszélgetések« is, ahol éles helyzetek meghallgatásából tanulnak a diákok: a pilóta és a légiforgalmi irányító kommunikációja. Ezek után a fóniát már csak angol nyelven tanulják és ezt lehetővé is teszi az előzőleges, alapos angol nyelvű felkészülés, felkészítés” [3].

A felsőoktatási intézmények minden lehetőséget megadnak az ismeretek megszerzésére, de a mai napig az a tendencia, hogy sok specialista elementáris nehézségekkel küzd már az alapvető angol nyelv elsajátítása közben, amiket nem minden esetben javítanak ki a szaknyelvi tanórák ideje alatt. Az Orosz Föderáció Légiforgalmi Szolgáltatásainak Állami Vállalata (2. ábra) – ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» – fontos szerepet tölt be a következő generációk oktatásának és munkájának felügyeletében, miáltal nekik is érdekük a minél jobb szakmai réteg biztosítása

az aviatikával foglalkozó vállalatok és a hazai légierő számára, emiatt külön szakmai programot is kínálnak, és országszerte több helyen lehetőséget biztosítanak a gyakorlatra is.



2. ábra
ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» [4]

Oroszországban a közép- és felsőfokú oktatást az alábbi intézmények biztosítják:

- Szentpétervári Állami Egyetem Polgári Repülési Kar (*Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации*);
- Szentpétervári Állami Polgári Repülési Egyetem Repülési és Közlekedési Főiskolája (*Авиационно-транспортный колледж Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации*);
- Szentpétervári Állami Polgári Repülési Egyetem Krasznojarszk kirendeltsége (*Красноярский филиал Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации*);
- Moszkvai Állami Polgári Repülés Műszaki Egyetem (*Московский государственный технический университет гражданской авиации*);
- Rylsk Repüléstechnikai Főiskola (*Рыльский авиационный технический колледж – филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации*);
- Uljanovszk Polgári Repülési Felsőoktatási Intézmény (*Ульяновское высшее авиационное училище гражданской авиации*);
- Omszki Polgári Repülés Repüléstechnikai Főiskola, A. V. Ljapidevszkij – az Uljanovszk Polgári Légi közlekedési Felső Repülési Iskola fióktelepe (*Омский летно-технический колледж гражданской авиации имени А. В. Ляпидевского – филиал Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации*).

Felhasznált irodalom

- [1] Farkas V., *Rádiótávbeszélő kifejezések a repülésben*. Budapest, HungaroControl, 2012.
- [2] М. Б. Казачкова, *Профессиональный язык как отражение профессиональной культуры*. Одинцово, Оргсервис – 2000, 2010.
- [3] Т. А. Стародубцева, *Языковая профессиограмма авиационного специалиста по направлению подготовки 162001 – эксплуатация воздушных судов и организация воздушного движения*. Педагогические науки, 87. Т. 7, № 3. pp. 87–94. 2015.
- [4] Государственная корпорация по организации воздушного движения в Российской Федерации <http://gkovd.ru>

The Use of Technical Language Terms in the Civil Aviation of the Russian Federation

Accurate knowledge and correct use of radiotelephone terms and terminology is essential in the work of the pilots and air traffic controllers. Proper application enables the precise operation of an airport, and the safe transport and movement of take-off and landing vehicles. Particular emphasis is placed on this area in the Russian Federation, with special regulations.

Keywords: *air traffic management, transmission technology, terminology, phonics, Russian language, International Civil Aviation Organization*

Merényi Vivien hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Légi közlekedési folyamatok szakirány vivienlovesit@hotmail.com orcid.org/0000-0002-7713-5160	Vivien Merényi Student Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering, Air Transportation Specialization vivienlovesit@hotmail.com orcid.org/0000-0002-7713-5160
--	--

Petra Kovács

The Battle of Britain and Its Opponents

The Battle of Britain was the biggest and the most important air battle during the Second World War (10 July 1940 – 31 October 1940) in which the pilots of Royal Air Force and the Luftwaffe fought against each other. It can be divided into four major sections where serious technological advances took place, influencing its outcome.

Keywords: *Battle of Britain, World War II, RAF, Luftwaffe*

1. Stages of the battle

The first phase lasted from the capitulation of France from 22 June to 7 August 1940. During this time, Luftwaffe built its bases in France for the 2nd and 3rd Air Fleets and for the 5th Air Fleet in Norway and Denmark. The latter was smaller than the two former, but played a pivotal role, as the RAF was forced to disperse fighter units to cover Northern Britain. The British had built their radar systems primarily in the south and southeast. From then on, the Battle of Britain became a material war.

The second part (13–30 August 1940) was largely about the Luftwaffe's attempts to persuade Britain to surrender.

Operation Seelöwe (Sea Lion) was set for 15 August 1940 and was one of Germany's great plans, a detailed plan for the invasion and occupation of Britain.

Its main points were as follows:

- the destruction of the RAF and the British aircraft industry
- preventing the supply of food to the British Isles
- damaging the Royal Navy and Merchant Marine [1]

"The first serious attack took place as early as 8 August. At that time, the Germans deployed 2,669 planes. Their primary targets were airfields, radar stations and air traffic control points.

Although the Luftwaffe was more advanced, the range, payload and fuel reserves of the aircraft allowed only for a relatively short stay in enemy airspace.

Between 24 August and 6 September, RAF lost 233 pilots and 466 planes got destroyed. This accounted for nearly half of the Royal Air Force, as it had just over 1,000 aircraft. At the same time, the response of the British did not wait long: the numerical superiority of the Germans was sought to be offset by the development and unification of the military leadership. In practice, it was then that air defence was first introduced, which served as an example for the future. It was also a significant step forward that the data from the radar

stations were transmitted to the air defence from a single centre relatively quickly and with high accuracy. The first phase of the battle ended on 7 September, when Hermann Göring, the commander of the Luftwaffe, turned his Air Force against the big cities in Britain" [8].

The third phase (31 August – 17 September) continued with the Germans trying to force Britain to surrender, with the Luftwaffe planning to bomb Britain until it surrendered the war [1].

In addition to military targets, German pilots also hit civilian areas during the bombings, and a chain reaction began. The English began bombing military targets in Berlin, to which the Germans responded by bombing London. The Battle of London is the bloodiest battle in air military history. On the first day, Luftwaffe pilots dropped a total of 337 tonnes of explosives on London [9].

Air operations became increasingly more intense, with the Germans attacking not only during the day but also at night but were unable to break the Royal Air Force. Seeing the losses, Hitler postponed his plan to land in Britain.

By the end of October 1940, the daylight air strikes had completely ceased, and this phase of the war was over. Historians consider the period from 18 September 1940, to 22 June 1941, to be the fourth stage [3].

2. Opposing forces and their aircraft

2.1. Royal Air Force

The RAF was treated primarily as an independent force, as it was the only major armed force in Britain in addition to the Royal Navy.

The following commands were established in 1936: Bomber Command, the core of the Air Force; Fighter Command, tasked with air defence, both these commands worked with the ground forces; Coastal Command – which supported the Navy, and finally Training Command to provide training duties.

In 1937, the RAF handed over a portion of its naval aircraft to the Admiralty, which would become the Fleet Air Arm under the Navy. A Maintenance Command was set up to carry out procurement and supply tasks. Civilian aviation and volunteers were under Reserve Command, as was Balloon Command.

The basic unit of the RAF was the squadron. Before the war, it consisted of 12 single-engine aircraft or 10 twin-engine aircraft. 2–3 squadrons formed a wing, and several wings were organised into a group.

All that remained was the issue of air defence. In 1935 Robert Watson-Watt submitted an application to the Ministry of Aviation, which contained the principle of radio positioning of aircraft and the importance of its military applicability.

In that same year, the installation of the first five radar stations on either side of the Thames began. By the early stages of the war, that number had risen to 20. The operators detected German aircraft during the war when they took off in France. At first, the Germans did not understand how it was possible for the British to always be in the right place, knowing when they were coming.

The air defence relied on four groups: The Fighter Command; Anti-Aircraft Command (under the army), which consisted of seven air defence artillery divisions and searchlight units;

a monitoring and signalling corps; and finally, a Balloon Command. The head of the Fighter Command was Air Chief Marshal Sir Hugh Dowding, whose headquarters was at Stanmore.

The British developed the "Hurricane" and "Spitfire" fighter aircraft, which were deployed with great efficiency during the war [3].

The Hawker Hurricane was designed by Sir Sydney Camm. In February 1936, the Department of Aviation ordered 600 of them seven months after the first flight, while they ordered 500 Spitfires [6]. Later, seven more variants of the Hurricane were developed [6].

Reginald J. Mitchell designed a single-seat fighter called the Spitfire, which had similar motor capabilities to the Hurricane, for the Ministry of Aviation's tender. (Both models were powered by a Rolls-Royce Merlin engine [7].) 19 variants of the Spitfire were made, the largest number produced was the Spitfire Mark V (6,479 aircraft were produced). The letters A-F after the mark designation indicated the type of wing, they differed only in terms of equipment [7].

2.2. Luftwaffe

The German Air Force Regulations (Luftwaffendienstvorschrift [LDV] 16) defined the Luftwaffe's remit as follows: "The role of the Luftwaffe is to serve the objectives of the war by carrying out air operations throughout the war" and "the fight against resources has a decisive influence on the war. It destroys the enemy's combat momentum and resilience at its roots [...] the fight against resources and the suppression of the flow of forces to the battlefield are usually used only to prepare for land and naval operations, to help end combat operations, or to decide solely on expected destruction of resources" [3].

In 1939, the Luftwaffe had four air fleets (air armies) under its command. Its tactical base unit was the Geschwader, equivalent to the RAF wing. The Geschwader consisted of three Gruppen, or groups, which were the same as a Squadron of Aircraft. These groups consisted of nine deployed and three reserve aircraft. A Geschwader consisted of 44 aircraft – the three groups and a command flight, while 120 aircraft – 3 Geschwaders and a reserve group – formed an air regiment. The flight division was the largest tactical organisational unit, comprising several flight regiments.

The German air fleets differed from the others in that in addition to bombing, combat, fighter and reconnaissance aircraft, they also deployed air defence, parachute and artillery units. Their aircraft were: Messerschmitt Bf-109, -110; Junkers-87 dive-bomber and the Dornier Do-17 light bomber [3].

All in all, nine versions of the Messerschmitt Bf-109, designed and named after Wilhelm Emil "Willy" Messerschmitt, were manufactured. Supermarine Spitfire and Hawker Hurricane were two of its greatest enemies. The weakness of the Bf-109 was that it turned much slower than its British counterpart [10].

One of Luftwaffe's most hopeful developments was the Junkers-87 Stuka dive bomber. Recognisable by its distinctive seagull wing shape, the aircraft was able to deliver a bomb weighing 450 kilograms to its target during a dive of 80 degrees. It got its name from the characteristic screaming sound emitted by the aircraft during its dive, to which also a siren was attached to further intimidate the enemy [11].

3. Poles in the battle

On 22 June 1940, France signed a capitulation agreement with Germany. Shortly afterwards, on 16 July 1940, Hitler issued the "Landing Operation Against England" Directive [5]. On 19 July 1940, he offered a peace treaty to Britain, but it was rejected, so Germany launched an attack. In the first phase, there were no significant operations on the part of the Germans, but from 13 August (code named Adler Tag, or Eagle Day [2]) the pace of events increased. British radars detected German bombers over France. No. 74 and No. 609 Squadrons of the RAF were deployed against them. Polish Flying Officer Henryk Szcześniey shot down a Dornier 17 bomber (Officer Szcześniey joined the 609th Squadron on 5 August 1940 – P. K.). Flying Officer Tadeusz Nowierski and Piotr Ostraszewski-Ostoja were also involved in the operation in their Spitfire fighters. In doing so, Squadron Leader H. S. Darley, the leader of the 609th Air Squadron, ran into trouble communicating with Polish pilots; he even recorded this in his diary: "...although none of them spoke English at this time, they all quickly gained experience on Spitfire" [2].

On 15 August, radar operators spotted enemy planes again, this time over Dover.

Flight Sergeant Wojciech Kloziński's plane was hit at around 11:20 a.m., the wounded pilot was hospitalised. One of the most successful pilots that day, also known as Black Thursday, was Flight Sergeant Antoni Głowacki. No. 501 Squadron was alerted four times, during which Flight Sergeant Głowacki shot down a Dornier 215 light bomber while flying over Chatham. Another pilot, Stefan Witorzeńć, although his Hurricane was hit, shot two Junkers 87. Meanwhile, in the west, Bolesław Własnowolski shot down the first enemy plane of his life. Własnowolski was a pilot of No. 32 Squadron, flying on Hurricane. In this battle, No. 151 Squadron also fought. The above-mentioned Poles did not fight alone. Other Polish pilots, such as Pilot Officer Mieczysław Rozwadowski, Tadeusz Wilhelm Kawalecki, Franciszek Surma, Jerzy Solak, Gustaw Radawanski and Francis Czajkowski, Flight Sergeant Wilhelm Szafranec and Feliks Gmur also served in these units [2].

On 14–15 September 1940, No. 234 Squadron moved from St. Eval's airbase to Middle Wallop. During this time, four Spitfires were shot down in battle and three were damaged. Flight Sergeant Zygmunt Klein was wounded but survived. In his diary of this day, Pilot Officer Janusz Żurakowski, who served with No. 234 Squadron, wrote in this diary: "I attacked the last Me 110 aircraft of a team from above, the enemy plane crashed to the ground. The rear gunner returned the fire. Down the road, another Spitfire from No. 609 Squadron attacked, but after it broke off, I attacked five more times and the enemy plane exploded on the Isle of Wight" [2].

Pilot Officer Żurakowski was assisted by Pilot Officer Piotr Ostaszewski, who also recorded the battle in his diary: "...The Germans launched another attack with the Messerschmitt 109 on 16 August 1940 in the Portsmouth area. No. 234 Squadron was alerted. Sergeant Zygmunt Klein shot one of the Messers" [2].

The 18th of August was the day of a major battle. No. 501 Squadron was directed to Canterbury in the morning. It was not a lucky day for the squadron as some Polish pilots were shot down, including Pilot Officer Franciszek Kozłowski. The pilot survived the attack and was hospitalised. The second wave of the bombers' attack arrived in the afternoon. No. 32 Squadron was deployed, during which Pilot Officer Własnowolski, together with a British pilot, shot

down a Junkers Ju-88 enemy aircraft. Własnowolski even shot a Messerschmitt Bf-109 with Flying Officer Peter Malam Brothers that day [2].

While the British–Polish pilots won the battle, Flying Officer Franciszek Gruszka and Pilot Officer Władysław Szulkowski went into battle against the Messerschmitts. Flying Officer Gruszka then disappeared. He was recorded as missing in action until 1971, when some archaeologists found the wreckage of the Spitfire and his body.

For Pilot Officer Tadeusz Kawalecki and Franciszek Czakowski, this was not the first battle they took part in; they had gained their previous experience in Poland in 1939.

The next significant day for No. 501 Squadron was 24 August 1940, when Polish and British pilots achieved much success. Flight Sergeant Antoni Głowacki shot down an enemy plane (Messerschmitt Bf-109), but Pilot Officer Pawel Zenker was shot down [2].

Around one o'clock in the afternoon, No. 510 Squadron was alerted at Manston Airfield, as the Squadron was attacked by German aircraft. Flight Sergeant Głowacki shot down a Messerschmitt 109 and a Junkers Ju-88. He destroyed a total of five enemy planes that day.

Pilots of No. 510 Squadron shot two aircraft. One of the pilots, Pilot Officer Karol Pniak was flying a Hurricane from No. 32 Squadron. He shot a Messerschmitt Bf-109 over Folkestone but had to bail out. The enemy plane landed on the other side of the Channel.

Pilot Officer Janusz Żurkowski was not as successful as the other Poles, but he shot down some German pilots. He bailed out, landing on Wight Island with his parachute. No. 609 Squadron pilot Tadeusz Nowierski was also wounded but survived.

It was around this time that No. 307 Night Fighter Squadron was established. It was based in Blackpool as the first and only such Polish group in the Royal Air Force.

On 27 August 1940, one of the biggest aces of the September campaign, Pilot Officer Stanisław Skalski, joined No. 501 Squadron. On 28 August, the Germans attacked Britain again. No. 79 Squadron needed help. While doing so, Flight Sergeant Głowacki of No. 501 Squadron shot down a Messerschmitt Bf-109 [2]. A Canadian pilot of the squadron (with Polish ancestry), Pilot Officer Alexander Zatoński was wounded but survived. He returned to his unit on 4 December 1940. He was later transferred to No. 238 Squadron.

No. 306 Polish Fighter Squadron was formed at the end of August.

No. 303 Squadron was formed on 2 August 1940 and training began as early as 3 August, first on Miles "Master" and then Hawker "Hurricane" aircraft. Squadron Leader Zdzisław Krasnodębski was the commander of the squadron; the commander of A Flight was Flying Officer Witold Urbanowicz and the commander of B Flight was Flight Lieutenant Tadeusz Opulski and then Flying Officer Ludwig Paszkiewicz. No. 303 Squadron also had an English commander: Squadron Leader Ronald Kellett [1].

The Germans launched a major attack on Britain. They had hoped that British forces would join the fight. No. 501 Squadron was alerted around 10 a.m. Four enemy aircraft were shot down (two Heinkel He-111s and two Messerschmitt 110s), one of which by Flight Sergeant Antoni Głowacki [2].

Shortly after the Croydon attack, No. 253 Squadron was also deployed. Pilot Officer Tadeusz Nowak shot down a Dornier Do-215 enemy aircraft.

In B Flight, pilot Michał C. Samoliński flew as a Polish pilot. Some Polish pilots were sadly declared missing after the battle. Flying Sergeant Feliks Gmur disappeared around Jacks Hatch. Flight Sergeant Antoni Głowicki and Pilot Officer Stanisław Skalski damaged a Heinkel He-111 aircraft.

At this time the pilots of No. 303 Squadron were still learning formation flying. On a training flight on 30 August 1940, Flying Officer Ludwik Paszkiewicz spotted enemy planes [2]. He reported sighting the enemy and then launched an attack with the rest of the squadron. The Germans lost 10 and the Poles lost two aircraft, but both pilots bailed out in time and luckily landed.

The next day they took part in an operational deployment, where they took up the fight against the Luftwaffe with great efficiency and success. Already in the first week, 40 kills were claimed and another 12 listed as probables [2] of German aircraft that could be recorded in the battle log [4]. On 2 September 1940, No. 501 Squadron was alerted by the alarm of an impending air attack. Around 8 a.m., the Germans dropped the first bomb at the airfield. Two ground crew were killed. The Hurricanes found themselves facing 30 Dornier 17s and Dornier 215s, escorted by Messerschmitt 109s [2]. Two aircraft from No. 303 Squadron took off from Northolt at 5:30 p.m. The entire squadron defended Dover from German attacks. Józef František shot down an enemy Messerschmitt 109. Pilot Officer Mirosław Ferić and Flying Officer Zdzisław Karol Hennenberg chased a Messerschmitt all the way to France.

On 5 September 1940, pilots from No. 501 Squadron attacked a Messerschmitt 109 formation. That day, Stanisław Skalski's plane was hit, so he had to jump out of the plane.

Around 2:40 p.m., all pilots in No. 303 Squadron were in the air. The following results were reported in this clash: Squadron Leader Ronald Kellett shot down one Messerschmitt 109 and damaged another; Flight Lieutenant Forbes shot down a Junkers 88 aircraft; Sergeant Karubin shot down two Messerschmitt 109, Flying Officer Waclaw Łapkowski shot down a Junkers 88, Sergeant Kazimierz Wünsche shot down a Messerschmitt 109, Sergeant František shot down a Junkers 88 and almost shot down a Messerschmitt, but had to return to Northolt as his plane was damaged.

9 September 1940 began as an easy day until 5 p.m. At 5:35 p.m., however, No. 303 Squadron's pilots took off to check London airspace [2]. At Beachy Head the patrol spotted forty enemy bombers. The battle began, but only three Polish pilots managed to shoot down enemy aircraft.

One Messerschmitt Bf-109 attacked Pilot Officer Jan Zumbach, but he was fortunate to be able to fly back to Britain.

Sergeant František shot down two enemy aircraft, but his Hurricane was damaged and landed in a cabbage field not far from Woodingdrine.

The Germans were constantly attacking Britain, and the pilots kept the front line as best they could.

The first half of October was very intense in attacks, with the bloodiest battles fought on 15–16 October; from 19 October, the Germans reduced the attacks, and by the end of October 1940, offensive daylight operations ceased [2].

References

- [1] O. Cumft and H. K. Kujawa, *Księga lotników polskich – poległych, zmarłych i zaginionych*. Warszawa: Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, 1989.
- [2] R. Gretzyngier and W. Matusiak, *Polacy w obronie Wielkiej Brytanii 1940–1945*. Poznań: Wydanie I. Dom Wydawniczy REBIS, 2007.

- [3] O. Groehler, A légi háborúk története. Second, revised edition. Budapest: Zrínyi Katonai Könyv- és Lapkiadó, 1983.
- [4] I. Kovács, Csoda a Visztulánál és a Balti-tengernél. Budapest: Európa Kiadó, 2006.
- [5] W. Król, Polskie Dywizjony Lotnicze w Wielkiej Brytanii 1940–1945. Warszawa: Wydawnictwo M. O. N., 1976.
- [6] M. Robson, The Hurricane Pocket Manual. All Marks in Service 1939–1945. London: Bloomsbury Publishing, 2016.
- [7] M. Robson, The Spitfire Pocket Manual. All Marks in Service 1939–1945. London: Bloomsbury Publishing, 2015.
- [8] www.honvedelem.hu/cikk/12408
- [9] M. T. Tarján, '1940. szeptember 7. Megkezdődik Nagy-Britannia terrorbombázása', s. a. Online: <https://rubicon.hu/kalendarium/1940-szeptember-7-megkezdodik-nagy-britannia-terrorbombazasa>
- [10] 'Comparison of the Supermarine "Spitfire" Mk. IA with the Messerschmitt Bf 109 E', s. a. Online: www.luftkrieg-ueber-europa.de/en/comparison-of-the-supermarine-spitfire-
- [11] 'Junkers Ju-87 'Stuka' zuhanóbombázó', 08 September 2017. Online: https://2vilaghaboru.fegyverei.blog.hu/2017/09/28/junkers_ju-87_stuka_zuhanobombazo

Az angliai csata szemben álló felei

Az angliai csata (1940. július 10. – október 31.) a történelem legnagyobb és legfontosabb légi csatája volt a II. világháborúban, amelyben a brit Royal Air Force (RAF) és a német légierő (Luftwaffe) pilótái csaptak össze. Négy nagy szakaszra oszthatjuk a csatát, minden szakasz alatt komoly technológiai fejlesztés ment végbe, ami jelentősen befolyásolta a csata végkimenetelét.

Kulcsszavak: *angliai csata, II. világháború, RAF, Luftwaffe*

<p>Kovács Petra doktori hallgató Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi Doktori Iskola kovpet1991@gmail.com orcid.org/0000-0002-6783-0979</p>	<p>Petra Kovács PhD student National University of Public Service Doctoral School of Military Sciences kovpet1991@gmail.com orcid.org/0000-0002-6783-0979</p>
--	---



Zsolt Jurás

The Role of Drones in the Electricity Sector

Similarly to the separation and development of electricity systems, the golden age of aviation dates back to the last century. Admittedly, in the beginning, the two technologies did not have much effect on each other; however, in the 21st century, these two systems in many cases cross each other's paths in everyday life, while performing the operation and maintenance tasks.

In this paper, the author describes how a modern electricity infrastructure is built up and explains the process used for transferring electric power generated by the power plants to the consumers. In addition, this paper familiarises the reader with the procedures and methods allowing to assign more and more functions and tasks to the drone technology and to assure its efficient integration with certain elements of the energy system.

Keywords: drone, electric power, power plant, electric power distribution, power grid, safety

1. Introduction

In terms of the past century, the primary elements of electricity systems – power plants and energy transmission systems – were not yet separated from each other and were treated as a unified whole. Such an approach had prevailed until World War I, when the need for energy electricity supply system began bringing up to the surface an issue that arises in case of all operating systems, i.e. continuous system monitoring, maintenance and repair. Nowadays, engineering and technology have reached a high level allowing to carry out these work processes economically, quickly, efficiently and safely with the availability of state-of-the-art tools.

As the "drone technology" – in addition to the military use – offers numerous possibilities for using drones in industrial, agricultural and commercial applications, devices mounted on the carrier platform (motion-picture camera, camera, parcel delivery, heat sensor, infrared camera, GPS transmitter, Bluetooth, Wi-Fi transmitter, motion detection, face recognition, biometric scanners, etc.), due to their modular layout, can be configured for the performance of any task and can be used extremely efficiently and quickly.

2. Infrastructure of the electricity supply system

Primary assets required for the operation of electricity supply systems can be divided into three main areas assuring the transfer of energy to the consumers. These assets are none

other than power plants generating electricity, substations involved in the electrical power distribution and the energy transmission network responsible for electricity transmission.

1.1. Electricity generation

The greater part of electricity available to the user is generated in power plants by means of converting kinetic energy received from some thermal cycle into the electric power with the use of generators. The generated thermal power can come from the use of various sources like nuclear or conventional fossil fuels (coal, natural gas, oil) or renewables (biomass, biogas). Today, electricity generated with the use of solar and wind energy accounts only for a small part in the total amount of electricity production in Hungary; however, the efficiency and spread of these technologies is going at a high pace due to the applied energy conversion technology. In case of solar and wind energy, there is no intermediate stage of thermal energy production and conversion. In terms of the operation cycle, power plants can be basic power stations, dispatchable stations and power plants for peak-load operation; these three main types are supplemented by the renewables.

- The most important feature of basic power plants is their ability to maintain a constant load over time by means of continuous operation. Power stations, for example, nuclear power plants using modern technology and generating electricity at a low production cost are best applicable for this purpose.
- The primary task of dispatchable stations is to follow changes in the daily demand for electricity. The key requirement for performing this task is the ability to flexibly serve the wide range of consumer needs. This type comprises power plants operating on the basis of fossil fuels and carbon-emitting renewable power plants.
- The basic task of power plants for peak-load operation is to cover the daily peak consumption and to manage the unplanned changes in the demand for electricity. It is extremely important to assure a prompt reaction of such power plants to any possible changes in the grid. In this case, our priority is not the efficiency but the possibility to start up the plant within a few minutes. Usually, these are open-cycled gas turbines, turbine equipment being in an idle mode and electricity storages.
- In my point of view, as far as renewable power plants are concerned, wind farms and solar power stations should be classified into a separate group due to the fact that their energy generating capacities are strongly dependent on weather conditions and only an approximate forecast can be given in their regard. The advantage of these technologies is that they generate electricity on the basis of a natural – free of charge – source and do not lead to carbon dioxide emissions into the environment.

1.2. Energy distribution

Electricity produced by the electric power generating facilities is transported to the consumers via electric power distribution network. Electricity supply systems are comprised of the power grid and electric sub-stations.

1.2.1. Electric power grids

Based on the voltage and functions, electric power grids are divided into four levels:

- The backbone of the electric power grid is the so-called basic network. Its main function is to transport electric power from the power plants to the key electric sub-stations. Its voltage may be 220, 400 and 750 kV. Another task performed by this power grid is to provide connection between the unified European and national power grids.
- The main power distribution network is composed of sub-stations belonging to the basic network and receiving points of the main power distribution network. Large industrial consumers are connected to the main power distribution network. Its voltage is 132 kV.
- Medium voltage-based power distribution network is understood as the section located between the main power distribution network and consumer transformer sub-stations. This section is characterised by a huge amount of consumer branch offs. The voltage in this section may be 10, 20 and 35 kV.
- Low voltage electric power distribution network supplies electric power to the consumers. Typically, these consumers are non-energy-intensive businesses, households and public. Its voltage is 0.4 kV.

1.2.2. Electric sub-stations

An electrical substation is a set of transformers, switchgear, their protection actuating equipment, and devices belonging to the network nodes. These sub-stations and their respective voltages are divided into the following three levels:

- Sub-stations at the power plants: their task is to assure the transfer of electricity generated by the power plants to the basic electric power network by means of necessary voltage transformations.
- Sub-stations within the power grid: these are sub-stations installed in the regional nodes in order to establish the connection between the basic electric power network and electric power distribution network in accordance with voltage levels.
- Consumer sub-stations: are used for connecting the consumer electricity distribution network with the power distribution network. One of their typical features is that in case of certain environments, these sub-stations perform their function with the help of column transformers.

Depending on the current functionality, switchgear or transformer sub-stations are installed.

3. Applicability of drones in the operation of infrastructure

Electricity infrastructure provides users with energy using various and diversified technologies. Continuous electricity supply from the generating facility to the final user can be ensured through multiple power transformations; in addition, the generating facilities and consumers

should be properly balanced to maintain the 50 Hz frequency. The common feature in the operation of certain types of power plants and grids is that they do not require the permanent presence of the operational personnel, have a large territorial coverage and are difficult to be approached. The above statement is true for solar power stations and wind farms, distribution sub-stations of the grids and high and medium voltage transmission lines. Drone technologies can be used to address challenges posed by common environmental specifics in the performance of operation-related tasks. The primary goal when designing unmanned aerial vehicles was aimed at addressing such application areas and purposes that turned out to be too dangerous for the pilots and would have endangered their life and health during the mission.

The application of drones has opened up opportunities for performing such tasks, which were extremely time-consuming and could not have been completed successfully by any of the pilots. Areas of applications in case of unmanned aerial vehicles include reconnaissance, surveillance and many other purposes [1, pp. 309–312].

3.1. Operation of electricity generating facilities with the use of drones

During the operation of solar power stations, certain diagnostic tests should be carried out at specified time intervals, in order to identify the local hotspots. When performing tests with the use of traditional test methods, the technician has to walk down the entire area of the solar power station with a thermal-imaging camera. The application of traditional methods would make this task a time-consuming process and in the case of large-scale solar power stations, due to the size of the area, it would not be feasible and could not provide the complete overview of the situation. In contrast, a diagnostic test performed with the use of a thermal-imaging camera and a drone equipped with the appropriate software provides a comprehensive overview of the temperature distribution throughout the entire power plant. Another positive contribution of the drone application is the reduction of time required for the test execution, the results can be evaluated immediately and the process can be fully automated. Owing to the development of information, management and production technologies, we are able to produce the computers with really tiny sizes and at the same time, the programming of small-sized aerial robots is no longer an obstacle. Current flight parameters transmitted from the deck of the UAV to the ground control point inform the operator and system administrator of the actual situation; the operator is monitoring the performed task and can intervene any time, if necessary [2, p. 279].

One of the most important tasks in the operation of wind turbines is the timely performance of external visual inspection, which can be used to reveal damage on the blades and, by doing so, to prevent the occurrence of more serious damages. Prior to the beginning of the wide use of drone technology, these tasks could be performed only at a high cost and with the loss of production time. The above task making a part of maintenance activities was carried out by industrial climbers having special knowledge and skills, and its performance was hindered by a number of environmental factors. Wind turbines are usually installed in groups, also known as wind farms. There are two types of wind farms in use. Onshore turbines are installed on the land, while offshore turbines are installed on the sea. Wind turbines installed on the sea are characterised by higher performance: their maximum power reaches 10 MW. The maximum

power of wind turbines installed on the land is 3 MW, the diameter of blades can reach 113 m and their height can be up to 145 [5]. In case of dimensions exceeding those indicated above, on-land transportation cannot be solved, so the sea can provide sufficient space for the greater spread of the offshore technology characterised by higher efficiency. The development of image analysis software allowing the use of drones for multiple purposes, RTK technology¹ for positioning the drone with a cm accuracy, development of imaging cameras and thermal cameras also make a great contribution to the elaboration of efficient predictive maintenance programs for wind turbines.

3.2. Operation of power distribution grids with the use of drones

Continuous and safe conduct of operation is one of the key features in the operation of electric power distribution grids. Nowadays, the use of advantages offered by the drone technology is absolutely necessary during the performance of tasks required for the inspection and maintenance of high-voltage overhead lines. It is a special area where several risk factors exist at one and the same moment. One should be very attentive in this extremely dangerous environment caused by high voltage, should not forget about high altitude and should be very careful while working in hard-to-reach places all over long distances. A drone having RTK capabilities, equipped with a high-resolution and 20–30x optical zoom and a thermal-imaging camera on its deck, provides fast and safe access to critical areas during the survey conducted on high-voltage overhead lines. Haraszti and Ószi in their paper described the application of thermal imaging for the detection of contact corrosion through a detailed analysis of contact corrosion through a detailed analysis [6]. The application of drones can be a good option for the walk-down of power transmission lines. Individuals involved in the inspection approach the transmission line and then perform the inspection without de-energising using a drone with appropriate software; the efficiency of the test method can be significantly increased if the flight is performed autonomously by the drone itself based on the input parameters.

There is a high potential in the use of drones for eliminating the grid failures. The duration of eliminating power failure in the grid as a result of a possible fault can be significantly reduced. The use of drone makes a significant contribution to the minimisation of time required for failure detection, as the drone can be directed to altitudes of up to hundred meters in a matter of seconds, while the worker would spend at least an hour doing this job. If the protection function was actuated by a momentary failure, the drone can be used for energisation during the test.

4. Conclusion

At the beginning of this paper, I briefly presented the elements constituting the infrastructure of the energy system and then outlined the process of generating electricity and transporting it to the users. As one can see, the generated electricity is the resulting product received via

¹ Real-time kinematic positioning.

the performance of diversified tasks, in the course of which there is a possibility of numerous failures occurring in subsystems.

As shown in this paper, the drone technology developed in the 21st century offers more and more possibilities for using drones in the surveillance, monitoring, maintenance and repair of energy systems. The extreme importance of drones is confirmed by the fact that the control of system components can be entrusted to the “autonomy” of unmanned aerial vehicles when we reach the appropriate level of autonomous operation with the support of artificial intelligence (AI). In this mode of operation, our aerial vehicle performs its flight task independently, under the supervision of a remote pilot, based on the pre-programmed route, while providing real-time data on the system component to be inspected using sensors mounted on the drone deck [4]. By means of this technology, maintenance costs can be significantly reduced, opening up additional opportunities to make maintenance activities more cost-effective, reasonable and secure with the parallel development of artificial intelligence and drone technologies.

References

- [1] G. Major, 'A pilóta nélküli légitáncok rendszerek használata az elektronikai hadviselésben', Repüléstudományi Közlemények, Vol. 29, no. 3. pp. 301–316. 2017. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2017.3.22>
- [2] G. Major, 'Does an Autonomous Drone Return Home at All Time?' Repüléstudományi Közlemények, Vol. 30, no. 2. pp. 275–284. 2018. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2018.2.23>
- [3] G. Major, 'Ésszerű szabályozás vagy tiltás, avagy mit lehet kezdeni a drónokkal?' Repüléstudományi Közlemények, Vol. 27, no. 1. pp. 168–169. 2015. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2015.1.11>
- [4] B. Kiss, M. Palik and G. Major, 'Migration from Bird's Eye View', Repüléstudományi Közlemények, Vol. 29, no. 3. pp. 198–200. 2017. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2017.3.15>
- [5] MVM Partner ZRt. Érdekességek. Online: www.mvmpartner.hu/hu-HU/Szolgáltatások/Villamos-energia/Erdekesssegek/Amegujuloenergiaforrasokoszehasonlitasaakulonbozoenergiaatalakitokszerint
- [6] F. Haraszti and A. Őszi, 'Hőkamera alkalmazása kontaktkorrózió vizsgálatára pilóta nélküli repülőgéppel', Bánki Közlemények, Vol. 2, no. 1. pp. 11–15. 2019. Online: <https://doi.org/10.33895/mtk-2019.11.15>

A drónok szerepe a villamosenergia-ágazatban

Ahogy a villamosenergia-rendszerek szétválasztása és fejlesztése, úgy a repülés is a múlt században kezdte virágzását. Igaz, a két technológia kezdetben nem sok hatást gyakorolt egymásra, ám a 21. században eljutott arra a szintre a két rendszer, hogy a működésben, karbantartásban, a mindennapokban egyre nagyobb felületen, újra „keresztelik” egymás útját.

A szerző a publikációban bemutatja azt, hogyan épül fel egy korszerű villamosenergia-infrastruktúra, valamint azt, hogy milyen folyamat útján jut el az erőművekben előállított villamos energia a felhasználókhoz. Ezt követően a cikkben az olvasó megismerheti azokat az eljárásokat, módszereket, ahol a villamos rendszer egyes elemeihez hatékonyan kapcsolódhat az egyre több funkcióval és feladatrendszerrel felruházott dróntechnológia.

Kulcsszavak: drón, villamos energia, erőmű, energiaelosztás, villamos hálózat, biztonság

Jurás Zsolt (MSc) doktori hallgató Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola zsoltjuras@gmail.com orcid.org/0000-0003-4670-9325	Zsolt Jurás (MSc) PhD student Óbudai University Doctoral School on Safety and Security Sciences zsoltjuras@gmail.com orcid.org/0000-0003-4670-9325
---	--



Molnár András

Diszkrét mérési pontos eljárással történő gamma-sugárzás dóziseloszlás-mérés drón segítségével

Számos dóziseloszlási térkép készítésére került sor drónra szerkesztett gammasugárzás-detektorral. A kísérletek eredményei és tapasztalatai alapján kirajolódtak a rendszer hiányosságai és egyben a továbbfejlesztés lehetőségei. A fejlesztés elsődleges célkitűzése a kompaktabb, könnyen hordozható és üzembe helyezhető, de az előzőkhez képest érzékenyebb rendszer volt. A háttérsugárzáshoz képest (a vizsgálati területen jellemzően 0,01 mSv/h) az eddigi kísérletekben +0,009 mSv/h eltérést sikerült megbízhatóan detektálni. Jelen fejlesztésben ezt az értéket sikerült +0,005 – +0,007 mSv/h-ra csökkenteni. Az érzékenység javulását elsődlegesen az egy pontra vetített mérési idő növelésével sikerült elérni. Ezt egy speciális repülésvezérlő szoftver segítségével valósítottuk meg. Ez az érzékenységnövekedés vagy nagyobb szkennelési magasságot (körülbelül +1–2 m), vagy azonos magasságon azonos repülőeszköz esetén egy felszállásból nagyobb terület felmérését teszi lehetővé. Természetesen a szkennelési magasság vagy a szkennelési sebesség jelentősen növekedhet, ha a keresett sugárforrás aktivitása nagy. A kísérleteink során természetes urán ásványt (autunit) alkalmaztunk, amelynek aktivitása messze alulmarad a mesterségesen előállított izotópokkal szemben. A kísérletsorozatban kitértünk több forrás detektálására is, ami modellezi egy esetleges baleset helyszínén szétszóródó aktív források feltérképezésének lehetőségét. Az általunk fejlesztett és bemutatott rendszer fő előnye a gyakorlatban alkalmazott felmérési eljárásokkal szemben, hogy jól mobilizálható, nagy terület felmérhető humán kezelő terepi veszélyeztetése nélkül, valamint alacsony költséggel valósítható meg a terület felmérése. A rendszer célja a forrás jelenlétének kimutatása és olyan mértékű lokalizálása, hogy azt követően kézi vagy más földi eljárással már egyszerűen lehessen pontosítani a lokalizálást. Mivel nem törekszünk centiméteres helymeghatározás-pontosságra, a mérésekhez elegendő a standard GPS-lokalizáció. A mérések során a földrajzi koordinátákat GWS'84 rendszerben értelmezzük. A bemutatott ábrákon a szélességi és hosszúsági körök koordinátáit is ebben a rendszerben tüntettük fel.

Kulcsszavak: *szabadtéri dóziseloszlás-mérés, radioaktív-sugárzás-térképezés drónnal, radioaktív-sugárzás-mérés drónnal*

1. Bevezetés

A kísérletek során megvizsgáltuk két, fizikai elvében eltérő gammasugárzás-detektor alkalmazási lehetőségét. A vizsgálat kiterjedt a detektorrendszer érzékenységének maximalizálása mellett

a rendszer tömegének minimalizálására, a rendszer energiaigényére, valamint a detektor által szolgáltatott adatok információtartalmára. Megvizsgáltuk, hogy a Geiger–Müller-detektor felhasználásával hogyan lehet növelni a rendszer érzékenységét, és összevetettük a használatuk során tapasztalt előnyöket és hátrányokat. Vizsgálat tárgyát képezte továbbá egy szcintillációs detektor is, ahol arra kerestük a választ, hogy lehet-e a detektor alkalmazásával a Geiger–Müller-számlálós detektorral azonos érzékenység mellett kisebb tömegű és több információt szolgáltató rendszert kialakítani.

A kísérletek során a detektorokat két multikopterplatformon vizsgáltuk. Méréseket végeztünk egy és két független forrást tartalmazó területen.

2. Alkalmazott detektorok

Mivel a sugárzás energiájának meghatározása a kísérletek e szakaszában nem volt szempont, ezért a Geiger–Müller-csöves részecskeszámláló a célnak megfelelő, digitális eszközökhöz egyszerűen illeszthető detektorként kényelmesen használható. Kézenfekvő ennek az eszköznek a vizsgálata a drónos felmérések során. A témában végzett eddigi kísérleteink [1], [2] azonban rámutattak e detektorok hátrányaira is, ami elsősorban a kiépített rendszer viszonylagos nagy tömege. A modern félvezetőn alapuló szcintillációs detektorok ígéretes alternatívái lehetnek az adott feladat végrehajtása során. Számos, hasonló projekt használ ilyen detektort [3], [4], [5], [6], ezért megvizsgáltuk alkalmazását egy konkrét mérés során. Hazai vonatkozásban is készültek moobileszközökhöz szcintillációs detektorra épülő mérőkészülékek. Ezek használatára – a szerző ismertetése szerint – elsősorban a drónokhoz viszonyítva nagy tömegű járműveken került sor [7], de születtek javaslatok merevszárnyú robotrepülőgépen történő alkalmazásra is [8]. A szcintillációs detektor esetében nem vizsgáltuk a detektált részecske energiáját, így ezt a detektort is csupán részecskeszámlálóként kezeltük. Ugyanakkor a szcintillációs detektor lehetőséget biztosít – a rendszer továbbfejlesztése során – további információk megszerzésére is. Ilyen a sugárzás jellegét vagy a forrás anyagi minőségét meghatározó energiaspektrum felvétele.

