

Vas Tímea, Halászné Tóth Alexandra, Bali Tamás,
Dudás Zoltán, Bottyán Zsolt, Gajdos Máté, Fekete Csaba

A pilóta nélküli légi jármű-rendszerek integrálása a repülőtér forgalmába

Az UAS¹-ek polgári és egyéb légterekbe való integrálása már elkezdődött. Beillesztésük a légi forgalomban és a műveleti környezetben beazonosítható kockázatok csökkentésével történik. A repülőterek környezetében általában veszélyforrásként tekintenek rájuk, azonban az egyre szélesebb körű alkalmazási lehetőségeik miatt, számos feladatra költségghatékonyabb és olcsóbb megoldást jelenthetnek. Az, hogy milyen feltételek mentén integrálhatók a repülőtéri forgalomba, számos tényezőtől függ. Kutatási tervünkben olyan döntéstámogató megoldások fejlesztésén dolgozunk, amelyek VR²- AR³-eszközökkel, kockázatértékelő és -csökkentő megoldásokkal, illetve speciális ATC-eljárások⁴ alkalmazásával modellezik a munkadrónok és hagyományos légi járművek közös légtérben és repülőtereken való alkalmazását. Mintarepülőterünk az állami repülések célját szolgáló modellt használja kiindulási alapul.

Kulcsszavak: repülőtér, munkadrónok, légi forgalmi irányítói eljárások, döntéstámogató rendszer, repülésbiztonság

1. Bevezetés

A légi közlekedésben a pilóta nélküli légi járművek (UA⁵), ismertebb nevükön drónok, megjelenésével kritikus forgalomnövekedés várható. Jelenlétük a légtérben egyelőre, az integráció első lépéseként, olyan magasságtartományra terjed ki, amelyet az általános légi forgalom (GAT⁶) csak minimális mértékben használ. Ez egyfajta elfogadható biztonságot nyújt a többi légtérfelhasználónak, de számolni kell azzal, hogy az egyre szélesebb körben való alkalmazás miatt olyan légtérrészekben is megjelennek, ahol repüléseikkel növelhetik a légi kockázatok előfordulásának valószínűségét. A repülőtér légtérében való alkalmazásuk egy ilyen magas légi kockázatokat jelentő helyszín. Az *U-space*-koncepció [1] többek között a drónok

¹ UAS: Unmanned Aircraft System.

² VR: Virtual Reality.

³ AR: Augmented Reality.

⁴ ATC: Air Traffic Control.

⁵ UA: Unmanned Aircraft.

⁶ GAT: General Air Traffic.

VLL⁷-magasságokon {a magyar légtér esetében 40 m AGL⁸ maximális magasságig [2, 4/C. § (2)]} az ellenőrzött légterekbe való integrációjának lépéseit vázolja fel, egy négy szintű, U1-től U4-ig definiált, bővülő szolgáltatási szinteket biztosító digitális légi forgalom-szervezési rendszer keretei között. Az egyre bővülő szolgáltatási szintek, az UAS-rendszerek üzemeltetőitől is egyre komolyabb felszereltségi követelményeket és teljesítményszinteket követelnek meg. Az ellenőrzött légterekben való működéshez, mint ahogy az *U-space* Za légtér esetén is (1. ábra) a legmagasabb szintű légi kockázatok jelennek meg, így a drónrepülések számára ennek megfelelő autentikáció és valós repülési adatokat biztosító felszereltség szükséges. Ebben a légtérterésben való működéshez engedélyezett műveleti tervvel kell rendelkeznie az üzemeltetőnek, valamint a helyzetjelentések és nyomon követés adatainak folyamatos továbbításához elegendő teljesítménnyel kell rendelkeznie.



1. ábra
U-space-konceptió [1]

Az üzemeltetőnek ehhez kötelező bizonyos képességeket biztosító felszereltségi követelményekkel ellátni az UAS-t, annak érdekében, hogy a legmagasabb szintű szolgáltatást és biztonságot nyújtsa számukra az U-space-szolgáltató.

⁷ VLL: Very Low Level, amely a SERA rendelet 5005 pontban leírt minimum VFR-magasságok alatti magasságtartomány.

⁸ AGL: Above Ground Level – földfeletti magasság.