2.1. Geiger–Müller-számláló

A Geiger–Müller-számláló egy kisnyomású gázzal töltött elektromos kisülési cső, amely ionizáló sugárzás detektálására képes. Általában a cső anyagával, illetve bevonatával vagy éppen ablakos kialakításával lehet specifikus sugárzásra érzékenyíteni. Az eszköz működése során elektromos impulzusokat ad minden detektált foton esetében. Ezért is nevezik sokszor a Geiger–Müller-detektort részecskeszámlálónak. A cső kimeneti jele ugyan analóg, de az információtartalom az egységnyi idő alatt megszámlálható impulzusokban van (nem az impulzusamplitúdóban!), ezért digitális rendszerekhez való csatlakoztatása viszonylag egyszerűen, A/D konverter alkalmazása nélkül lehetséges. Kialakítása egyszerű. Egy fém hengerből áll, amely kisnyomású gázzal van töltve. A henger tengelyében a hengertől elszigetelten egy vékony elektróda található. Működéshez a csőre (palást és a központi elektróda) polaritáshelyesen elektromos egyenfeszültséget kell kapcsolni. Ez a feszültség a cső típusától függően 500–800 V körüli érték. Minden egyes impulzus valójában a csővön belül egy elektromos

kisülést jelent. A kisülés ideje alatt a cső újabb foton (ionizáló részecske) detektálására nem alkalmas. Ezt az időt nevezzük holtidőnek. A Geiger–Müller-csövek holtideje típustól függő, de általában 5×10^{-5} – 10×10^{-5} s nagyságrendbe esik. A holtidő hatásával a mérés során számolni kell. Ez a hatás nem jelentős gyenge sugárzás esetén, de a sugárzás növekedésével egyre nő a valószínűsége a nem detektált fotonoknak. A fotonok elvi becsapódása a detektorba véletlenszerű. Éppen ezért gyenge sugárzás esetén is előfordulhat, hogy egy éppen detektált foton által okozott holtidőben további (egy vagy több) fotonok nyelődnek el a detektorban, de azok nem okoznak újabb kisülést, azaz elektromos impulzust. A Geiger–Müller-csőben elektromos kisülést ionizáló sugárzás indukál, de a kisülés, azaz a keletkezett elektromos impulzus alapján nem lehet következtetni a detektált foton energiájára. Ebből adódik, hogy a Geiger–Müller-csövek alkalmazásával a sugárzás minőségére (a gamma-fotonok energiájára, így a bomlást előidéző izotópra) nem lehet következtetni. A Geiger–Müller-cső ugyanakkor nagyon egyszerű és jól működő detektor, amelyet könnyen lehet feldolgozó egységekhez kapcsolni (akár hangszóró, amely a katódos sűrűségével jelzi a sugárzás intenzitását, vagy számláló, amely időegységre vonatkoztatva jeleníti meg a detektált részecskeszámot), így egyszerű sugárzásdetektorként igen elterjedt.

2.2. Szcintillációs detektor

Egyes kristályok gamma-sugárzás hatására fényt bocsátanak ki. Valójában a fénykibocsátás nem folyamatos, hanem minden egyes kristályban elnyelődött gamma-foton egy energiájával arányos fényfelvillanást kelt. Ez a szcintilláció jelensége. Amennyiben a kristály egy nagyon érzékeny fényérzékelőhöz van illesztve, és a fényérzékelő minden egyéb fényforrástól el van zárva, akkor a felvillanások elektromos impulzusok formájában detektálhatók. A PMT¹ az első és napjainkban is jól használható ilyen fényérzékelő. Egy tipikus szcintillációs detektor így két fő elemből áll. Egyik maga a szcintillációs kristály, a másik a kristályhoz optikailag illesztett PMT. Az ilyen detektorok nagy előnye, hogy az ionizációs detektorokhoz képest a kristály sűrűsége lényegesen nagyobb, így kisebb méretben is érzékeny eszköz építhető. Ráadásul a szcintillációs detektorok az érzékelt gamma-foton energiájával arányos jelet szolgáltatnak, ami lehetővé teszi a vizsgált sugárforrás további jellemzőinek meghatározását is. Hátránya a hagyományos szcintillációs detektoroknak éppen a PMT alkalmazása. Ez viszonylag nagy méretű, nagy feszültséggel üzemelő és külső elektromágneses zajokra érzékeny eszköz.

Modern eszközökben megjelentek a PMT kiváltását szolgáló félvezető alapú fényérzékelők. Ezek egyike az MPPC.² Ez számos előnnyel rendelkezik a PMT-vel szemben. Kis feszültséggel üzemeltethető, alacsony a fogyasztása, elektromágneses térre kevésbé érzékeny és lényegesen kisebb eszköz. Természetesen használata során gondoskodni kell a stabilizált tápellátásról, valamint a hőkompenzációról.

A sugárzás nagyságától, energiájától és intenzitásától függően eltérő anyagú szcintillációs kristályokat alkalmaznak. Legelterjedtebb kristály a talliummal szennyezett (aktivált) nátrium-jodid NaJ(Tl). Ennek a kristálynak számos előnyös tulajdonsága mellett a vízmegkötő képessége igen jelentős, ami nagy hátrány. A kristálynak a megkötött víz hatására romlik

¹ Photo multiplier tube.

² Multi-pixel photon counter.

az optikai tulajdonsága (sárgul, opálössá válik), ami végül a detektor hatásfokának jelentős gyengülését jelenti. Éppen ezért a NaJ(Tl) kristályokat a detektorban hermetikusan el kell zárni a külső környezettől, hogy a levegő páratartalma ne károsítsa.

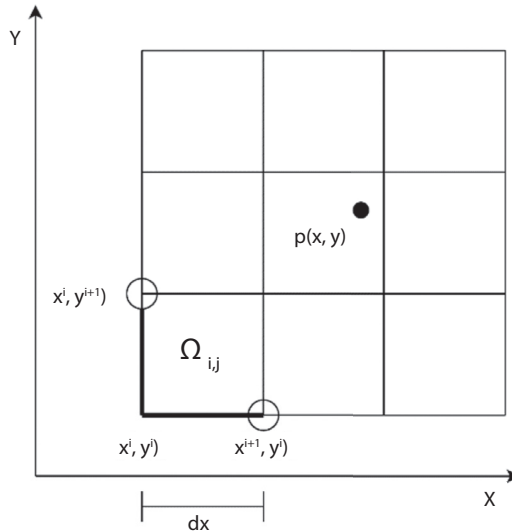
A kristály és a fényérzékelő együttesének összhangban kell lennie. Figyelemmel kell lenni a szcintillációs kristály által kibocsátott fény hullámhosszára és a fényérzékelő érzékelési hullámhosszára. Az MPPC érzékelőkhöz például jól illeszthető a CsJ(Tl) (talliummal aktivált cézium-jodid) [9], [10], [11]. Ugyanakkor a CsJ kristály lágy, sérülékeny és nedvszívó. Általában ezt a kristályt külső bevonattal látják el, elsősorban a felület sérülékenységének csökkentése érdekében.

3. Mérési eljárás

A mérési eljárás két fázisra bontható. Az első fázisban a megtervezett útvonalon az eszköz a kijelölt mérési pontokon (amelyek egy raszteres hálót alkotnak) előre meghatározott ideig lebeg, majd tovább repül a következő mérési ponthoz. A lebegési időt 10 s-ban határoztuk meg. Így a detektor érzékenységének megfelelően az egyes pontokon több adatot tudunk rögzíteni, amelyek koordinátája állandó. Az azonos ponton gyűjtött több adat jobb jel/zaj arányt (sugárzó minta/háttérsugárzás) biztosít, ami növeli a detektálható forrás érzékelésének valószínűségét. Amennyiben a hordozóeszköz üzemideje nem teszi lehetővé a vizsgált terület felmérését, úgy azt több felszállásból is el lehet végezni.

A mérés második szakaszában a repülések során rögzített adatokat offline módon, egy általunk kifejlesztett MATLAB szoftver segítségével dolgozzuk fel, és az eredményt vizualizáljuk.

Az adatok feldolgozásának első lépése során a mérési területet azonos részterületekre osztjuk fel, ahogy az az 1. ábrán látható:



1. ábra
Terület felosztása cellákra [a szerző]

Legyen $\Omega_{i,j} \subset R^2$ X_{min} -től X_{max} -ig és Y_{min} -től Y_{max} -ig tartó befoglaló téglalap alakú terület, ahol

$$X_{min} = \min_{p \in P} p_x \quad (1)$$

$$X_{max} = \max_{p \in P} p_x \quad (2)$$

valamint

$$Y_{min} = \min_{p \in P} p_y \quad (3)$$

$$Y_{max} = \max_{p \in P} p_y \quad (4)$$

ahol p egy mérési pont GPS-koordinátája ($p_x, p_y \in R$), továbbá P az összes pontot tartalmazó halmaz. Az $n \times m$ felosztású befoglaló téglalapot az alábbiak szerint képezzük:

$$\Omega_{ij} = \begin{cases} [x^i, x^{i+1}) \times [y^j, y^{j+1}) & \text{ha } i \in [0, n, \dots, n-2] \text{ és } j \in [0, m, \dots, m-2] \\ [x^i, x^{i+1}] \times [y^j, y^{j+1}) & \text{ha } i = n-1 \text{ és } j \in [0, m, \dots, m-2] \\ [x^i, x^{i+1}) \times [y^j, y^{j+1}] & \text{ha } i \in [0, n, \dots, n-2] \text{ és } j = m-1 \\ [x^i, x^{i+1}] \times [y^j, y^{j+1}] & \text{ha } i = n-1 \text{ és } j = m-1 \end{cases} \quad (5)$$

ahol

$$x^i = x_{min} + i \cdot dx \quad (6)$$

és

$$y^i = y_{min} + i \cdot dy \quad (7)$$

A fentiek alapján meghatározunk egy $f(p)$ függvényt, amely megadja p pont értékét. Az (i, j) -edik cellához tartozó érték a következő összefüggés segítségével határozható meg:

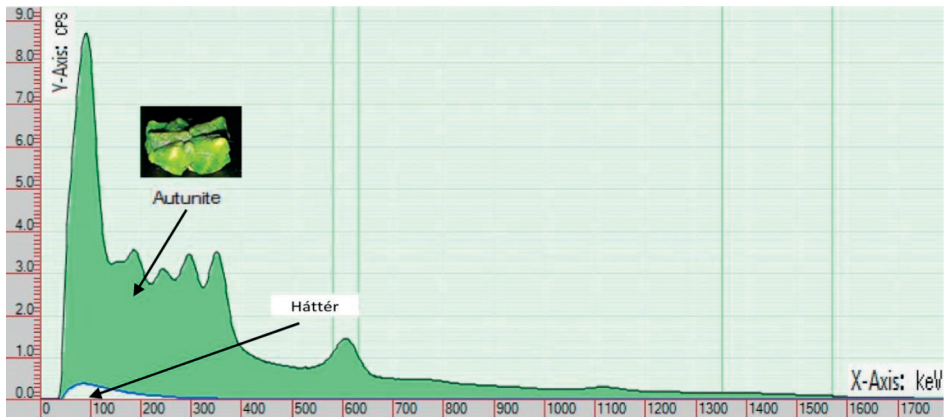
$$\bar{p}\Omega_{i,j} = \frac{\sum_{p \in \Omega_{i,j}} f(p)}{|\{p: p \in \Omega_{i,j}\}|} \quad (8)$$

Az átlagolást végző függvény helyettesíthető bármilyen más függvénnyel, például medián. Tehát a mérési területet előre megadott paraméterek alapján osztjuk fel. Az összes mérési pont egy adott cellához fog tartozni. Egy cella értékét a beállítástól függően a mért gamma-sugárzások átlaga, mediánja vagy maximuma adja.

4. A kísérleti minta hatásos mérési távolságának meghatározása

A kísérleti területen elhelyezett gamma-sugárforrás egy 30 cm átmérőjű korongon elterített autunit [$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \times (10\sim 12)\text{H}_2\text{O}$] ásványdarabokból állt. Ez az ásvány az urán egy természetes előfordulása. Aktivitása a kísérletben felhasznált ásványoknak az egészségügyi

határérték alatt volt. Beszerzése, birtoklása kis mennyiségben engedélyhez nem kötött. A 2. ábra egy autunit minta gammasugárzási spektrumát szemlélteti. A spektrum egy szcintillációs detektorral lett felvéve. A felvétel kiértékelése egy ingyenesen letölthető „Becquerel Monitor” nevű programmal történt [13]. A spektrum felvétele során a minta a detektor közvetlen közelében volt. A szcintillációs kristály és a minta között a detektor szerkezeti felépítéséből adódóan 3 mm távolság volt. A felvétel időtartama 60 min. Az ábrán jól látható a kontrollként felvett háttérsugárzáshoz képest megnövekedett sugárzás. A Geiger-Müller-detektorok nem alkalmasak a detektált gamma-részecske energiaszintjének mérésére, csupán a jelenlétüket lehet kimutatni. A diagramból azonban jól leolvasható, hogy az autunitminta szignifikáns gamma-részecskeszám-növekedést generál. Ezt a tényt alapul véve alkalmaztuk a további kísérletek során az autunit ásványt sugárforrásnak.



2. ábra
A kísérletek során használt egyik autunit ásvány sugárzási spektruma [a szerző]

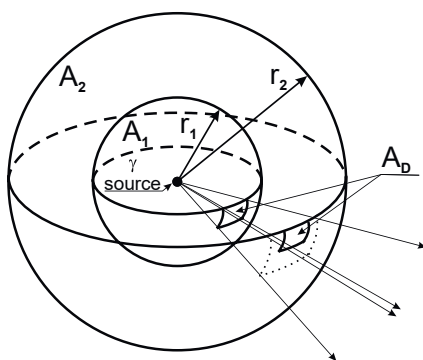
A kísérlethez meg kellett határozni azt a mérési távolságot (repülési magasságot), amelynél még várhatóan az alkalmazott forrás detektálható. A sugárzás terjedésének modellezésénél egyszerű geometriát (3. ábra) alkalmaztunk az alábbi feltételezésekkel:

- a forrás a mérési távolságból pontszerűnek tekinthető;
- a gamma-sugárzás gyengülése a levegőben megtett távolság függvényében a mérési tartományban elhanyagolható, azaz

$$I = I_0 e^{-\mu r} \cong I_0 \quad (9)$$

ahol

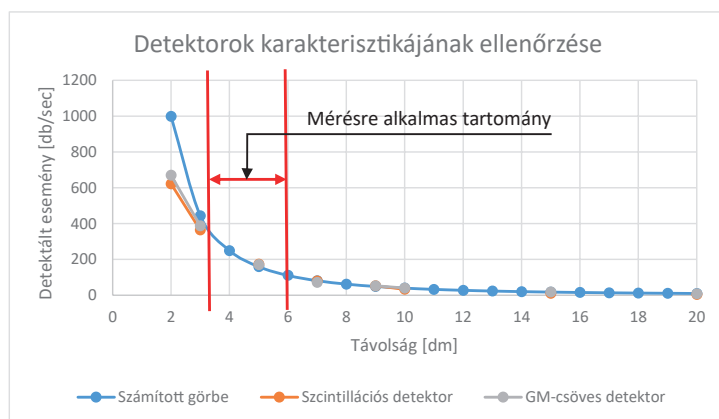
- l: r távolságban számított sugárzás,
- I_0 : a referenciaponton mért sugárzás,
- μ : a közeg gyengítési együtthatója,
- r: a forrástól (referenciaponttól) mért távolság;
 - a forrás a mérési távolságban tisztán csak gamma-sugárzó;
 - a sugárzás izotróp.



3. ábra

A sugárzás távolságtól függő detektálhatóságának modellezése [a szerző]

AD: a detektor felülete; A1: egységnyi távolságot meghatározó gömb felülete; A2: a detektálási távolságot meghatározó gömb felülete; r1: egységnyi távolság a forrástól; r2: detektálási távolság a forrástól



4. ábra

A hatásos mérési távolság meghatározása [a szerző]

A 4. ábra annak a kísérletnek az eredményét szemlélteti, amelyet a későbbi vizsgálatok során felhasznált mennyiségű mintával mértünk különböző távolságokban. A statikus mérés célja az volt, hogy a mérési eredményeket össze lehessen hasonlítani az elméleti számításokkal, és meg lehessen határozni a minimális és maximális mérési távolságokat. Az ábrából kiolvasható, hogy a méréseket célszerű a mintától 6 m-nél nem nagyobb magasságban végezni, mert a forrás jelét ennél nagyobb magasságból már a háttérsugárzástól rövid mérési idővel nem lehet elkülöníteni. A 3 m-nél alacsonyabb mérések ugyan kimutatható eredményt adnak, de a kezdeti megszorítások már nem teljesülnek maradéktalanul. Mivel a tesztelés során használt forrás több apró ásványból áll, ezek együttese közelről már nem tekinthető pontforrásnak. Ebből adódóan a mérés erős hibákkal lesz terhelt, ami nem teszi lehetővé a kvantitatív kiértékelést.

5. Gyakorlati tapasztalatok

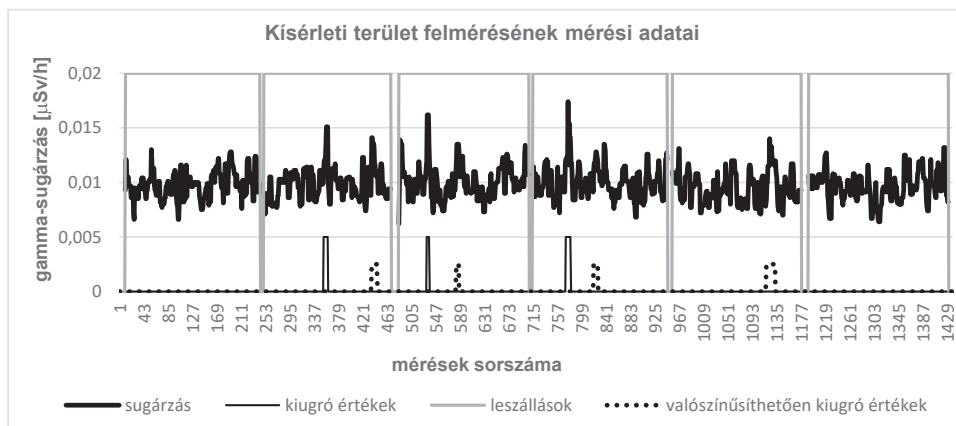
A módszer gyakorlati tesztelése érdekében két különböző detektorrendszerrel ellátott drónt alkalmaztunk. A méréseket egymást követően azonos körülmények között végeztük, hogy az eredmények egymással összehasonlíthatók legyenek. A kísérlet megtervezése során figyelembe vettük a folyamatos repülésekkel készített gammasugárzás-mérési tapasztalatainkat [1], [2].

5.1. *DJI Inspire drónra szerelt Geiger–Müller-detektoros mérések*

Az Inspire a DJI cég egy régebbi terméke. Nagy mérete és teherbírása alkalmassá teszi a drónt nagyobb, akár 1 kg hasznos teher szállítására. Megbízható repülési képessége kimondottan előnyös a sugárzásméréshez összeállított Geiger–Müller-detektorrendszer szállítására. Maga a detektorrendszer négy darab, nagy érzékenységű GM-csőből (LND 7808) [12], az azokat megfelelő feszültséggel ellátó tápegységekből, GPS-modulból, valamint a mérési adatokat rögzítő mikroszámítógépből áll. A rendszer úgy lett kialakítva, hogy egységnyi időközönként minden detektor mérési adatát külön-külön, valamint a négy detektor összesített mérési adatait is tárolja. Ennek köszönhetően utólagosan vizsgálható a detektorcsövek többszörözésének mérési hatékonysága is.

A drón repülési ideje a detektorokkal 10–18 min. Ennyi repülési idő nem volt elegendő a 27 m hosszú és 24 m széles kísérleti terület felméréséhez. A területet 3 × 3 m-es négyzetrácsra bontottuk. A rácpontok mindegyikében a drón 10 s-ot lebegett. A mérést így 6 felszállással valósítottuk meg. A leszállások során a detektorrendszer GPS-egysége folyamatosan üzemelt, amivel igyekeztünk a mérési pontok hibáit minimalizálni. A hat repülés során a terület 1,5 m eltolással kétszer lett végigpásztázva úgy, hogy a mérések rácpontjai végül egymástól 1,5 m-re kerültek.

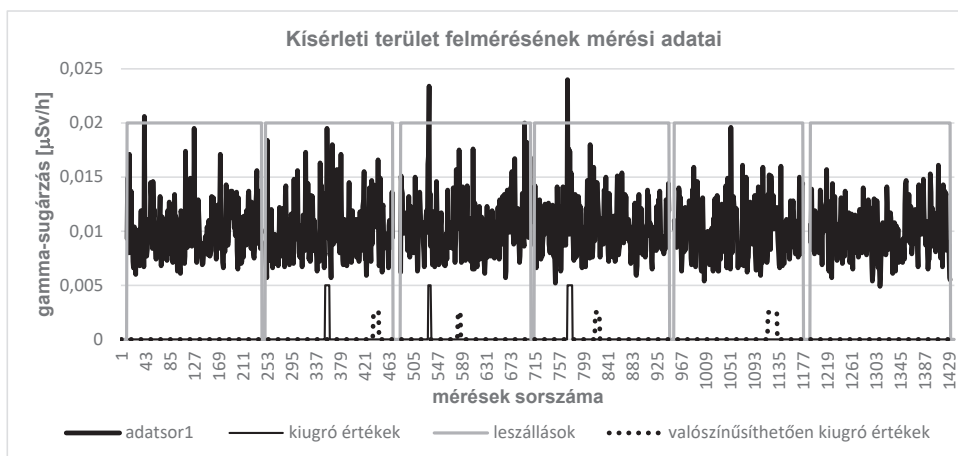
A kísérlet során közel 162 mérési ponton 1620 mérést végeztünk. A mérési adatokat az 5. ábrán látható diagram szemlélteti. Jól látható, hogy a detektorok a területen mérhető jellemző háttérsugárzástól (0,01 mSv/h) csak csekély mértékben eltérő (0,015–0,017 mS/h) aktivitást detektáltak a mérések során. A diagramon a szürke vonal magas értéke a repülési szakaszt, míg az alacsony értéke a földön töltött időt (akkumulátorcserre) mutatja. A diagram alsó vonalai közül a vékony, folytonos vonal magas értéke a minta által generált csúcsokat, míg a szaggatott vonal magas értéke a nagy valószínűséggel a mintához tartozó adatokat mutatja. Mivel a kísérlet úgy lett kialakítva, hogy az egyes mérési pontok és a minta fizikai elhelyezése egymáshoz viszonyítva ne mutasson kapcsolatot, nem volt garantált a minta feletti mérés. A sűrű mérési pontok azonban garantálták, hogy lesz több olyan mérés is, amely a mintához kellően közel van, így az már meg fogja változtatni a mért sugárzási értéket. Ennek eredménye az, hogy lesznek a minta hatását jól jelző mérési pontok, és lesznek a háttérsugárzástól gyengén eltérő, de a mintához kapcsolható mérési pontok is. E mérési pontokat a diagram ugyan tartalmazza, de egyértelműen elkülöníteni őket további információk nélkül nem lehet.



5. ábra

Egy 650 m² terület felett végzett sugárzásmérés medián szűrt adatai, és az egyes csúcsok értelmezése [a szerző]

Az 5. ábrán a detektált sugárzási adatokat egy 5 elemű mediánszűrővel szűrtük. Ennek oka, hogy a mérések diszkrét pontokban történtek. Minden ponton 10 s alatt 10 mérést rögzített a rendszer. A mediánszűrő kiszűrte azokat a csúcsokat, amelyeket csupán egyetlen mérés idejére rögzített. A sugárzás természetes jellege miatt ezek a rövid impulzusok előfordulhatnak, de nem utalnak tartósan magas sugárzás jelenlétére. Azt feltételeztük, hogy a minta a rövid idejű impulzusok helyett több mérésen keresztül, tartósan fennálló emelkedett értékeket generál.



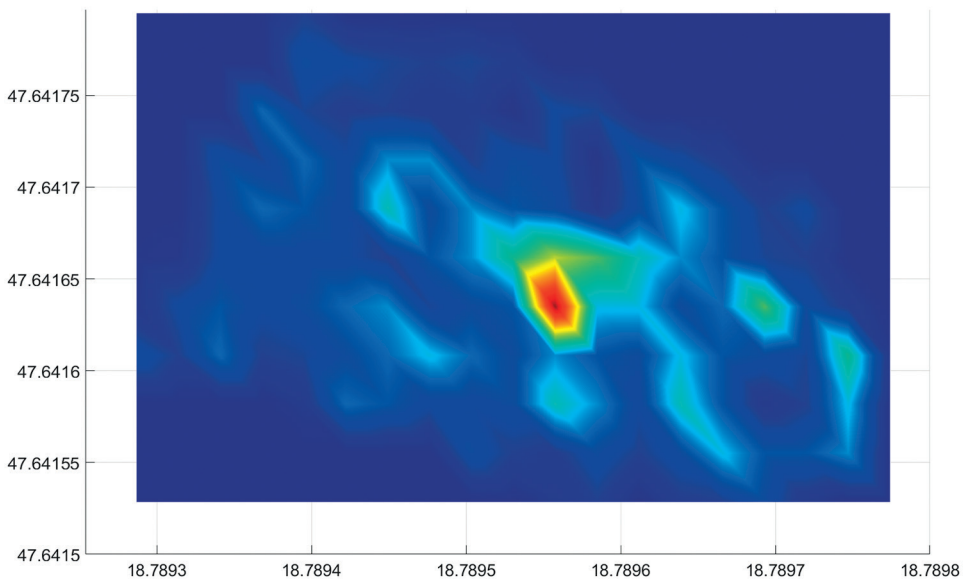
6. ábra

A kísérleti mérés szűretlen sugárzási adatai [a szerző]

A 6. ábra a mérés szűretlen adatait szemlélteti. Látható, hogy a szűretlen adathalmazban nehezen található meg a minta jele, illetve számos hamis csúcs is megjelenik.

Tekintettel arra, hogy minden sugárzási méréshez a mérés koordinátáját is rögzítjük, fel lehet használni ezt a többletinformációt az adatok elemzése során [14], [15], [16]. A vizsgálati területet felosztottuk $m \times m$ részegységekre. Az elemzések során „m” érték 1; 2; 3 és 4 m voltak. Ez a felosztási méret a repülések során meghatározott diszkrét mérési pontok távolságához igazodik. A sugárzási adatokat az egyes részterületekhez rendeltük, és e részterületeket a hozzájuk rendelt sugárzási értékek mediánjával jellemeztük.

Elvileg minél kisebb az elemi részterületek mérete, annál pontosabb és részletesebb lokalizáció lehetséges. A tapasztalat azonban az, hogy a valós mérési pontok távolságától lényegesen kisebb területfelosztás hamis forráspontokat eredményez. Legjobb eredményt a valós mérési pontok távolságánál valamivel kisebb elemi részterület beállításával kaptuk. Például, 3×3 m-es mérési raster esetén a feldolgozáshoz alkalmazott 2×2 m-es elemi területfelosztás nyújtotta a legjobb eredményt.



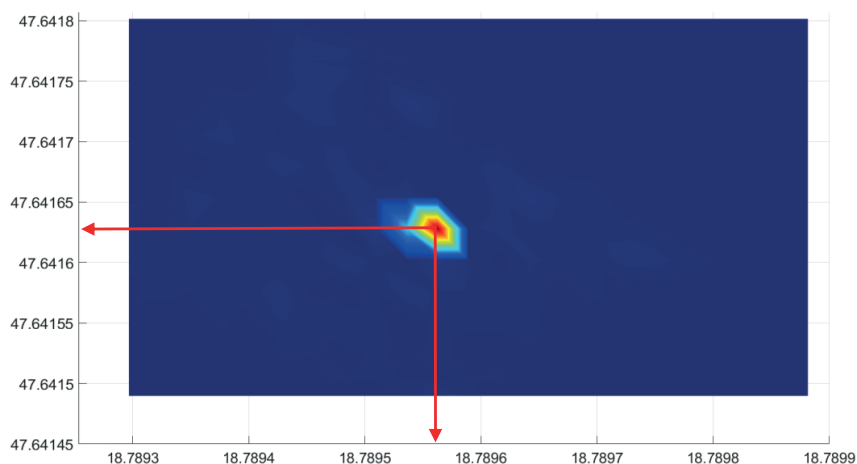
7. ábra

A kísérleti terület gamma-sugárzás intenzitásának eloszlása 3×3 m-es feldolgozási egységekkel [a szerző]

A 7. ábra szemlélteti a fenti mérési adatok síkban ábrázolt gamma-sugárzás intenzitáseloszlását. A kísérleti területen elhelyezett minta markánsan elkülönül a terület többi részétől. Figyelemre méltó a minta szignifikáns hatása a képen. A minta hatása diagramon történő megfigyelés során lényegesen gyengébben elkülönülő.

Annak érdekében, hogy ellenőrizhessük a feldolgozás által jelzett forrás földrajzi koordinátájának helyességét, kontrollmérést végeztünk. A kontrollmérés során az eszközzel kizárólag a minta felett lebegett a drón úgy, hogy a detektor 50 cm-re volt a forrástól. Ennek eredményeképp a háttérsugárzástól erősen elkülönülő értékeket kaptunk. A háttérsugárzáshoz képest szignifikánsan magasabb érték csak a minta feletti koordinátán volt mérhető. A területen egyéb, a mintánál mérhető sugárzási értékhez közel eső értékek nem voltak, így

a feldolgozás során zavaró csúcsok nem keletkeztek. A rögzített koordinátaértékeket statisztikai módszerekkel értékeltük ki. Ennek során a kiugró értékeket elhagytuk, és a megmaradt értékek mediánját vettük a minta statikus koordinátájának. Tekintettel arra, hogy a lokalizáció elsődlegesen a kézi keresés kezdeti lépéseinek megkönnyítését kell hogy támogassa, a mérési hibák a lokalizáció elvárásain belül voltak.



8. ábra

A kísérleti terület ellenőrző gamma-sugárzás mérése 3 × 3 m-es feldolgozási egységekkel [a szerző]

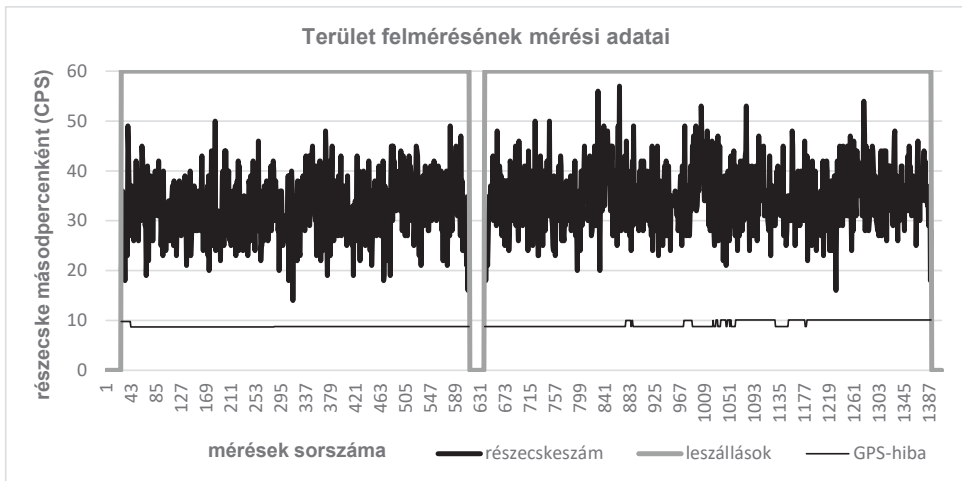
A 8. ábra a kontrollmérés adatainak feldolgozását szemlélteti. Látható, hogy a képen csak a sugárforrás helye rajzolódik ki. Az ábrán nyilak jelölik a forrás földrajzi koordinátáit, ami meg- egyezik a 7. ábrán látható, kísérleti mérés feldolgozása során kimutatott forrás elhelyezkedésével.

5.2. DJI Mavic drónra szerelt szcintillációs detektoros mérések

A DJI cég Mavic elnevezésű drónjai viszonylag új fejlesztések. Maga a drón lényegesen kisebb, mint az Inspire-sorozat. Repülési stabilitása és pontossága is felülmúlja a régebbi fejlesztéseket. Kisebb méretéből adódóan szállítása, tárolása, üzemeltetése egyszerűbb régebbi, nagyobb társainál. Kompakt kialakítása azonban kissé nehézkessé teszi az eszközre felszerelni kívánt kiegészítők elhelyezését. Teherbírása is kisebb, mint az Inspire drónoké, így a már kialakított Geiger–Müller-detektoros rendszer felszerelése a Mavic drónra nem lehetséges. A kis méretű és kis tömegű félvezető érzékelős szcintillációs kristállyal rendelkező sugázmérők azonban elhelyezhetők az eszközön. Így a Mavic Pro drónra egy ilyen kis méretű szcintillációs detektor és az adatait feldolgozó Raspberry PI került. A kísérletek során azt vizsgáltuk, hogy a statikus mérések során megfelelő érzékenységet mutató szcintillációs detektor mennyire ad megbízható adatokat repülés közben. Az alkalmazott detektor szerkezetét tekintve egy $13 \times 13 \times 47$ mm kubatúrájú CsJ(Tl) kristályból és MPPC-érzékelőből áll. A detektor 0,01 mSv/h sugárzás (a kísérleti területen mérhető háttérsugárzás) esetén átlagosan 30 részecskealátalatot detektál.

Tekintettel arra, hogy célunk egy kis méretű, könnyen szállítható rendszer megvalósítása volt, az egyik hordozó rendszer egy DJI Mavic Pro multikopter lett. A korlátozott teherbíróképesség okán a fedélzetre szerelt rendszerek esetében a szükséges minimumot határoztuk meg. Természetesen RTK-lokalizáció esetén a mérési pontok meghatározása cm alatti pontosságot szolgáltatna, de a rendszerünknel ezt a pontosságot nem tűztük ki célul. A kutatási, fejlesztési koncepciónk szerint a standard GPS (polgári) mérési pontossága elegendő volt.

Mivel a Mavic a rászertelt detektorrendszerrel 10–12 min repülésre képes, a terület mérését két felszállással lehetett biztosítani. A drón az első felszállással 36 mérési ponton, a második felszállással 45 mérési ponton, pontonként 10 s időtartamig mért. A mérési eredményeket a mérési pontok koordinátaival együtt a Raspberry PI egy SD-kártyára rögzítette.



9. ábra

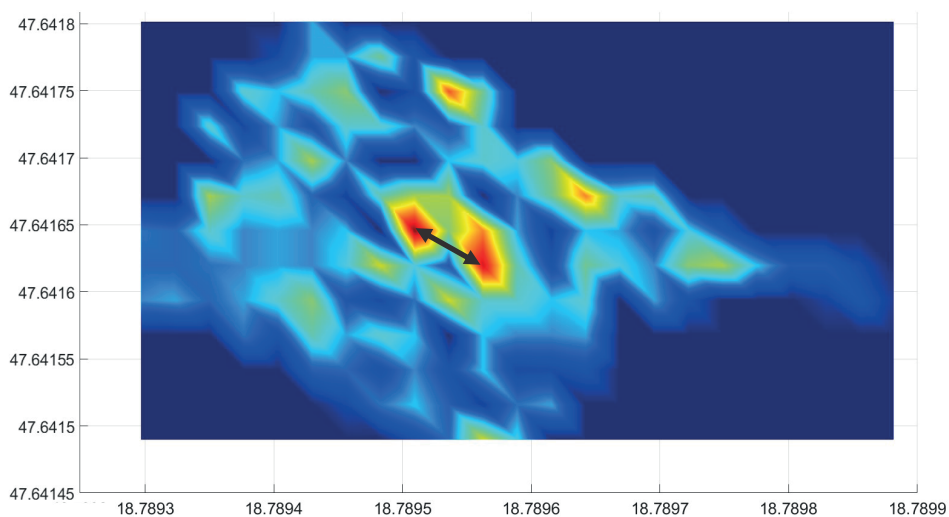
Egy 650 m² terület felett végzett sugárzásmérés s-onkénti eseményszámainak diagramja [a szerző]

A szcintillációs detektor ugyan alkalmas a detektált gamma-részecske energiájának meghatározására, jelen kísérlet során ezt nem vettük figyelembe. A rögzített adatok csupán az egységnyi időre vetített gamma-részecskék detektálásának számát tartalmazzák (9. ábra).

A 9. ábrán látható mérési adatokban szignifikáns kiugrások nem tapasztalhatók. Az adatsor alapján nem lehet megmondani, hogy volt-e a mérési területen a háttérsugárzástól eltérő intenzitású sugárforrás.

Az adatok síkban történő ábrázolásával (10. ábra) azonban láthatóvá válik a forrás. A 10. ábrán két forrás látható (eltekintve a képen látható zajoktól, ami azért van, mert a forrás intenzitása a mérési helyeken alig volt nagyobb a háttérsugárzás intenzitásától). A 9. ábrán látható diagramon megjelenítettük a mérés ideje alatt rögzített GPS-pontosságot is. Látható, hogy a mérés idejének második harmadában a pontosság romlott (magasabb lett az érték). Ezzel egy időben a méréshez használt műholdak száma az adatok alapján 10-ről 9-re csökkent (ezt az értéket nem ábrázoltuk). A megnövekedett mérési pontatlanság okán a rögzített GPS-koordináták is eltértek a pontosabb mérési időszakhoz képest.

A kísérletek során hasonló helymeghatározási pontatlanságot eredményeztek a mérés során bekövetkező műholdváltások. Amennyiben a mérés olyan időszakban történt, amikor a GPS-vevő számára egy műhold a mérés során a horizont alá került (lekerül a feldolgozható műholdak listájáról), és helyette új műhold jelent meg, akkor a méréshez használatos műholdak száma ugyan nem csökkent le, de a holdak megváltozott geometriai helyzete eltérő lokalizációs értéket (GPS-koordinátát) eredményezett. Ez az eltérés általában a mérés hátralévő időtartama alatt állandó volt, és így kialakul a 10. ábrán is látható kettős forrás hamis képe.



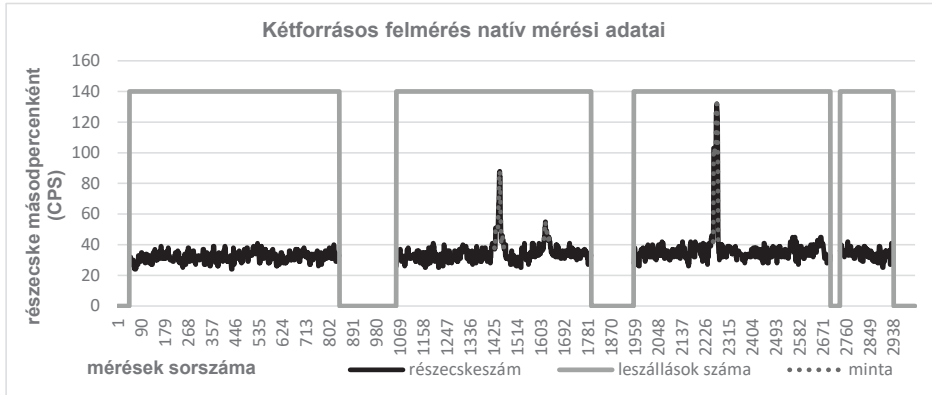
10. ábra

A kísérleti terület gamma-sugárzás intenzitásának eloszlása az eddigi feldolgozások paramétereivel [a szerző]

A két forrás megjelenése tehát a 10. ábrán a mérés során bekövetkezett GPS-hiba megnövekedésével magyarázható. Az ábrán fekete nyíllal jelölt két forráspont közötti távolság ~4 m. Ez a távolság megfelel a mérési bizonytalanság megnövekedéséből adódó pozícióhibának.

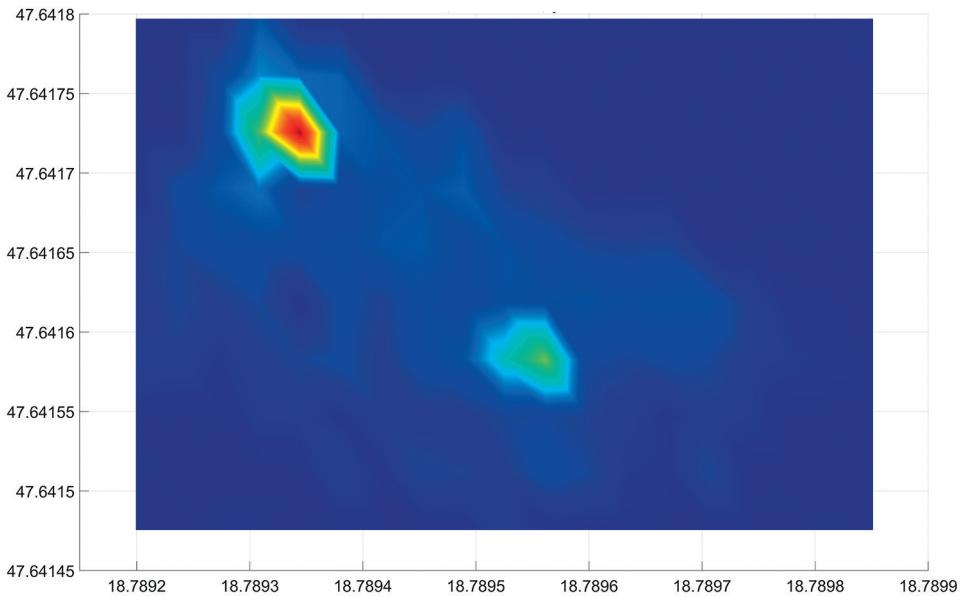
5.3. DJI Mavic drónnal végzett kétforrásos felmérés

A további tesztek során megvizsgáltuk a teszterületen egymástól távol elhelyezett források detektálásának lehetőségét. A minták egymástól 25 m távolságban voltak, aktivitásuk közel azonos mértékű volt. A kísérlet az előzőkhez képest kissé nagyobb területen zajlott, hogy a kihelyezett minták ne a mérési terület széleire essenek. A kísérleti terület így az előző mérésekhez képest (27 m × 24 m) változott, 39 m hosszú és 24 m széles lett. A mérési pontok száma 117 volt, ami 9 sorban, soronként 13 mérési pontra tagolódott. Minden ponton az eszköz 10 s időtartamig lebegett. Ezt a mérést négy felszállással lehetett megvalósítani. A mérési eredmények kiértékelése a már ismertetett módon történt. A nyers mérési adatokat a 11. ábrán látható diagramok szemléltetik.