2. U-space-kutatások Európában

Az USEPE⁹ feltáró kutatási projekt keretein belül a hatékony és biztonságos *U-space*-rendszer kidolgozásáért felelős kutatócsoportok célja, hogy feltárják a lehetséges elkülönítési módszereket elsősorban a drónok városi környezetben való biztonságos működése érdekében, különös tekintettel a sűrűn lakott területek feletti üzemelés során. Az USEPE javaslatokat és működési koncepciókat fogalmaz meg, dolgoz ki, tesztel és értékeli, és egy sor olyan alaptermészetű technológiát, amely biztosítja a pilóta nélküli légi járművek biztonságos elkülönítését egymástól és a pilótás/hagyományos repüléstől egyaránt. Ez a koncepció előremutató abban a tekintetben, hogy a légi forgalom-szervezés egészét már jól láthatóan nem csak UTM¹⁰- és ATM¹¹-rendszerekként kezeli, hanem integrált egészként tekint rá. A fejlesztések sikerre vitele érdekében a következő három lépést javasolja végrehajtani:

- A döntéshozói szintek meghatározása, azok felelőssége a stratégiai és taktikai tervezési szakaszban. Azon szereplők hozzárendelése, akik az adott szinteken döntéseket hozhatnak: az *U-space* kialakítása, ezen belül a repülési prioritások, milyen irányítási módozatok és milyen repülési pályák/profilok azonosíthatók, valamint ezekhez megtervezik a várható repülési útvonalakat azok aktiválása előtt.
- Fogalomkészlet meghatározása és szimulációja, vagyis különböző típusú drónok biztonságos elkülönítésének biztosítása minden tervezési fázisban. A koncepció közé tartozik a sűrűség-alapú elkülönítés (zsúfoltság esetén) és a geo-vektorozás (a forgalom összetettségének csökkentésével növeli a kapacitást az U-Space és az UTM számára). A kutatás olyan gépi tanulási algoritmusokra is kiterjed, amelyek ezeket a koncepciókat továbbfejleszthetik.
- A javasolt koncepciók hatásának értékelése a különböző kulcsfontosságú teljesítményterületeken (KPA¹²). Ilyen a biztonság, a kapacitás és a hatékonyság, annak érdekében, hogy ajánlásokat fogalmazhassanak meg az egyes működési környezetek legmegfelelőbb kialakításához [3].

A projekt fő eredményeként várhatóan egy kezdeti működési koncepciót fognak kidolgozni, amely elsősorban a városi elkülönítési rendszerre tesz javaslatokat. A javasolt megoldások validációs kísérleteinek sorozata a meghatározott módszertanban előírtak E-OCVM¹³ által meghatározott V1 fázis befejezéséhez és a következő készenléti szint (TRL¹⁴) eléréséhez fog elvezetni. Ezek a legfontosabb készségi szintek a projektek (SJU¹⁵) összefogásához.

A pilóta nélküli légi jármű-rendszerek alkalmazása vezető üzletágnak számít Európában, mivel minden környezetben szolgáltatásokat nyújtanak velük, beleértve a városi területeket is. A térképezés, az infrastruktúra ellenőrzése, a precíziós mezőgazdaság, az áruszállítás és az e-kereskedelem mind-mind olyan szolgáltatások, amelyekhez a jövőben elsődlegesen UA-rendszereket használnak. Megjelenésükkel együtt jár új kihívásokkal szembesítik

⁹ U-Space Separation in Europe – U-Space elkülönítési eljárások Európában.

¹⁰ UTM: Unmanned Traffic Management.

¹¹ ATM: Air Traffic Management.

¹² Key Performance Areas.

¹³ European Operational Concept Validation Methodology.

¹⁴ Technology Readiness Level.

¹⁵ Sesar Joint Undertaking.

az érintetteket a stratégiai tervezés, szabályozás és működési kérdések kontextusában. Az egyik ilyen akadály a drónok biztonságos mozgatása az adott terület feletti légtérben. Az *U-space* meghatározott szolgáltatások és eljárások halmaza, amelynek célja a biztonságos és hatékony hozzáférés biztosítása a légtérhez egy nagy műveletszámú drónrepülés esetén is, és amelynek alapján a digitalizáció és az automatizálás magas szinten megvalósulhat. Mindez olyan módon, hogy harmonizálható legyen a jelenlegi ATM-környezettel. Az új rendszer bevezetése megköveteli, hogy az államok először határozzák meg és jelöljék ki, hogy a *U-space* légterei hol lesznek, és milyen biztonságossági vagy auditálási feltételek mentén, hogyan kívánják azokat üzemelni. Az alábbi négy kötelező *U-space*-szolgáltatást kell majd biztosítani minden államban:

- hálózatazonosító szolgáltatás: biztosítja az UAS-operátorok azonosítását, valamint megjelöli a drónok földrajzi pont feletti helyét és repülési pályáját a műveletek során;
- geo-tudatosság: tájékoztatást ad a működési feltételekről, légtérkorlátozásokról vagy a meglévő időbeni korlátozásokról;
- repülésengedélyezési szolgáltatás: biztosítja konfliktusmentes műveletek lebonyolítását más felhasználókkal együtt;
- forgalmi tájékoztató szolgáltatás: riasztások esetleges forgalmakról, amelyek a saját drón közelében találhatóak.