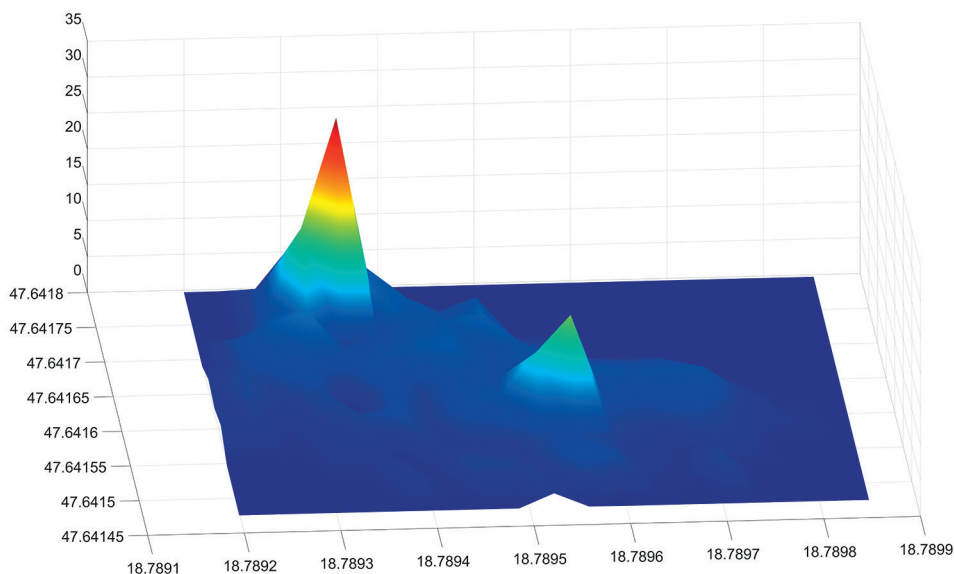
11. ábra
Kétforrásos felmérés nyers adatainak megjelenítése [a szerző]

A 11. ábrán látható, hogy a háttérsugárzás 20–40 közötti CPS-értéket eredményezett. A minta közelében ez az érték szignifikánsan megemelkedett. A második repülés idején 2 csúcs látható. Mindkét csúcs egyazon forráshoz tartozik. Azért keletkezett két csúcs, mert a mérési pontok közül két esetben is a detektálási távolságon belül volt az eszköz. A harmadik repülés során egy viszonylag nagy csúcs látható, amely a második forrás közelében történő mérés során keletkezett.



12. ábra
Kétforrásos felmérés adatainak vizuális megjelenítése [a szerző]

A mérési eredményeket a már ismertetett eljárással területi eloszlástérkép formájában a 12. ábra szemlélteti. A képen a két forrás helye jól elkülönül, koordinátáik a valóságos helyzetüknek megfelelő. A módszerrel tehát a vizsgált területen több, független forrás kimutatása is megbízhatóan megvalósítható. Meg kell jegyezni ugyanakkor, hogy a kísérleti rendszer nem alkalmaz RTK helymeghatározó eszközt, ezért a független források minimális elkülönítési távolsága 4–5 m, függően a mérés során esetlegesen előálló GPS-hibától (lásd 9–10. ábrák és azok magyarázatai).



13. ábra

Kétforrásos felmérés adatainak 3D megjelenítése, ahol a magasság az 1 s-ra számított detektálási számmal (CPS) arányos [a szerző]

Az ábrán a háttérsugárzás átlagos értékével korrigáltuk az adatokat, így a Z tengely mentén a háttérhez képest többlet detektálási értékek szerepelnek.

A 13. ábra a már bemutatott kétforrásos mérés 3D reprezentációja. A felület magassága arányos a mért gamma-sugárzással, pontosabban a detektor által rögzített s-onkénti eseményszámmal (*Count per Second, CPS*). A jobb áttekinthetőség érdekében az ábrázolás során eltávolítottuk a háttérsugárzás tartományába eső eseményeket, így a felület kiemelkedései már a többletsugárzást szemléltetik. Ennek megfelelően a 13. ábra Z tengelyén az adott területhez tartozó CPS-értékek olvashatók le. A színezés ugyan arányos a CPS-értékkel, de abszolút értékkel nem rendelkezik. A színpalettát minden diagramon a legjobb vizuális élményhez igazítottuk.

6. Összegzés

A detektorok összehasonlítását célzó két vizsgálat egy napon, a minta változatlan pozícióban hagyásával, azonos mérési paraméterekkel készült, így lehetőség van azok tárgyilagos összehasonlítására. Látható, hogy a minta beazonosítása mindkét esetben megvalósult, ugyanakkor minőségi eltérések mutatkoznak az eredmények tekintetében. A szcintillációs detektorral szerelt Mavic mérése esetén az eredmény zajosabb lett, ami annak tulajdonítható, hogy a detektorrendszer kevésbé volt érzékeny. Ennek egyik oka, hogy a 4 csőből álló Geiger–Müller-számlálós detektorrendszer lényegesen nagyobb felületű, mint a 8 cm³-es szcintillációs kristály. Bár a szcintillációs kristály nagyobb anyagsűrűsége okán több gamma-részecskével lép kölcsönhatásba ugyanakkora térfogaton, mint a Geiger–Müller-csővek, mégis, a kis méret miatt a detektálás valószínűsége valamivel alacsonyabb.

Hordozó tekintetében a Mavic drón sokkal precízebben volt képes a kijelölt mérési pontokra beállni, és ott a mérés idejéig a pozícióját tartani. Hordozhatósága, kis mérete kezelhetőbb, kompaktabb eszközt valósít meg a robusztus Inspire drónhoz képest.

A diszkrét pontokon történő mérés a folyamatos repüléses méréshez képest pontosabb eredményt adott, mivel nem volt szükség a mozgásból adódó helykoordináta korrekciójára. További előnye a diszkrét pontokon történt mérésnek, hogy a detektálási idő megnőtt, ami a minta jeleinek a háttérzajtól történő jobb elkülönítését tette lehetővé.

A több forrás vizsgálata jól szemléltette, hogy egy területen szétszóródó radioaktív törmelékcsoportok vagy nagyobb, különálló törmelékek a mérési módszerrel jól detektálhatók és lokalizálhatók.

Felhasznált irodalom

- [1] Molnár A., „Gammadózis teljesítmény-eloszlási térkép készítése kis méretű drón alkalmazásával,” *Haditechnika*, 53. évf. 2. sz. pp. 8–13. 2019. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.53.2.02>
- [2] A. Molnár, D. Stojcsics, Zs. Domozi, I. Lovas, „Gamma Radiation Distribution Map Creation Using a Small-Sized Drone,” in *IEEE 18th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI 2018)* Budapest, 2018. pp. 161–166. Online: <https://doi.org/10.1109/CINTI.2018.8928202>
- [3] A. Parshin, V. Morozov, N. Snegirev, E. Valkova, F. Shikalenko, „Advantages of Gamma-Radiometric and Spectrometric Low-Altitude Geophysical Surveys by Unmanned Aerial Systems with Small Scintillation Detectors,” *Applied Sciences*, Vol. 11, No. 5. p. 2247. 2021. Online: <https://doi.org/10.3390/app11052247>
- [4] S. Mochizuki, et al., „First Demonstration of Aerial Gamma-Ray Imaging Using Drone for Prompt Radiation Survey in Fukushima,” *Journal of Instrumentation*, Vol. 12, No. 11. p. P11014. 2017. Online: <https://doi.org/10.1088/1748-0221/12/11/P11014>
- [5] J. Aleotti, et al., „Detection of Nuclear Sources by UAV Teleoperation Using a Visuo-Haptic Augmented Reality Interface,” *Sensors (Switzerland)*, Vol. 17, No. 10. p. 2234. 2017. Online: <https://doi.org/10.3390/s17102234>
- [6] T. Hinterhofer, M. Pfennigbauer, S. Schraml, M. Hofstätter, „UAV Based Multi-Sensor System With Real-Time Data Processing and Downlink for Survey of Nuclear Disaster

- Locations for First-Responder Support," in *Proceedings of the AUVSI XPONENTIAL*, Dallas, TX, USA, 8–11 May 2017. Online: <https://doi.org/10.1117/12.2304353>
- [7] J. Zelenák, J. Csurgai, L. Halász, J. Solymosi, Á. Vincze, „A légi sugárfelderítés képességei alkalmazhatóságának vizsgálata elveszett vagy ellopott sugárforrások felkutatása, illetve szennyezett terepszakaszok felderítése során,” *Hadmérnök*, 4. évf. 1. sz. pp. 46–62. 2009.
- [8] Pintér I., *A járműfedélzeti sugárszintmérés elvei és gyakorlati megvalósításuk harctevékenység, illetve nukleáris baleset-elhárítás során*. PhD-értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2002.
- [9] D. T. Connor et al., „Radiological Comparison of a FDNPP Waste Storage Site during and after Construction,” *Environmental Pollution*, Vol. 243, pp. 582–590. 2018. Online: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.099>
- [10] O. Šálek, M. Matolín, L. Gryc, „Mapping of Radiation Anomalies Using UAV Mini-Airborne Gamma-Ray Spectrometry,” *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 182, pp. 101–107. 2018. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.11.033>
- [11] P. Martin et al., „Radiological Identification of Near-Surface Mineralogical Deposits Using Low-Altitude Unmanned Aerial Vehicle,” *Remote Sensing*, Vol. 12, No. 21. p. 3562. 2020. Online: <https://doi.org/10.3390/rs12213562>
- [12] LND, Inc. Oceanside, New York, USA, *Gamma detector product datasheet*. Online: www.lndinc.com/products/geiger-mueller-tubes/7808/
- [13] Sync, *BecqMoni2011 is an amateur freeware Japanese MCA software*. Online: <https://ln.sync.com/dl/cbafeba20/87sjrujv-%C2%ADr9tziicq-%C2%ADpz9ncmsy-%C2%ADnphcjsk5/view/default/1092926230010>
- [14] V. Fedorovsky, et al., *Aerospace Geological Map of the North-Eastern Part of zones Chernorud & Tomota*. Irkutsk, Russia, Geological Institute of RAS & Institute of Earth's Crust, 2013.
- [15] A. V. Parshin, A. E. Budyak, V. N. Babyak, „Interpretation of Integrated Aerial Geophysical Surveys by Unmanned Aerial Vehicles in Mining: A Case of Additional Flank Exploration,” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 459, No. 5 p. 052079. 2020. Online: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/5/052079>
- [16] A. V. Parshin, et al., „Complex UAS-Geophysical Surveys at the First Stages of Geological Prospecting: Case in the Western Sayan (Russia),” In *Proceedings of the First EAGE Workshop on Unmanned Aerial Vehicles*, Toulouse, France, 2–4 December 2019. pp. 1–5. Online: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903321>

Evaluation of the Dose Distribution of Gamma Radiation by a Discrete Measuring Point Method Using Drones

The primary objective of the development was to create a more compact, easily portable, and deployable system, but one which, in contrast with the previous ones, is more sensitive. Despite background radiation (typically 0.01 $\mu\text{Sv/h}$ in the testing areas), a difference of +0.009 $\mu\text{Sv/h}$ has reliably been detected in the experiments made so far. In this present development, this value was successfully reduced to +0.005 – +0.007 $\mu\text{Sv/h}$. The improvement in sensitivity was achieved primarily by increasing the measurement time per point, which was realised using special flight control software. This sensitivity increase either allows higher scanning altitude (approximately

+1–2 m) or, in case of an identical flight device at an identical altitude, a larger survey area with one take-off. In our experiments, we used a natural uranium mineral (Autunite) with activity far below that of artificially produced isotopes. In this series of experiments, we also covered the identification of several sources, which models the possibility of mapping active sources scattered around the site of a possible accident.

The main advantage of the system developed and introduced by us over the survey procedures used in practice is that it is easy to mobilise, a large area can be surveyed at low cost without putting an operator at risk in the field. The purpose of the system is to detect the presence of the source and to localise it to such an extent that the localisation can subsequently be easily specified by manual or other ground procedures. Since we do not strive for centimeter positioning accuracy, standard GPS localisation is sufficient for measurements. During the measurements, the geographical coordinates are interpreted in the WGS'84 system. The circles of latitude and longitude coordinates are also shown in this system in the figures presented.

Keywords: dose distribution measurement on field, radioactive mapping with drone, radiation measurement with drone

Prof. Dr. Molnár András általános rektorhelyettes Óbudai Egyetem Neumann János Informatikai Kar molnar@uni-obuda.hu orcid.org/0000-0003-4330-6547	András Molnár (PhD) Lecturer Óbuda University John von Neumann Faculty of Informatics molnar@uni-obuda.hu orcid.org/0000-0003-4330-6547
---	---

András Füleký

The Human Challenges of Modernising the Air Force

The aim of my article is to provide an overview of the capability development of the Air Force's fleet within the framework of the Zrínyi National Defence and Armed Forces Development Program and the effects of the related tasks that fundamentally affect the operator and maintenance personnel. The article briefly describes the peculiarities of the organisational culture of the Air Force, the age and position of the available personnel, which is the initial knowledge necessary for the planning of the recruitment. The article covers the complex security policy, social and technological environment to which the selection system applied by the Hungarian Armed Forces must be adapted, and which is the key to successful training and success indicators. Through personal reports, the article seeks to present a real situation about the challenges and motivations and path-finding of the personnel currently serving in military aviation.

Keywords: *capability development, human resources, generation, analogue–digital switchover, Hungarian Armed Forces, military suitability, Zrínyi National Defence and Armed Forces Development Program, NATO*

1. Introduction

The Hungarian Armed Forces is facing a new and unprecedented opportunity and situation. At the same time, new aircraft are procured and set up, the necessary operating conditions and infrastructure are developed, the regulations, manuals are rewritten and taken over and introduced, the operator and maintenance staff are trained and retrained, and efforts are made to solve the shortage in several ways. This is done on the condition that, in the meantime, the formations concerned must carry out their tasks in full.

In this multi-parameter and constantly changing system, an optimum must be found, which can be achieved with virtually no full efficiency or only with limitations. It is the responsibility of the flight experts to discover intervention points and directions in processes that have already been recorded with certain errors, which may provide an opportunity to perform the task safely and achieve the goals originally set, prioritising the most valuable element of the system, the aircrew itself [5].

2. In the light of the current challenges

The Hungarian Government has set the goal of creating a strong, capable army that meets the requirements and challenges of the age. During the preparation of the Zrínyi National Defence and Armed Forces Development Program, launched in 2015, it had to be stated that in order to develop the complex capabilities of the Air Force, it is necessary to go back to the basics for virtually all (combat) services. Although it was clear to military professionals – as stated in senior management reports in 2009 – that failure to modernise military equipment would result in a severe loss of capabilities, we only received an effective response from a budgetary point of view with the Zrínyi program [2].

As a result of force development, a technical era change is underway across the entire Air Force. The following capabilities will be replaced and developed: fighter aircraft, helicopter, military transport aircraft, basic training aircraft, anti-air missile, radar, unmanned aerial vehicle systems, command and control.

Building on existing elements of fighter aircraft capability, upgrading the Gripen armament and modifying the on-board software package is essential to fulfil the mission to be performed and undertaken within NATO.

In case of helicopters, in addition to the Mi-17 medium transport helicopters, the Mi-24 combat helicopters, the AS-350B light helicopters used primarily for basic training and liaison tasks operate in parallel, and the H145M lightweight multi-purpose helicopter fleet, which will soon be in its full range of applications.

The H225M, which is expected to be delivered from 2023 with a medium-range multi-purpose helicopter fleet and the full operational capability (FOC) of the two new models, could also complete the planned rotorcraft capability. The full development of a rotorcraft capability is also a prerequisite for special operations air support (SOATU¹), which is considered a priority capability.

With regard to transport aircraft, the retirement of the An-26T medium-tactical transport aircraft from service in 2020 also resulted in a change of era and, unfortunately, a temporary loss of capability. The arrival of the new generation Embraer KC-390 Millennium aircraft in 2024, taking into account the Airbus A319-112 troop transport and the Dassault Falcon long range, multi-purpose liaison and transport aircraft already in operation, can be said once full operational capability (FOC) is achieved there will be a unique capability of the kind in our region.

The re-establishment of the basic training aircraft capability, which was virtually discontinued in 2015 – the Zlin Z-242L light training and Zlin Z-143LSi light training and liaison aircraft acquired between 2017 and 2021 – provides the opportunity to operate the newly acquired military aircraft listed so far, basic flight training for pilots. Furthermore, the NFTC² of the personnel undergoing flight training is based on this ability, then the training of the same purpose and also of high quality replacing it, such as the training of the Department of Aerospace Controller and Pilot Training restarted at the University of Public Service in 2018 after 23 years.

¹ Special Operations Air Task Unit.

² NATO Flying Training in Canada.

The introduction of the modern types described above into the system and the achievement of its full operational capability level is full of challenges. The following list highlights all aspects of which a single deficiency or weakness affects the entire system:

- creating and adopting a new air operating culture;
- creating and adopting a new maintenance culture;
- developing new tactics technique and procedures (TTPs) due to emerging new capabilities;
- new demands on operating environment (hangar, airport, logistics, airport operating regulations/policies);
- developing a new selection process;
- introduction of new university training that prepares for real flight and focuses on practical training sooner;
- new challenges for pilots (language, procedures, type change, health, generation, psychology);
- new challenges for the aircraft maintenance staff (language, procedures, type change, generation, training);
- new challenges for air traffic controllers (procedures, increased traffic, joint management of aircraft with different characteristics, work environment, lack of equipment);
- new standards and quality of training (language environment, EASA³ compliance, MAWA⁴ compliance);
- belonging to a new "club" (employing countries, transport associations, P&S⁵);
- new types of challenges for the management staff (complex approach, acceptance of the specifics of the armed forces and services, significantly different unit costs, acceptance of the opinion of the experts at the decision points).

3. Characteristics of organisational culture

When discussing the human challenges of air force development, certain characteristics of the host organisation surrounding the fleet should also be addressed in order to form the overall picture.

Due to its mission, a military organisation has a hierarchical, rigid structure. For an Air Force, in order to be able to perform its task system as intended and efficiently, in addition to the availability of human resources and military equipment, infrastructure, the regulations that precisely define flight operations, as well as national and international regulations governing operational tasks must be complied with.

The construction and design of such a complex system is the work of years and decades, during which, in addition to continuous monitoring, the faulty processes must be recognised and the appropriate intervention must be taken in a short time in order to achieve optimal operation.

³ European Union Aviation Safety Agency.

⁴ Military Airworthiness Authorities.

⁵ Pool and Sharing.

Based on the above, it can be said that any intervention (stress) occurring affects the whole system, it initiates specific dynamic processes. In order to be able to analyse the effects of a change in context, it is not recommended to intervene at more than two significant points at the same time. In contrast, due to the current compelling circumstances, the number of intervention points is also an order of magnitude higher.

Another issue is the organisational culture, the system of values, priorities mediated by the organisation and accepted by its members, which are passed on to each other by different groups and generations of the staff in the given organisation, and which regulates the operation and behaviour of its members. This is why radical change is undesirable for a functioning complex organisation.

As the Air Force does not operate in a "vacuum", but its operation is influenced by external and internal factors together and strongly, the following have a decisive influence on the organisation:

- the general culture of society;
- national historical features;
- the professional culture of the given organisation;
- the culture of those associated with the organisation;
- the internal characteristics and common values of the given organisation;
- individual indicators of staff members, which will be discussed separately in the rest of this article.

Thus, a unified organisational culture means that people think and behave similarly in a similar organisational situation, which is also a flight safety factor, as in addition to efficiency, it significantly reduces internal conflict and simplifies management works.

The Armed Forces, including the Air Force, is a bureaucratic organisation that is typically authoritarian, hierarchical, role- and task-oriented. A particularly big challenge for this type of highly regulated organisation is the significant change itself and the lack of conditions, by which I mean, among other things, financial resources, experts, lack of information, or the operating environment. In these cases, the organisation defends itself more strongly by over-regulation, rigid responses, dysfunctional steps, typically treating the surface. Due to the disturbed balance caused by the changes, these can appear at all levels of the organisation, which impairs the efficiency of the organisation, which can affect discipline. In such an environment, informal powers are growing stronger.

The forced changes that have characterised the Air Force over the past decades have brought about permanent reorganisations over a long period of time. An organisation whose main characteristic is strong regulation cannot easily adapt to changes, disturbances and uncertainties develop in the culture.

These effects are particularly strong when external–internal changes accelerate and become uncertain, and the factual data on which decisions are based are rapidly devalued (e.g. security policy environment, economic change).

One of the keys to the Air Force's operational processes is the ability to anticipate future challenges and the state of information sharing. This is especially important when the expected knowledge and responsibilities of individuals at the level of implementation have visibly changed [8].

4. A new era of human–machine interface and new ways of the selection process

Following the latest developments in military technology, we find a number of programs that extend the physical or cognitive abilities of individual soldiers (e.g. UAS⁶ operators, cyberwar actors, PSYOPS⁷ users) or even push the boundaries of their abilities (e.g. digital military program, pilots of airplanes, helicopters with high manoeuvrability or special purpose, or information processing speed requirements exceeding human performance). However, behind everything is still the human who, on an evolutionary scale, finds himself facing much faster technological development. Real challenges in certain abilities that he can no longer meet for psychological and physiological reasons, or only with limitations.⁸ The question is, where are the limits of technical capability development, and what are the further opportunities, challenges and directions of development? What are the ultimate boundaries and characteristics of this new era, that is, the new human–machine teaming, both during training and on the battlefield?

It should be understood that new aircraft and helicopter types will not replace an old military technology with previously identifiable capabilities, but will display new capabilities that have so far been largely unexperienced, and should be introduced as a new generation of military equipment.

As a result of an efficient and targeted selection process, a number of identified, specific factors arise for the pilots, trained and performing their duties at a high level, which affect the effectiveness of the task performance, the individual's health, ability to work and even his/her professional career.

It can be stated that at present the selection system of the Armed Forces and the human resources that form the basis of the military technical developments has not been developed or is only partially developed, in fact it was not possible to establish it in full. On the one hand, this is due to the lack of expertise, the complexity and relative rigidity of the regulatory environment, and on the other hand to the chronic lack of information that did not allow for a methodological closing up in time [1].

The language of operation has been completely moved to English. It can be said that the situation has really been simplified for the technician/maintenance staff, as the computer-aided fault diagnostic system in most cases limits the fault and the repair is done by replacing modules. That is, technician repairs are no longer typical. With regard to combat application, although it has become more user-friendly and indeed the need for physical force has been significantly reduced, a significant increase in the capabilities of the weapons system has necessitated the development and practice of fundamentally new combat procedures. Thinking in the network (e.g. the appearance of an executive element at a great distance from the operator's position in space) and following complex, parallel processes in space came to the fore. The nature of the human–machine relationship is constantly changing, necessarily the expected capabilities of the operator staff are being

⁶ Unmanned Aerial Systems.

⁷ Psychological Operations.

⁸ Recognizing this situation, a method and device for measuring mental performance has been included in the digital soldier program.

pushed. This also requires a redesign of the selection process, as both the ability components and their testing methods may need to be reviewed to achieve a high success rate.

Recognising the bottleneck of the labour market, great emphasis should be placed on one of the main elements of the aptitude test to predict “future behaviour”, based on which we can obtain the determinant value of “accuracy of forecast, gain”. The key significance of this is also shown by the fact that the training for modern military equipment involves extremely high costs (e.g. total NFTC training per capita is almost HUF 1 billion, Gripen costs about 3 million HUF per FH,⁹ Zlin 242L/143LSi costs approximately 400,000 HUF per FH). Thus, in the case of the planned candidate, the determination of the specific and complex skill elements required for the given position and task must be realised primarily during the screening and selection process, in the smallest possible real environment, during the flight training.

In leading NATO member countries, the success rate for the Army Selection Center (AC) is over 90%.

It should be treated as an unfortunate fact that the military technical development needs formulated in the Zrínyi program launched in 2016 and the selection process necessarily associated with it take place on the basis of specifications whose main directives fall in the period before 2015.

If we take an international look, we can see that throughout history, different criteria have been applied to a given army to determine who leads the troops. Typically, physical strength, military capabilities, origin, political power, scientific knowledge, personality traits should be considered. The leadership of a modern army is the responsibility of commanders (primarily officers), so it is important to examine how they are selected.

The main objective of a study by a group of NATO member states from late 1997 to mid-2000 was to map the relevant selection practices of different nations. Experts from the research team (RSG 31) [9] in Belgium, Canada, Denmark, France, Germany, the Netherlands, the United Kingdom and the United States focused primarily on the officer selection process. Data collection using the questionnaire procedure involved nineteen NATO and several in those days non-NATO countries.

It could be seen that the aptitude testing/selection practices of individual countries are embedded in the national culture and traditions, but over the decades – in addition to the development of science – many external conditions changed,¹⁰ which also affected the methodology of these procedures, as follows:

- new international military tasks and missions have been established since the end of the Cold War, such as humanitarian, peacekeeping and peace-building tasks. Instead of high-intensity conflicts across the continent, like a world war, smaller, new types of military operations are typical, where new thinking, approaches and behaviours are expected from the staff (e.g. promoting cohesion in a multicultural environment, taking multilingualism into account in communication);

⁹ Flying Hour.

¹⁰ For example, the Warsaw Pact expired on 1 July 1991 at the Prague Summit of Member States, as a result of which the military balance of the world became unipolar. Some of the former Warsaw Pact members have committed themselves to NATO membership. First they cooperated within the framework of the NATO Partnership for Peace (PfP) and then applied for effective membership.

- in many NATO countries, compulsory military service has ceased or is intended to end. The professional army also expects commanders from professional and contract personnel to have a different attitude than the – often occurring – bad practices recorded during the existence of compulsory military service;
- the reduction of the military strength of the studied countries – such as also in Hungary¹¹ – demanded stricter requirements for officers, both in terms of select-in conditions and quality of work;
- recent decades have brought about a change in social attitudes in many areas, such as equal opportunities, gender and racial/ethnic minorities. The emergence and increasing proportion of these groups also influence the review of selection methods, the adaptation to new challenges, and which selection results can be considered acceptable, what criteria are adequate for selection;
- changes in training goals have perhaps the most significant impact on the renewable selection process. Weapon systems are becoming newer, easier to operate, and no longer require extensive, much more specialised knowledge. On the other hand, the theoretical foundations, general education and professional information are still important. Moreover, operations using the high technology that characterises modern warfare have become faster and more complex due to their integrity, which requires quick thinking, outstanding information processing, and outstanding communication skills.

Given the Armed Forces need for quality in the labour market and the Armed Forces drive to apply the most advanced selection methods, the recruitment system has to play a significant role and a review of the Armed Forces retention personnel policy is essential [1].

5. Situation of the existing personnel

Taking into account the developments in military technology and the outflow of pilots by health statistics and age, we can conclude that the aviation medicine profession has an unprecedented responsibility. Pilots' physicians know and monitor age-related health problems and natural aging processes, however, while in the 1980s and 1990s the average age of the active pilots did not exceed 30–35 years, it now reaches in some types of branches also 45 years. There is a risk level which is acceptable in medical assessment protocol, which is an order of magnitude stricter than civilian military flight compared to civilian aviation.

¹¹ According to the peace stock table, the number of soldiers of the Hungarian People's Army at the end of 1988 was 126,777. By the end of 1993, the number of personnel in the Hungarian Armed Forces had decreased significantly, to a total of 101,140. The permitted number of members of the Armed Forces was continuously reduced. On 20 December 1996, the National Assembly already maximised 60,000. And in 2004, the level of ambition was already 40,000.

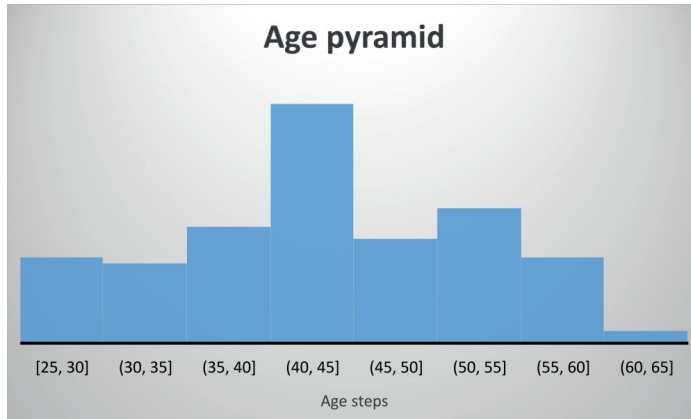


Figure 1

Age pyramid of aircrew member. Source: Compiled by the author.

The “ageing” of the pilots by the regulators poses a new situation for both the aeromedical experts, the command staff of the flight units and strategic level. The age as retirement is not the beginning of old age and not a professional decision, but an indicator of the national economy. Although a pilot can be employed in commercial aviation until the age of 65, its role is not comparable to that of military aviation. New physiological situations are emerging that have not been studied or have no method of study so far (e.g. deterioration in contrast sensitivity, which cannot be examined). The regenerative ability deteriorates, loss of function may occur, the personality becomes more rigid, habit-controlled, and type rating is more difficult.

We are all interested in a kind of “successful ageing” provided by a balanced life program, so it makes sense to understand how we classify ageing and what changes it results in our abilities:

- national economic indicator;
- biological indicator (DNA, epigenetic clock);
- chronological;
- psychological;
- sociological.

At a younger age, the more characteristic “fluid intelligence” dominates. This is when we have a stronger ability to think and reason in the abstract, we experience a personality that responds well to novel and unique situations. As you age, as experience accumulates, nature gives you the opportunity to compensate. “Cristal intelligence” is based on learning from past experience and means the ability to use the knowledge gained [6].

Dominant intelligence can be assessed well on the basis of an aptitude test using an appropriate methodology, so in addition to setting medical standards, the person must also be assessed individually, and a decision on the continuity of flight work will be made after all aspects have been taken into account.

However, it is necessary to be prepared for the fact that in addition to the present regulations, the Hungarian Air Force has types of aircraft that cannot be flown by the pilot until retirement.

In order to make the right decisions concerning the military men, human resource management and the planning of the new staff, it is necessary to know the problems of the current experts (pilots, maintenance engineer, technicians, air traffic controller) and to follow the evaluation of the dismantled and civilian college. When identifying the interviewees, a total of thirty professionals were interviewed, taking into account the age distribution and the years spent in the field. In terms of age, I visited the most experienced people from the beginning of the career to retirement. Some of the targeted interviews were answers to bound questions, others were free conversations. To this end, targeted interviews were conducted, the evaluation of which identified the following key issues.

It can be stated that in several of the listed cases, points concerning condition (whether family or financial) or flight safety have also appeared:

1. Lifestyle risks that are primarily attributable to the individual's actions:
 - inadequate nutrition, fluid intake;
 - lack of exercise, lack of physical fitness;
 - fatigue (lack of rest, relaxation);
 - self-imposed stressors (lack of "moral fibre");
 - subjective environment (hygiene, residence, workplace, community);
 - community and private (interpersonal) conflicts;
 - health concerns;
 - additional burdens associated with introducing a new type (feeling of "fear of the new");
 - anxiety due to lack of language skills or an inadequate level of language skills;
 - age or technological generation conflict;
 - peculiarities of the analogue–digital transition due to age and education.
2. Systemic components outside the individual's sphere of action.
 - due to the specifics of military aviation tasks, the balance of time that can be spent on everyday life due to the lifestyle and schedule of duty/mission/task is systematically upset, i.e. the following is mixed:
 - physiologically bound time (circadian rhythm);
 - socially bound time (determination by established rhythm of social life);
 - leisure;
 - the hierarchical system;
 - overwork and underload (tensions caused by understaffing, lack of coordination);
 - working under time pressure (importance of individual ability);
 - multi-shift or unpredictable work schedules;
 - unclear tasking/briefing;
 - lack or inadequacy of a system of rules;
 - uncertain perspective, lack of a predictable trajectory (active flying position until the age of 60 or 65? Separation in a different public service direction than a flying specialist?);
 - lack of recognition;
 - lack of opportunity to complain;

- market drain (professional challenge or income level, or “following a colleague” feeling);
- in case of possible dismantling, the disappearance or absence of the feeling of loss services and present lifestyle;
- bonding by legislation;
- the uncertainty and lack of the provision of social benefits supporting the performance of services;
- lack of service and professional conditions required by international standards;
- operational using with incomplete or short adaptation period preparation and subsequent intensive use;
- partial or complete absence of simulation;
- additional tasks arising from a structure other than the Allied environment;
- “no blame culture”¹² applying or just pretending;
- sub-optimal use of the personnel and the aircraft operated;
- unfavourable physical working conditions (noise, comfort climate, vibration, hypoxia, lack of protective equipment, or known deficiency);
- regeneration training performed at an inappropriate site or delayed;
- simultaneous execution of tasks on several types and/or type variants;
- inadequacy/lack of adequate mental training in addition to the introduction of the latest developments to be introduced into the military system.

The above list outlines well all the organisational and individual difficulties, tasks that need to be solved, and by solving them we can improve step by step the efficiency of operation in order to achieve full capability.

6. Social change and the military profession

In the recent period, the military leadership has placed great emphasis on a better assessment of the soldier’s place and role in society, and in close connection with this, on defence education, as the two factors are built on each other. It is important to be able to reach young people, to find the way to them, so that they are ready to do something for national defence [3].

The approach to this is multifaceted. At the same time, it is necessary to take into account the changing relationship between employers and employees, the specific characteristics of the next target generation, the way they are addressed and the changes in security policy in the world.

¹² With the advent of the Gripen program at the air formations of the Hungarian Defence Forces – primarily in Kecskemét – during the Swedish training system, training, and the ever closer Swedish–Hungarian aviation professional cooperation, a kind of change in attitudes towards human error was slowly formed. “No blame culture” supports the approach where it is accepted that flight personnel may make mistakes in their operations. This will be published by the person(s) concerned in each case (e.g. in the form of a rapid report) or, if the error has a more serious consequence, the specific phases of the investigation and then a summary of the results. The purpose is not to stigmatise the subject, but to draw a lesson. Despite the unintentional mistake, the person must remain a valuable and important element of the system, he or she should not be disadvantaged from a professional and moral point of view, but the professional evaluation of the mistake and the incorporation of experience into the training process must be an indispensable step.

An important trend in recent decades has been the changing relationship between employers (companies) and employees. In the old model, the company offered stable, long-term employment, and through it security to its employees, who gave them loyalty, that is, they built their careers at the company, planning their future there, often until retirement. In such a situation, both parties are ready to invest in the future: the company trains, develops its employees, takes care of them, which obviously costs money, but you can expect a return on that investment because your people do not want to go, they profit where they spend on them. It is also easier for the employee to make sacrifices for the benefit of the company, as he knows that he gets stability, a career, a decent livelihood and care from the organisation.

This model operated after the Second World War until about the beginning of the eighties, and in the former socialist countries until the change of political regime, which later began to change rapidly due to several factors (technological development, globalisation, sharpening of labour market competition, etc.). The change was well reflected in labour statistics. At the time of the old model, employment indicators indicated low entrepreneurial staff mobility, with mass redundancies and emigration being rare. The turnaround was ushered in the great wave of redundancies in the 1990s, when companies that had previously offered "retirement jobs" began laying off thousands of employees through reorganisation and outsourcing programs. The promise of stability, secure employment disappeared, and as a result, loyalty to the organisation began to weaken due to insecurity. Unfortunately, this also affected the Hungarian Armed Forces.

The employer–employee relationship is increasingly characterised by temporariness: neither party promises or expects a lasting relationship. The company quickly gets rid of redundant manpower, is constantly looking for cheaper solutions, thinks globally but not globally in terms of manpower provision, packs up easily and moves away if it finds it too expensive instead of one. In this context, the employee takes advantage of the opportunity to move internationally, building his career not in a specific place, but moving between companies and companies, accepting a better offer without hesitation. In such a situation, both parties will consider what sacrifices (costs, investments) to make in the present, as their future results may be enjoyed by others. However, this model significantly impairs the existing capability and the possibility of subsequent capability development for the armed forces.

If we deviate from the traditional military education and socialisation path and want to supplement the vacancies from the market, we will introduce the above-described social phenomenon into the Armed Forces. In such circumstances, the dynamics of cooperation is positively influenced by the harmonisation of organisational culture, management values, organisational goals and career model, which in turn can tilt the balance sheet language in favour of the defence sector [4].

The process of social socialisation of people has also changed. On the one hand, there is a process of socialisation from an early age, in which people learn to adapt and follow the rules in different organisations. On the other hand, neither society nor individuals accept coercions that involve overt physical or mental violence. Another key issue is how long this commitment will last and, of course, how much the personality needs to be transformed. These and the increase of expertise at lower levels also transform the practice of leadership.

There is a fundamental change of attitude in the labour market. The previously characteristic nature of supply has been replaced by a strong nature of demand. The change is particularly strong among the young and the highly educated, who could ensure that the Air Force fills

highly deficient positions. For the time being, ambiguous measures have been taken in the private sector to address the challenges, in many organisations only temporary crisis management steps have been taken, and no complex solutions concerning human resources have emerged. Due to the contradictory generational changes of the last decades, which also affected the Hungarian Armed Forces to a greater extent, the older generations are missing and there was no way to pass on the experience. This situation has intensified in the Air Force in almost all branches, wings or at the strategic level. Problems also occur strongly in the case of leaders, and in addition to several generations, many fundamentally lack leadership skills. Within a few years, the HDF's will be staffed mainly by members of generations Y and Z, whose general social and military social integration can and must be helped by completely different leadership tools than before [7].

7. Summary

As can be seen, the modernisation of the Air Force is multifactorial. One aspect is the human side, which hides many issues, challenges, identified risks. Ignoring this and handling it improperly is not allowed due to the complexity of the air force structure, it may endanger its functionality.

It can be stated that in Hungary, past and present assessments of the human resource capacity of state aviation, including the defence sector, and forecasting future trends, decision-makers and leaders should use only a complex systematic approach in both theoretical and practical sides. Among the reasons for previous inefficiencies and erroneous decisions, the lack of this comprehensive approach played an important role. Any well-intentioned, professional change process alone can be ineffective if the characteristic processes, structures, regulators are not clear, or if no changes occur in them.

It is also important that decision-makers and professionals examine not only the characteristics of human resources of the Air Force and the organisations that can be classified as public aviation in a broader sense, but also all social processes and international trends that can and do have a significant impact on the human capacity of military aviation.

In the interest of the success of the Zrínyi National Defence and Armed Forces Development Program, strategic organisational development prepared on a professional basis, the basic building block of which is human, cannot be avoided. The current developments can also be considered a comprehensive organisational development process. Anchoring adequate professional principles in the light of today's challenges and incorporating them into the day-to-day operating culture, training and education system is an important condition for securing dedicated staff.

References

- [1] S. Andó, 'A katonai alkalmassági vizsgálatok néhány aktuális pszichológiai vonatkozása', Conference on Military Science and the 21st Century, 26–27 February 2020.
- [2] T. Benkő, 'A Magyar Honvédség jelene és jövője', *Hadtudomány*, Vol. 29, no. 1–2. pp. 149–155. pp. 150–151. 2019. Online: <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2019.29.1-2.149>

- [3] T. Benkő, 'A Magyar Honvédség jelene és jövője', Hadtudomány, Vol. 29, no. 1–2. pp. 149–155. p. 152. 2019. Online: <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2019.29.1-2.149>
- [4] Gy. Bógel and J. Tomka, Megéri jónak lenni? Budapest: Harmat Kiadó, 2019. pp. 211–221.
- [5] A. Füleky, 'Gondolatok a repülőgépezeteket érő pszichés terhelések hátteréről', Repüléstudományi Közlemények, Vol. 32, no. 3. pp. 125–133. p. 132. 2020. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2020.3.10>
- [6] J. L. Horn, 'Organization of abilities and the development of intelligence', Psychological Review, Vol. 75, no. 3. pp. 242–259. 1968. Online: <https://doi.org/10.1037/h0025662>
- [7] Z. Jobbágy and J. Krizbai, 'Humánpolitikai kihívások NATO-tagságunk múltja és a honvédség jövője szemszögéből', Hadtudomány, Vol. 30, no. 1. pp. 84–102. p. 97. 2020. Online: <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2020.30.1.84>
- [8] J. Krizbai, 'A szervezeti kultúra fejlesztésének kérdései a honvédségben', Hadtudomány, Vol. 29, no. 3. pp. 118–127. 2019. Online: <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2019.29.3.118>
- [9] Officer Selection (NATO Research and Technology Organization Human Factors and Medicine 023 – Research and Study Group 31). Online: <https://docplayer.net/45918456-Officer-selection-rto-hfm-023-rsg-31.html>

A légierő modernizációjának humán kihívásai

Írásom célja áttekintést adni a Zrínyi Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretein belül folyó, a légierő repülőeszközzeit érintő képességfejlesztésről és az azzal összefüggő, az üzemeltető és üzemben tartó állományt alapvetően érintő feladatok hatásairól.

A cikk röviden ismerteti a légierő szervezeti kultúrájának sajátosságait, a rendelkezésre álló állomány életkorból adódó helyzetét, ami az utánpótlás tervezéséhez szükséges kiinduló ismeret. Az írás kitér arra a komplex biztonságpolitikai, társadalmi és technológiai környezetre, amelyhez a Magyar Honvédség által alkalmazott kiválasztási rendszernek igazodnia kell, és amely a sikeres kiképzési és beválási mutatók záloga.

A cikk személyes interjúkon keresztül törekszik valós helyzetet bemutatni a jelenleg a katonai repülésben szolgáló állomány kihívásairól, motivációiról és útkereséseiről.

Kulcsszavak: *képességkialakítás, humán erőforrás, generáció, analóg-digitális átállás, Magyar Honvédség, katonai alkalmasság, Zrínyi Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program, NATO*

Füleky András alezredes
kiemelt főtiszt
(merevszárnyúrepülő-programok)
Magyar Honvédség Parancsnoksága
Haderőtervezési Csoportfőnökség
Fegyvernemi Képességtervező Főnökség
fuleky.andras@hm.gov.hu
orcid.org/0000-0002-7735-2173

Lt. Col. András Füleky
Senior Officer
(fixed wing aircraft programmes)
Hungarian Defence Force Command
Force Planning Directorate
Arms Requirement Branch
fuleky.andras@hm.gov.hu
orcid.org/0000-0002-7735-2173



Péter Balajti, Károly Beneda

Experimental Study on the Effect of Water Injection on a Micro Turbojet Engine¹

Due to increasing emissions in the 21st century, aviation industry faces a rising pressure to reduce its contribution to air pollution. A possible way to mitigate such harmful effects on the environment is to use water injection as a thrust augmentation method which was developed in the 1960s. Since the emergence of modern engines, the need for the performance-enhancing effect of water injection has become abandoned. However, considering its beneficial impact on both emissions and engine structure, it can still be used as an alternative nowadays as well. As a result of the cooling effect of water injection, the service life of engine components extends which could also lead to a reduction in maintenance and operating costs. This paper presents how water injection on TKT-1 experimental jet engine affects performance and emissions. The modifications implemented on the test bench enabled us to obtain a measure of the water injection operation with the nozzle placed in the intake duct. Results reveal that such method has no visible impact on the increase of thrust due to the experimental environmental conditions and the limitations of the system. Nevertheless, water injection proved to be effective in reducing emissions. In addition to the beneficial effect of lower gas temperature throughout the turbine section of the engine, the emissions of NO_x gases also fall significantly (i.e. 30%) compared to dry operation.

Keywords: emissions, thrust augmentation, water injection, micro gas turbine, jet engine

1. Introduction

Water injection in the past was used on low bypass engines mostly to augment thrust, which proved to be successful. In hot weather conditions, jet engines could not produce as much thrust as it would have been needed at takeoff, so the only option to reach the required power was water injection at that time. Water injection was generally used during takeoff between 0 and 3,000 feet. These systems were used on the early 747s with the JT9D-7AW engines [1]. Even Honeywell [2] and Rolls-Royce [3] used this construction on their engines. Although at the time the only goal was to increase thrust, water injection also significantly reduces emissions. The primary source of NO₂ and NO is burning fuel at high temperatures.

¹ The authors want to thank Viktor Józsa, PhD and Gyöngyvér Hidegh, members of Department of Energy Engineering (BME) for their help in providing emission measurement possibility and giving hints in the evaluation of the results.

These are collectively called thermal NOx. These environmentally harmful substances are formed at temperatures above 1,300°C, which is often exceeded in the combustion chamber and the turbine section of the engine [4].

Due to this emission-reducing effect, water injection could be used even nowadays in the aviation industry to mitigate the emissions. Furthermore, this kind of emission reduction does not only mean less pollution but also cost savings for the airlines because of the environmental fees, which must be paid after the amount of pollution caused by the engines [5]. Recent studies revealed that water injection can provide up to a 30% increase in thrust while the NOx emissions are reduced by 47% [6].

Another benefit of this method is the flame temperature cooling effect, which helps to extend the hot section service life by reducing the thermal load.

In terms of cost, this means savings for the airline as it requires less turbine maintenance. Figure 1 shows how investing in water injection affects maintenance cost savings in case of an airliner [7], [8].

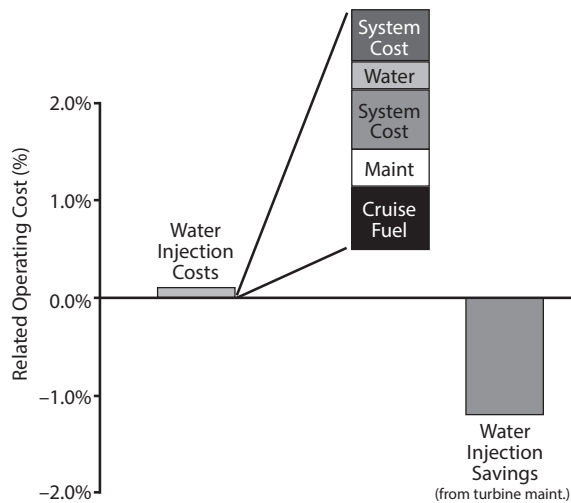


Figure 1
Water injection costs [6]

Water injection is differentiated into two methods, based on the location of injection. These options are compressor or combustor injection. Compressor injection offers two methods: one is a low pressure, the other is a high-pressure compressor injection. The injected liquid can be a water-ethanol mixture that prevents freezing or simply just water. Furthermore, with the help of these above-mentioned injection methods, the mass flow increases and so does the thrust.

As Figure 2 shows, the NOx production progresses rapidly with the increasing combustor inlet temperature.

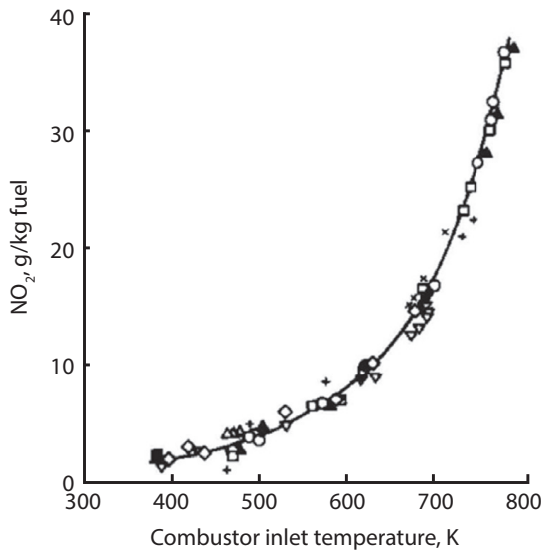


Figure 2
NO_x versus combustor inlet temperature [7]

2. Methods

The experiments were performed and evaluated as written in the following paragraphs, beginning with the short description of the turbojet itself, then introducing the modifications that were inevitable to provide water injection.

2.1. The engine

In this study, we used a single shaft TKT-1 jet engine. It is a modified TS-21 Soviet starter gas turbine which was built in the MiG-23 fighter jets, and after several modifications at the department between 2005–2007, it was converted to a jet engine. The cross-section of the engine can be seen below in Figure 3. In terms of gas generator construction, it consists of a centrifugal compressor and an axial turbine. The combustion chamber has a straight-through flow with an annular design, into which 4 nozzles inject the required fuel.

During the conversion to a jet engine, an inlet manifold was installed, which is located vertically to achieve uninterrupted medium intake. The rotor and combustion chamber remained in their original condition; no changes were made here. After the turbine stage, the work turbine and gear housing were removed and replaced by a central cone as well as a diffuser and variable exhaust nozzle. Figure 3 shows the TKT-1 as a jet engine after the transformations. In order to create the required measuring environment, a test bench was built and equipped with additional units and controls for proper operation and measurements [9].

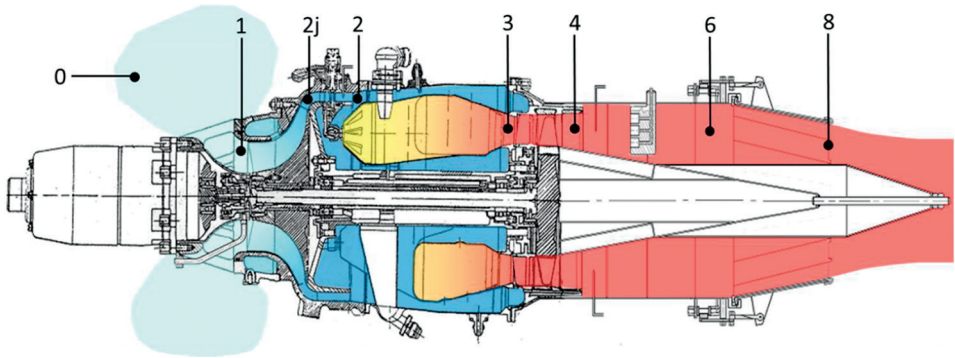


Figure 3
TKT-1 engine. Source: Compiled by the authors.

2.2. Modifications

As this present research aims to study the operation of water injection, it was necessary to build a system that can be used during the measurements.

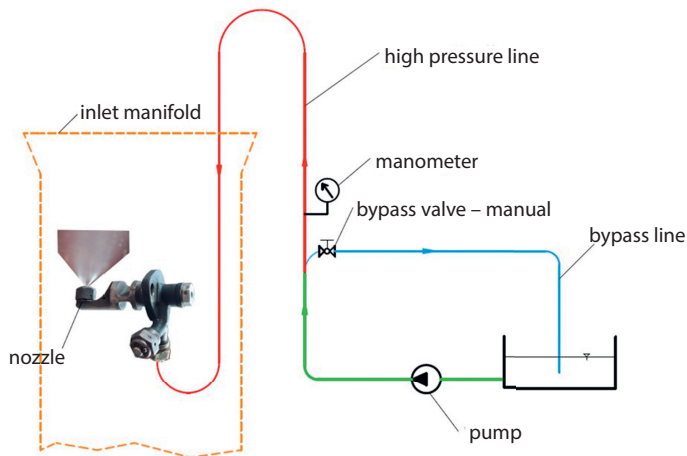


Figure 4
Water injection system. Source: Compiled by the authors.

Considering the design of the engine, injection into the combustion chamber is not possible according to the current possibilities, it requires special nozzles or modification of the entire structure and provision of an additional injection possibility. Consequently, the only option was a direct injection upstream of the compressor, for which the appropriate nozzle had to

be placed in the intake manifold so that the small-diameter water droplets vaporised and injected at high pressure are entering the engine together with the intake medium.

The system consists of a high-pressure pump with a nominal pressure of up to 100 bar, connected to the water mains and operating at 230 Volts, an adjustable bypass line, and a manometer, followed by a nozzle. The used nozzle originates from the original TS-21. The plan of the unit is shown in Figure 4.

The pressure upstream of the nozzle is regulated by manually opening or closing the bypass line. This method can be used to set the desired injection pressure.

The nozzle is the TS-21 factory fuel nozzle, one of which is now used for water injection. The nozzle is installed into the inlet manifold through the inlet from above using a metal pipe to which the nozzle is connected. The nozzle was placed in an upward position against the inflowing medium, thus ensuring the homogeneity of the injection and taking advantage of the flow conditions prevailing in the intake manifold, through which the injected water enters the compressor with the outside air medium as shown in Figures 5 a and b.

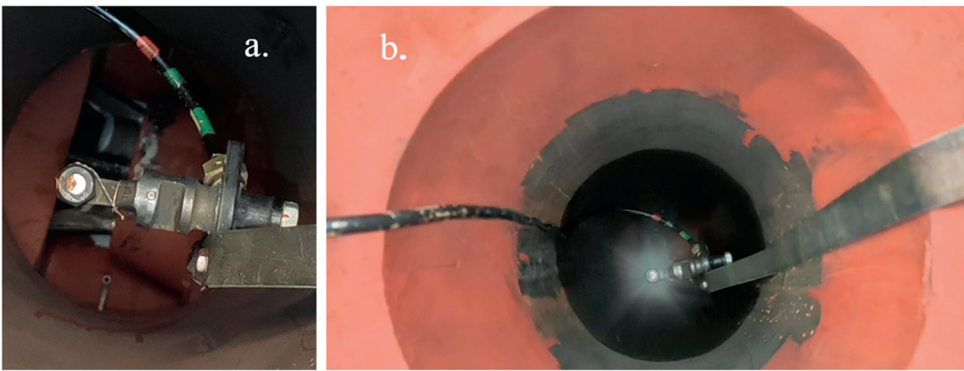


Figure 5

Nozzle installed in the engine intake. Source: Compiled by the authors.

2.3. Experimental determination of the amount of water sprayed

It was necessary to determine how much mass flow the nozzle could deliver to the inlet at a given constant set water pressure. Hence it is installed in the intake manifold, the injection is operated under approximately atmospheric conditions during the engine operation, so the method presented here will provide relevant data for subsequent operations under the same performance conditions. The measurements were taken at pressures set to 30, 40, 50, and 62 bar – which was found to be the practical maximum pressure of the system under the current operating conditions.

The water was collected in a beaker, where the time required for a given volume to flow out was measured, 3 times per pressure, for measurement accuracy. Converting these data to mass flow yielded the values shown in Figure 6 below.

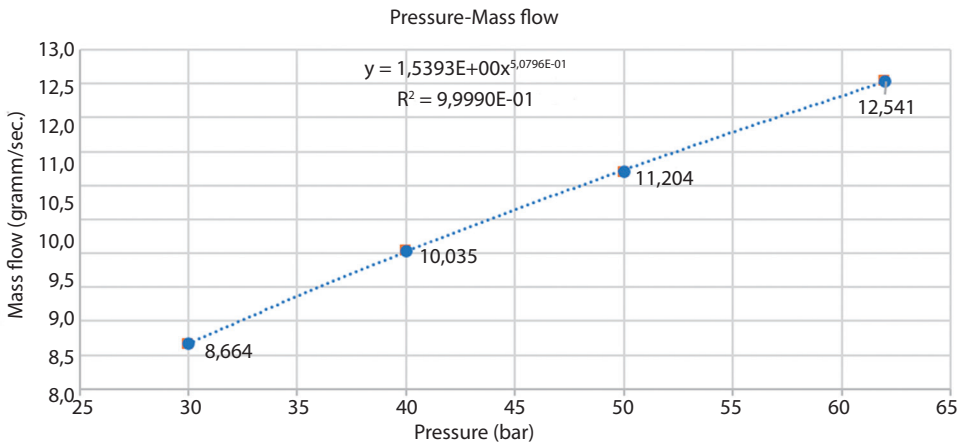


Figure 6
Water mass flow rate. Source: Compiled by the authors.

Next, Figure 7 shows an assembly for measuring the injection volume, which was later installed on the gas turbine test bench.

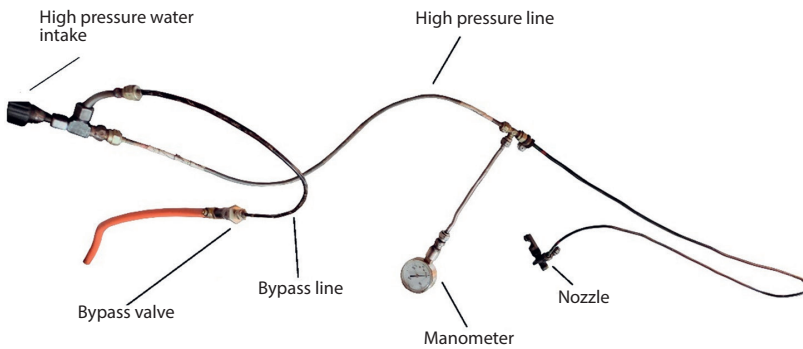


Figure 7
Realisation of the injection system. Source: Authors' own photograph.

3. The experiment

After all the preliminary measurements were taken, the experiment could begin. It is important to mention that the TKT-1 was operated in the yard of the laboratory because currently, the internal equipment of the laboratory does not allow indoor operation. This also affects the measurements through fluctuations in environmental characteristics. The test bench equipped with the water system is shown in Figure 8.

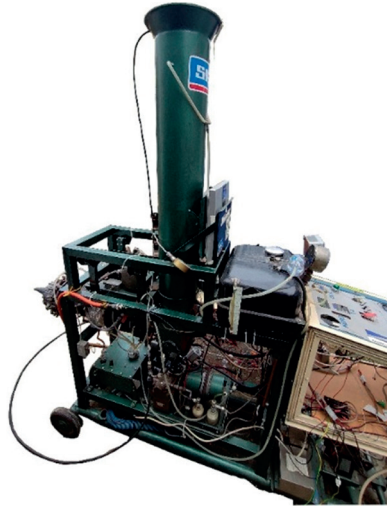


Figure 8
Arrangement of the testbed. Source: Authors' own photograph.

Gas emissions were measured with the use of the Testo 330-1 LL gas analyser with reliable CO (accuracy: $\pm 5\%$) and NO_x (accuracy: ± 2 ppm) measuring cells.

3.1. The procedure of experimental measurements

At the beginning of the measurement, a data logging program is started, which records the temperature, pressure and flow data measured by the instruments mounted on the engine. The water system is switched off.

After starting the engine, we waited for the values to stabilise. After that when the engine ran smoothly and warmed up it was set to a higher power operating mode. At this point the temperatures and the RPM also increased. With the stabilisation of the operating characteristics (1–2 minutes), the dry operating state began, which served as the basis for the comparison with the wet one.

At the same operating state as the dry one, the high-pressure pump of the water system was started with the fully open bypass line. The desired pressure in the water system was set manually by closing the bypass valve. Data collection of the engine that continues to operate at the set water pressure is still in progress, while the water pressure is recorded by reading the pressure gauge visually and recording the values manually. As the wet operating condition got stabilised, the engine ran for a couple of minutes while the parameters were monitored using a computer.

After the wet operation measurement, water injection was cut off by switching off the high-pressure pump and opening the bypass line manually.

After the measurement, the engine was stopped as well as the data recording program. This was followed by data extraction and evaluation.

4. Calculations

The cycle calculations were performed using the data recorded during the measurement, applying the formulae used in the case of a single-stream turbo engine and basic thermodynamics from [10], [11]. For the calculation, the authors used Microsoft Excel in their research.

The result of the measurement is shown in Figure 9. The vertical lines in the graph indicate the moments of each of the most important events of the operation, which can also be seen on the graph. Highlights of the wet and dry selected sections are illustrated in Figures 10a and b.

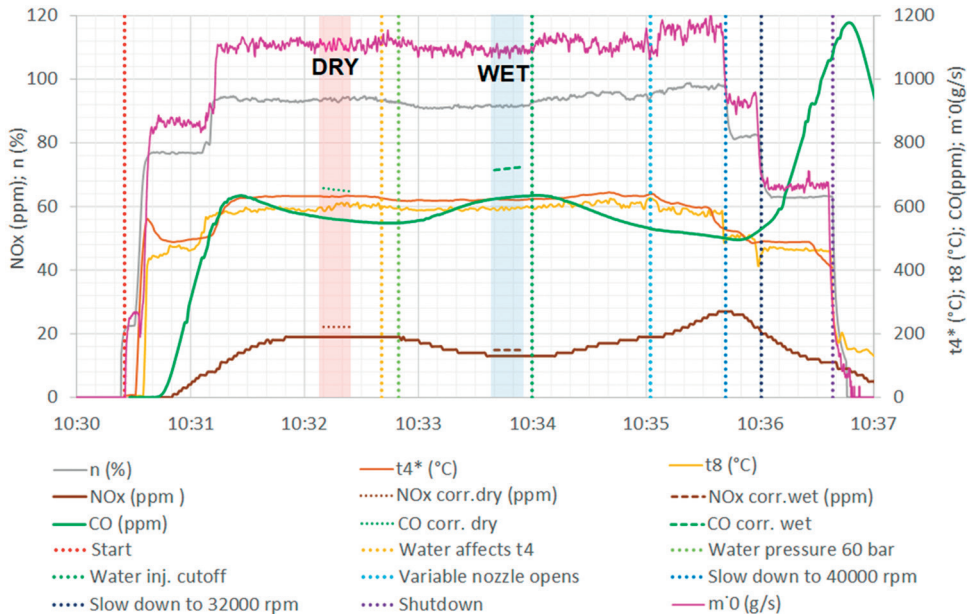


Figure 9
Diagram of experiment parameters. Source: Authors' Excel diagram.

Water injection shows significant changes in each value. Its most striking effect is the marked change in emission values for the whole process, i.e. green and brown lines.

The figure shows the continuous increase and then the stabilisation of the NO_x value after the start-up, while the CO value decreases continuously with the stabilisation and improvement of the combustion quality.

With the appearance of water injection, temperatures, as well as engine speeds decrease, resulting in a dramatic reduction in NO_x, thus reaching a minimum, while CO emissions began to increase markedly, and got stabilised before the injection was stopped.

As shown above in Figures 10a and b, after stopping the injection, the graphs tend to the values of dry operation again, as the water that may remain inside evaporates. After that, the thrust lever was pulled down in two steps and succeeding approximately half minute idling the engine was shut down.

The continuous emission lines are the raw concentration values recorded by the instrument, which must be converted to the reference oxygen content specified for the specific combustion plant (gas turbine). The corrected values are marked with dotted lines, and they were calculated only for the selected limited periods of dry and wet operations, for comparison.

The measurement of dry operation after start-up and setting the speed at the selected operating position resulted in the values shown in Figure 10a during the test period.

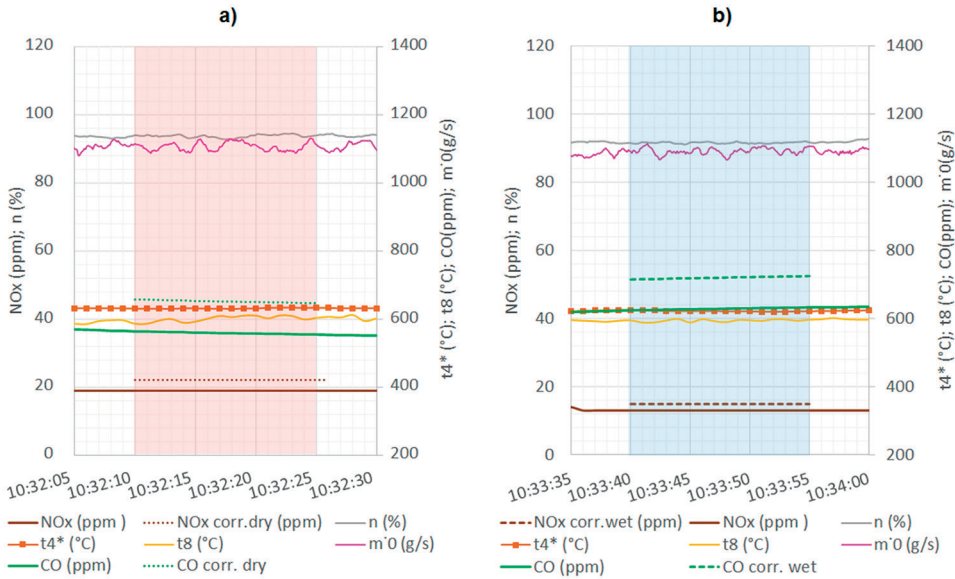


Figure 10
 a) Dry operation, b) wet operation. Source: Authors' Excel diagram.

The dry calculations were taken with the values in the highlighted zone. The test time interval for wet operation is shown in Figure 10b. The main performance-relevant characteristics including the changes, are summarised in Table 1.

Table 1
 Comparison between dry and wet operational parameters. Source: Authors' Excel diagram.

Parameter	Dry	Wet	Change (%)
T_2^* (K)	473	415.4	-12.18
T_3^* (K)	1,068.5	1,010.2	-5.45
T_4^* (K)	904.5	895.45	-1.00
T_8 (K)	873.37	865.70	-0.88
F_t (N)	303.12	291.63	-3.8
η_t	0.05544	0.05129	-7.48
NOx (ppm)	22	15	-31.8
CO (ppm)	652	733	12.4

In this case, the thrust decreases contrary to expectations, while the thermal efficiency decreases as expected in the wet case. The results of the flue gas measurement provide important information on the emission values. In terms of NO_x, there is a considerable difference of 7 ppm between wet and dry operation, which means a 32.9% reduction in emissions. Taking in to account an inaccuracy of 2 ppm, this value is 17.6% in the worst case. There is a 12.4% rise in CO emissions, which means an increase of 81 ppm compared to dry operation.

The results of the measurement show a minimal decrease in thrust, in which winter conditions and the high ambient humidity during the measurements may play a major role, which influences the outcome of the experiment. It is important to note that during the measurement, the fuel supply was constant, i.e. the measurement was concentrated on the effect of the temperature reduction and not on the increase of the thrust. Dry operation should have been repeated with the temperatures measured at the wet operation, which is still less than the maximum, so that its thrust should also be less than in the wet case.

4.1. Theoretical calculation

In the following calculation, it is assumed that the engine operates at the same temperatures as in dry operation, but this time with water injection. As a result, it requires the injection of additional fuel, which leads to a higher temperature, but due to water cooling, it remains within the permissible range, thus making it possible to theoretically calculate the actual thrust-increasing effect of water injection with a simplified model. The assumed values can be seen in Table 2 in the column named "Wet, hot".

Table 2
Theoretical values. Source: Authors' Excel diagram.

Parameter	Wet	Dry	Wet, hot
q_T	0.016902	0.016644	0.018414
Q_{fuel} (l/h)	83.5	82.5	90.9675
\dot{m}_{fuel} (kg/s)	0.018648	0.018425	0.020316
T_3^* (K)	1010.2	1068.5	1068.5
T_4^* (K)	895.4	904.5	904.5
c_8 (m/s)	259.94	269.34	271.72
T (N)	291.629	303.12	305.3

The results, in this case, are in line with our expectations, the value of c_8 is rising so does the thrust. The fuel mass flow rises a bit. Consequently, this calculation demonstrates the thrust increasing effect of water injection, which was the rudimentary purpose of the study.

5. Conclusion

It can be concluded from the measurement experience, the results and the relevant part of the literature that the current measurement is not able to show the essential part in the

field of thrust increase, i.e. what the situation is in hot environment because the essential difference is to be found there. The use of water injection results in a reduction in thrust on its own, but it also greatly reduces the gas temperature. Thus, at high ambient temperatures, the takeoff thrust could only be achieved with more heat than allowed. It results in reduction of the service life of the engine components or can even cause damage. However, by injecting water the thrust can be increased compared to the thrust achievable in the dry case at the maximum permissible gas temperature. This effect can be only seen in the theoretical model.

In terms of emissions, the results are a good representation of the changes due to chemical processes as well as the temperature drop, with the beneficial effect of the injection system on NO_x emissions reaching over 30% less pollutant. The increase in CO emissions is due to the imperfect combustion that is inherent in the process, so its value has also developed as expected.

It may also be worth thinking in the direction of optimisation that the water system used in other phases of flight can be operated cost-effectively and efficiently to further reduce emissions due to the cooling and thrust-enhancing effects provided not only in take-off operation. A more comprehensive study should be carried out to determine how effective and economical are the dry emission reduction methods used today, such as TAPS, etc.

5.1. Limitations of the study

Due to slight malfunctions of the measuring equipment, in this study simplification had to be applied in some cases, but more accurate results can be achieved by repairing or replacing the sensors. To measure the thrust more accurately, the currently defective thrust measuring system and the compressor discharge temperature measuring device must be replaced as soon as possible.

Carrying out measurements outdoors leads to further inaccuracies, due to changing weather conditions, therefore the establishment of an indoor measuring test environment could give more accurate results.

References

- [1] D. Daggett, L. Fucke, R. Hendricks and D. Eames, 'Water Injection of Commercial Aircraft to Reduce Airport Emissions', 40th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, 2004. Online: <https://doi.org/10.2514/6.2004-4198>
- [2] Honeywell TPE 331 Pilot Tips. Honeywell Engines, Systems and Services, 2004. Online: <http://eastaire.us/files/TPE331pilotnotes.pdf>
- [3] 'Powerplant: A brief description of the Spey 512 and RB.162 booster', Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Vol. 41, no. 4. pp. 24–28. 1969. Online: <https://doi.org/10.1108/eb034493>
- [4] J. Muir, 'Nitrogen Oxides (NO_x), Why and How They Are Controlled', Clean Air Technology Center-Technical Bulletin, EPA-456/F-99-006R.

- [5] D. A. Novelo and U. Igie, 'Aero engine compressor cooling by water injection – Part 2: Performance and emission reductions', *Energy*, Vol. 160. pp. 1236–1243. Online: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.171>
- [6] D. Daggett, L. Fucke, R. Hendricks and D. Eames, 'Water Injection of Commercial Aircraft to Reduce Airport Emissions', 40th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, 2004. Online: <https://doi.org/10.2514/6.2004-4198>
- [7] D. L. Daggett, S. Ortanderl, D. Eames, C. Snyder and J. Berton, 'Water Injection: Disruptive Technology to Reduce Airplane Emissions and Maintenance Costs', *SAE Technical Paper Series*, 2004. Online: <https://doi.org/10.4271/2004-01-3108>
- [8] E. Pásztor and K. T. Beneda, 'A TKT-1 kisméretű, oktatási és kutatási célú gázturbinás sugárhajtómű első tíz éve', *Repüléstudományi Közlemények*, Vol. 27, no. 3. pp. 117–132. 2015. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2015.3.9>
- [9] K. Beneda, R. Andoga and L. Főző, 'Linear Mathematical Model for State-Space Representation of Small Scale Turbojet Engine with Variable Exhaust Nozzle', *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, Vol. 46, no. 1. 2018. Online: <https://doi.org/10.3311/PPtr.10605>
- [10] I. Sánta, Segédlet gázturbinás repülőgép hajtómű évfolyamterv készítéséhez. BME Department of Aircraft and Ships, 2007.
- [11] A. Tudosie, 'Coolant Injection System for an Aircraft Turboprop Engine as Controlled Object', *International Conference on Military Technologies (ICMT)*, 2019. Online: <https://doi.org/10.1109/MILTECHS.2019.8870105>

Vízbefecskendezés hatásának kísérleti vizsgálata mikro sugárhajtóművön

A 21. században egyre nagyobb nyomás nehezedik a légi közlekedési ágazatra a károsanyag-kibocsátás növekvő mértéke miatt. A környezetre gyakorolt negatív hatás csökkentése egyre inkább előtérbe került, aminek egyik lehetséges módja az 1960-as években kifejlesztett, akkoriban csupán tolóerő-növelésre használt vízbefecskendezés alkalmazása. A korszerű hajtóművek megjelenésével a vízbeporlasztás teljesítménynövelő hatása iránti igény elmaradt, azonban alkalmazása kibocsátáscsökkentő és szerkezetkímélő hatása miatt napjainkban is alternatívaként szolgálhat. A beporlasztott víz hűtő hatása szerepet játszik a hajtóműkomponensek élettartamának növelésében is, ami a karbantartási és üzemeltetési költségek csökkenéséhez vezethet. Munkánkban a vízbefecskendezés teljesítményre és kibocsátásra gyakorolt hatását vizsgáltuk a TKT-1 kísérleti gázturbinás sugárhajtóművön. A próbapadon eszközölt módosításokkal lehetőség nyílt a szívócsatornában elhelyezett fűvókás vízbefecskendezéses üzem méréseinek elvégzésére. A kapott eredmények alapján a tolóerő-növelő hatás a kísérleti környezeti viszonyok, valamint a rendszer kiforratlansága miatt nem valósult meg, azonban a kibocsátások és gázhőmérsékletek redukálásának terén a vízbefecskendezés eredményesnek bizonyult. Az egyes keresztmetszetekben mért gázhőmérsékletek csökkenésének szerkezetre gyakorolt jótékony hatása mellett, a nagy környezeti terhelést jelentő NO_x-gázok emissziója is nagy mértékben, 30%-kal csökkent a száraz üzemhez képest.

Kulcsszavak: emisszió, tolóerő-növelés, vízbefecskendezés, mikro gázturbina, sugárhajtómű

Balajti Péter (BSc) hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Repüléstudományi és Hajózási Tanszék balajtipeter66@gmail.com orcid.org/0000-0003-0535-6033	Péter Balajti (BSc) student Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transport Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture balajtipeter66@gmail.com orcid.org/0000-0003-0535-6033
Dr. Beneda Károly adjunktus Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Repüléstudományi és Hajózási Tanszék beneda.karoly@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0003-1900-7934	Károly Beneda (PhD) Assistant Professor Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transport Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture beneda.karoly@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0003-1900-7934



Gémes Levente

Urban Air Mobility, a 3. dimenzió (légi) bevonása a közlekedésbe

A bolygó dinamikus népességnövekedése miatt többmillió metropolisz alakult ki, ahol a mindennapi közlekedés a magas népsűrűség miatt problémássá vált. A kialakult helyzet a harmadik dimenzió – azaz a légi közlekedés, például légi taxik – bevonását teszi szükségessé. Ennek tipikus eszközei a VTOL¹ kialakítású, alacsony zajkibocsátású és ami a legfontosabb, elektromos meghajtású repülőeszközök lehetnek.

Kulcsszavak: UAM, urban air mobility, légi közlekedés, városi közlekedés, légi taxi, karbonsemleges repülés

1. Bevezetés

A fejlett világ egyik fő irányvonala a további fejlődés iránymutatásában a környezetvédelem, ezen belül is a közlekedést tekintve a karbonsemlegesség. Az Európai Unió (EU) az európai klímarendelemben vállalta, hogy 2050-re EU-szinten eléri a karbonsemlegességet. Ezt a célt az tette fontossá, hogy az IPCC² véleménye szerint a globális felmelegedés mértékének 1,5 °C fokra való korlátozásához elengedhetetlen, hogy a jövőben, legkésőbb a 21. század közepéig elérjük a karbonsemlegességet. Ez a cél nem csak az EU által aláírt párizsi megállapodásban szerepel [1].

A karbonsemlegesség fogalma azt jelenti, hogy egyensúly valósul meg a kibocsátott szén-dioxid, valamint a légkörből kivont szén-dioxid mennyisége között. A szénmegkötés fontos eszköz a nulla szén-dioxid-kibocsátás elérésében, mert a globális üvegházhatásúgáz-kibocsátást ezzel tudjuk ellensúlyozni.

Ezek az európai uniós célok is inspirálják a karbonsemleges, sőt, akár az abszolút karbonmentes repülés elterjesztését. E cél megvalósításának meghatározó eszközei az elektromos meghajtású repülőeszközök. Ennek a közlekedési formának egy kiemelkedő szekciója a nagyvárosi közlekedés, mivel az ENSZ előrejelzései szerint akkora mértékű népességnövekedés várható 2050-ig – 2019-es 7,7 milliárdról 2050-re 26%-kal, 9,7 milliárd fő – ami a metropoliszokban már ma is tapasztalható közlekedési nehézségeket oly mértékben tovább fokozza, hogy már el is lehetetleníti azt. Ez óriási gazdasági kihívások elé állítja az országokat, mivel

¹ Vertical Take-Off and Landing, függőleges fel- és leszállás légi járművel.

² Intergovernmental Panel on Climate Change, Éghajlatváltozási Kormányközi Testület.

a jelenlegi tendenciák alapján a népesség jelentős aránya a városokban koncentrálódik, de azok infrastruktúrája nincsen felkészülve ekkora növekedésre. Ez a jövő kihívása, felkészíteni a városokat és azok infrastruktúráját a lakosság igényeinek kiszolgálására. További prognózisok szerint a 21. század közepére kétszer annyi ember fog városokban lakni, mint amennyien vidéken és falvakban.

Az infrastruktúra felkészítésénél a légi taxik bevonását is figyelembe kell venni, ennek tipikus eszközei a VTOL-kialakítású repülőeszközök lehetnek, amelyek elektromos meghajtással és minimális zajkibocsátással működnek.

A légi taxik bevezetése mellett, a városi légi közlekedés megvalósulásával újabb kapuk nyílnak ki, nem csak a hétköznapi közlekedés számára. Új típusú légi járművek megjelenésével a légi mentésben, illetve a légi kutató mentésben is fejlődés érhető el.

2. Az eVTOL³-eszközök jellemzői, a légi taxik a városi légi közlekedésben

Az eVTOL kifejezés *hybrid-electric vertical take-off and landing* rövidítéséből ered, amelynek magyar megfelelője egy olyan légi jármű, amely képes a vertikális irányú fel- és leszállásra. Hajtását tekintve hibrid vagy teljesen elektromos hajtású, ezáltal az általános helikoptereknél halkabb, gyorsabb és olcsóbb is [5].

A jármű evolúcióját öt pontban foglalom össze.

1. *A mobilitás jövőbeli emelése.* Az eVTOL gyártói, üzemeltetői és más kulcsszereplők erőfeszítései révén a megnövekedett mobilitás valószínűleg valóra válik a következő évtizedben. A kihívások ellenére a gyártók megkezdték a járművek tesztelését; a szféra résztvevői együttműködnek egy szilárd szabályozási keret kialakításában, és a technológia is gyorsan halad [5].
2. *A légi utak menedzselése.* Amint az égbolt egyre forgalmasabb lesz, várhatóan folyamatos kihívás lesz az egyre változatosabb légtér kezelése és fenntartása, miközben az összes légi forgalomban részt vevő jármű biztonságosan és hatékonyan mozog. Az eVTOL-ok jövőjének kulcsfontosságú elősegítője lehet a pilóta nélküli repülőgéprendszer forgalomirányítása (UTM), amelynek a meglévő légiforgalmi irányító rendszerekkel együtt kell működnie [5].

Ezt a rendszert bonyolult kidolgozni, de az érdekeltek sokféle csoportja dolgozik rajta, beleértve az eVTOL üzemeltetőit, a kommunikációs rendszer szolgáltatóit, az adatszolgáltatókat és a szabályozó hatóságokat. A siker attól függ, hogy minden érdekelt fél bízik-e a légiforgalmi szolgáltatási rendszer alapvető elemeiben. Ehhez megbízható és elérhető kommunikációra, kiszámítható és következetes navigációra, valamint hozzáférhető, megbízható felügyeletre lesz szükség. Ezek az elemek kipróbált eljárásokkal, összehangolt csapatokkal, redundanciával és folyamatos képzéssel párosulva kritikus fontosságúak lesznek a rendszer megbízható és biztonságos működésének lehetővé tételében [5].

3. *A mobilitás megnövekedett jövőjének pszichológiai akadályai.* A társadalmi elfogadottságnak vagy a pszichológiai akadályok legyőzésének várhatóan nagy szerepe

³ *Electric Vertical Take-Off and Landing.*

lesz az eVTOL-ipar kialakításában, mivel a fogyasztók állnak a mobilitás középpontjában. A fogyasztók valószínűleg kettős mércével fogják mérni az így elért fejlődést, változást. Míg lesznek, akik teljes mértékben üdvözítik az ötletet, addig mások nagy valószínűséggel ellene lesznek. A Deloitte egy 10 000 fogyasztóból álló globális csoportot kérdezett meg arról, hogy miként vélekednek a teljesen autonóm eVTOL-repülőgépekről a biztonság és az észlelt hasznosság szempontjából [5].

A válaszadók közel fele az önálló személyszállító légi járműveket potenciálisan életképes megoldásnak tekintette a szárazföldi közlekedésben előforduló torlódások elkerülésére, csökkentésére. Azonban a megkérdezettek 80%-a úgy gondolja, hogy ezek a járművek „nem lesznek biztonságosak”. Az eVTOL-repülőgépek csak akkor válhatnak az új mobilitási ökoszisztéma részévé, ha az alkotók és az üzemeltetők meggyőzik a szkeptikus fogyasztókat arról, hogy a légi járművek egyaránt hasznosak és biztonságosak. A gyakorlat azt mutatja, hogy nem a hasznosságát lesz a legnehezebb bizonyítani, hanem az üzembiztos és balesetmentes, megbízható közlekedését. A fogyasztói attitűd kialakítása a szabályhozók, a fejlesztők és gyártók, valamint az új típusú repülőgép-üzemeltetők közös felelőssége lesz [5].

4. *A megnövekedett mobilitás jövőjének technológiai akadályai.* A megvalósításnak nem csak pszichológiai akadályokkal kell szembenéznie, hanem a technológiában is számos akadályozó tényező lehetetleníti el, vagy nehezíti meg az elmélet gyakorlatba való átültetését. Számos összetett technológiai kérdéssel kell foglalkozni, mielőtt a légi taxik és a teherszállítás a légi „utakon” kezdetét venné. Ezek a kihívások elsősorban a meghajtással, a helyzetfelismerő rendszerekkel, valamint a fejlett észlelési és ütközésselkerülő rendszerekkel kapcsolatosak. Míg a fedélzeti technológia gyors ütemben fejlődik, a hatékony energiagazdálkodás (beleértve az akkumulátor kapacitását, az újratöltési sebességet és a kWh-ánkénti költséget) továbbra is korlátozó tényező, és nehezen megoldható kihívásnak bizonyul. Valószínű, hogy technológiai vagy iparági összefogásra lesz szükség a városi légi mobilitás fennmaradó akadályainak felszámolásához [5].

A rendszeren belüli együttműködés megerősítése érdekében a résztvevőknek ki kell dolgozniuk egy integrált keretet – amely kiterjed a gyártásra, az üzemeltetésre és a tanúsításra – az eVTOL-repülőgépek technológiáinak előmozdítása érdekében. Ennek a keretrendszernek olyan struktúrát kell kialakítania, amely ösztönzi az ökoszisztémán belüli együttműködést, az elektromos meghajtási technológiát szövetségek és partnerségek révén hasznosítja, kihasználja a földi autonómia fejlődését és befektet a kognitív automatizálási képességekbe.

5. *Az infrastruktúra akadályai a mobilitás megnövekedett jövőjének.* Bár kísérleti projektek folynak a világ nagyvárosaiban, a városi és elővárosi területeken történő nagy méretű utas- és teherszállítás lehetővé tételéhez szükséges infrastruktúra még nem áll rendelkezésre. Szükség van fel- és leszállóhelyekre, parkolókra, töltőállomásokra, szerviztelephelyekre, vészhelyzet esetére fenntartott leszállóhelyekre, egyéb üzemi épületekre, valamint a megfelelő információs és kommunikációs technológiára: irányítási hálózatra és egységes operációs rendszerre [5].

A széles körű kiépítés előkészítése érdekében az eVTOL üzemeltetőinek és a helyi hatóságoknak (például városoknak és önkormányzatoknak) el kell kezdenie meghatározni a földi infrastruktúra egyes elemeinek megvalósítható helyszíneit, például felszállás

és leszállás, töltőállomások, parkolási lehetőségek, karbantartás és készenlét, valamint leszállóhelyek pozícióját. Ezenkívül igénybe kell venniük az informatikai szolgáltatók segítségét, amelyek támogatást nyújthatnak a jól összekapcsolt infrastruktúra kiépítésében, valamint a szabályozó hatóságokat, akik szubvenciót adhatnak egy biztonságos ellenőrzési keretrendszer kialakításában.

A fejlesztés kardinális pontja lesz a jövőben a közlekedésirányítási rendszer. Ehhez egy új, teljes légitforgalom-irányító rendszer fejlesztése szükséges. Ennek a rendszernek ki kell terjednie a légtér kiosztására és kezelésére, valamint a pilóta nélküli autonóm antennarendszerekre vonatkozó légi alkalmassági bizonyítványokra és a pilótára vonatkozó követelményekre [5].

További kérdést vet fel a légtér megosztása. Mivel várhatóan a légi taxi és az eVTOL-járművek jóval nagyobb számban lesznek jelen a légtérben, mint a hagyományos légi járművek (helikopter, repülőgép), így szükségessé válhat a légtér megosztása. Ezek igazgatási és fenntartási kérdéseket vetnek fel, amelyekről majd a kormányoknak és helyi önkormányzatoknak kell dönteniük [5]. Amennyiben pilóta nélküli járművek fejlesztése lesz az irány, úgy különös tekintettel kell lennie a kiépített rendszer megbízhatóságára, stabilitására, valamint a légi tanúsítványok és követelmények teljesítésére [5].

A fejlesztés kivitelezéséhez számos előfeltételnek teljesülnie kell, ezt a Deloitte tanulmánya is hangsúlyozza. Ezek megvalósulása a technológia sikerre viteléhez elengedhetetlenek.

2.1. Légi taxik

A Deloitte elemzése szerint a légi taxik piaca már 2040-re elérheti a 17 milliárd dollárt [5]. Paul Stein, a Rolls Royce technikai igazgatója úgy véli, hogy 2029-re válik lehetségessé a lakosság elektromos repülőgéppel történő repülése [6]. Míg az elektromos hibrid repülőgépek az évtized végére már forgalomban lehetnek, Stein hangsúlyozza, hogy az összes sugárhajtómű üzemanyagának kétharmadát olyan hosszú utakon használják fel, amelyeket lehetetlenség kiváltani elektromos meghajtással, rövid üzemideje miatt [6]. Számos cég foglalkozik olyan légi járművek fejlesztésével, amelyek alkalmasak lehetnek a jövőben rövid távú, azaz városon belüli utasszállításra, mint például a Boeing, az Airbus vagy az Uber. Az élen járó fejlesztő társaság a német Volocopter [2].

A német cég fejlesztése egy olyan légi jármű, amely elektromos meghajtásának köszönhetően halk üzemben tud közlekedni, és mindemellett semmiféle károsanyag-kibocsátással nem rendelkezik. A tervek szerint a légi jármű – légi taxi – szállítóképessége két fő, és 100 m magasan tud repülni, ezáltal a zajszennyezést gyakorlatilag nullára csökkenti a működési területén [2].

Korábban szó esett az infrastruktúra fejlesztéséről és fontosságáról, ez nincsen másképp a Volocopter esetében sem. A működéséhez elengedhetetlenek a földi kiszolgáló épületek, helyek, tehát a le- és felszálláshoz szükséges „repterek” létesítése. A 2019–2023 között tartó időszakra mind a négy említett fejlesztő cég úgy tervezte/tervezi, hogy legalább tesztüzemben, de akár teljes hálózatban – Uber Air – működtetni tudja a hálózatot.

Az említett cégeken felül a német Lilium cég (1. ábra) már 2019-ben teljesítette az első sikeres tesztrepülését [3].



1. ábra

A német Lilium cég repülőeszköze és fejlesztőcsapata [3]

A tervek szerint 2025-re már komplett flottát tudnak kibocsátani és működtetni. A Lilium Jet konvertiplán tervezése 2 évet vett igénybe, új irányt mutat fejlesztésük, mivel már nem csak két fő szállítására alkalmas az általuk tervezett jármű [3].

A légi jármű sebessége közel 300 km/h, működését tekintve a helikopteréhez áll a legközelebb: képes arra, hogy függőlegesen szálljon fel, és vízszintesen repüljön tovább [3]. Megjelenését tekintve követi, sőt meghaladja korunk stílusát és követelményeit, ezt az 1. ábra is szemlélteti. A tervek szerint modern jellege nemcsak működését és formavilágát tekintve fog megjelenni, hanem használatában is: egy applikáció segítségével lesz megrendelhető, az utashoz legközelebbi le- és felszállóhelyre [3]. Az utas ezeken a landolópontokon tud beszállni a járműbe, és a célirányt meghatározva utazni.

Az idő előrehaladtával, 2020-ban már egyre több fejlesztő cég tudott előállni nemcsak tervekkel, hanem akár megépített járművel, próbarepüléssel, tesztüzemben működő járművekkel is. A Las Vegas-i CES kiállításon mostanra már nemcsak új elektronikai fejlesztések kapnak teret, hanem közlekedési és autóiipari börzéként is funkcionál az okostelefonok és a legmodernebb tévék kiállítótere mellett. Ahogy Nagy Attila Károly is írja: „A trend egyöntetűen az, hogy a CES-en megjelenő nagy nevű gyártók és a kisebb garázcégek autonóm és elektromos, emissziómentes közlekedési eszközök megalkotásán, illetve az ezekkel összefüggő szoftveres, szenzoros és a legváltozatosabb hardveres megoldások fejlesztésén, integrálásán dolgoznak gőzerővel” [4].

Egyik ilyen irányzat a légi taxik fejlesztése, 2020-ban már nemcsak a Nexus és a Bell cégek fejlesztései képviseltetik magukat az expón, hanem a világ harmadik legnagyobb autógyártója is megjelent a piacon, és be is mutatta légi taxi-konceptióját [4]. A bevezetésben ismertetett eVTOL-járművet fejlesztett a Hyundai (2. ábra), amelynek méretarányos makettje debütált 2020-ban. A repülőt pilóta irányítja, és rajta kívül négy utas szállítására alkalmas [4].



2. ábra

Az első képen a Hyundai életnagyságú eVTOL-típusú SA-1 járműve, a második képen a Bell Nexus 4EX típusú járműve látható a 2020-as kiállításon [4]

A Rolls Royce Ultrafan (3. ábra) koncepciójának lényege, hogy az emissziócsökkentő lépések már nem az elsődleges célok, sokkal inkább a nettó karbonsemlegesség elérése [6]. Ahhoz, hogy ez a cél megvalósítható legyen, nem elég csak a technológia korlátait figyelembe venni, szükséges a gép törzsét hatékonyabbra tervezni, és gyorsabb ütemű fejlesztésekre van szükség az alternatív hajtásokat illetően, különösen a bioüzemanyag gyártásában, vagy a hibrid hajtóművek tervezésében.



3. ábra

Rolls Royce Ultrafan koncepció [7]

3. Új típusú légi járművek alkalmazhatósága a légi mentésben és a légi kutató mentésben

A technológia számára külön alkalmazhatósági lehetőséget kínál a légi mentések területe. A szakterületen egyedülállónak mondható a magyar Orca elektromos kisrepülőgép. Ezt az eVTOL-t magyar mérnökök álmodták és alkották meg, azzal a céllal, hogy hasznosságát kifejezetten ezen a piaci szegmensen mutassa be.

A fejlesztés mögött komoly piaci motiváció rejlik. Napjainkban az elektromos autózás egyre nagyobb teret hódít meg, és a közlekedési szférában tevékenykedő kutatóknak, mérnököknek és piaci társaságoknak már nem elegendő a szárazföldi közlekedésben újat mutatni az elektromos hajtás bevezetésével, egyre komolyabb erőfeszítések irányulnak a légi közlekedésben használható elektromos repülőeszközök fejlesztésére, azon belül is a légi mentéshez használható légi járművére.

Ahogy az alapító, vezető mérnök nyilatkozott a *Forbes* magazinnak:

„Egy komplex kihívás előtt áll a légi iparág, mivel a most fejlesztés alatt álló járművek számos lényegi szempontból jelentenek komoly változást a korábbiakhoz képest: elektromos meghajtásúak, helyben felszálló több légszavaras légi járművek, amelyek ezután vízszintesen, úgynevezett repülőgépszerűen repülnek és szállnak le, ha szükséges. Az elképzelések szerint majd nagy részük autonóm módon, tehát fedélzeti pilóta nélkül fog közlekedni. Mindezt pedig egy a jelenleginél lényegesen forgalmasabb légtérben, sokszor lakott terület felett és drónok között fogják tenni, embereket szállítva, ami a legmagasabb biztonsági követelményeket támasztja.”

Az ok, amiért a légi mentésben is szükségessé válhat elektromos hajtás igénybevétele, az nem más, mint hogy a gázturbina működési elve már nem a legmodernebb, és drága [7]. Az Orca konstruktőrei olyan megoldásban gondolkodnak, amelyhez nem szükséges megvárni az elektromos hajtás fejlesztését. Ez azért fontos, mert sok esetben az akkumulátorok üzemideje szab határt egy-egy elektromos meghajtású repülőgép projektje kivitelezésében. Ez az Orca esetében nem lehet korlátozó tényező, mivel ehhez a fajta tevékenységhez nem szükséges több száz kilométert megtenni a járművel, illetve az önvezető robotpilóta sem nyújt optimális megoldást az emberi pilótákkal szemben. Hiszen egy mentőhelikopter se tudhatja, hol kell majd leszállnia, így az előre megtervezett és ütemezett útvonal nem alternatíva a költségcsökkentés szempontjából [7].

Az Orcát mentő légi járműként szeretné a fejlesztőcsapat engedélyeztetni. A fejlesztés során már csökkentették a szárnyak hosszát annak érdekében, hogy a mentőhelikopter méreteit tudják követni, ez valamivel rövidebb hatótávolságot eredményezett ugyanakkora akkumulátor alkalmazásával. A szárnyak rövidítésével elérték, hogy az így belefér az Eurocopter rotorkörébe, tehát szabványos méretekkel rendelkezik, továbbá a mentéshez szükséges távokat kisebb energiafelhasználás mellett tudja teljesíteni.

A mentőhelikopterek létjogosultsága a városokban éppen a közlekedési torlódások miatt vitathatatlan. A metropoliszokban uralkodó közlekedési túlszűfoltosság, a nagy forgalom akadályozná a mentőautók rövid idő alatti célba érését. Márpedig mikor emberéletek mentéséről van szó, minden perc számít, ezért nem megengedhető, hogy akár egy városi baleset következtében, vagy szimplán a reggeli csúcsforgalom okán kialakult torlódás miatt elveszítsünk akár egy bajba jutott embert is.

Tehát fontos, hogy a szárazföldi mentés helyett vagy mellett mint kiegészítő alternatíva álljon rendelkezésre légi mentés, tehát mentőhelikopterek is. Azonban a gázturbinák miatt a jelenlegi koncepció nem a legmodernebb megoldás [7].

Az Orca műszaki jellemzőit tekintve elmondható, hogy szem előtt tartotta a tervező csapat a biztonságot mint legfontosabb követelményt. A rendszer kifejezetten redundáns, mivel 7 elektromotor hajtja meg. Ennek következtében, ha bármelyik elektromotor meghibásodik, leáll, az nem okoz rövid távon üzemzavart, mivel a másik hat elektromotor még biztonságos repülést tesz lehetővé.

Ha mindez nem lenne elég, van további beépített biztonsági faktor a rendszerben: beépített ernyőrendszer gondoskodik arról, hogy esetleges üzemzavar esetén biztonságban földet tudjon érni a gép. Ehhez az áramvonalas forma és az ennek köszönhető kiváló siklási képesség is nagyban hozzájárul [7].



4. ábra
A magyar légimentők Eurocoptere – az Orca ihletője [8]

Mivel az Orca merev szárnyon generálja a felszálláshoz szükséges felhajtóerőt, így az utazósebessége jóval nagyobb. Míg az Eurocopter – 4. ábra – végsebessége 280 km/h, addig a magyar fejlesztésű Orcának ez csak az utazósebessége, tehát elmondható róla, hogy jóval gyorsabb közlekedésre is képes.

Az Orca alkalmazhatóságát alátámasztják azok a tapasztalati adatok, miszerint az átlagos mentési távolság a bázistól 40–60 km távolságra van, tehát a jármű nem igényel egy-egy mentési feladathoz több mint 150–160 km hatótávolságot. A tervezők arra is gondoltak, hogy egy-egy beteg átadásához általában 20–25 percre van szükség a bázisként szolgáló kórházakban, ezen időt az Orca esetében az akkumulátorok töltésére fel lehet használni [7].

A korábban említett percek fontossága a mentés esetén itt újabb értelmet nyer: az Orca működéséhez nem szükséges bemelegíteni a rendszert, tehát ad hoc riasztás esetén is bármikor üzemképes és elindítható, a maximális teljesítményének kihasználása mellett. Ez például

egy szívroham, vagy stroke esetében rengeteget számíthat. Az így nyert 1–2–3 perc ezekben az esetekben nagyon sokat jelent, a beteg túlélési lehetőségei nagyban nőnek az így nyert idő következtében, ha azt hagyományos működésű mentőhelikopterrel végzett mentéssel hasonlítjuk össze.



5. ábra
Az Orca látványterve [8]

Ahogy a *Forbes* írja a legfrissebb, 2021. júniusi cikkében:

„Az Orca eddig digitális térben létezett, de már elkészültek az első ún. demonstrátor szerkezetek, ezekkel tudják tesztelni, hogyan viselkedik a sárkányszerkezet függeszkedés vagy repülés közben – júliusban Pécs mellett már merevszárnyú repüléseket is végeznének. Először a leendő szerkezet kisebb verzióját tesztelik, év végéig az 1:5 arányú demonstrátor elkészítése a cél.”

Ugyan az Orca fejlesztése hétköznapi gondolkodással vizsgálva óriási összegeket emésztett fel – 140 000–160 000 dollárt [7] –, azonban a piac e szegmensében ez kifejezetten alacsonynak mondható. A fejlesztés alacsony rezsin működött ez idáig, ami az Orca piaci lehetőségeit növeli: továbbra is Magyarországon marad a fejlesztése, ami miatt olcsóbb alternatívát jelent a piacon, mint bármelyik másik versenytársa (5. ábra).

Felhasznált irodalom

- [1] Európai Parlament, Mit jelent a karbonsemlegesség, és hogyan érhető el 2050-ig? 2019. december 17. Online: www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/society/20190926STO62270/mit-jelent-a-karbonsemlegesség-es-hogyan-erhető-el-2050-ig
- [2] Travelo, Már idén felszállnak az első légi taxik Szingapúrban. 2019. május 28. Online: www.travelo.hu/cucc/20190528-szingapur-mar-iden-felszállnak-első-legi-taxik-szingapurban.html

- [3] Travelo, Extravagáns megjelenésű lesz a repülő taxi, mely néhány éven belül forgalomba állhat. 2019. május 17. Online: www.travelo.hu/cucc/20190517-nemetszag-nehany-even-belul-repulhet-az-ultramodern-repulo-taxi.html
- [4] Nagy A. K., Most már tényleg nincs messze, hogy e-repülőgépeken utazhassunk. *Index*, 2020. január 9. Online: https://index.hu/techtud/2020/01/09/gigaszok_harcolnak_az_elfo_elektromos_legitaxi_megalkotasaert/
- [5] A. Hussain, V. Rutgers, Change Is in the Air. Deloitte, 2019. június 3. Online: www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/future-of-mobility/evtol-elevated-future-of-mobility-summary.html
- [6] D. Kaminski-Morrow, Sustainable Fuel Advances Must Parallel Electric Aircraft Evolution: Rolls-Royce. *Flight Global*, 2020. március 4. Online: www.flightglobal.com/air-transport/sustainable-fuel-advances-must-parallel-electric-aircraft-evolution-rolls-royce/137074.article
- [7] Körtvélyes T., 2029-től utazhatunk elektromos gépeken a Rolls-Royce szerint. *Airportal*, 2020. március 4. Online: <https://airportal.hu/2029-tol-utazhatunk-elektromos-gepeken-a-rolls-royce-szerint/>
- [8] Zsiborás G., A magyar Orca mutatja a légi közlekedés jövőjét – és közben még életet is mentenek. *Forbes*, 2021. június 9. Online: <https://forbes.hu/napi-cimlap/orca-evtol-magyar-fejlesztet/>

Urban Air Mobility, Involving the 3rd Dimension in Air Traffic

Due to the dynamic population increase on our planet, metropolises with several million inhabitants developed where, because of high population density, the daily traffic became a challenge. The present situation has made the involvement of the 3rd dimension, that is air traffic – e.g. air taxis – necessary. The typical means of air traffic could be the eVTOL vehicles, having low noise emission and what is the most important, they have electric propulsion.

Keywords: UAM, urban air mobility, air traffic, urban traffic, air taxi, carbon-neutral flight

Gémes Levente doktori hallgató Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztviselői Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola gemeslevente1@gmail.com orcid.org/0000-0003-4516-0756	Levente Gémes PhD student University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Doctoral School of Military Engineering gemeslevente1@gmail.com orcid.org/0000-0003-4516-0756
---	---

Sándor Zsolt, Pusztai Máté

A polgári pilóta nélküli légi jármű-rendszerek hazai hatósági struktúrája

A 2021-es év elején életbe lépett új EU-s és hazai jogszabályok, amelyek a pilóta nélküli légi jármű-rendszerekre vonatkoznak, alapjaiban változtatták meg a korábbi hatósági struktúra működését. Az EU-s keretszabályok értelmében új funkciókkal kellett bővíteni a nemzetállamok hatósági megoldásait. Jelen cikkben a szerzők részletesen bemutatják azokat a hatósági tevékenységeket, amelyeket a pilóta nélküli légi járművek területén meg kell valósítani hazánkban.

Kulcsszavak: polgári légügyi hatóság, drónszabályozás, dróntörvény, hatósági tevékenységek

1. Bevezető

A 2021. január 1. napján hatályba lépő európai uniós és az ehhez kapcsolódó hazai jogszabályok a polgári pilóta nélküli légi jármű-rendszerekkel (továbbiakban UAS-ok) végzett repülési műveleteknek teljesen új szabályozási keretet adtak. A műveletek elvégzését és engedélyezését alapjaiban meghatározó (EU) 2019/947 végrehajtási rendelet [1], és a pilóta nélküli légi járművekre mint eszközökre vonatkozó (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelet [3] a korábbi gyakorlathoz képest teljesen új hatósági tevékenységeket határozott meg. E tevékenységeket hazánkban több, egymástól független szervezet látja el.

2. Hatósági keretrendszer

Lényeges, hogy az UAS-ok olyan kereskedelmi-ipari vagy hobbi célú használatra szánt eszközök, amelyek jellemzően az alacsony földközeli légi infrastruktúrát használva befolyásolhatják a többi, hagyományos légtérhasználó és egymás biztonságát azáltal, hogy térben és időben azonos helyen jelenhetnek meg. Az így felmerülő repülésbiztonsági kockázatok szintjét növeli – és végső soron emiatt vált elodázhatatlanná a kérdés uniós szintű szabályozása is –, hogy az UAS-ok a technológia megfizethetővé válásával tömegesen jelennek meg a légtérben. Ennek a kockázatnak a kezelése a szabályozási keretrendszeren felül olyan hatósági jelenlétet igényel, amely hatékonyan kényszeríti ki a vonatkozó uniós (például műveleti engedély speciális műveleti kategóriában) és magyar szabályok (például eseti légtér) betartását a felhasználással összefüggésben a termékek gyártásától, az engedélyezettetésen át, egészen a műveleteket övező adminisztratív tevékenységekig.

Az UAS-ok funkcionális képességei a technológia fejlődésének következtében folyamatosan bővülnek, miközben áruk folyamatosan csökken, így elterjedésük rohamosan növekszik. Az ipari felhasználáson túl a szabadidős felhasználás is egyre jelentősebb, utóbbi területen a magyar légtér igénybevételével kapcsolatban is az elmúlt években exponenciális felfutás tapasztalható.

A felhasználói közösség heterogén jellege indokolja, hogy az eszközök alkalmazása megfelelő feltételekhez legyen kötve, azokat csak szabályozott módon lehessen használni, a jogszabályok biztosította kereteken belül. A sokszínű felhasználói bázis jelentette repülésbiztonsági kockázatok csak a szabályok betartásának kikényszerítésével csökkenthetők, és csak így szavatolható, hogy a hagyományos légtérhasználók a korábbi biztonsági színvonalon használhassák a légiteret.

Cikkünkben bemutatjuk és feltárjuk azokat a hatósági folyamatokat és az ellátandó funkciókat, amelyek egy UAS-sal végzett művelethez általában szükségesek. A könnyebb megértés érdekében a hatósági tevékenységi funkciókat a felhasználás különböző fázisaihoz kapcsolódva prezentáljuk. A cikkben csak a polgári hatósági folyamatokat vesszük górcső alá, az állami (például katonai és rendvédelmi) hatósági tevékenységek bemutatásától eltekintettünk, mivel csak a polgári felhasználású pilóta nélküli eszközök használatát vizsgáltuk.

A pilóta nélküli légi járművek kapcsán, ha hatósági tevékenységekről van szó, akkor mindenkinek első esetben a légi közlekedési hatóság jut eszébe mint olyan illetékes hatóság, amely a szükséges tevékenységeket ellátja. Ez azonban csak részben van így. Az összetett EU-s jogszabályok olyan funkciók ellátását teszik szükségessé, amelyeket más szervek, más iparági hatósági funkciókkal felruházott szereplők végeznek el. Továbbá hazánkban jelenleg a légi közlekedési hatósági feladatokat az Innovációs és Technológiai Minisztérium (ITM) Közlekedési Hatósági Ügyekért Felelős Helyettes Államtitkár irányítása alatt működő négy hatósági főosztály látja el.

Jelen cikkünk megírásának alapját azok a hazai és EU-s jogszabályok jelentették, amelyek valamilyen módon szabályozzák a pilóta nélküli légi jármű-rendszerek használatát. Ezek tételesen az alábbiak:

- a Bizottság (EU) 2019/947 végrehajtási rendelete (2019. május 24.) a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról. További jelölése: (EU) 2019/947;
- az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2018/1139 Rendelete (2018. július 4.) a polgári légi közlekedés területén alkalmazandó közös szabályokról és az Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynökségének létrehozásáról. További jelölése: (EU) 2018/1139;
- a Bizottság (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete (2019. március 12.) a pilóta nélküli légi jármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légi jármű-rendszerek harmadik országbeli üzemeltetéséről. További jelölése: (EU) 2019/945;
- 1995. évi XCVII. törvény a légi közlekedésről. További jelölése: Lt.;
- 6/2021. (II. 5.) ITM rendelet a távoli pilóták képzését és vizsgáztatását végző szervezetek kijelöléséről, a távoli pilóták képzésének és vizsgáztatásának részletes szabályairól, valamint a vizsgán való részvétel díjáról. További jelölése: 6/2021. (II.5.) ITM rendelet;
- 39/2001. (III. 5.) Korm. rendelet a légi közlekedési kötelező felelősségbiztosításról. További jelölése: 39/2001. Korm. rendelet;

- 531/2017. (XII. 29.) Korm. rendelet az egyes közérdeken alapuló kényszerítő indok alapján eljáró szakhatóságok kijelöléséről. További jelölése: 531/2017. Korm. rendelet;
- 3/2002. (VI. 20.) GKM rendelet a légi közlekedéssel kapcsolatos hatósági eljárások díjairól. További jelölése: 3/2002. GKM rendelet;
- 2011. évi CXII. törvény az információs önrendelkezési jogról és az információszabadságról. További jelölése: Info tv.;
- 2012. évi II. törvény a szabálysértésekről, a szabálysértési eljárásról és a szabálysértési nyilvántartási rendszerről. További jelölése: Szabs. tv.;
- 2012. évi C. törvény a Büntető Törvénykönyvről. További jelölése: Btk.;
- 2013. évi LXXVII. törvény a felnőttképzésről. További jelölése: Felnőttképzési tv.;
- 11/2020. (II. 7.) Korm. rendelet a felnőttképzésről szóló törvény végrehajtásáról. További jelölése: 11/2020. Korm. rendelet;
- 532/2017. (XII. 29.) Korm. rendelet a légi közlekedési hatóság kiegészítő eljárásjogi szabályairól. További jelölése: 532/2017. Korm. rendelet;
- 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet a magyar légtér igénybevételéről. További jelölése: 4/1998. Korm. rendelet;
- 19/2009. (VI. 18.) IRM rendelet a Rendőrség légi közlekedés-rendészeti feladatai ellátásának rendjéről, valamint a szakszolgálati engedély, a légialkalmassági bizonyítvány és a légialkalmassági tanúsítvány helyszíni elvételének szabályairól. További jelölése: 19/2009. IRM rendelet;
- 2005. évi CLXXXIV. törvény a légi-, a vasúti és a víziközlekedési balesetek és egyéb közlekedési események szakmai vizsgálatáról. További jelölése: 2005. évi CLXXXIV. törvény.

Az 1. táblázat összefoglalóan tartalmazza, hogy e komplex rendszernek milyen szervezeti elemei vannak, amelyek egy adott hatósági tevékenységet látnak el.

1. táblázat
Hatósági tevékenységek, a tevékenységet ellátó hatóságok és a jogszabályi háttérük [a szerző]

Tevékenység/ hatósági funkció	Hatóság	Magyar szereplő	Megjegyzés	Jogszabályi háttér
Nyilvántartásba vétel	Légi közlekedési hatóság	ITM – Légügyi Felügyeleti Hatósági Főosztály	Pilóta nélküli légitársaságok, üzemeltetők, üzemeltetési nyilatkozatok.	(EU) 2019/947 r. 18. cikk (m); Lt. 17. § (1) és a többi pont
Speciális, illetve engedélyköteles műveletek engedélyezése	Légi közlekedési hatóság	ITM – Légügyi Felügyeleti Hatósági Főosztály	Műveleti engedélyek, könnyű UAS üzemeltetési tanúsítványok.	(EU) 2019/947 r. 18. cikk (d), (e), (g); Lt. 22. § (3)
Felügyeleti program és az előzetes bejelentés nélküli ellenőrzések végrehajtása	Légi közlekedési hatóság	ITM – Légügyi Felügyeleti Hatósági Főosztály, Pilóta Nélküli Légitársaságok Osztály (PNLO)	Jogszabályok által meghatározott szereplők folyamatos felügyelete, és annak ellenőrzése, hogy a tevékenységük kellően biztonságos.	(EU) 2019/947 r. 18. cikk (h), (i), (j)

Tevékenység/ hatósági funkció	Hatóság	Magyar szereplő	Megjegyzés	Jogszabályi háttér
Távpilótaképző szervezetek és tananyag engedélyezése (UAS.OPEN.020/040)	Légi közlekedési hatóság	ITM — Légügyi Felügyeleti Hatósági Főosztály PNLO	A meghatározott képzéseket nyújtó szervezeteket a légi közlekedési hatóság engedélyezi, az itt oktatott tananyagot pedig tanúsítja a hatóság.	(EU) 2019/947 r. UAS.OPEN.020 és 040; 6/2021. (II. 5.) ITM rendelet
Távpilótaképző szervezetek ellenőrzése (UAS.OPEN.030)	Felnőttképzési államigazgatási szerv	Pest Megyei Kormányhivatal	Az uniós jog mindössze a képzés három tantárgyát határozza meg. Minden más a tagállam jogosult szabályozni. Ezért – külön szabályozás hiányában – az általános felnőttképzési szabályok irányadók.	(EU) 2019/947 r. UAS.OPEN.030; 2013. évi LXXVII. tv.; 11/2020 (II. 7.) Korm. rendelet
Távpilóta-kompetencia ellenőrzése (vizsgáztatás – kezdeti és felkészítő) és az okmányok kezelése	Légi közlekedési hatóság	KAV: Közlekedési Alkalmassági Vizsgaközpont	Új okmányok kiadása, probléma esetén a kiadott okmányok felfüggesztése, visszavonása stb. A KAV jogszabályi kijelölés útján látja el a feladatot, de kizárólag a 6/2021. (II. 5.) ITM rendeletben meghatározott esetekben.	6/2021. (II. 5.) ITM rendelet 4. § (1); (EU) 2019/947 r. 18. cikk (c), (e); 6/2021. (II. 5.) ITM rendelet; 532/2017. Korm. rendelet 171/A.§
Képzőintézmények felügyelete	Légi közlekedési hatóság	ITM – Légügyi Szakszolgálati Hatósági Főosztály	Elméleti és gyakorlati képzéseket kínáló szervezetek felügyelete, függetlenül a művelet fázisától, de kizárólag a 6/2021. (II. 5.) ITM rendeletben meghatározott képzések esetében (UAS.OPEN.030 például nem tartozik ide.)	532/2017. (XII. 29.) Korm. rendelet 171/A.§; 6/2021. (II.5.) ITM rendelet 3.§ (5)
Megfelelőségértékelő szervezetek akkreditálása	Tagállami akkreditáló testület	Nemzeti Akkreditáló Hatóság (NAH)	A megfelelőségértékelő szervezet adja ki a tanúsítványt arról, hogy egy adott UAS a jogszabályoknak megfelelő.	(EU) 2019/945 r. 25. cikk
Megfelelőségértékelő szervezetek bejelentése	Bejelentő hatóság	ITM – Légi közlekedési hatóság – Légügyi Felügyeleti Hatósági Főosztály	A bejelentés tárgyát képező megfelelőségértékelő szervezet még nem létezik Európában.	(EU) 2019/945 r. 19. cikk (1); Lt. 22.§ (3a)

Tevékenység/ hatósági funkció	Hatóság	Magyar szereplő	Megjegyzés	Jogszabályi háttér
Piacfelügyelet	Piacfelügyeleti hatóság	ITM – Légi közlekedési hatóság – Légügyi Felügyeleti Hatósági Főosztály	Az ország területén a piacfelügyelet ellátásáért felelős, a tagállam által kijelölt hatóság.	Lt. 22.§ (3a); (EU) 2019/945 r. 35. cikk (1), (2), (3)
Eszköztanúsítás	European Union Aviation Safety Agency (EASA)	EASA	Pilóta nélküli légitársaság-rendszerek tanúsítását a jelenlegi jogszabályok alapján csak az EASA láthatja el, illetve egyes funkcióhoz kapcsolódóan kiállít ügynevezett tervezésigazolási jelentést, „design verification report”.	(EU) 2018/1139 rendelet; (EU) 2019/945 r. 40. cikk (1)
Tervezésigazolási jelentés „design verification report”				Nincsen jogszabályi alapja
Üzembentartó tanúsítása és / vagy távpilóta engedélyezése	Légi közlekedési hatóság	ITM	Engedélyköteles művelet esetén (ez jelenleg még szabályozatlan terület).	(EU) 2019/947 r. 18. cikk (b)
Eseti légtér kijelölése	Katonai légügyi hatóság	Honvédelmi Minisztérium – Állami Légügyi Főosztály	Eljárásrend alapján a katonai hatósághoz kell benyújtani.	4/1998. (I. 16.); Korm. rendelet 1. § (3); Lt. 5. § (3)
Korlátozott használatú légterek használatának engedélyezése	Légi közlekedési hatóság	ITM – Léginavigációs és Repülőtéri Hatósági Főosztály	Környezetvédelmi vagy egyéb szempontból korlátozott használatú légterekbe való berepülést előzetesen engedélyeztetni kell.	4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet 5/B. §
Helyszíni ellenőrzések, szabálysértések azonosítása	Általános rendőrségi feladatok ellátására létrehozott szerv, Légi közlekedési hatóság	Rendőrség PNLO	Jogszerű eszközhasználat ellenőrzése (távpilóta, eszköz- és műveleti dokumentumok).	(EU) 2019/947 r. 18. cikk (j); 19/2009. (VI. 18.) IRM rendelet; Lt. 66/A. § (2), (2c)
Meg nem felel felderítése és eseménnyvizsgálat	Légi közlekedési hatóság, Közlekedésbiztonsági szerv, Általános rendőrségi feladatok ellátására létrehozott szerv	ITM – Légügyi Kockázatértékelési Hatósági Főosztály Repülésbiztonsági Osztály és Compliance Osztály, KBSZ Közlekedésbiztonsági szervezet, Rendőrség	Annak biztosítása, hogy a műveletek elvégzése mindig a hatályos jogszabályoknak megfelelően történjen.	(EU) 2019/947 r. 18. cikk (k), (m); Lt. 66/A. § (2), (2c); 2005. évi CLXXXIV. törvény
Tájékoztatás és iránymutatás biztosítása	Légi közlekedési hatóság, Közlekedésbiztonsági szerv	ITM – Légügyi Felügyeleti Hatósági Főosztály PNLO, KBSZ Közlekedésbiztonsági szervezet	Általános, amely a műveleti fázistól független.	(EU) 2019/947 r. 18. cikk (l), 19. cikk (4)

Tevékenység/ hatósági funkció	Hatóság	Magyar szereplő	Megjegyzés	Jogszabályi háttér
Jogosulatlan légtér-igénybevétel elleni védelem	Védelemért és elhárításért felelős nemzetbiztonsági szervezet	Nemzetbiztonsági Szakszolgálat	Jogszabályban meghatározott védelmi és elhárítási funkciók ellátása, amely alapján biztosítható egyes területek védelme (irányítás átvétele stb.). Csak állami szerv láthatja el.	Lt. 10.§ (2a), (2b)
Adatszolgáltatás egyéb hatósági és állami szereplők számára	Légi közlekedési hatóság	ITM – Légi közlekedési hatóság (adott esetben minden főosztály)	Általános, ami a műveleti fázistól független, amely érint hazai és nemzetközi szervezetet is, társhatóságokat is.	(EU) 2019/947 r. 19. cikk

A 2. táblázat a felhasználás fázisaihoz kapcsolódóan mutatja be az egyes szervezetek által ellátandó funkciókat, attól függően, hogy a művelet szempontjából releváns összetevők közül mivel foglalkozik. A következő fejezetekben ezekről részletesebben is olvashat. A műveletek fázisától független funkciók összevontan jelennek meg.

2. táblázat

Hatósági funkciók, a művelet időbeliségét illetően, a rendszer különböző elemeihez kapcsolódóan [a szerző]

	Műveletet megelőzően	Művelet közben	Műveletet követően
Eszköz	<ul style="list-style-type: none"> Megfelelőségértékelő szervezet akkreditálása Megfelelőségértékelő szervezet bejelentése Piacfelügyelet Nyilvántartásba vétel Tervezésigazolás Tanúsítás (jogszabályban meghatározott eszközök esetében) 	<ul style="list-style-type: none"> Helyszíni ellenőrzés Jogosulatlan légtér-igénybevétel elleni védelem 	<ul style="list-style-type: none"> Esemény-kivizsgálás, nem megfelelés felderítése
Távpilóta	<ul style="list-style-type: none"> Távpilótakompetencia-ellenőrzés (kezdeti és felfrissítő vizsgák) Kompetenciát igazoló okmány kiállítása Engedélyezés (jogszabályban meghatározott műveletek esetében) 	<ul style="list-style-type: none"> Helyszíni ellenőrzés 	<ul style="list-style-type: none"> Engedélyek felfüggesztése, visszavonása stb.
Üzemeltető (lehet egyén és jogi személy is)	<ul style="list-style-type: none"> Nyilvántartásba vétel Eseti légtér kijelölés, korlátozott használatú légtér használatának engedélyezése Művelet engedélyezése Üzemeltető szervezet jóváhagyása Tanúsítás (jogszabályban meghatározott műveletek esetében) 	<ul style="list-style-type: none"> Helyszíni ellenőrzés Felügyeleti program végrehajtása 	<ul style="list-style-type: none"> Engedélyek felfüggesztése, visszavonása stb. Esemény-kivizsgálás, nem megfelelés felderítése Felügyeleti program végrehajtása
Képzőintézmény	<ul style="list-style-type: none"> Tananyag és képzőintézmény engedélyeztetése Ellenőrzés és felügyelet 		
Hatósági szereplők	<ul style="list-style-type: none"> Tájékoztatás és iránymutatás biztosítása Adatszolgáltatás 		

3. Hatósági tevékenységek

3.1. Nyilvántartásba vétel

A hatályos hazai jogszabályok szerint – az EU által kötelező minimumként előírtnál szigorúbb szabályok szerint – az UAS-okkal végzett műveletekhez szükséges az, hogy mind az eszköz,¹ mind annak az üzemeltetője nyilvántartásba legyen véve a légi közlekedési hatóságnál. Az eszközregisztráció egy, a drón tulajdonosának kérelmére induló adminisztrációs eljárás, amelynek során a hatóság az eszközt adatainak megadását követően nyilvántartásba veszi. A hatóság a nyilvántartásba vételről határozatot hoz, és az eszközre vonatkozóan egyedi azonosítót ad ki, egy úgynevezett nyilvántartási jelet, amelyet fel kell tüntetni az eszközön.

Ehhez hasonlóan az eszköz üzemeltetőjének is kérelmeznie kell a nyilvántartásba vételt. Az üzemeltető is határozat formájában megkapja egyedi, úgynevezett üzemeltetői nyilvántartási azonosítóját, amelyet hasonlóan a nyilvántartási jelhez, szintén fel kell tüntetni az eszközön.

A hatóság ilyen módon nyilvántartást vezet az eszközökről és az üzemeltetőkről. A nyilvántartás célja, hogy folyamatosan rendelkezésre álljon egy adatbázis az összes használatban lévő eszközről, és azok üzemeltetőiről. Az adatbázisból szükség esetén (például helyszíni hatósági intézkedés során) le lehet hívni adatokat, így meg lehet győződni arról, hogy az érintett eszköz vagy üzemeltető valóban szerepel az állami nyilvántartásban. Ezen adatoknak eltulajdonított eszközök vagy elveszített, esetleg sérülést vagy balesetet szenvedett, esetleg azt okozó eszközök esetén van kiemelt jelentősége. Az uniós összehasonlításban szigorú magyar nyilvántartási rendszer értelmét adja, hogy az EU által később bevezetni szándékozott *retrofit* és *upgrade* megoldások, azaz a régi drónok – gyártói közreműködéssel – új szabályoknak való megfeleltetése esetén rendelkezésre fog állni egy olyan adatbázis, amely alapján ellenőrizni lehet, hogy az egyes tulajdonosok pontosan milyen eszközre milyen módosítást hajthatnak végre – hasonlóan a közúti gépjárművek visszahívási akcióihoz, ahol szintén a gépjármű-nyilvántartás adatai segítenek az összes érintett gépjármű tulajdonosának elérésében.

A sztenderd forgatókönyvek szerinti működéshez szükséges úgynevezett üzemeltetői nyilatkozatok befogadását is e tevékenységek keretében végzi a hatóság.²

3.2. Repülési műveletek engedélyeztetése

Amennyiben egy felhasználó olyan műveletet szeretne végrehajtani, amely a „nyílt” műveleti kategória szabályai szerint nem végrehajtható, akkor művelete „speciális” vagy „engedélyköteles” kategóriába fog tartozni. Ilyen esetben a repülési műveletet csak műveleti engedély birtokában lehet megkezdeni, ami vonatkozhat egy-egy műveletre (egyedi műveleti engedély, amely során egy adott műveletet engedélyeznek) vagy – könnyű UAS-üzemeltetői tanúsítvány, azaz LUC esetén – előre meghatározott műveleti csoportokra. Ez utóbbi tanúsítvány

¹ A pilóta nélküli játék légitársaságok kivételével.

² Ez egyelőre csak elvi lehetőség, ugyanis az erre vonatkozó szabályok hatálybalépését az Európai Unió 2023-ig elhalasztotta.

az azt birtokló szervezet számára engedélyezi, hogy meghatározott jellemzővel rendelkező műveleteket az üzemeltető nagy számban és saját hatáskörben engedélyezzen.

A műveleti engedély vagy LUC-tanúsítvány megszerzése kérelemre indul, és az eljárás során a hatóság az elsődlegesen benyújtott dokumentáció alapján meggyőződik arról, hogy a kérelmező szakmailag, szervezetenként, műszakilag, pénzügyileg és egyéb, a repülésbiztonság szempontjából releváns tényezők alapján alkalmas a művelet biztonságos lebonyolítására. A folyamat során a hatóság szemlét tarthat és egyeztetést is kezdeményezhet az érintett féllel, illetve szükség esetén további külsős felet vonhat be az engedélyezésbe, vagy felszólíthatja a kérelmezőt, hogy független harmadik féllel tanúsítsa bizonyos funkcionális elemeket.

Magyarországon ezt a tevékenységet az ITM – Légügyi Felügyeleti Hatósági Főosztály Pilóta Nélküli Légitársaságok Osztálya (PNLO) végzi.

3.3. Felügyeleti program és az előzetes bejelentés nélküli ellenőrzések végrehajtása

A légi közlekedési hatóság a jogszabályok erejénél fogva úgynevezett felügyeleti program keretében ellenőrzi azokat az üzemeltetőket, akik sztenderd forgatókönyvek szerinti műveletek végzésére vonatkozó nyilatkozatot nyújtottak be, műveleti engedéllyel vagy könnyű UAS-üzemeltetői tanúsítvánnyal rendelkeznek, illetve azokat az egyesületeket, akik az (EU) 2019/947 végrehajtási rendelet 16. cikke szerint modellező egyesületként³ kaptak engedélyt a hatóságtól. E tevékenység során a hatóság értékeli az UAS-üzemeltetőket az általuk végzett tevékenységek és azok teljesítménye alapján, majd kockázati kategóriákba sorolja be őket. Ezek alapján meghatározza, hogy milyen gyakorisággal kell ellenőrizni őket, ami megvalósulhat helyszíni, *on-site* ellenőrzés keretében, és/vagy úgynevezett *desk-top audit* által, ami a felügyelt szervezet dokumentumainak és rendszereinek ellenőrzésére terjed ki, helyszíni kiszállás nélkül. Ezekről függetlenül a hatóság előzetes bejelentés nélkül is megjelenhet egy-egy szervezetnél, és akár a műveletek elvégzése közben is ellenőrizheti az egyes szereplőket.

Az ilyen vizsgálatoknak különös jelentősége van azokban az esetekben, amikor a hatóság egy-egy engedély megadása során a fokozatosság elvét követően a kérelmező számára nem azonnal, hanem az elért biztonsági teljesítmények alakulása alapján biztosítja egy-egy engedély megszerzését. Ilyen tipikusan a könnyű UAS-üzemeltetői tanúsítványban szereplő jogosultságok biztosítása.

Amennyiben az ellenőrzés során hiányosságokat, eltéréseket vagy nem megfeleléseket (együttesen: *Finding*) tapasztal a hatóság, akkor azokat jegyzőkönyvezik, és az érintett szervezetnek a hiányosság súlyosságától függően azonnal vagy előre meghatározott időn belül kell a javító intézkedést megtennie. Ennek megvalósulását a hatóság szintén nyomon követi.

³ Szintén elvi lehetőség, tekintettel arra, hogy az ilyen engedélyek jogszabályi feltételeit nem dolgozták ki, jöllehet, ez teljes egészében tagállami hatáskör maradt. Ezért is nem szerepel az 1. táblázatban ez a feladat.

3.4. Távpilótaképző szervezetek és tananyag-engedélyezés

Hazánkban a távpilótákat képző szervezetek szabályozását és az ehhez kapcsolódó hatósági feladatokat – részlegesen kiegészítve az uniós rendeleteket – a 6/2021. (II. 5.) ITM rendelet foglalja magában. A szabályozás tartalmaz olyan elemeket, amelyek a jelen pontban foglalt célokat szolgálják (így például a képzőszervezetek, valamint az egyes tananyagok engedélyezése és tanúsítása). Ugyanakkor az ITM rendelet nem tartalmaz rendelkezéseket az UAS.OPEN.030 szerinti elméleti képzések (köznyelvben A2 képzésként is ismertek) lebonyolítását végző szervezetekre vonatkozóan, így azoknak mindössze a felnőttképzésről szóló 2013. évi LXXVII. törvény – korántsem drónspecifikus – rendelkezéseinek kell megfelelniük. Az ilyen képzési szervezetek ellenőrzését ezért nem a légi közlekedési hatóság, hanem a 11/2020. (II. 7.) Korm. rendelet alapján a Pest Megyei Kormányhivatal mint felnőttképzési államigazgatási szerv végzi. Ez a fajta hatáskörmegosztás nem szerencsés, különösen úgy, hogy az UAS.OPEN.020 és az UAS.OPEN.030 szerinti képzések egymásra épülnek.

Szintén nem szerencsés, hogy a fentebb említett két képzési formán kívül egyetlen más, légi közlekedési hatóság által elismert képzési forma sem létezik, ennél fogva a speciális műveleti kategóriában a hatóságra van bízva, hogy a műveleti engedély vagy könnyű UAS-üzembentartói tanúsítvány kiadásához elegendőnek ítéli meg a távpilóta képzettségét, illetve ha nem, akkor mely képzés elvégzésére utasítja a távpilótát, illetve közvetetten a kérelmező üzemmentartót. Ez jogalkalmazási nehézségeket szül, ugyanis a légi közlekedési hatóság kizárólag a fenti két vizsga tartalmára (azaz a teljesítésükhöz elvárt tudásszintre) vonatkozóan rendelkezik hiteles információval, minden egyéb, magasabb szintű képzési forma tekintetében hiányzik a rálátás az adott képzés tényleges tartalmára és a távpilóta valódi kompetenciáira.

A távpilótákhoz kapcsolódó komplett képzési szisztéma hiányában tehát a légi közlekedési hatóság nagyon korlátozott hatáskörrel rendelkezik a drónos műveleteket végső soron végrehajtó távpilóták képzettségének biztosításában, ellenőrzésében, miközben a repülésbiztonságban a *cockpit-crew* (amely jelen esetben a távpilóta, aki egyben a légi jármű parancsnoka is azaz *pilot-in-command*) jelenti az utolsó és ezért kiemelkedően fontos biztonsági elemet („*final layer in the defence against disaster*”) [19].

3.5. Képzőintézmények felügyelete

Annak érdekében, hogy a távpilóták képzése megfelelő színvonalú lehessen, biztosítani szükséges, hogy az ilyen feladatokat ellátó szervezetek állandó felügyelet alatt álljanak, aminek keretében folyamatosan ellenőrzik az alkalmasságukat. A felügyelet több részből állhat. Egyrészt a hatóság a tevékenység megkezdését megelőzően a képzőintézmény bejelentésekor megvizsgálja, hogy rendelkezésre állnak-e azok a személyi és szervezeti kompetenciák, amelyek a tevékenységek ellátásához kapcsolódnak, másrészt ellenőrzi az oktatás tematikáját. Az ellenőrzések egy másik fajtája az, amikor már működő szervezeteket időről időre „átvilágít” a hatóság, és egy felügyeleti program keretében vizsgálja meg, hogy a képzéseket nyújtó szervezetek képesek-e folyamatosan kielégíteni azokat a feltételeket és követelményeket, amelyek a jogszabályoknak megfelelő működéshez szükségesek. Ezekkel az ellenőrzésekkel biztosítható hosszú távon, hogy a képzések színvonala egységes és megfelelő legyen.

Az ellenőrzéseknek olyan szempontból is kiemelt jelentősége van, hogy az EU-ban a kölcsönösség elve alapján a valamelyik uniós tagállamban elvégzett, az (EU) 2019/947 végrehajtási rendelet mellékletének UAS.OPEN.020 és UAS.OPEN.030 pontja szerinti képzést és vizsgát minden uniós tagállamnak kötelessége elfogadni, valamint a határokon átnyúló műveletek esetében a repülés helye szerinti tagállam – a végrehajtási rendelet 13. cikke értelmében – nem vizsgálhatja a távpilótának a másik tagállam által megfelelőnek talált képesítését, kompetenciáit. Ezért fontos, hogy a távpilótaképzések színvonala egyfelől magas, másfelől egységes legyen. Ebben a folyamatban a hatósági feladatok csak a második lépcsőfokot jelentik, az első a teljes körű képzési rendszer kialakítása jogszabályok révén – amelyre egyelőre még nem került sor.

3.6. Távpilóta-kompetencia ellenőrzése és okmányok kezelése

A jelenlegi (EU) 2019/947 végrehajtási rendelet alapján a távpilótáknak megfelelő és igazolt kompetenciákkal kell rendelkezniük ahhoz, hogy pilóta nélküli légi járműveket vezethessenek. Magyarországon a távpilóták szakmai felkészültségének ellenőrzését – amely kizárólag elméleti ismeretekre terjed ki (UAS.OPEN.020 és 030 vizsga, illetve a későbbiekben a sztenderd forgatókönyvekhez [STS] kapcsolódó elméleti és gyakorlati vizsgák) – a Közlekedési Alkalmassági Vizsgaközpont (KAV) végzi, ahol személyes jelenléttel lehet vizsgázni. Ez a szervezet végzi az összes olyan adminisztrációs tevékenységet, amely ezen okmányokhoz – vizsgaigazolások és kompetenciatanúsítványok, valamint STS elméleti ismeretekre vonatkozó tanúsítványok – kapcsolódik (okmányok kiállítása, módosítása, felfüggesztése, korlátozása vagy visszavonása).

3.7. Megfelelőségértékelő szervezetek akkreditálása és bejelentése

Az UAS-ok megfelelőségével kapcsolatos ellenőrző tevékenységeket megfelelőségértékelési eljárás keretében a gyártó vagy külsős, úgynevezett megfelelőségértékelő szervezetek végezhetik, attól függően, hogy milyen megfelelőségellenőrzési modul szerinti eljárást választanak. Amennyiben a vizsgálatot külsős fél végzi, akkor az ő általa kiadott megfelelőségellenőrzési tanúsítást csak akkor lehet elfogadottnak tekinteni, ha ezt a szervezetet a tagállami bejelentő hatóság nyilvántartásba vette, és az Európai Bizottság felé bejelentette olyan szervként, amelyet felhatalmaz harmadik fél által végzendő megfelelőségértékelési feladatok ellátására.

A bejelentő hatóság ezt a bejelentést végzi, illetve az ezt megelőző, a szükséges kompetenciákat validáló tevékenységeket, amihez szükséges a nemzeti akkreditáló testület által kiállított akkreditációs tanúsítvány.

Magyarországon bejelentő hatóságként – a légi közlekedésről szóló 1995. évi XCVII. tv. módosítása nyomán – az ITM-et, azon belül pedig a Légügyi Felügyeleti Hatósági Főosztályát jelölték ki. A megfelelőségértékelő szervezetek akkreditációját pedig a Nemzeti Akkreditáló Hatóság (NAH) végzi.

Fontos ugyanakkor megjegyezni, hogy a bejelentett szervezettel való az Európai Bizottság döntésétől függ. Utóbbi a bejelentő hatóságtól kapott iratok tanulmányozását

követően és a többi tagállamtól esetlegesen beérkező kérdések – megfelelőségértékelő szervezet, illetve az azt bejelentő hatóság általi – megválaszolását követően dönt a státusz megadásáról és a kérelmezőnek az ilyen szervezeteket tartalmazó NANDO-listán való közzétételéről. A bejelentés öt évig érvényes.

3.8. Piacfelügyelet

A piacfelügyelet célja, hogy a forgalomba hozatalra szánt és a már forgalomban lévő, az európai uniós jog hatálya alá tartozó termékek megfeleljenek az egészségre, a biztonságra, a fogyasztóvédelemre és más közérdekre vonatkozó követelményeknek, garantálva egyúttal a belső piac zavartalan működését. Ezt a tevékenységet a piacfelügyeleti hatóság végzi. Amennyiben egy termék e követelményeknek megfelel, akkor azt a terméken elhelyezett CE jelölés tanúsítja. Az EU-ban csak olyan nyílt műveleti kategóriába szánt drón forgalmazható, amely rendelkezik CE jelöléssel és a Bizottság vonatkozó rendelete (EU 2019/945) által meghatározott osztályazonosító címkével.

Ezért az Európai Unió külön piacfelügyeleti rendszert hozott létre, amelyben minden uniós tagállam kijelölt egy piacfelügyeleti hatóságot a fenti szempontoknak való megfelelés érdekében.

Magyarországon a légi közlekedésről szóló törvény alapján a légi közlekedési hatóság, azon belül pedig a Légügyi Felügyeleti Hatóság Főosztálya látja el az (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendeletben meghatározott UAS-ok piacfelügyeletét.

A piacfelügyeleti ellenőrzés révén a termékek megfelelősége (és ez alatt nemcsak a műszaki képességeket kell érteni, hanem a forgalmazás formai feltételeinek teljesítését is) a gyártást követően is biztosítható például próbavásárlások vagy laborvizsgálatok révén. Ennek keretében vizsgálja a hatóság, hogy az UAS forgalmazásához szükséges összes tartalmi és formai kellék (dokumentáció, EU megfelelőségi nyilatkozat) rendelkezésre áll-e, és hogy az eszköz megfelel-e a vonatkozó műszaki követelményeknek. Napjainkban még nem elérhetők az új uniós rendeletek által bevezetett osztályazonosító címkével ellátott UAS-ok, így a piacfelügyeleti hatósági ellenőrzés a CE jelölés meglétére, illetve a jelenleg még biztosan jogszerűtlen osztályazonosító címkéssel ellátott termékek kiszűrésére korlátozódik. Lényeges, hogy a piacfelügyelet nem egyenlő a fogyasztóvédelemmel, így ezen eljárások a termékek biztonságát általában hivatottak vizsgálni és ellenőrizni, nem pedig egy-egy hibás termékkel kapcsolatos jogvitákat kezelni.

A piacfelügyeleti hatóság a termékre vonatkozó szabályok megsértése esetén – akár csak a hírekben gyakran hallott, szennyezett élelmiszerek esetében – az UAS-okat is visszahívhatja a boltok és webáruházak polcairól, illetve komoly bírságot szabhat ki a gyártókkal és forgalmazókkal szemben.

3.9. Eszköztanúsítás

Bizonyos magas kockázatú műveleteket csak tanúsított eszközökkel lehet végrehajtani. Ezek olyan nagyobb kockázatokat magukban hordozó „speciális” (SAIL V és VI) és „engedélyköteles” kategóriába tartozó repülési műveletek, ahol nagy méretű (3 m-nél nagyobb)

eszközzel embertömeg felett hajtanak végre műveleteket, vagy személyszállítást valósítanak meg vele, vagy veszélyes áruk szállítását végzik vele, aminek a környezetbe kerülése egy harmadik félnek problémát okozhat, és ezért a drón tervezése során különös körültekintéssel kell eljárni, amelynek része a tanúsítás.

Az eljárás során az UAS kialakításán kívül annak gyártását és karbantartását is tanúsítani kell. Ezt a tevékenységet az illetékes nemzeti légügyi hatóságok (Magyarországon az ITM illetékes főosztályai mint légi közlekedési hatóság) vagy az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség (EASA) végzi. A tanúsítást a hagyományos (értsd: pilótás) légi járművekre vonatkozó jogszabályoknak megfelelően kell végrehajtani. Jelentős probléma, hogy jelenleg nem áll rendelkezésre az UAS-tanúsításhoz szükséges megfelelő technikai követelményrendszer (*Certification Specification, CS*) vagy szabvány.

3.10. Tervezésigazolási jelentés

A tervezésigazolási jelentés szintén az EASA által végzett – opcionálisan igénybe vehető – tanúsítási forma. Az eljárás a hobbi UAS-oknál kötelező CE-jelölés és az engedélyköteles műveleti kategóriába sorolt tanúsításköteles UAS-ok számára előírt típus- és légi alkalmassági tanúsítvány között képez egyfajta hidat a közepes kockázati szintű (SAIL III és IV) speciális műveletek esetében. A folyamat során a tervezéssel összefüggő meghatározott operatív biztonsági célok tekintetében végez ellenőrzést az EASA. A gyártó kezdeményezte eljárásban az EASA meghatározott műveleti körülményekre vonatkozóan – és nem általánosságban – ad ki igazolást úgynevezett „tervezésigazolási jelentést” (*design verification report, DVR*) az UAS – vagy egyes alrendszerei – megfelelő működéséről [18].

A DVR szerepe a tagállami hatóság által lefolytatott engedélyeztetés során kerül előtérbe. Ha egy művelet közepes kockázati szintet ér el, az üzembentartó által tett kockázatcsökkentő intézkedések hatékonyságát, így az UAS megfelelő műszaki állapotát harmadik fél általi tanúsítással kell bizonyítani. Egy ilyen igazolást (DVR) – amely egyébként több tízezer euróba kerül – minden tagállami hatóságnak el kell fogadnia, amikor az üzembentartó a műveleti engedélyhez, vagy a könnyű UAS-üzembentartói tanúsítványhoz kapcsolódó engedélyezési eljárást lefolytatja.

Az uniós jogszabály nem rendezi a DVR jogi státuszát és kötelező erejét, így a tagállami hatóság döntésén múlik, hogy kéri-e ennek a dokumentumnak a beszerzését, illetve olyan UAS használatát a közepes kockázatú speciális műveletek esetén, amelyre a gyártó kért ilyen tervezésigazolást. A DVR előírásáról tehát hazánkban a légi közlekedési hatóság jogosult dönten. Nem témája ugyan a jelen dolgozatnak, de itt jegyezzük meg, hogy álláspontunk szerint az új uniós keretrendszer által elérni kívánt egységes drónpiac kialakulását veszélyezteti egy ilyen jellegű szabályozás. A tagállami hatóságokat ugyanis semmi nem kötelezi a DVR előírására, miközben egy megengedőbb hatóság által kiadott műveleti engedély, vagy LUC más tagállamban (ahol esetleg a DVR-t kéri a hatóság az ottani kérelmezőktől) való alkalmazása esetén nem nagyon van lehetőség vitatni a kiadott LUC helyességét, megalapozottságát. Egységes gyakorlat hiányában (maga az EASA sem ad pontos útmutatást a hatóságok számára) a piac szegmentált maradhat az eltérő felfogású hatóságai szerepvállalások miatt.

3.11. Üzembentartó tanúsítása és/vagy távpilóta engedélyezése

Az (EU) 2019/947 végrehajtási rendelet alapján, az „engedélyköteles” műveleti kategóriában a tervezett művelet jellegétől függően szükséges az üzembentartó és egyes esetekben a távpilóta tanúsítása. Ezen eljárás során a hatóság meggyőződik arról, hogy az érintett szereplők rendelkeznek a legmagasabb kockázatú műveletek elvégzéséhez szükséges kompetenciákkal, és ezek alapján képesek a műveletet maximális biztonság mellett elvégezni. Ennek érdekében a hatóság bizonyítékokat kérhet (például bizonyítványok, repülési időket tartalmazó naplók, egyéb nyilvántartások stb.), helyszíni szemlét tarthat, betekinthez az informatikai rendszerekbe és nyilvántartásokba, illetve ellenőrizheti a bevont alvállalkozókat is – ha vannak ilyenek.

3.12. Eseti légtér kijelölése

A jelenlegi hazai jogszabályok alapján, lakott terület felett csak és kizárólag eseti légtérben lehet pilóta nélküli légi járművel repülési műveletet végrehajtani, függetlenül attól, hogy az milyen műveleti kategóriába tartozik.

Az eseti légtér kijelölése az üzembentartó kérelmére indul, és az eljárást a katonai légügyi hatóság, a Honvédelmi Minisztérium Állami Légügyi Főosztálya folytatja le, a szükséges szervezetek (például légi közlekedési hatóság) bevonásával. Ennek során megvizsgálják, hogy más felhasználó adott-e már be igényt az adott területre, a kérelmezett légtérre van-e térbeli és időbeli átlapolása. A jogszabályok értelmében, ha ilyen eset előfordul, akkor a magasabb prioritású tevékenység ellátása (például állami légtérhasználat) előnyt élvezhet. Az eljárás során a kérelmezett eseti légtér jellemzői alapján a folyamatba bevonják az illetékes légiforgalmi szolgáltatót (HungaroControl Zrt.) is.

3.13. Korlátozott légterek használatának engedélyezése

Pilóta nélküli légi járművel főszabály szerint ilyen légterekbe nem lehet berepülni. Azonban a légi közlekedési hatóságtól származó külön engedély birtokában, az illetékes szakhatósággal folytatott egyeztetést követően lehetőség van a berepülésre. Az ilyen légterek használatához szükséges engedélyeket az engedélyezési folyamat során a légi közlekedési hatóság fogja beszerezni, aminek intézését azonban a kérelmező is megkezdheti.

Korlátozott légterek védendő objektumok felett helyezkednek el, illetve egy speciális fajtája az úgynevezett „zöld légterek”. Utóbbiak a környezetvédelmi szempontból korlátozott légterek. Ezek célja, hogy az adott helyszínen a légi közlekedés kizárásával a természeti értékeket megőrizze, és biztosítsa a helyi állat- és növényvilág háborítatlanságát.

3.14. Helyszíni ellenőrzések, szabálysértések azonosítása

Hasonlóan a gépjárművezetők ellenőrzéséhez, a távpilóták ellenőrzése is megvalósulhat a műveletek elvégzése közben, a helyszínen. Ennek során a helyszínen lévő hatósági szervek (például Rendőrség, ITM, közterület-felügyelet stb.) munkatársai megvizsgálják, hogy

a felhasználó a szabályoknak megfelelően használja-e az eszközt, és ellenőrzik azt is, hogy rendelkezik-e az adott művelet végrehajtásához szükséges összes engedéllyel és dokumentummal. Ennek egyik eszköze a mydronespace applikáció használata, illetve annak ellenőrzése, hogy a távpilóta használta-e a mobilalkalmazást, amely a művelet jellegétől, helyétől és időtartamától függetlenül kötelező.

Amennyiben hiányosságot, problémát vagy olyan meg nem felelőséget tapasztalnak, amelyek hatással vannak a légi közlekedés biztonságára, úgy a hatósági munkatársak jogosultak szankciókat alkalmazni. Alapvetően négy féle eset különböztethető meg:

1. légi közlekedési bírság (100 millió Ft-ig terjedő összeg) szabható ki a drónok üzemeltetésére vonatkozó szabályok (például a regisztrációs, képzési és vizsgáztatási kötelezettség, kötelező felelősségbiztosítás megléte, megfelelő engedély megléte stb.) megsértőivel szemben. Az üzemeltetési szabályok megsértéséért az üzembentartó vonható felelősségre, kivéve, ha hitelt érdemlően igazolni tudja (például szerződés), hogy a berendezés használatát átadta;
2. szabálysértésért vonható felelősségre, aki lakott terület felett drónt jogosulatlanul használ (például az nem eseti légtérben valósul meg);
3. amennyiben a jogosulatlan használat során más lakásáról jogosulatlanul hang- vagy képfelvételt készít, magánlaksértésért vonható felelősségre;
4. tiltott adatszérés vétségéért vonható felelősségre az, aki jogosulatlan drónhasználatnál más lakását megfigyeli és az ott történeteket rögzíti. Aki pedig az így megszerzett felvételt nyilvánosságra hozza, szabadságvesztéssel is büntethető.

3.15. Meg nem felelés felderítése és eseményvizsgálat

Amennyiben a jogszabályokban meghatározott, úgynevezett repülőesemény következik be, akkor azt a jogszabályokban meghatározott szervezeteknek hivatalból vizsgálniuk kell. Ez magában foglalja a helyszíni szemlét és az azt követő teljes körű vizsgálat lefolytatását, amely kiterjed a használt pilóta nélküli légi jármű-rendszerre, a távpilótára, az UAS-üzembentartóra és amennyiben érintett volt az üzemeltetésben még egyéb szereplő, úgy arra is. Erre példa lehet a karbantartást végző harmadik fél, vagy bármilyen olyan szolgáltatást nyújtó fél, aki alvállalkozója vagy egyéb szerződéses partnere volt az UAS üzembentartójának az esemény bekövetkeztekor. (Éppen ezért a könnyű UAS-üzembentartói tanúsítványhoz szükséges úgynevezett LUC Kézikönyvben a kérelmezőnek az alvállalkozóra vonatkozóan már előzetesen meg kell osztania bizonyos információt a hatósággal).

Vannak olyan esetek, amelyek nem járnak balesettel, illetve amelyekből nem keletkezik repülőesemény, azonban mégis jelenti azokat az UAS-üzembentartó vagy bármely más szereplő. Ezeket is kötelező kivizsgálni az érintett hatóságoknak, mivel előfordulhat, hogy a vizsgálat eredményeképp olyan javaslatok fogalmazódnak meg, amelyek a mindennapi működésbe beépülve aktívan képesek hozzájárulni a légi közlekedés biztonságának növekedéséhez.

Amennyiben bármilyen vizsgálat arra az eredményre jut, hogy egy adott UAS-üzembentartó vagy távpilóta nem felel meg az aktuális jogszabályi előírásoknak (*noncompliance* áll fenn), akkor a hatóság haladéktalanul intézkedik, hogy az érintett entitás az alkalmazott gyakorlatán változtatva a jogszabályoknak megfelelően végezze a jövőbeni tevékenységét. Ezekről

nyilvántartást kell vezetni, és ha a hiányosság jellege több entitást is érint, akkor arról tájékoztatás is kiadható, így biztosítva, hogy a problémák mihamarabb felszámolhatók legyenek.

3.16. Tájékoztatás és iránymutatás biztosítása

A jogszabályok szerinti UAS-használat érdekében az állam szerepe, hogy megfelelő tájékoztatást biztosítson a felhasználóknak. Ez egyrészt a képzéseken keresztül valósul meg, másrészt utólagosan, reaktív módon az összegyűjtött tapasztalatok megosztásával a különböző rendezvényeken és különböző fórumokon. Jelen esetben, mivel egy folyamatosan formálódó és folyamatosan változó területről van szó, különösen indokolt az ilyen jellegű társadalmi szerepvállalás, amely jelentős mértékben hozzá tud járulni a jogkövető magatartás kialakításához.

Fontos a jó gyakorlatok bemutatása, illetve a felhasználók által feltett kérdések megválaszolása, és ebből egyfajta tudásbázis kialakítása, amely közérthető megfogalmazásban tartalmazza, hogy a jogszabályok alapján nem egyértelmű esetekben pontosan mit kell tenni, mi az eljárásrend, az engedélyezéshez milyen dokumentumok szükségesek, azok hol találhatóak meg, a formanyomtatványok hol érhetők el stb.

Egy-egy komplex művelethez vagy eseményhez tartozó esettanulmány feldolgozásával is értékes információk oszthatók meg a „drónos” közösséggel. Mivel ma ezt a közösséget rendkívül heterogén felhasználók alkotják, így kiemelkedően fontos a hiteles és pontos tájékoztatás.

3.17. Jogosulatlan légtér-igénybevétel elleni védelem

Egyes állami szervezetek jogosultak arra, hogy védelmi célból olyan eszközöket telepítsenek, amelyek megakadályozzák, hogy az UAV-ok tiltott vagy korlátozott légterekbe engedély nélkül berepüljenek. Az ilyen védelmi célból létesített elhárító eszközöket csak és kizárólag állami szervek használhatják. A védelmet megvalósító rendszerek észlelik a tiltott légtérbe való berepülés tényét, és a felhasznált technológiától függően vagy átveszik az UAV felett a vezérlést, vagy a vezérlőjel elnyomásával az UAV-ot arra kényszerítik, hogy térjen vissza az úgynevezett „home point”-ra. Amennyiben a helyzet megköveteli, és a védelmi rendszer képes rá, akkor lehetőség van az UAV megsemmisítésére is, viszont ilyenkor figyelembe kell venni azt is, hogy ezt bárhol, bármikor nem lehet megvalósítani, mert a megsemmisülő eszköz kockázatot jelenthet a földön lévő emberekre és vagyontárgyakra, valamint a természetre is.

3.18. Adatszolgáltatás egyéb hatósági és állami szereplők számára

Az egyes tagállamok – így Magyarország – által gyűjtött adatokat a hatályos EU-s jogszabályok értelmében előre meghatározott esetekben (például határon átnyúló műveletek engedélyezése során) meg kell osztani az érintett tagállamok hatóságaival. Továbbá vannak olyan biztonsági adatok, amelyek a piacfelügyeleti tevékenység ellátása során keletkeznek (például egyes eszközök használata során felmerülő műszaki kockázatok stb.), és amelyeket szintén megosztanak egymással az egyes tagállami hatóságok.

A hatályos hazai jogszabályok értelmében bizonyos eljárásokat több szerv folytat le. Ilyen esetben kölcsönös adatcsere kell hogy megtörténjen a hatékony feladatvégzés érdekében (például környezetvédelmi szakhatósági engedélyeztetés, légtérsértések felderítése, nyomozati cselekmények stb.).

4. Összefoglaló

A pilóta nélküli légi jármű-rendszerek piaca dinamikusan fejlődik. Az új technológiai megoldások új funkciókat tesznek elérhetővé, és az UAV-okkal végzett tevékenységek egyre több területen képesek kiváltani a hagyományos élők munkát, illetve a jelenlegi technológiát. A veszélyes vagy kockázatos tevékenységeket, ahol csak lehet, már drónokkal fogják végezni. A bonyolult műszaki megoldások egyre olcsóbbá válnak, ezáltal egyre több felhasználó tud hozzájutni ilyen eszközökhöz. Ez magával hozza, hogy nemcsak az eszközök száma, hanem a felhasználás gyakorisága is növekszik. Az ipari felhasználás növekedésének ütemén túlmutat a szabadidős, rekreációs célú felhasználás felívelése.

Az egyre nagyobb számban megjelenő eszközök mind adminisztrációs, mind ellenőrzési szempontból egyre nagyobb terhet jelentenek a hatóságok számára.

A létszám, a szaktudás és az erőforrásbeli kihívásokon túl, bonyolítja a helyzetet a szabályozás összetettsége, a megfelelő állami tájékoztatás hiánya, és az, hogy a területhez kapcsolódó tapasztalatok nehezen sajátíthatók el. Ennek oka, hogy nemcsak üzembentartói, hanem hatósági oldalon is több – egymástól eltérő – szakterület ismerete szükséges az új jogszabályok által telepített hatás- és feladatkörök megfelelő gyakorlásához és ellátásához.

Köszönetnyilvánítás

A mű az NKFIH-866-5/2020 iktatószámú Megállapodás alapján az NKFI Hivatal és az Innovációs és Technológiai Minisztérium által biztosított támogatással, a Biztonsági Technológiák Nemzeti Laboratórium finanszírozásával valósult meg.

Felhasznált irodalom

- [1] A Bizottság (EU) 2019/947 végrehajtási rendelete (2019. május 24.) a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról
- [2] Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2018/1139 Rendelete (2018. július 4.) a polgári légi közlekedés területén alkalmazandó közös szabályokról és az Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynökségének létrehozásáról
- [3] A Bizottság (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete (2019. március 12.) a pilóta nélküli légi jármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légi jármű-rendszerek harmadik országbeli üzembentartóiról
- [4] 1995. évi XCVII. törvény a légi közlekedésről (Lt.)

- [5] 6/2021. (II. 5.) ITM rendelet a távoli pilóták képzését és vizsgáztatását végző szervezetek kijelöléséről, a távoli pilóták képzésének és vizsgáztatásának részletes szabályairól, valamint a vizsgán való részvétel díjáról
- [6] 39/2001. (III. 5.) Korm. rendelet a légi közlekedési kötelező felelősségbiztosításról
- [7] 531/2017. (XII. 29.) Korm. rendelet az egyes közérdeken alapuló kényszerítő indok alapján eljáró szakhatóságok kijelöléséről
- [8] 3/2002. (VI. 20.) GKM rendelet a légi közlekedéssel kapcsolatos hatósági eljárások díjairól
- [9] 2011. évi CXII. törvény az információs önrendelkezési jogról és az információszabadságról
- [10] 2012. évi II. törvény a szabálysértésekről, a szabálysértési eljárásról és a szabálysértési nyilvántartási rendszerről
- [11] 2012. évi C. törvény a Büntető Törvénykönyvről
- [12] 2013. évi LXXVII. törvény a felnőttképzésről (Felnőttképzési tv.)
- [13] 11/2020. (II. 7.) Korm. rendelet a felnőttképzésről szóló törvény végrehajtásáról
- [14] 532/2017. (XII. 29.) Korm. rendelet a légi közlekedési hatóság kiegészítő eljárásjogi szabályairól
- [15] 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet a magyar légtér igénybevételéről
- [16] 19/2009. (VI. 18.) IRM rendelet a Rendőrség légi közlekedés-rendészeti feladatai ellátásának rendjéről, valamint a szakszolgálati engedély, a légialkalmassági bizonyítvány és a légialkalmassági tanúsítvány helyszíni elvételének szabályairól
- [17] 2005. évi CLXXXIV. törvény a légi-, a vasúti és a víziközlekedési balesetek és egyéb közlekedési események szakmai vizsgálatáról
- [18] European Commission, DG DEFIS 1st ADCO Drones Meeting november 7, 2020.
- [19] T. Meagher, Effective Training for Ground Operations Necessary for Skill Set. *International Airport Review*, 2015. május 29. Online: www.internationalairportreview.com/article/76354/effective-training-ground-operations/
- [20] European Commission, Regulation (EU) 2019/945 On Unmanned Aircraft Systems and On Third-Country Operators of Unmanned Aircraft Systems. Online: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/nando/index.cfm?fuseaction=directive.notifiedbody&dir_id=159261

The Hungarian Authority Structure of the Unmanned Aircraft Systems

The operations of the civil aviation authority structures have been significantly changed due to the implementation of the new EU drone regulations from 28 August 2021. The tasks of the civil aviation authorities of the member states have been broadened. This article presents those activities that have to be fulfilled connected to the operations of the unmanned aircraft systems.

Keywords: *civil aviation authority, drone legislation, drone law, authority activities*

<p>Dr. Sándor Zsolt, PhD légi közlekedési szakértő KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. Légi közlekedési Kutatóközpont sandor.zsolt@kti.hu orcid.org/0000-0002-5678-6760</p>	<p>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</p>
<p>Dr. Pusztai Máté, PhD légi közlekedési szakértő KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. Légi közlekedési Kutatóközpont Pusztai.mate@kti.hu orcid.org/0000-0001-6983-4554</p>	<p>Máté Pusztai (PhD) 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</p>

Major Gábor, Bodnár Balázs György, Szilvássy László

Mi lehetne a Gripen utódja?

Egy terület feletti légtér felügyelete, védelme minden korban, minden időszakban kiemelt feladata az adott nemzetnek. Ebben a feladatban a világ minden táján a legmodernebb harci repülőgépek vállalnak szerepet. Ahhoz, hogy meghatározzuk, a legmodernebb mit is jelent pontosan, sok-sok összetevő együttállása szükséges. Ilyenek a technikai paraméterek, az üzemeltethetőségi környezet, a rendszerbe illeszthetőség, valamint a fegyverzeti anyagok beszerzésének lehetőségei. De minden felsorolt összetevő a gyártás és üzembe helyezés idejében a legmodernebb, ezt követően a használat során avul, öregszik. A légi jármű életciklusának végéhez közeledve eljön a váltás vagy a modernizálás dilemmája. A dilemmával új kérdések is születnek. Vajon az utód szintén képessé teszi-e Magyarországot, hogy még mindig a térség egyik legerősebb légierije legyen? Megéri-e több régebbi típust venni, amelyek modern eszközökkel felszereltek, vagy kevesebb olyan típust, amelyek a legkorszerűbb eszközökkel felszereltek? A publikációban a szerzők ezekre a kérdésre keresik a válaszokat, néhány lehetséges „utód” bemutatásán keresztül.

Kulcsszavak: légi jármű sárkányszerkezet, fedélzeti elektronika, ár-érték arány, fegyverzet, fejlesztések, harci repülő, JAS 39 Gripen

1. Bevezetés

„A JAS 39-es Gripenekkel és a közelmúlt gépbeszerzéseivel [...] Magyarország légierije a térségben az egyik legerősebb fejlődött” [15].

Egy hadsereg ereje minden korban, minden időben a közösséget alkotó egyének tudásában, lojalitásában és elhivatottságában rejlik. A középkori csaták idején ennyi talán elég is volt egy sikeres csata, háború vagy hadjárat megnyeréséhez, de manapság legalább ilyen fontos összetevője a geopolitikai térben való megmaradásnak a modern, ütőképes, magas technikai értékű fegyver- és járműrendszer. Egy ország haderejét hozzáértéssel irányító vezetés egészséges egyensúlyt képes meghatározni a klasszikus haderőnemek arányos fejlesztése során, tudva azt, hogy egy eszköz akár több tonna vas is lehet haditechnikai potenciál nélkül, megfelelően motivált, magas fokú szakmai tudással rendelkező, kiválóan felkészített szakember nélkül. Az egyszerű ember-gép kapcsolaton túl a haderőnemek szimbiózisa is legalább annyira fontos, mivel az egyik a másik nélkül csupán „üri huncutság”. A szárazföldi, a kiber- és a légi erő egymásra épülő, egymást kiegészítő fejlesztése, fejlődése a magyar hadsereget a haderőfejlesztési program első szakaszának végére akár Közép-Európa egyik legmodernebb haderejévé is teheti.

Hiába állnak az emberiség alkalmazásában olyan eszközök a rohamos technológiai fejlődésnek köszönhetően, amelyek nagy segítséget jelentenek az élet számos területén, a fegyverkezés, a haderő elrettentő erejének növelése továbbra is (vagy még inkább) kiemelt fontosságú cél. Igaz, ebben a publikációban a személyzet által vezetett légi járművek összehasonlításáról és a lehetséges modellváltó típus megtalálásáról írunk, de ha már a 21. századi kihívásokról és a technológia rohamos fejlődéséről is ejtünk néhány szót, akkor érdemes egy gondolattal megemlíteni a már nagy számban megjelenő olyan repülőeszközöket is, amelyek az ember fedélzeti jelenléte nélkül, autonóm¹ módon képesek repülni [2], [12]. Ezek a drónok² képesek lehetnek hathatós segítséget nyújtani, akár egy légi harc során a legmodernebb repülőgépet az irányítása alatt tudó pilótának is.

A korszerű haditechnikai eszközök kifejlesztése és beszerzése egyre nagyobb anyagi ráfordítást igényel. Az újabb és korszerűbb eszközöknél törekedni kell valamilyen optimumra a fegyverzeti technikai szükségletek kielégítése és a még elviselhető beszerzési és fenntartási költségek között. Mindez természetesen igaz a korszerű haditechnika egyik leggyorsabban fejlődő területére, a repülésre is [3].

A magyar légierő fejlesztése a JAS 39 beszerzésétől kezdődően a mai napig nem állt le, így szinten tartva magas fokú ütőképességét. Ez folyamatos beruházásokat jelent. Az An-26-osok kiváltásával helyreáll majd a szállítókapacitás, amely KC-390 típusú szállító repülőgépek által fog megvalósulni. Szép lassan újjáépül a forgószárnyas képesség is, amelynek alapját a H145M helikopterek adják. Ez a forgószárnyas flotta teljes „létszámban” a szolnoki bázis „vendégszeretetét” élvezi. A közeljövőben ezekhez a gépekhez csatlakoznak a már gyártásban lévő, több célú Airbus H225M-esek is. Kifejezetten személyek szállítására, a csapatok gyors és nagy számú mozgatására vásárolt két használt Airbus 319-est a Honvédelmi Minisztérium (HM), amely csak korlátozottan alkalmas teherszállításra. A Dassault Falcon 7X repülőgéppel pedig légi futárszolgálatot, személyszállítást, illetve speciális műveleteket hajtanak végre.

A légiflotta fejlesztése, modernizálása során újabb dilemma került napirendre: „Lejár 2026-ban a Magyar Honvédség 14 Gripenjére a svédekkel kötött lízingszerződés. Ekkor kell majd eldönteni, hogy megtartjuk-e a gépeket és rendezzük a maradékértéket (amellyel a repülőgépek teljes mértékben magyar tulajdonba kerülnek), vagy más típusút szerzünk be.” [15]

Most újabb döntést kell hozni a lejáró szerződés utáni időszak vadászipülőgépeinek jövőjét illetően. Ez új távlatokat nyit meg a Honvédség előtt, hiszen újabb, modernebb repülőeszközök beszerzésének lehetőségét hordozza a szerződés lejáráta, illetve nagy munkaerővonzó hatása is lehet az új légi járműnek vagy járműveknek. Ez igen komplex folyamat, amelynek során elemzések, piackutatások születnek, hogy melyik típus lenne képes leváltani a 2005-ben legalkalmasabb harci gépnek kikiáltott, minden felhasználói igényt, elvárást kielégítő Gripen-t.

¹ Az autonóm működésükhöz szükséges információkat a környezetükből gyűjtik, szenzorok segítségével érzékelik pozíciójukat, és egy döntési folyamat eredményeként működésüket, helyzetüket, mozgásukat a háromdimenziós térben korrigálják [19].

² Unmanned aerial vehicle/unmanned aircraft system, pilóta nélküli légi jármű/pilóta nélküli légijármű-rendszer, drón. ICAO Circular 328. International Civil Aviation Organization, 2011.

2. A MiG-29-es leváltásának szükségessége

A repülőgép-beszerzési lehetőségek elemzéséhez először menjünk vissza a történelemben egészen a 2000-es évek elejéig. Ekkor felvetődött ugyanis az észszerű (talán már sürgető is egyben) kérdés, miszerint mi tudná pótolni a keleti blokk jól megszokott MiG sorozatának ekkor jeles típusát a MiG-29 Fulcrum vadászgépet. Hosszas tárgyalássorozatot követően a befutó a JAS 39 Gripen típus lett. De miért is választottuk a JAS 39 Gripent a MiG-29-et leváltó típusnak? A választ több oldalról lehet vizsgálni, hiszen nem csak az játszott szerepet a döntés meghozatalában, hogy a Gripen jobb, fejlettebb elektronikai eszközökkel rendelkezik, ami azt jelenti, hogy folyamatos szoftverfrissítést és új hardverelemeket kap, hanem a NATO-ba való belépéssel bizonyos problémák keletkeztek a keleti típus üzemeltetése során. A csomag részeként a svédek jobb terméktámogatást biztosítanak, illetve a legfontosabb tényező, amely szintén ezt a döntést erősítette pedig a NATO ellenség-barát felismerő rendszerrel való kompatibilitás lehetősége, hisz a Gripen alkalmas Link 16 adatkapcsolat létesítésére, míg az orosz gyártású MiG-29 nem. Az orosz géppel ellentétben a Gripen légi utántöltésre is alkalmas, ezzel a hatósugarát jelentős mértékben képes megnövelni.

Fegyverzetet tekintve a Gripen jelentősen kisebb tömegével is képes hat rakétát hordozni és indítani, mint az a típus, amelyet leváltott. A MiG nagyobb termete ellenére is a nehezebb nagy hatótávolságú rakétákból csak kettőt tudott alkalmazni, a két belső függesztési ponton, ugyanezekkel a (vagy inkább jobb) jellemzőkkel rendelkező rakétákból a Gripen négyet képes magával vinni. Közelharc manőverezésben a MiG-gel szemben a Gripen alulmaradna, ha eltekintünk a svéd típus jobb helyzetképalkotó rendszerétől. A MiG jobb repülési teljesítménnyel rendelkezik, mind a nagy szárnyfelület, mind pedig a nagy tolóerőt biztosító hajtóművek miatt. De közelharcra nemigen kerül sor, mivel a Gripen a korszerű radarjának köszönhetően jóval hamarabb észleli az orosz technikát. A fejlett aktív radar segítségével 80–120 km-ről képes beméri az ellenséges repülőeszközt. Az utolsó szakaszon a rakéta teljes autonóm önirányítással repül, így a Gripen tud manőverezni, és nem kell a célra vezetnie a megsemmisítő eszközt. A köteléktárs is tudja irányítani az indított rakétát, ezt a célmegosztásos módszer teszi lehetővé. A szimultán célküzdelem is a Gripen képességei közé sorolható, ami azt jelenti, hogy akár több célt is támadhat egy időben. A Gripen fülketeje éjjellátó-kompatibilis, így éjszaka is alkalmazható, a MiG-é azonban nem. A Gripen földi célok ellen is képes precíziós csapást indítani, ezzel ellentétben a MiG-29-es csak nem irányítható rakétákkal képes megsemmisíteni az ellenfelet a földön, ráadásul csapást mérni is csak nappal tud felszíni célokra.

A Gripen rendelkezik korszerű elektronikai hadviselési (EWS-) eszközökkel is, amelyek a repülőgépek önvédelmi, illetve a katonai művelet képességét növelik. A Gripenek lízingdíja ~44 milliárd forint.

Ebből a kiinduló állapotból mérlegelve, a következő fejezetben „körülnézve” a piacon, megpróbáltunk alternatívákat felsorakoztatni és „ötletet adni” a döntési folyamathoz.

3. Alternatív utódok a Gripen helyett

Az utódok keresésére három irányba „indultunk”. Érveket kerestünk a keleti típusok mellett/ellen, majd a klasszikus nyugati gépeket mustráltuk, míg végül a „tengeren túlra” kalandoztunk egy keveset.

3.1. Keleti típusok

A keleti típusok kapcsán számos repülőgép szóba jöhet, mind az orosz oldalról, mind a kínai oldalról, hiszen ott is nagy fokú fejlesztések mentek/mennek végbe a repülőiparban. A kínaiak például a MiG-21 újragondolt prototípusát tesztelik, mivel még látnak a régi konstrukcióban potenciált, amit a sárkány megváltoztatásával és az elektronika jelentős fejlesztésével érhetnek el. A probléma csak az a keleti lehetőséggel, hogy NATO-tagország vagyunk és az ellenségbarát felismerő rendszerek kódolása nem lenne NATO-kompatibilis, ez azt jelenti, hogy egy-egy közös művelet során a NATO gépei ellenségnek tekinthetnek a gépeinket, ezzel a baráti tűz veszélye folyamatosan fennállna, a technikai megoldások pedig falakba ütköznenek. Így a keleti konstrukciók kiesnek a lehetséges alternatívák listájából.

Mellesleg a termék támogatása is nehézségeket okozna a nagyobb távolságok és a környező keleti országokkal kapcsolatos politikai nehézségek miatt, az üzemeltetés bonyolult, illetve drága folyamat lenne az országunk számára.

3.2. Nyugat-európai típusok

Az előző pontban leírt kompatibilitási problémák ebben az esetben nem állnak fenn, így a következő pontokban látható géptípusokat gondoltuk lehetséges váltótípusnak.

3.2.1. Rafale

A Dassault³ által gyártott francia szuperszonikus vadászbombázó jó választás lenne, már csak abból kiindulva, hogy az Airbustól rendeljük a légiflottánk nagy részét, így a franciákkal egy újabb szerződés megkötése gördülékenyebb lehetne. A franciák több év tapasztalataiból kiindulva rájöttek arra, hogy egy repülőgépnek képesnek kell lennie a légi fölény kivívására és megtartására a föld, illetve a tenger felett. Az aszimmetrikus háború és 2001. szeptember 11. rávilágított arra, hogy szükség van olyan légvédelmi és légi eszközökre, amelyek könnyen telepíthetők és könnyen bevethetők bárhol a légtér biztosítása céljából. Ez a cél ihlette a franciákat a Rafale létrehozásában. Az eredmény egy „*omnirole*”⁴ képességekkel rendelkező vadászbombázó lett, ami azt jelenti, hogy széles körű feladatok ellátására képes az adott repülőgép. Alkalmos a légtér védelmére és a légi fölény fenntartására, légtérsértés kezelésére, felderítésre, közeli légi támogatásra, dinamikus célzásra, földi cél precíziós megsemmisítésére, hajók elleni csapásra, nukleáris fegyver hordozására és indítására, valamint légi utántöltésre. Így nem kell nagy létszámú gépcsoport több feladat ellátására.

A Rafale-t nézve leginkább szembetűnő (ahogyan az 1. ábrán látható), hogy ez a típus is rendelkezik légi utántöltési rendszerrel, mint a Gripen. A másik jellemzője, hogy kissé hasonlít a sárkányszerkezete a Gripenéhez, a különbség csupán a két hajtómű. A szárnya delta kialakítású, mint a svéd gyártmánynak, hisz ez a kulcsa a magas mozgékonyágának, és hogy nagyobb távolságokra képes repülni a csapás érdekében. Alumínium-titániumból épült

³ 1929-ben alapított francia repülőgépgyár (www.dassault-aviation.com/en).

⁴ Multirole.

a sárkány a hasznos terhelhetőség megnövelése érdekében. A Rafale képes olyanféle automata repülésre, amely minden időjárási körülmények között követni tudja a terepet, ezáltal biztosítja az észrevétlen repülést ellenséges területen. Ez nagyban megnöveli a túlélőképességét. Emellett lopakodó képességei vannak a légi járműnek, mivel úgy alakították ki a szárnyak alakját, formáját és borítását. A hajtóműve az új generációs M88-2, amely a csökkentett szennyezőanyag-kibocsátásra, de emellett mégis a magas teljesítmény biztosítására törekszik. Anyagfelhasználásában megjelenik a kompozit. Közel 73 kN tolóerőre képes a hajtómű külön-külön. Aktív radar elektromos szkennelőtömbbel ellátott, RBE2 radarra szerelték fel, amely képes több célt egyszerre észlelni minden időjárási körülmény és terepi zavarások közt is. Valós idejű 3D-s térképet biztosít a hajózó számára, hogy a még fel nem derített területeken, rossz látási viszonyok közt is biztonságosan tudjon repülni. A tájékozódás érdekében valós idejű 2D-s térképet vázol fel a pilóta számára, hogy a földi célokat minél könnyebben felderíthesse. Több vízi célt is képes észlelni és kijelölni. Front Sector Optronics (FSO), vagyis a frontális szektor optronika⁵ segít a nagy távolságú célok észlelésében, ami „immunis” a zavarásokra. Az elektronikai hadviselés eszköze is fellelhető a gépen. Ez a Spectra, amely teljesen integrált a gép többi rendszerébe, hogy biztosítsa a távoli radarok, rakéták és lézerek megbízható észlelését nagy távolságból is. Emellett segít a pilótának eldönteni, mely eszközökkel védekezzen az előbb felsorolt lehetséges fenyegetések ellen. Ha a Spectra fenyegetést észlel, akkor azt jelzi a pilótának, hogy kapcsolja be a radarzavaró rendszert, rakétafenyegetés esetén pedig, még időben javasolja a kitérő manővert. A Rafale, Link 16 adatkapcsolat-kompatibilis. A Talios rendszer a felelős a lézeres célmegjelöléssel megjelölt célok megtalálásáért és megjelenítéséért a kijelzőn. Az Areos rendszer pedig nagy sebességű analízis útján biztosít gyors és hatékony felderítést, éjjel és nappal ugyanolyan hatékonysággal.

A fegyverzetben ugyanazok a rakéták találhatóak meg, mint amelyeket a Gripenre lehet függeszteni, de a fejlettebb elektronika jobb támadási lehetőségeket biztosít.

Egy Rafale ára nagyjából 100 millió USD.



1. ábra
Rafale [7]

⁵ Optoelektronika. Az angol opto és az electronics szavak összeolvadásából alakult ki.

3.2.2. JAS 39 Gripen E

A Gripen E (2. ábra) típusváltozatát azért fejlesztették ki, hogy a jövő fenyegetéseit képes legyen legyőzni és kivédeni. Ehhez a svéd SAAB cég a legújabb elektronikai hadviselési eszközöket szerelte fel a gépre, amelyek egy elektronikus pajzsot biztosítanak a gép körül, ezzel is az ellenséges támadások és fenyegetések hatékonyságát csökkentik. Ebbe az elektronikai hadviselési rendszerbe olyan harci képességeket kell érteni, amelyek kiegészítik más fegyverrendszerek hatását. Ez lehet olyan katonai tevékenység, amely az elektromágneses energiát felhasználva felderíti, meghatározza az ellenség pozícióit, használt kommunikációs eszközeit. A tevékenység által csökkenti vagy teljes mértékben megakadályozza, hogy az ellenség a frekvenciaspektrumot problémamentesen használja, és biztosítja annak a saját csapatok általi hatékony alkalmazását [14]. A mesterséges intelligencia is megjelenik mint döntéstámogató program ahhoz, hogy a pilóta a legrövidebb idő alatt a legjobb döntést hozza, így olyan hatást kelt a Gripen E repülése, mintha a pilóta intuitív módon irányítaná azt. Ez köszönhető a repülőgép „hatodik érzékének”, amely viszont úgy a leghatásosabb, ha az ember és gép feltétel nélküli összedolgozásra képes. A fejlesztésnél az is szempont volt, hogy a szélsőséges területeken is képes legyen a légi fölény kivívására és megtartására, legyen szó a sarkvidék zord hidegéről, vagy akár egy trópusi terület párás és meleg levegőjéről, a Gripen E széria nem fog csődöt mondani. Ehhez elengedhetetlen az új hajtómű, amely kifejlesztésénél a környezeti hatások fokozott elviselése volt az egyik fő szempont. Ezáltal tengeri körülmények között is bevethető a légi jármű, mivel jelentős mértékben ellenáll a sós levegő korrozív hatásának, miközben lényegesen nagyobb tolóerőre képes, ami nagyobb hasznos teherbírást eredményezett. A legújabb hardverelemek, szenzorok és szoftverek segítségével gond nélkül képes a fenyegetéseket felismerni és hatástalanítani a látótávolságon kívülről is. A cégnek ez az egyik mottója is, hogy: „lásd a láthatatlant, mielőtt meglátnak”. Ehhez a radarzavarók is hozzásegítik a Gripent, ami azt jelenti, hogy egészen a csapás pillanatáig észrevétlen maradhat mind a földi, a tengeri, mind pedig a légi célok ellen. Mindezen fejlesztések következtében éppen olyan széles körben képes feladatokat ellátni, mint a Rafale. A Gripen E másik fő tervezési szempontja az volt, hogy képes legyen akár az ellenséges területen is működni, ehhez nagy segítség az a képessége, hogy rövid kifutópályán – ami lehet egy közút kijelölt szakasza – is képes fel- és leszállni, ami a repülőgép-hordozókon is rendkívül hasznos képesség [10], [17].



2. ábra
Gripen E (Major Gábor szerkesztése [9], [10] alapján)

A nálunk hadrendben lévő Gripen EBS HU típushoz képest a fegyverzeti különbség abban mutatkozik, hogy az E típusnál újabb szoftverek és hardverek biztosítják a legmodernebb fegyverek alkalmazását. Az E változat törzsen három függesztési pont van a jelenlegi egy helyett, ami további lehetőséget kínál arra, hogy még több megsemmisítő eszközt tudjon alkalmazni, így jelentősen megnövelve a csapásmérő képességét. Egy E-szerűs Gripen ára 100–130 millió USD.

3.2.3. Eurofighter

Egy európai összefogás „gyermeke” a 3. ábrán látható Eurofighter, amely szintén többcélú repülőgép. Képes bombázni, miközben nem marad védtelen, hiszen a bombák mellett képes több rakétát is magával vinni. A sok pozitív képessége mellett jelentős problémája a típusnak, hogy a több nemzet által legyártott, majd egy ezektől különböző helyen összeszerelt alkatrészek nem mindig képesek biztosítani a gép rendeltetésszerű működését. Ezek a pontatlanságok, illeszkedési hibák a terhelések hatására – az interneten fellelhető információk szerint – számos meghibásodást okoztak eddig. A jellemzés során ettől az információtól a továbbiakban eltekintünk.

A repülőgép, mint az előző két típusnál, itt is delta szárnyakkal rendelkezik. A sárkányszerkezet a radaralapú felderítőrendszerek elleni védelmet biztosító, sugárzást elnyelő anyagból készült, amely elősegíti a lopakodó képességet. A légi jármű kialakítása szubszonikus és szuperszonikus sebességnél is lehetővé teszi a hatékony manőverezhetőséget, így széles spektrumú a feladatvégrehajtási képessége. A kompozitanyagok alkalmazása lehetővé tette, hogy növeljék a strapabíró képességet, de mégis könnyű maradjon a szerkezet, így a hatótáv növekedésével lehet számolni. Mint a Rafale-nél is, ennél a repülőgépnél is két hajtóművet alkalmaztak a tervezők, így nagy mennyiségű fegyverzet hordozására képes, ami egy vadászbombázónál nagy előny. Az EJ200 hajtóművek, kis tömeggel rendelkeznek a magas hőmérséklettűrés mellett, 1000 óra repülési időt biztosítanak, ami alatt nem szükséges a nagyjavítás. A hajtóműbe integrált érzékelők segítik a hajtóműkimélő repülési üzemmódot is.

A repülőgépen alkalmazott radar nagy területeket képes letapogatni, ez által a nagy fokú felderítési képesség itt is megjelenik. A radar két üzemmóddal rendelkezik, amelyek közül az egyik a légteret, a másik a földfelszínt képes nagy hatékonysággal felderíteni.

A pilótafülke kialakítása biztosítja a kompatibilitást a sisakra rögzíthető HMDS⁶-vel, amely elérhetővé teszi, hogy a pilóta szeme elé legyen kivetítve a harci helyzetkép, az irányításhoz szükséges paraméterek, így a hajózó nagyobb figyelmet képes fordítani a harci feladat elvégzésére, mint az irányításra, vagy az információs panelen kijelzett adatok „fűrkészésére”. A navigációs érzékelők a műholdak támogatásával pontos helymeghatározást és pontos térképeket adnak a pilóta kezébe. A fedélzeti számítógép részletes jelentéseket képes adni a pilótának az adott meghibásodás típusáról és mértékéről, ami nagy fokú könnyítés az üzemeltetés és a repülés közbeni döntéshozatal közben. A Eurofighter tervezése során integrálták a képességcsomagba az elektronikai hadviselés eszközeit is, amelyek a rakétákra figyelmeztető rendszerektől az infracsapdákat aktiváló rendszerig mind fellelhetők. Ennek a része továbbá

⁶ HMDS, *Helmet Mounted Display Systems* – sisakmegjelenítő.

a fedélzeti számítógép ellenséges elektronikai hadviselési tevékenységtől való védettsége, hogy ezzel is növeljék a harcfelelő végrehajtásának hatékonyságát [6].

Fegyverzetét, mint azt a fejezet elején is írtuk, nagyszámú bomba és rakéta alkotja, amelyek mellett megjelennek a modern „okos” fegyverek is, mint például a repülés közben magának célt kereső bomba. A repülőgépet, mint általában a legtöbb harcászati repülőt, ezt is felszerelték az életkörülményeket biztosító berendezésekkel, amelyek a pilótát védik a magas terheléstől, a kémiai, a nukleáris és biológiai támadásoktól.

Egy Eurofighter ára nagyjából 124 millió USD. (Ha figyelembe vesszük a gyártásból adódó meghibásodások jelentősen nagy számát, akkor az ár-érték arány nincs egyensúlyban. A nagy számú hibákról számos híradás számolt már be, illetve a 2021-es kecskeméti repülőnapon is meghibásodás miatt maradt ki az egyik bemutató.)



3. ábra
Eurofighter [20]

3.3. Az Amerikai Egyesült Államok típusai

Az európai típusok mellett a jelentős fegyverexportőr portfóliójában is érdemes szemügyre venni. Az alábbi típusok felelnek meg leginkább az elképzeléseknek, amelyeket a publikációban bemutatott vadászipülőgépek mindegyikénél vizsgáltunk.

3.3.1. F/A-18 Super Hornet

Ez a típus az amerikai Boeing cég terméke, amelyet a légi fölény kivívására és megtartására hoztak létre. Többcélú vadászfeladatokra tervezték, ami az amerikai haditengerészetnél szolgál elsősorban. Elsődleges feladata a precíziós támadások végrehajtása, amely képességet a gép tervezésénél kiemelt fontosságú feladatként határoztak meg. Emellett felderítésre, éjszakai műveletekre és az ellenséges légvédelem lefogására is teljes mértékben alkalmas.

A sárkányszerkezetet 10 000 repült órára tervezték, amely az előző verziójú F-18 Hornet-hez képest nem sokat változott, mivel a szárny alapterületét csupán kisebb mértékben növelték meg. Az alkalmazás során begyűjtött adatok hosszas elemzését követően a repülőgép élettartamát sikeresen növelték meg. A sárkányszerkezet a szárnyak és a törzs találkozásánál felülről egy nagyobb tüzelőanyag-tartályt kapott (4. ábra), amelynek célja a hatósugár jelentős mértékű megnövelése, illetve a nagyobb hasznos terhelés elérése. A hajtóművek nagy tolóerővel rendelkeznek, amelyek a nagyobb hasznos terhek ellenére is biztosítják a repülőgépnek a rövid pályájú felszállást. A Super Hornet-ba beszerelt szenzorok segítségével csökkentették a pilótára eső terhelést, hogy elsősorban a feladatra tudjon összpontosítani, és ehhez nagy mennyiségű adatot biztosít számára a célról, hogy a „darázs fullánkja” a leggyengébb pontra szúrhasson, és ezzel rövid idő alatt kivívja a légi fölényt. Ahhoz, hogy a pilótának ne kelljen levennie a tekintetét a mellső légtérről és a befogott célról, a műszerfal tetején egy 10 × 19 hüvelyk (254 × 482,6 mm) nagyságú kijelző található (*Head-up Display*, HUD).

A repülőgép felfegyverzési filozófiájára egy ismert amerikai felfogás a jellemző, amely az egész gép koncepcióját is markánsan meghatározza, ez nem más, mint a „minél többet minél messzebbre” szemléletmód. Ez jól felismerhető az egy időben függeszthető rakéták és a precíziós bombák nagy számában, ami maximum 4,5 t megsemmisítő eszköz lehet összesen. Egy Super Hornet ára körülbelül 66 millió USD, ami meglepően olcsó az előző típusokhoz képest.



4. ábra
F/A-18 [16]

3.3.2. F-35 Lightning II

Az 5. ábrán látható repülőgépet a legfejlettebb vadászrepülőgépnek nevezik, amelyről azt is állítják, hogy a leghalálosabb csapásmérő és a legjobb túlélőképességekkel rendelkező repülőgép. A fel- és leszálló képességet tekintve három változatban készül, F-35A (hagyományos felszálló képességgel – CTOL⁷), F-35B (rövid fel- és függőleges leszállással – STOVL⁸) és F-35C

⁷ Conventional Take-Off and Landing.

⁸ Short Take-Off and Vertical Landing.

(haditengerészet számára, repülőgép-hordozóra történő le- és felszállással – CV⁹). Az F-35-ös jelentős előnyt biztosít a pilótának, hogy bármilyen ellenséggel szemben felvegye a harcot, majd a repülőgép garantálja a hajózó számára, hogy a legnagyobb biztonságban haza is jusson. Emellett nagy távolságok megtételére is képes annak ellenére, hogy a repülőgép tartós időtartamig képes hangsebesség felett repülni.

A sárkányszerkezet jelentős része kompozit, amelyet már a jellemzett típusoknál is bemutatunk. Ez nem jelent mást, mint azt, hogy maga a repülőgép sokkal könnyebb, ezáltal a teljes szerkezet nagymértékben könnyebb lett, így megnövekedett manőverezhetőséget és nagy hatótávot értek el. Az F-35B legfontosabb képessége pedig a helyből való felszállás, amely segítségével gyorsan mobilizálható és bevethető.

„A repülőgép hagyományos aerodinamikai elrendezésű, felső trapézsárnyas konstrukció, osztott függőleges vezérsíkokkal. Az orrsegédszárny kivételével a kormányfelületek mozgását a hagyományostól eltérő módon oldották meg. Az EHAS (Electro-Hydrostatic Actuation System, elektro-hidrosztatikai mozgatórendszer), ellentétben a hagyományos repülőgépek központi hidraulika-rendszerével, minden egyes munkahengernél külön elektromos berendezéssel tartja fenn a hidraulikanyomást, de a berendezések energiaellátása elektromosan történik. A rendszer jóval nagyobb túlélőképességet biztosít a repülőgépnek, a korábban tervezett gépeknél a hidraulika-rendszer nyomásvesztése a gép kormányozhatatlanná válását eredményezte, ezért azt meg is többszörözték” [1].

Az F-35 elektronikája új szintre emeli a légiharcot, hiszen olyan fejlettségi szintet ért el, hogy bármilyen fenyegetettség ellen képes a megfelelő, a szükséges és elégséges védelmi intézkedést hozni. A repülőgép rendelkezik önellenőrző és diagnosztikai rendszerekkel, amelyek az 5. generációs repülőeszközökre jellemzők. Nagy fokú automatizáltság is elősegíti a pilóta sikerességét a bevetések során. Az F-35 rendelkezik a történelem legfejlettebb szenzorcsomagjával, beleértve az AESA-radart,¹⁰ a DAS,¹¹ az EOTS¹² és a fejlett elektronikai hadviselési képességeket az ellenséges erők lokalizálására/követésére, a radarok zavarására és a támadások megszakítására. Az elektronikai hadviselési rendszerek képesek elérni, hogy a gép az ellenséges radarok előtt szinte láthatatlan legyen, sőt az ellenséges lokátorok felderítő képességét meg is tudja bénítani. Fejlett szenzorfüzije lehetővé teszi a pilóták számára, hogy az összes fedélzeti szenzorból származó információt felhasználva egyetlen integrált képet alkossanak a harctérről, ami jelentősen növeli a harctér ismeretét és a túlélési képességet. A stabil repülést a számítógépek oldják meg, hiszen maga a gép instabil kialakítású, vagyis a sárkány nem csillapít semmiféle légerőbehatást. Egyszerűbbé válik ezáltal a célmegjelölés és a tájékozódás is. Az F-35-ös fejlett szenzorai segítségével képes a harcmezőt digitálisan leképezni és képként megjeleníteni a pilóta számára, továbbá a fedélzeti számítógépek segítségével elemezni tudja a lehetséges veszélyforrásokat, és lehetséges opciókat vázol a feladat végrehajtására [8], [13].

A megsemmisítő eszközök egy zárható bombakamrában lévő forgó függesztő rendszerre kerülnek felfüggesztésre. 18 000 font (8165 kg) tömegű fegyverzet hordozására képes, így

⁹ *Carrier Variant*.

¹⁰ *Active Electronically Scanned Array* – aktív elektronikai letapogatású.

¹¹ *Distributed Aperture System* – elosztott apertúra rendszer.

¹² *Electro-Optical Targeting System* – elektrooptikai célzóberendezés.

a feladat elvégzéséhez kellően sokszámú megsemmisítő eszköz állhat rendelkezésre. A HMDS segíti a gyorsabb bemérést és pontosabb célzást a légi harc során.

Egy F-35-ös ára körülbelül 78 millió USD, ami nem tűnik soknak azért a tudásért, amelyet nyújtani képes a felhasználó számára.



5. ábra
F-35 [8]

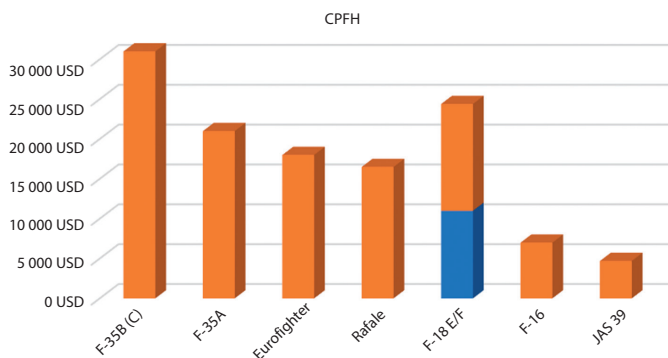
3.4. Összesített adatok

Az 1. táblázat a gyártók által megadott adatokat tartalmazza, amelyek elemzését követően véleményünk szerint helytálló, rentábilis és a hosszú távú hatékonyságot fenntartva kedvező döntés lehet az F-35-re való beruházás, mivel az Egyesült Államok viszonylag kedvező áron, az ő elmondásuk szerint a világ legjobb repülőgépét adja. A drágább Rafale szintén megállná a helyét, még ha drágább is, de több szempontból nézve talán egyszerűbb lenne az üzemeltetés. Közelebb lenne a típusra való képzés helye, a terméktámogatás és a szállítás is közelebről történhetne. Ez a táblázatban szereplő paraméterek alapján a Gripen E típusra is igaz, bár a legtöbb adatban számszakilag alulmarad a „vetélytársakkal” szemben, de elgondolkodtató a lehetőség erre a típusra való váltásra. Ennek okai lehetnek a „megtanult” svéd munkamódszer, a repülőgép tervezésének megismert filozófiája, a kialakított partneri (szakmai és logisztikai) kapcsolatok és nem utolsósorban a szükséges feladat/tudás érték a többlettudást mutatja.

1. táblázat
Összehasonlító adatmátrix [a szerzők]

Paraméter \ Típus	Rafale	Gripen E	Eurofighter	F/A-18	F-35
Hajtóművek száma	2	1	2	2	1
Tolóerő max. [kN]	2 × 75	98	2 × 90	2 × 85	80
Max. sebesség [m/s]	540	360	600	480	480
Szárnyfesztség [m]	10,90	8,6	10,95	14	10,7
Max. felszálló tömeg [t]	24,5	16,5	21	29,937	35
Függesztési pont	6	9	12	11	8
Ár [USD]	~100 millió	100–130 millió	~124 millió	~66 millió	~78 millió

Az IHS Jane's nemzetközi védelmi kiadócsoport által kiadott fehér könyv [18] szerint, ha az üzemeltetés költségeit vesszük alapul, akkor „az üzemanyag-felhasználás, a repülés előtti előkészítés és javítás, a tervezett csapat szintű karbantartás, valamint a kapcsolódó személyi jellegű ráfordítások, egy repült órára eső költségek (CPFH¹³) tekintetében¹⁴ a Saab Gripen a legolcsóbban üzemeltethető repülőgép”. Az említett vizsgálatban a Gripen, az F-16, az F/A-18 Super Hornet, a Rafale, a Typhoon és az F-35 repülőgépeket hasonlították össze. Az összehasonlítás szerint a Gripen óránkénti 4700 USD üzemeltetési költségéhez legközelebb az F-16 Block 40/50, 7000 USD-s üzemeltetési költsége áll. Az F/A-18 üzemeltetési költsége 11 000–24 000 USD között van megadva, a Rafale 16 500 USD-vel szerepel a jelentésben, míg a Eurofighter Typhoon esetében 18 000 USD-re becsülik ezt a költséget. Az F-35-ös teljesen más ligában játszik a jelentés szerint. Az ausztrál légierőre hivatkozva az F-35A változatának működési költségét 21 000 USD-re becsüli, míg az F-35 B és C változatok üzemeltetési költségét 31 000 USD-re adja meg az USA haditengerészete [18]. A jelentés szerint a számok az illetékes műveleti hadseregek és kormányok adatain, a nemzetközi hadianyagverseny költségadatain (Rafale, F-18 E/F, Gripen), a gyártók által megadott adatokon (F-35, Rafale, F-18 E/F, Gripen) és az IHS Jane összes repülőgépre vonatkozó becslésén alapultak [18]. Az adatok a 6. ábrán grafikus formában láthatók.



6. ábra
CPFH (a szerzők szerkesztése [18] alapján)

A költségeket figyelembe véve egyértelműen megállapítható, hogy a JAS 39 Gripen a lehető legjobb választás, tekintve a korábban is említett pozitív tulajdonságokat.

4. Konklúzió

A honvédelem, a védelmi kiadások tervezése és finanszírozása minden történelmi időszakban és helyi politikai nézettől mentesen, az adott ország geopolitikai adottságaihoz és katonai

¹³ CPHH, Cost Per Flight Hour – egy repült órára eső költség.

¹⁴ A szerzők fordítása.

feladataihoz igazodik. A cél elérését az ország szuverenitásának megteremtése és megőrzése érdekében a leginkább optimális eszközök beszerzése, a kezelő, kiszolgáló személyzet kiképzése, oktatása határozza meg. Azonban a haditechnikai eszközök beszerzésénél, egy hadsereg felfegyverzésénél a nemzetközi trendek ismerete elengedhetetlen, mert másképpen nem biztosítható az interoperabilitási követelmények teljesítése a multinacionális műveletekben, a NATO- és az EU-kötelék tagjaként. Az oktatás, kiképzés terén pedig fontos, hogy a hadrendbe állított fegyverzet működését elsajátító szakemberek tudása szinkronban legyen a szövetségesek stratégiájával, feladataival és tevékenységével.

A publikációban bemutatott lehetséges váltó géptípusokat egy bizonyos perspektívából ismertetik a szerzők, azonban a végleges döntés érdekében alaposabb elemzés szükséges, bár a szerzők által mutatott irány elgondolkodtató.

A bemutatás, elemzés és értékelés során azt nem vettük számításba, ami a haderőfejlesztéssel kapcsolatos bejelentés során elhangzott, miszerint: „Magyarország vizsgálja annak lehetőségét, hogy bekapcsolódjon egy hatodik generációs vadászgép fejlesztésébe [...]”¹⁵ Ez a mondat a hazai repülőgépipari ökoszisztéma létrejöttében és fejlesztésében megtett erőfeszítésekben jelentős előrelépést mutat. A történelemben egyszer már megvalósult, jelentős magyar hadiipar tudását és innovációs képességeit felhasználva a jövőre nézve elérkezhetünk abba a „szerencsés környezetbe”, ahol a „magyar koponya” újra repülőgépet, sőt harci repülőgépet tervez, és a fejlődő iparral szimbiózisban gyárt is.

Felhasznált irodalom

- [1] Békési B., Szegedi P., Trendek a vadászrepülőgépek legújabb generációinak fejlesztésére, alkalmazására. In Mesterházy B. szerk., XIV. Természet-, műszaki és gazdaságtudományok alkalmazása nemzetközi konferencia. Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem (NYME), pp. 151–162. 2015.
- [2] Békési B., Pilóta nélküli légi járművek jellemzése, osztályozásuk. In Palik Mátyás szerk., Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek. Budapest, Nemzeti Közzolgálati Egyetem, 2013. 65–109.
- [3] Békési B., A katonai repülőgépek üzemeltetésének, a kiszolgálás korszerűsítésének kérdései. Doktori értekezés, Budapest, ZMNE, 2006. Online: www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/bekesi_bertold.pdf
- [4] Boeing, F/A-18 Super Hornet. Online: www.boeing.com/defense/fa-18-super-hornet/
- [5] Dassault Aviation, Rafale: Introduction. Online: www.dassault-aviation.com/en/defense/rafale/introduction/
- [6] Eurofighter World, Discover more about the Latest Capability Enhancement Contract. Online: <https://world.eurofighter.com/articles/capabilitycontract>
- [7] J. Richardson, „Rafale F3-R Cleared for Operational Use,” European Security & Defence, 2021. március 19. Online: <https://euro-sd.com/2021/03/news/air/21957/rafale-f3-r/>
- [8] Aerocorner, Lockheed Martin F-35 Lightning II. Online: <https://aerocorner.com/aircraft/lockheed-martin-f35-lightning-ii/>

¹⁵ Maróth Gáspár – védelmi fejlesztésekért felelős kormánybiztos [11].

- [9] Liszkai J., „Megkezdődtek a Gripen E rakétatesztjei,” HTKA – Haditechnikai Kerekasztal, 2018. október 28. Online: <https://htka.hu/2018/10/28/megkezdodtek-a-gripen-e-raketatesztjei/>
- [10] Hush-Kit, 6th Generation Swede: The Saab Gripen E. 2018. május 12. Online: <https://hushkit.net/2018/05/12/6th-generation-swede-the-saab-gripen-e/>
- [11] Infostart, Újabb harci repülőszázad terve is szerepel a Magyar Honvédség asztalán. 2022. január 23. Online: <https://infostart.hu/belfold/2022/01/23/ujabb-harci-repuloszazad-terve-is-szerepel-a-magyar-honvedseg-asztalan>
- [12] Kiss B., Major G., „Légből kapott segítség a Covid-19 ellen,” In Szilvássy L., Békési B. szerk., Repüléstudományi tanulmányok, Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó, 2021. pp. 280–306. Online: www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/RepSzem-2020.pdf
- [13] Lockheed Martin, F-35 Lightning II. Online: www.f35.com/f35/index.html
- [14] Major G.: „A pilóta nélküli légi jármű-rendszerek használata az elektronikai hadviselésben,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 3. sz. pp. 309–312. 2017. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2017.3.22>
- [15] Dunai P., „A magyar légierő pár év alatt a térség legerősebbje lett,” *Növekedés*, 2020. november 23. Online: <https://novekedes.hu/elemzesek/a-magyar-legiero-par-ev-alatt-a-terseg-legerosebbje-lett>
- [16] K. Mizokami, „The F/A-18 Super Hornet is about to Fly Farther than Ever Before,” *Popular Mechanics*, 2018. február 16. Online: www.popularmechanics.com/military/aviation/a18211702/fa-18-super-hornet-longer-legs-fuel-tanks-range/
- [17] SAAB, Gripen E-series. Online: www.saab.com/products/gripen-e-series
- [18] S. Joshi, „Gripen Operational Cost Lowest of All Western Fighters: Jane's,” *StratPost*, 2012. július 4. Online: <https://stratpost.com/gripen-operational-cost-lowest-of-all-western-fighters-janes>
- [19] Szegedi P., Békési B., Az UAV-on alkalmazható szenzorok. In Mesterházy B. szerk., XIV. Természet-, műszaki és gazdaságtudományok alkalmazása nemzetközi konferencia. Szombathely, 2015. május 16., Nyugat-magyarországi Egyetem, 2015. 175–182.
- [20] P. Satam, „20 Years Ahead of Schedule, Why 'Mighty' Eurofighter Typhoons are being Retired by the Royal Air Force?” *The EurAsian Times*, 2021. szeptember 19. Online: <https://eurasianimes.com/why-eurofighter-typhoons-are-being-retired-by-the-royal-air-force/>

What Could Be the Successor to Gripen?

Controlling and defending the airspace over a territory is a priority for a nation in every age, in every period. The most modern combat aircraft from all over the world are involved in this task. What cutting-edge means exactly is a combination of many, many ingredients. These include the technical parameters, the operational environment, the system integrability and the possibilities of obtaining armament materials. But each of these components is state-of-the-art at the time of manufacture and installation, and then degrades and ages with use. Towards the end of an aircraft's "life cycle", the dilemma of replacement or modernisation arises. With the dilemma comes new questions. Will the successor also enable Hungary to still be one of the strongest air forces in the region? Is it worth buying more older aircraft equipped with modern equipment or

fewer aircraft equipped with the latest equipment? In this publication, the authors seek answers to these questions by presenting some possible "successors".

Keywords: *Aircraft Kite Structure, on-board electronics, value for money, armament, developments, fighter aircraft, JAS 39 Gripen*

<p>Major Gábor tanársegéd Nemzeti Közzolgálati 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>Bodnár Balázs György BSc-hallgató Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék</p> <p>bobazsa@gmail.com orcid.org/0000-0001-8418-2486</p>	<p>Balázs György Bodnár BSc student University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft and Engine</p> <p>bobazsa@gmail.com orcid.org/0000-0001-8418-2486</p>
<p>Dr. Szilvássy László (PhD) egyetemi docens Nemzeti Közzolgálati 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>



Sziroczák Dávid, Gál István, Szilágyi Dávid, Rohács József,
Rohács Dániel

Az autonóm felszíni közlekedés biztonságának növelése UAV-rendszerrel gyűjtött meteorológiai információk figyelembevételével¹

Ez a tanulmány a UAV-eszközök felhasználásának lehetőségeit elemzi meteorológiai adatok gyűjtésére, az adatokból pontosított előrejelzések generálására és ezek hasznosítására, elsősorban az autonóm közúti közlekedésben. Ma jelentős hiány mutatkozik a planetáris határretegben mért adatokban, ezek ismerete kulcsfontosságú a pontosabb előrejelzésekhez, hiszen ez az időjárást befolyásoló föld-légkör interakciók zónája. A mai dróntechnológiával az adatok megfelelő térbeli és időbeli felbontással gyűjthetők, Magyarországon 15 mérőállomásból álló adatgyűjtő rendszer képes 90% lefedettséget biztosítani. Az időjárás-előrejelző rendszerek piaca 22 milliárd HUF gazdasági-társadalmi értéket képvisel, a rendszer fejlesztésével ez az érték mint piac hasznosítható. Az autonóm járművek jelenlegi technológiai szintje mellett a legfontosabb kérdés az útszakaszok azonosítása, ahol a járművek autonóm funkciói biztonságosan használhatók az adott időjárási körülmények mellett, és a rendszer használatával ez az információ a közúti felhasználókkal megosztható.

Kulcsszavak: UAV, meteorológia, időjárás-előrejelzés, előrejelző rendszer, planetáris határreteg, autonóm közlekedés

1. Bevezetés

Az időjárás megfelelő ismerete és előrejelzése egyidős az emberiséggel. Az időjárás az élet szinte minden területére hatással van, de különösképpen a mezőgazdaság, a közlekedés, az építő-, védelmi, szórakoztató- és turisztikai iparágak számára. A jelen és várható időjárás megfelelő pontosságú ismerete kiemelkedő gazdasági-társadalmi előnyöket képes szolgáltatni. Az időjárás előrejelzése közismerten komplex probléma, a kaotikus rendszerek tipikus példája. A ma használt előrejelzési módszerek kimerítő kutatómunka eredményeként nagy pontossággal működnek, de számos terület, többek között a közúti forgalom, kis- és nagygépes repülés, valamint az elterjedőben lévő pilóta nélküli (UAV) és városi légi közlekedés (UTM)

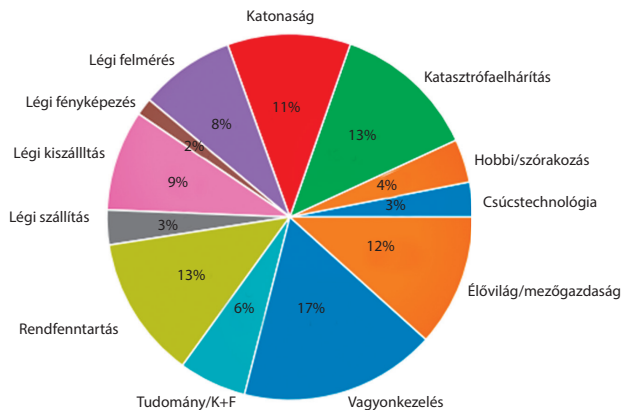
¹ A tanulmány elkészítését a KTI_KVIG_7-1_2021 azonosító számú, „Speciális drón rendszeren alapuló komplex jármű-meteorológiai támogatás kidolgozása az autonóm közlekedés számára” című projekt támogatta.

pontosabb előrejelzést igényel [2], [15], [23]. Az előrejelzések pontosságának növeléséhez számos kutatás szerint [4], [5], [6], [22], [24] ma nincs megfelelő térbeli és időbeli felbontású adat a planetáris határrétegből (PHR). A PHR a légkör legalsó zónája, ahol a földfelszín és a légkör közötti kölcsönhatások végbemennek, ennek megfelelően kiemelt fontosságú az időjárási jelenségek kialakulása szempontjából. A PHR vastagsága a földrajzi elhelyezkedéstől, napszaktól és évszaktól függően 100 m és 3000 m között változik. A PHR tulajdonságainak pontos ismerete alapján a jelenlegi időjárás-előrejelzési módszerek pontosíthatók.

Ez a tanulmány a *Speciális drón rendszeren alapuló komplex járműmeteorológiai támogatás kidolgozása az autonóm közlekedés számára* című előzetes kutatás vizsgálati eredményeit mutatja be, különös tekintettel a közúti közlekedésben elérhető biztonsági előnyökre.

2. UAV-alapú időjárás-előrejelző rendszer ismertetése

A mai világban a pilóta nélküli légi rendszereket (UAS, köznyelvben gyakran drónok) már számos feladatra lehet hatékonyan felhasználni. Tipikus drónalkalmazások közé tartozik a légi szállítás, rendfenntartás, vagyongazdálkodás, védelmi feladatok, mezőgazdaság és a projekt szempontjából különösen fontos légi felmérések végzése. A 2018–2021-es időszakban vizsgált dróneszközfejlesztések és elérhető szolgáltatások alapján a drónokkal végzett feladatok lebontását mutatja az 1. ábra.



1. ábra

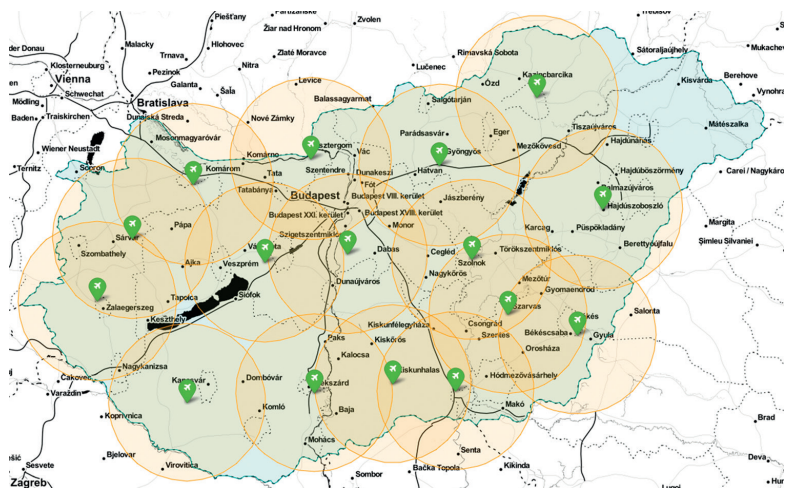
UAV-vel végzett feladatok megoszlása 2018–2021, 800 vizsgált légi jármű és szolgáltatás alapján [a szerzők]

Látható, hogy a választott lebontás szerint csoportosítva, a légi felmérések a 7. helyen találhatóak, az összes kínált szolgáltatás 8%-át teszik ki (a szolgáltatások száma alapján, nem feltétlenül volumenre). A légi felmérések között találhatóak többek között térképészeti, termikus vizsgálatok, forgalomnagyság-mérés, városok, külterületek feltérképezése, tengerek és egyéb vízterületek felmérése, 3D objektum térképek készítése, valamint levegőtisztasági felmérések. Ma kifejezetten meteorológiai céllal nagyrészt tudományos méréseket végeznek, elsősorban a légkör szerkezetének, viharok kialakulásának és viselkedésének vizsgálatára, modellek alkotására.

Kifejezetten meteorológiai adatgyűjtési célra ma elsődlegesen földi telepítésű eszközöket (időjárásradar, földközeli mérőállomások, SODAR stb.), valamint műholdas méréseket (például EUMETSAT) használnak. Néhány kivétel létezik, mint például az utasszállító repülőgépek által fenntartott AMDAR-rendszer², illetve a szórványosan használt meteorológiai ballonok. Míg a ballonok a teljes repülési idejük alatt képesek adatot szolgáltatni, mind térbeli, mind időbeli felbontásuk túl ritka a megfelelő mennyiségű adatszolgáltatáshoz, a nagy utasszállító repülési magassága pedig bőven a PHR felett található. Ennek megfelelően a mai gyakorlatban nincs megfelelő eszköz a PHR megfelelő feltérképezéséhez.

A drónok alkalmazása jelentős előnyöket biztosíthat a meteorológiai adatok gyűjtése terén. Megfelelő technológiai (és jogszabályi) háttér esetén a drónok képesek emberi beavatkozás nélkül, autonóm módon részletes tér- és időbeli felbontással adatokat gyűjteni. A drónrendszer kiépítéséhez és fenntartásához kapcsolódó költségek a töredékét teszik ki a pilóta vezette légi eszközökhöz, valamint a komplex földi telepítésű műszerekhez (például SODAR) képest. Bár a mai drónok időjárás-tűrési tulajdonságai fejlesztésre szorulnak, de a kis méret és az emberi személyzet hiánya miatt a jövőben elképzelhető, hogy szélsőséges időjárás körülmények között is alkalmasak lehetnek a PHR-mérések elvégzésére, elfogadható kockázati szint mellett.

A projektben a prototípusrendszer létrehozásához egyedileg fejlesztett drónok alkalmazása van terdvéve. A drónok mint mérőállomások az előzetes elképzelések szerint IV. kategóriás repülőterekről lesznek üzemeltetve. A projekt részeként a drónok elhelyezésének topológiáját is vizsgálat alá vették, amennyiben egy-egy mérőállomás 55 km-es körzetben érvényes meteorológiai adatokat tud szolgáltatni, a rendszerben 15 mérőállomás több mint 90%-os országos lefedettséget tud nyújtani. Az 55 km feltételezett sugár a földrajzi elhelyezkedés alapján meghatározott optimális topológiai érték, meteorológiai szempontból további részletes vizsgálatokra van szükség az érvényesség pontos meghatározásához. A topológiai vizsgálatok eredménye és a 15 javasolt repülőtér elhelyezkedését mutatja a 2. ábra.

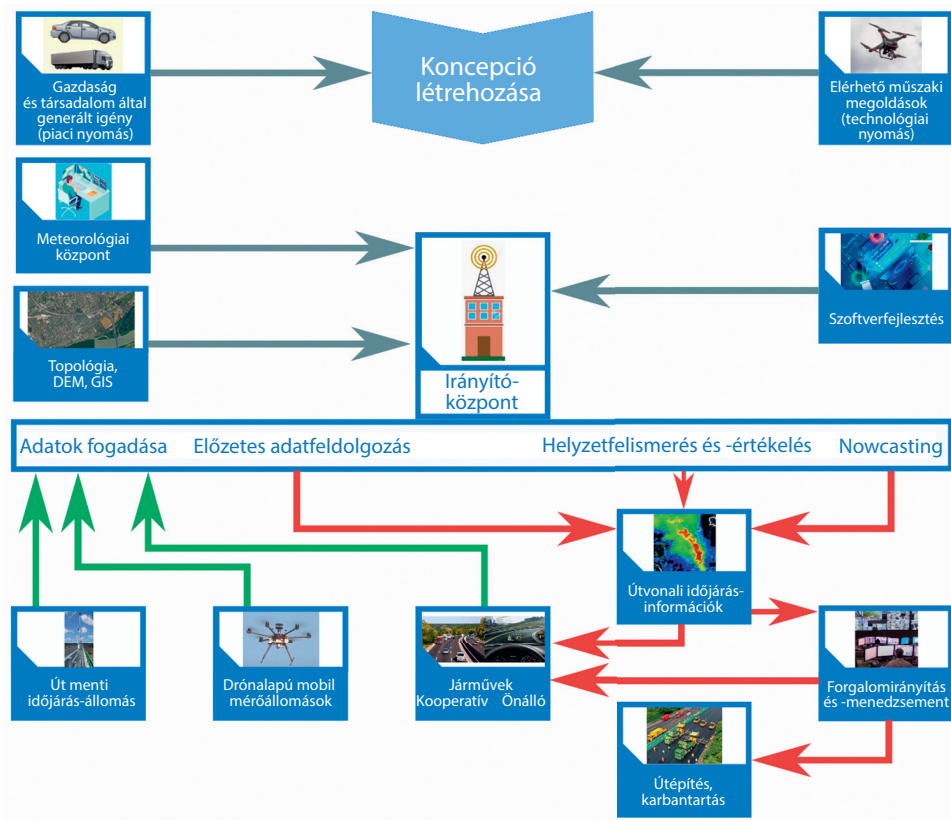


2. ábra

Drón mérőrendszer elhelyezkedése, a zöld repterszimbólumok a javasolt IV. kategóriás reptereket jelölik [a szerzők]

² Aircraft Meteorological Data Relay.

Egy drón vagy drónok önmagukban csak időjárásadatok gyűjtésére alkalmazhatók, egy teljes rendszer kifejlesztése szükséges, hogy a nyers adatok konvertálhatók legyenek gazdasági-társadalmi értékké. A projektben, előzetes elképzelések alapján, a prototípusrendszer felé támasztott kezdeti követelmények rendelkezésre álltak, a projekt során az előzetes rendszer-topológia kidolgozására került sor. A 3. ábra a kidolgozott prototípus időjárás-informatikai rendszer funkcionális vázlatát mutatja be.



3. ábra
UAV-alapú időjárás-előrejelző rendszer funkcionális vázlata [a szerzők]

A teljes időjárás-informatikai rendszer a drónalapú PHR meteorológiai adatgyűjtés mellett a tradicionálisnak tekinthető meteorológiai adatforrásokat is használja, az adatok egy központi számító- és irányítórendszerbe futnak be, ahol a projektben fejlesztett előrejelző algoritmus felelős a pontosított időjárás-előrejelzések létrehozásáért. Az időjárásadatot a közúti közlekedés számára a megfelelő csatornákon keresztül szintén a központi rendszerből kell megosztani a felhasználókkal. A felhasználók között azonosítottuk a járművezetőket mint B2C üzleti lehetőséget, illetve B2B-vonalon a jármű-üzemeltetőket, infrastruktúra-kezelőket, forgalomirányítókat, információkezelőket, adatfelhasználókat, kutatókat, további időjárás adatszolgáltatókat, valamint az autógyártókat és beszállítókat.

A WSCA³ [18] módszert használva, Magyarországra becsülhetően 6,6% a teljes időjárás-előrejelzési lánc hatásossága. A WSCA-módszerben 7 tényező szorzatából adódik a teljes előrejelzés hasznossága. Ezeket a tényezőket egy adott ország szociális-gazdasági körülményei között szükséges értelmezni. A paraméterek becsléséhez felhasználhatók szimulációs modellek (időjárás, előrejelzési, közlekedési), kérdőíves közönségkutatás, tapasztalati és kísérleti mérések, makróanalízis-eredmények, baleseti statisztikák, termelési függvények és különböző költségmodellek. Az analízis alapja a finn modell volt, amelyet a motorizáltsági fok és közlekedésbiztonsági mutatók alapján korrigáltunk, a magyar viszonylatok pontosabb becsléséhez. Az 1. táblázat a WSCA-módszer magyar viszonylatban alkalmazott értékeit és ezeknek magyarázatát mutatja be.

1. táblázat
A WSCA-analízis értékei magyar viszonylatra adaptálva

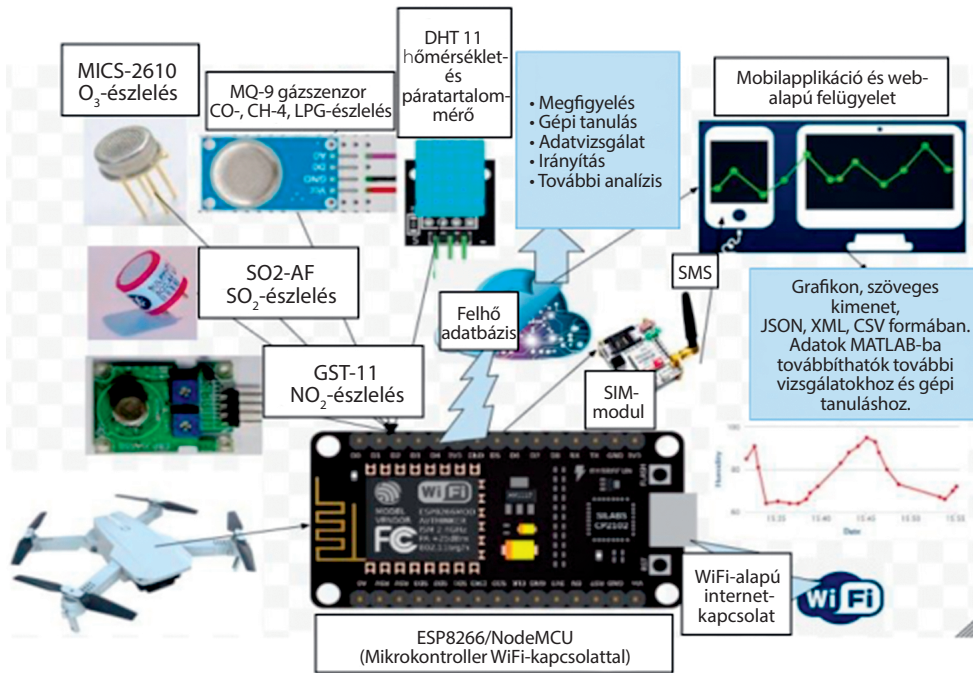
Vizsgálati szint	Érték	Leírás
1. Előrejelzés pontossága	92%	Az időjárás-előrejelzések minőségében a járműpark és a vezetői szokások nem játszanak szerepet, így a finn példa felhasználható.
2. Az üzenet értelmezhetősége	90%	Az időjárás-jelentések formája, információtartalma Európán belül nem mutat nagy eltéréseket, feltételezhető, hogy hazánkban is a közölt adatok 90%-át könnyen értelmezni tudják a felhasználók.
3. Az információ hozzáférhetősége	62%	A kommunikációs csatornák hasonlóak. Az, hogy hányan ellenőrzik az időjárás adatokat vezetés előtt, már függ a vezetői szokásoktól, de itt kulturális okokból még nem szükséges eltéréseket feltételeznünk hazánkban.
4. Az információ feldolgozása	85%	A kinyert információ hasznosítása leginkább a vezető tapasztalatától és gyakorlatosságától függ. Más közlekedési jellemzők alapján nem kell eltérést feltételeznünk Magyarországon.
5. Az információ beépítése	19%	A finn modell 40% értéket feltételez. A közlekedésbiztonsági mutatók alapján a gyakori problémák (pl. gyorsajtás, közlekedési szabályok megsértése) miatt a hazai viszonyok itt térnek el a legjobban. A becsléshez a lakosságra jutó balesetek számával korrigált értéket használunk, mert a sofőrök kisebb százaléka veszi figyelembe a döntéseinél a kinyert információt.
6. Reagálás hasznossága	80%	A vezetői készségek esetén feltételezhető, hogy a képességek azonosak, az egységes európai szabályozás miatt is.

A lánc figyelembe veszi az időjárás előrejelzések pontosságát, az időjárás információ értelmezhetőségét, hozzáférhetőségét, a feldolgozás egyszerűségét, az arra adott reakciókat és a reakciók hasznosságát. Figyelembe véve az International Transport Forum (2017-es) tanulmányát [9], a közúti balesetek nagyságrendileg 982 milliárd HUF gazdasági hatással járnak (beleértve az emberéleteket, sérüléseket és az anyagi kárt). A KSH statisztikái [11] alapján a balesetek 33,5%-ában játszott szerepet a derülnél rosszabb időjárás, tehát az időjáráshoz kapcsolható költségek 329 milliárd HUF értéket képviselnek. Ezekből a WSCA 6,6% teljes hasznosítása alapján becsülhető, hogy Magyarországon az időjárás-előrejelző rendszerek nagyságrendileg 22 milliárd HUF gazdasági-társadalmi értéknek megfelelő piacot jelentenek. Az időjárás-előrejelzések pontosításával (illetve a lánc többi elemének javításával) még tovább növelhető a lánc eléréhető haszon.

³ Weather Service Chain Analysis.

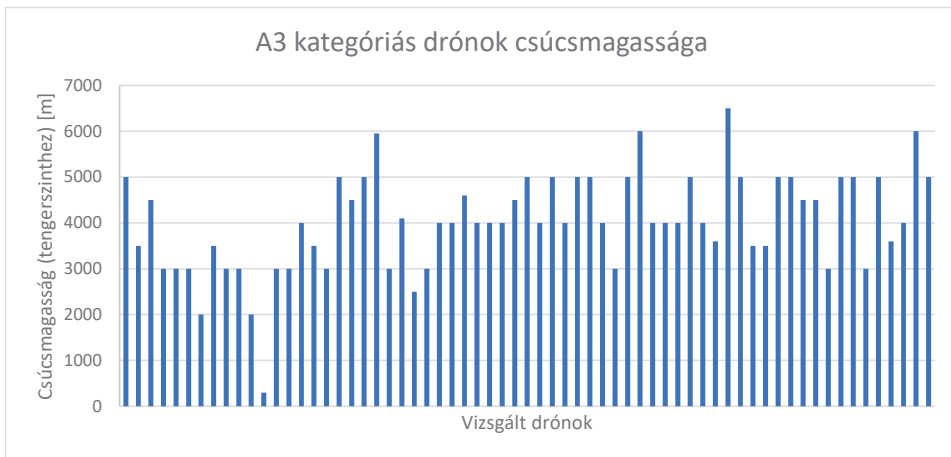
3. Meteorológiai célú drónrendszerek ismertetése

A kutatás megvizsgálta a drónok alkalmazhatóságát a PHR-ben strukturált adatgyűjtéshez. Ma a piacon kapható legtöbb, hasznos teher szállítására képes drón alkalmas az alsóbb légrétegekben mérések végzésére. Több kutatás foglalkozik kifejezetten drónrendszeren alapuló időjárás-figyeléssel, ennek egy specifikus megvalósítását mutatja a 4. ábra.



4. ábra
Drón bázisú mobil időjárás-megfigyelőállomás

A Komaco nevű cég drónjait kifejezetten időjárási adat gyűjtésére fejlesztették, ők hat-rotoros (hexakopter) drónokat használnak, 12 kg maximális felszállótömeggel, 2500 m (talajszint feletti) csúcsmagassággal [10]. A csúcsmagasságokhoz kapcsolódóan a ma piacon kapható UAV-k közül a piacvezető DJI multikopter drónok közül egyesek akár 6000 m (tengerszint feletti) magasság elérésére képesek. Merevszárnyú drónok közül a 20–25 kg közötti kategóriában is tipikusan 3000–6000 m között alakulnak a (tengerszint feletti) csúcsmagasságok (lásd 5. ábra). Ilyen csúcsmagasság-értékekkel ezek a drónok, leszámítva a magashegységeket, gyakorlatilag Európa teljes területén képesek a teljes PHR-ben profilmérés megvalósítására.



5. ábra
A3 kategóriás, 25 kg alatti merevszárnyú drónok publikált csúcsmagassága [a szerzők]

Szintén specifikusan meteorológiai használatra fejleszt a Meteomatics nevű cég. A cég Meteodrone néven hirdet hiperlokális és PHR-mérésekre alkalmas drónt, az ő értelmezésükben 1500 m magasságig [16]. A cég a drónok mellé kínálja a Meteobase nevű földi állomását is, drone-in-a-box megoldásként.



6. ábra
ISOBAR-projekt során használt adatgyűjtő UAV-megoldások [13]

A merevszárnyú drónok közül a Black Swift Technologies kínál 2 méretben (1,6 és 9,5 kg maximum felszállótömeg) merevszárnyú drónokat, kifejezetten időjárás-jelenségek, akár trópusi viharok vizsgálatára [3]. A cég egyébként quadkoptert is készít, szintén időjárás-jelenségek tanulmányozására. Természetesen a meteorológiai mérések nagyméretű merevszárnyú drónokkal is megvalósíthatók, a NASA például a Global Hawk UAV-vel több repülést végzett hurrikánok tanulmányozására már 2013-ban [17]. Hibrid drónokat időjárás-jelenségek céljára is használtak, például az Anemoment cég, ők a Censys Sentaero VLOS UAV-t használták, illetve a Wingtra One VTOL drón is gyakorta alkalmazott. Kutatási projektekben gyakran használnak saját építésű vagy a célra módosított UAV-eket, akár többféle kialakítással. A 6. ábra az ISOBAR-projekt során használt, nagyrészt saját építésű atmoszferikus mérő drónokra mutat példát.

Magyarországon elsőként a HUMAS⁴ rendszert fejlesztették ki, amely kifejezetten a PHR-ben végrehajtott profilmérések céljára készült [5]. A UAS a BHE Bonn repülőeszközén alapul, amely maximum 3 kg hasznos terhet képes szállítani, erre a platformra integrálták a meteorológiai szenzorcsomagot. A UAV fő adatai az alábbiak:

- 3 kg hasznos teher;
- 16 kg teljes felszálló tömeg;
- 60–90 km/h közötti utazósebesség;
- 90 perc repülési idő;
- 3000 m (AGL) feletti csúcsmagasság;
- 20 km hatótávú adatkommunikációs rendszer.

Szegeden, nemzetközi mérési kampány keretén belül 2013-ban a rendszert sikeresen bevetették, november 27–30 között több mérési sorozat lefolytatását sikeresen megvalósította. A HUMAS rendszert mutatja a 7. ábra.

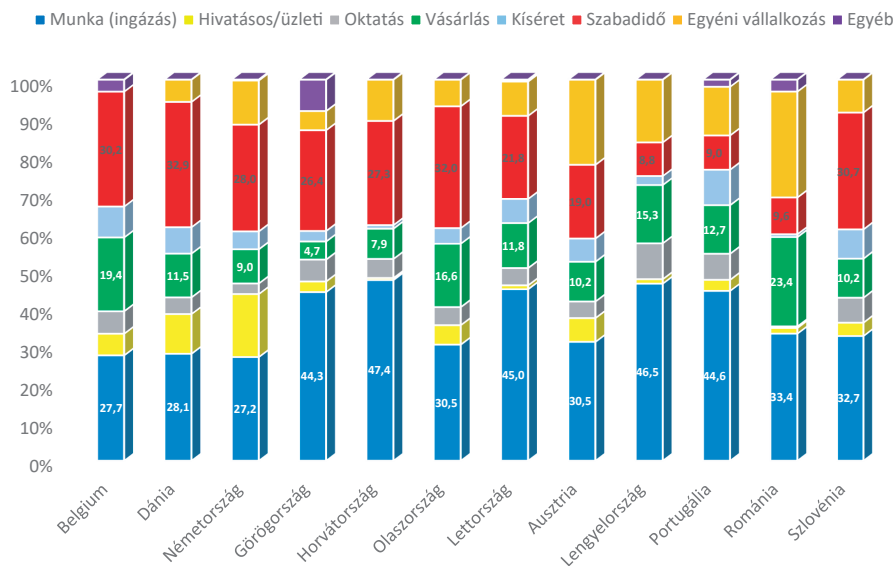


7. ábra
HUMAS rendszer a szegedi mérési kampány során [5]

⁴ Hungarian Unmanned Meteorological Aircraft System.

4. A közúti közlekedés számára elérhető előnyök

Jelenleg Magyarország teljes járműállománya 4,8 millió (Magyarországon) regisztrált jármű, amelyek túlnyomórészt, azaz 90%-ban személygépjárművek és 7,5 t alatti tehergépjárművek [12]. Az EU hasonló motorizáltsági fokú országaiban az arányok nagyságrendileg hasonlóak, ami az esetleges jövőbeni külföldi terjeszkedés szempontjából fontos. A járművek felhasználásának arányára nincs magyar viszonylatban elérhető kimutatás a közelmúltból, de más európai országok példájából a leggyakoribb közúti forgalom az ingázás, és országtól függően a vásárlás vagy a szabadidő. Ezeket az adatokat szemlélteti a 8. ábra.



8. ábra
Közlekedési célok az EU mintavizsgálatában [8]

A felhasználók kategorizálásán felül az időjárásnak a forgalmi rendszer egyes elemeire gyakorolt hatását is szükséges vizsgálni. Ezek az elemek kategorizálhatók a pálya, jármű, közlekedésirányítás komponensekre. Az elemeken felül a közlekedés fő teljesítményjellemzői is fontosak, ezek a sebesség, illetve az eljutási idő, az útvonal, a kapacitás és a biztonság. Itt fontos megemlíteni, hogy a gazdaság és a szállítás (közlekedés) rendkívül szoros kapcsolatban van, minden termék árának nagyságrendileg 5–30%-át a szállítással kapcsolatos költségek generálják [20]. Szintén tényként kezelhető, hogy a GDP növekedését majdnem egyező mértékű közlekedésiigény-növekedés kíséri [7]. Ennek megfelelően a közlekedés stratégiai-gazdasági jelentőségű ágazat. A közlekedés egyik további sajátossága, hogy nagymértékű érzékenységet mutat az időjárási körülményekre és nem csak a már bemutatott balesetekkel kapcsolatos társadalmi-gazdasági szempontokból. Már könnyebb eső is 1–10 km/h átlagsebesség-csökkenést jelent az autópályákon, intenzívebb csapadék akár 15–45 km/h értéket, míg jelentős zivatar akár teljes forgalmi leálláshoz vezethet. Szintén jelentős faktor a szél, amely kedvezőtlen körülmények között 10%-os, a hó és havazás pedig átlagosan 15–40%-os kapacitáscsökkenéssel

jár [19]. Az időjárás okozta kapacitás- és sebességcsökkenés, így a késések és elvesztegetett idő szintén számosítható gazdasági értéket képvisel [21]. Az időjárásinformációs-rendszer használatával tehát az említett 22 milliárd HUF értéken felül további, indirekt gazdasági előny is megvalósítható.

A közúti végfelhasználók, azaz a vezetők, illetve autonóm járművek esetén utasok, szempontjából az időjárási adatok felhasználása több szinten valósulhat meg. Ma teljesen autonóm földi járművek nem léteznek, néhány autógyár kínál közel autonóm működést mint vezetéstámogató rendszert, mint például a Tesla FSD⁵ Beta néven elterjedt rendszere. A Victoria Transport Policy Institute tanulmánya [14] szerint 2045-re az újonnan eladott járművek fele autonóm lesz, míg 2060-ra az összes aktív jármű szintén fele lesz autonóm. Ugyan a tanulmány Kanadában készült, de várhatóan a trend az összes országra érvényes lesz. A jövő autonóm járművei feltételezhetően a mai ember vezette járművekben is megtalálható vezetéstámogató rendszerekhez nagyon hasonló megoldásokat fognak alkalmazni, így ezek vizsgálata is fontos információforrást jelent a várható működés előrevetítéséhez. Az egyszerűség kedvéért a vezetőre és utasokra közösen utasként hivatkozik a tanulmány a továbbiakban.

Az alábbiak kategóriákra bontva ismertetik a rendszerek időjárás-informatikai rendszerrel elérhető előnyeit:

- automata kényelmi rendszerek: ma már számos modellben szériatartozékok, mint például az automata ablaktörlő vagy klíma. Ezeknek a rendszereknek direkt gazdasági-társadalmi hozzáadott értéke nincs, egyedül az utasok kényelme érdekében lehet meteorológiai adatot felhasználni, például előre elindítani a hűtés/fűtés funkciót amennyiben jelentős változás észlelhető a hőmérsékletben;
- sebességcsökkentés: az autonóm vezetési módokban a rossz időjárási körülmények között gyakori rendszerreakció a maximális sebesség csökkentése. Ez különösen autópályán és hasonló nagy sebességű környezetben fordul elő. Érdekes módon a Tesla járműveiről fellelhető adatok alapján a leszabályzás nem a jármű, hanem a vezető miatt van, mert jelenleg bármelyik pillanatban vissza kell tudnia venni az irányítást, és a rossz időjárás különösen a látótávolságot, így a vezető reakcióképességét befolyásolja. A csökkentett sebességű vezetési helyzeteket az időjárás-informatikai rendszer potenciálisan képes előre jelezni, és ezt az útvonal tervezésénél figyelembe venni;
- teljes leállás: A mai autonóm módok amennyiben észlelik, hogy nem képesek biztonságosan ellátni a feladatukat, visszaadják az irányítást a vezetőnek. Ennek oka lehet az útburkolati jelek hiánya, a kipörgésgátló, ABS és hasonló rendszerek aktiválódása, látótávolság erős csökkenése, napsütés, homokvihár vagy egyéb tényező hatására elvakított szenzorok. Ha minden szituációt, például az ABS aktiválását nem is, de az autonóm működést meggátló körülményeket az időjárásrendszer képes előre jelezni, így az utas tisztában lehet vele, hol használható biztonságosan a jármű. Ezenfelül a navigációs szoftverekbe integrálva megfelelő kerülőutak tervezhetők, ahol az autonóm működés lehetséges, vagy adott esetben, például veszélyes intenzitású csapadéknál a jármű kiállhat az első biztonságos megállóhelyen. Az autonóm működésre alkalmas útvonalak mint kapacitás biztosítása a mai autonómítási szintek mellett az egyik legjelentősebb kérdés, így ez a rendszerrel rövid távon elérhető legnagyobb haszon;

⁵ Full Self-Driving.

- akkumulátor-előfűtés: 0 °C alatt a jelenleg elterjedt lítiumalapú akkumulátorok nem képesek teljes kapacitáson és teljesítményen működni, ezért indulás előtt a legtöbb elektromos jármű képes előfűteni a rendszert. Ez a folyamat nagyságrendileg 45–60 min is lehet. Ez a funkció manuálisan, illetve programozható módon is kapcsolható. Ma leggyakrabban előre időzített módon működnek, esetleg öntanuló algoritmussal, amely a használat alapján megbecsüli, mikor lesz a jármű használva, de a vásárlók visszajelzései ezekre a rendszerekre általában negatívak, a felesleges és az elmulasztott előfűtések miatt. Az időjárás-előrejelzéssel lehetséges azonosítani a várható fagyponthoz alatti hőmérsékleteket és így kondíciófüggően kapcsolni az előfűtést. Ennek a kényelmesen felül direkt gazdasági haszna van, mert a megfelelő használat növeli az akkumulátorok élettartamát;
- hajtásüzemmódok: szintén elektromos járművek esetén lehet kritikus, hideg időben a fűtésre (járműrendszerek és utasok is) igénybe vett energia miatt jelentősen, akár 40%-kal is csökkenhet a jármű hatótávja. Megjegyzendő, hogy kifejezetten meleg időben is hasonló, akár 17% veszteség is lehet. Ezt kompenzálható a jármű teljesítményleadása visszaszabályozható, így kevesebb a terhelés az akkumulátoron, és valamelyest kompenzálható a többletenergia-elvétel. Ma ezeket a módokat manuálisan kell kapcsolni, megfelelő időjárás-előrejelzéssel akár út közben, kondíciótól függően automatikusan kapcsolható lehet, akár folytonos szabályzással is. Nem elektromos járműveknél, mivel a belső égésű motor érzéketlen ilyen szempontból, általában nincs hasonló mód. Néhány autóban, mint a Jaguar F-type vagy a Porsche 911 (2019-es modell évtől) megtalálható eső mód, amely a leadott nyomatékot szabályozza, de a maximális teljesítményt nem. A kipörgésgátló rendszerek szintén a teljesítményleadást szabályozzák, de a gyújtás részleges megszakításával és működésük automatikus, folyamatos készenléte mellett. Motorokékpároknál gyakori még az eső mód, de a jármű jellegéből adódóan téli üzemeltetésre nem terveznek rendszereket. Az időjárás-előrejelzés ezeknek a rendszereknek is nyújthat információt, elősegítve ezzel a biztonságosabb és/vagy hatékonyabb közlekedést;
- objektív csapadék mérték: A kondicionális sebességhatárzó táblák és hasonlóknak esetén szolgáltatathat az időjárásrendszer objektív, hivatalos állapotot, miszerint az adott kiegészítő tábla aktív vagy sem. Ezzel az esetleges szubjektív értékelés és ebből eredő jogos vagy jogtalan következmények helyett objektív állapot határozható meg, amely végső soron társadalmi hasznot jelent.

A fent felsorolt lehetőségek, amint a leírásból látható, sok esetben passzív biztonsági, kényelmi, társadalmi vagy gazdasági előnyöket jelentenek. A kivételt leginkább az autonóm működés teljes leállása, vagy a forgalomból kiállítás jelenti, ugyanis ebben az esetben aktív döntéshozatalra és megvalósításra van szükség. Ennek kapcsán felmerül a felelősség és megbízhatóság kérdése, valamint az, hogy az időjárásrendszer által szolgáltatott adat jellege alapján információ, javaslat, utasítás vagy kötelezően végrehajtott autonóm döntés. A felsorolt lehetőségektől függően kérdés, hogy utasítások figyelmen kívül hagyása esetén mi a jogkövetkezmény, az autonóm döntés felülbíráható-e az utas által. Szintén kérdés, hogy hibás pozitív előrejelzés, azaz amikor a rendszer kritikus időjárást jósol, de a valóságban nem az, és az erre adott reakció, például autonóm forgalomból kiállítás esetén az elvesztegetett időért ki tartozik felelősséggel. Hasonlóan kérdéses, hogy hibás negatív esetben, azaz nem

azonosított kritikus időjárás és a miatta esetlegesen bekövetkező baleset esetén felelősségre vonható-e a rendszer szolgáltatója. Ezeknek a kérdéseknek a megválaszolása globális és megoldatlan probléma az autonóm közlekedésben, de ezeket a jövőben meg kell tudni válaszolni. A rendszer fejlesztése szempontjából a javaslat elsősorban az információsintű, a rendszer működésével nyert tapasztalat és megfelelő megbízhatósági szint elérése után javaslatok generálása.

5. Összefoglalás

Ez a tanulmány megvizsgálta az UAV-légieszközök felhasználásának lehetőségét meteorológiai adatok gyűjtésére, az adatokból pontosított előrejelzés generálására és ezek hasznosítására az autonóm közúti közlekedésben, a forgalom biztonságának növelésére. Az előrejelzések kapcsán a meteorológiai kutatások rámutattak, hogy jelentős hiány mutatkozik a légkör alsó, nagyságrendileg 3000 m tartományából, azaz a planetáris határretegéből származó adatokból. A PHR-nek nagy jelentősége van, hiszen ez az időjárás kialakulását befolyásoló felszín-légkör kölcsönhatások zónája. A ma használt meteorológiai célú szenzorok túlnyomó része vagy alacsonyabb vagy magasabb légköri rétegekből gyűjt adatokat, a PHR-ben ma főleg ballonos méréseket végeznek, alacsony tér- és időbeli felbontással. A meteorológiai drónok alkalmazása jelentős előnyöket biztosíthat a meteorológiai adatok gyűjtése terén. Megfelelő technológiai (és jogszabályi) háttér esetén a drónok képesek emberi beavatkozás nélkül, autonóm módon részletes tér- és időbeli felbontással adatokat gyűjteni. A drónrendszer kiépítéséhez és fenntartásához kapcsolódó költségek töredékét teszik ki a pilóta vezette légieszközökhöz, valamint a komplex földi telepítésű műszerekhez képest. Bár a mai drónok időjárás-tűrésési tulajdonságai fejlesztésre szorulnak, de a kis méret és az emberi személyzet hiánya miatt a jövőben elképzelhető, hogy szélsőséges időjárási körülmények között is alkalmasak lehetnek a PHR-mérések elvégzésére, elfogadható kockázati szint mellett.

Az UAV-rendszerekkel már több kutatási és kereskedelmi lehetőség rendelkezésre áll meteorológiai adatokat gyűjteni. A ma elérhető UAV-k túlnyomó része 3000 m tenger feletti csúcsmagasságot teljesít, de számos példa található 6000 m értékre is, ezzel Európán belül a magashegységek kivételével gyakorlatilag teljes éves lefedettség biztosítható a PHR-vizsgálatokhoz. Magyarország területén vizsgálva, a kutatás során javasolt rendszer képes 90% területi lefedettséget biztosítani, 15 mérőállomás üzemeltetésével, IV. kategóriás repülőterekről. A mérőállomások használatával megvalósítható rendszertervezetet mutattuk be. A rendszer fő célja az UAV-eszközökkel mért időjárásadatokból hatékonyabb előrejelzések generálása, és ezeket a közúti közlekedés résztvevői számára használható formában biztosítani, ezáltal gazdasági-társadalmi értéket teremtve.

Magyar viszonylatban a balesetek, ahol az időjárás hatásai szerepet játszottak, nagyságrendileg 329 milliárd HUF gazdasági kárt jelentenek. Az előrejelző rendszerek ezt a kárt képesek csökkenteni, Magyarországon a WSCA-módszerrel becsülhetően 6,6%-kal, azaz 22 milliárd HUF gazdasági-társadalmi hasznot jelentenek a balesetek és káresemények elkerülésével. A közúti közlekedésben Magyarországon és hasonló motorizáltságú EU-országokban a járművek 90%-a 7,5 t vagy az alatti kategóriába tartozik, felhasználás szempontjából elsősorban ingázás, vásárlás és szabadidős célokra. Az időjárás hatása ezeket a járműtípusokat és célokat eltérően érinti, 10–40%-ban, de akár 100% kapacitáscsökkenést eredményezve. Az autonóm

közlekedés esetén a ma megvalósított szinteken az autonóm funkcióra alkalmas biztonságos útvonalak azonosítása és az információ rendelkezésre bocsátása a rendszerrel elérhető rövid távú célok közül a legfontosabbnak tekinthető.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány elkészítését a KTI_KVIG_7-1_2021 azonosító számú, *Speciális drón rendszeren alapuló komplex jármű-meteorológiai támogatás kidolgozása az autonóm közlekedés számára* című projekt támogatta.

Felhasznált irodalom

- [1] S. Al Moshin, A. Rahman, N. Islam, Weather Monitoring IoT Drone. Dhaka, Bangladesh, Daffodil International University, 2020.
- [2] Bartholy J. et al., Meteorológiai alapismeretek. Budapest, ELTE, 2013.
- [3] Black Swift Technologies, S2 UAV Datasheet. Online: <https://bst.aero/wp-content/uploads/2020/10/S2-Data-Sheet-Oct2020-web.pdf>
- [4] Bottyán Zs., A közfeladatokat ellátó repülések meteorológiai biztosításának kérdései. Budapest, NKE, 2017.
- [5] Bottyán Zs. et al., „Measuring and Modeling of Hazardous Weather Phenomena to Aviation Using the Hungarian Unmanned Meteorological Aircraft System (HUMAS),” *Időjárás*, 119. évf. 3. sz. pp. 307–335. 2015.
- [6] D. Leuenberger et al., „Improving High-Impact Numerical Weather Prediction with Lidar and Drone Observations,” *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 101, No. 7, pp. E1036–E1051. 2020. Online: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0119.1> Online: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0119.1>
- [7] European Commission, EU Transport in Figures. Luxembourg, Publications Office of the EU, 2018.
- [8] EuroStat, Passenger Mobility Statistics. 2021. Online: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Passenger_mobility_statistics
- [9] International Transport Forum, Road Safety Report 2020 Hungary. OECD, 2020. Online: www.itf-oecd.org/sites/default/files/hungary-road-safety.pdf
- [10] Komaco, Weather Observation. Online: http://komaconvis.com/stech3_weatherobserv
- [11] Központi Statisztikai Hivatal, Közlekedési baleseti statisztikai évkönyv 2015. Budapest, KSH, 2016. Online: www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/baleset/baleset15.pdf
- [12] Központi Statisztikai Hivatal, Magyarországon első alkalommal forgalomba helyezett új és használt közúti gépjárművek száma járműnemenként. KSH, 2019. Online: www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ode007.html
- [13] S. T. Kral et al., „Innovative Strategies for Observations in the Arctic Atmospheric Boundary Layer (ISOBAR) – The Hailuoto 2017 Campaign,” *Atmosphere*, Vol. 9, No. 7. 268. pp. 1–29. 2018. Online: <https://doi.org/10.3390/atmos9070268>
- [14] T. Litman, Autonomous Vehicle Implementation Predictions. Implications for Transport Planning. Victoria Transport Policy Institute, 2021. Online: www.vtpi.org/avip.pdf

- [15] M. Pearson, Certification and Standards – Manned and Unmanned Flight. Vertical Flight Society, April 22, 2020. Online: <https://vtol.org/files/dmfile/20200422---marilyn-pearson---faa---weather-standards.pdf>
- [16] Meteomatics, Meteodrones-Meteobase. Online: www.meteomatics.com/en/meteodrones-meteobase/
- [17] National Aeronautics and Space Administration, „NASA-led Airborne Mission Studies Storm Intensification in Northern Hemisphere,” NASA, 2017. augusztus 15. Online: www.nasa.gov/centers/armstrong/features/airborne-mission-studies-northern-hemisphere.html
- [18] A. Perrels, V. Nurmi, P. Nurmi, „Weather Service Chain Analysis (WSCA) – An Approach For Appraisal of the Social-Economic Benefits of Improvements in Weather Services,” In 16th International Road Weather Conference, SIRWEC 2012, May 2012. pp. 1–8.
- [19] R. Hranac et al., Empirical Studies on Traffic Flow in Inclement Weather. Washington, Contract nr. FHWA-HOP-07-073, Federal Highway Administration, 2006. Online: <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/55110/weatherempirical.pdf>
- [20] J-P. Rodrigue, The Geography of Transport Systems. New York, Routledge, 2020. Online: <https://doi.org/10.4324/9780429346323>
- [21] Rohács J., Rohács D., „Total Impact Evaluation of Transportation Systems,” Transport, Vol. 35, No. 2. pp. 193–202. 2020. Online: <https://doi.org/10.3846/transport.2020.12640>
- [22] S. Mayer et al., „Atmospheric Profiling with the UAS SUMO: A New Perspective for the Evaluation of Fine-Scale Atmospheric Models,” Meteorology and Atmospheric Physics, Vol. 116, No. 1. pp. 15–26. 2012. Online: <https://doi.org/10.1007/s00703-010-0063-2>
- [23] Szegei Cs., Dombai F., Csirmaz K., Németh P., Országos meteorológia szolgálat időjárási radarhálózatának mérései. Budapest, Országos Meteorológiai Szolgálat, 2014.
- [24] V. A. Korolkov et al., „Autonomous Weather Stations for Unmanned Aerial Vehicles. Preliminary Results of Measurements of Meteorological Profiles,” IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, Vol. 211, p. 012069. 2018. Online: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/211/1/012069>

Improving the Safety of Autonomous Road Traffic with the Use of Meteorological Data Collected with UAVs

This study investigates the use of UAVs for the purpose of collecting meteorological data, using this data to generate improved weather forecast, and utilising the results for autonomous road traffic. Today, an information gap is identified in the field of meteorological data from the planetary boundary layer. This data can be of key importance for improved weather forecasting, as it is the zone of ground-atmospheric interactions. With today's drone technology, acceptable temporal and spatial data resolution can be achieved, in Hungary 15 data stations can be used to cover 90% of the country. The market for weather forecasting services can be estimated at HUF 22 billion economic-societal value, which value can be unlocked as the market for the proposed system. At the current level of autonomous technologies, the key question is the identification of road sections, where the autonomous functions can be utilised in a safe manner under the actual weather conditions. Utilising the proposed system this information can be generated and shared with the road users.

Keywords: UAV, meteorology, weather forecasting, forecast system, planetary boundary layer, autonomous traffic

<p>Dr. Sziroczák Dávid Adjunktus Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar</p> <p>Repüléstudományi és Hajózási Tanszék sziroczak.david@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0002-0949-8912</p>	<p>Dávid Sziroczák (PhD) Lecturer Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture sziroczak.david@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0002-0949-8912</p>
<p>Gál István Tanársegéd Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar</p> <p>Repüléstudományi és Hajózási Tanszék gal.istvan@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0001-8293-3645</p>	<p>István Gál Teaching Assistant Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture gal.istvan@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0001-8293-3645</p>
<p>Szilágyi Dávid MSc-hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar</p> <p>Repüléstudományi és Hajózási Tanszék dszilagyimail@gmail.com orcid.org/0000-0001-9789-9195</p>	<p>Dávid Szilágyi MSc student Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture dszilagyimail@gmail.com orcid.org/0000-0001-9789-9195</p>
<p>Dr. Rohács József Professzor Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar</p> <p>Repüléstudományi és Hajózási Tanszék rohacs.jozsef@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0002-4607-9063</p>	<p>József Rohács (PhD) Professor Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture rohacs.jozsef@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0002-4607-9063</p>

Dr. Rohács Dániel Tanszékvezető Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar	Dániel Rohács (PhD) Head of Department Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture
Repüléstudományi és Hajózási Tanszék rohacs.daniel@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417	rohacs.daniel@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417

Tartalom

MADÁCSI RICHÁRD: <i>Data science workflow a radaradat-elemzésben</i>	5
NOVOSZÁTH PÉTER: <i>75 éve végezte Bay Zoltán holdradarkísérletét – a magyar űrtevékenység kezdetei és jelene</i>	25
MERÉNYI VIVIEN: <i>A szaknyelvi kifejezések használata az Oroszországi Föderáció polgári repülésében</i>	43
PETRA KOVÁCS: <i>The Battle of Britain and Its Opponents</i>	49
ZSOLT JURÁS: <i>The Role of Drones in the Electricity Sector</i>	57
MOLNÁR ANDRÁS: <i>Diszkrét mérési pontos eljárással történő gamma-sugárzás dóziseloszlás-mérés drón segítségével</i>	65
ANDRÁS FÜLEKY: <i>The Human Challenges of Modernising the Air Force</i>	83
PÉTER BALAJTI, KÁROLY BENEDA: <i>Experimental Study on the Effect of Water Injection on a Micro Turbojet Engine</i>	97
GÉMES LEVENTE: <i>Urban Air Mobility, a 3. dimenzió (légi) bevonása a közlekedésbe</i>	111
SÁNDOR ZSOLT, PUSZTAI MÁTÉ: <i>A polgári pilóta nélküli légi jármű-rendszerek hazai hatósági struktúrája</i>	121
MAJOR GÁBOR, BODNÁR BALÁZS GYÖRGY, SZILVÁSSY LÁSZLÓ: <i>Mi lehetne a Gripen utódja?</i>	139
SZIROCZÁK DÁVID, GÁL ISTVÁN, SZILÁGYI DÁVID, ROHÁCS JÓZSEF, ROHÁCS DÁNIEL: <i>Az autonóm felszíni közlekedés biztonságának növelése UAV-rendszerrel gyűjtött meteorológiai információk figyelembevételével</i>	155