Ezenkívül van még két további *U-space*-szolgáltatás, amelyek opcionálisak lesznek. Ezek kialakítása az állam döntése, hogy mely légterek vonatkozásában teszi azokat kötelezővé. Ilyenek lehetnek a következők:

- időjárás tájékoztató szolgáltatás: támogatja a repüléstervezési és -végrehajtási fázisokat és javítja az egyéb *U-space*-szolgáltatások minőségét;
- megfelelőségfigyelő szolgáltatás: figyelmeztet a repülési engedélyek megszegésére, és tájékoztat bármilyen eltérés esetén.

A fenti követelmények biztosítására kötelező, központi (*core*) szolgáltatások jönnek majd létre. Az *U-Space*-rendszeren belül a CISP¹⁶ lesz a felelős minden releváns információ terjesztéséért. Ezáltal minden közös információ egyetlen, megbízható és visszakövethető forrásként működik majd. Az *U-space*-szolgáltatásokat különböző tanúsított USSP¹⁷-k fogják nyújtani az *U-Space* légtereiben és minden működési fázisban. Mindezekon túl aktívan együttműködnek majd a légi forgalmi szolgálatokkal (ATS),¹⁸ más országok USSP-ivel és a CISP-jeivel az információcsere és az összes művelet megfelelő működtetése érdekében [4].

3. Repülőtér-üzemeltetők szempontjai és feladatai

A mintarepülőtér üzemeltetőjének felelősségei és feladatai lesznek a pilóta nélküli légi járművek repülőtéri alkalmazása kapcsán. Az új technológia megjelenése nemcsak a repülőtér egyébként dinamikus fejlődő infrastruktúrájának használója, de a repülőtéri légi forgalom új elemének is tekinthető. A mintarepülőtérként szolgáló katonai/állami repülések célját

¹⁶ Common Information Service Provider.

¹⁷ U-Space Service Provider.

¹⁸ ATS: Air Traffic Service.

szolgáltató repülőterek üzemeltetője, eltérően a polgári gyakorlattól, a repülőtér működtetése mellett, a légi forgalmi szolgálatának működéskéért és a repülőtérre települő állami légi járművek üzemeltetéséért is felel. A repülésbiztonság teljes spektrumában vezetőként tevékenykedik, ezért minden helyi működési szabály kidolgozásában és engedélyeztetésben részt vesz a drónok integrálási folyamatát tekintve, legyen az infrastruktúra használata, a légi forgalmi szolgálat működési eljárásai vagy a repülőtérre igénybe vevő forgalom szervezése és engedélyeztetése. Az érvényben lévő jogszabályok helyesen és pontosan határozzák meg azt, hogy mely légtérben engedélyezett és melyekben tilos pilóta nélküli eszközöket reptetni. Az érvényben lévő előírások betartására úgynevezett „Geofencing” technológia áll rendelkezésre, amely biztosítja azt, hogy az akár akaratlagosan is előírást sértő módon gondolkodó kezelők se tudjanak levegőbe emelni ilyen eszközöket. Rádiófrekvenciás és/vagy műholdas jeleket felhasználva (az eszköz helyadatai alapján) a légi járművek hajtóművének beindítását is lehetséges szoftveresen korlátozni. Figyelembe véve a jelenlegi trendeket és a pilóta nélküli repülő/légi eszközök felhasználási lehetőségeit felmerülnek a kérdések: „Vajon jól van-e ez így? Ki lehet-e, vagy egyáltalán érdemes-e kizárni ezeket a modern eszközöket egy légi és földi forgalommal terhelt repülőtér életéből? Hogyan lehet ezen eszközöket beilleszteni a légi forgalom rendszerébe?”

Áttekintve a drónok lehetséges alkalmazási körét, több előnyt és hátrányt is meg lehet fogalmazni:

- A repülési útvonalukon valós idejű, nagy felbontású videókat képes közvetíteni egyrészt a drón kezelőjének, másrészt a légi forgalmi irányító központba, illetve a repülőtér karbantartásáért felelős szolgálatnak. Fontos ez, mivel nagy jelentősége van a repülőtér üzemeltetésének szempontjából annak, hogy a légi forgalmi irányítás milyen ismeretekkel rendelkezik a munkaterület (leginkább a futópálya és gurulóutak) felületének állapotáról.
- A repülőtérre illetékes légi forgalmi irányító szolgálatnak információkkal kell rendelkeznie arról, hogy van-e olyan felületi sérülés, amely akadályozza a biztonságos fel- és leszállások végrehajtását a repülőtér munkaterületén. De ugyanígy a felületi sérülések azonnali karbantartása is lehetséges az úgynevezett „*real-time*” adatok igénybevételével és értékelésével. Az e célú alkalmazással a futópálya kihasználtsági tényezője és ezzel együtt a repülőtér névleges üzemi kapacitása növekszik.
- A megfelelő szenzorokkal való felszereltséggel képesek az aktuális időjárási körülményeket (látástávolság, felhőalap, páratartalom, felületi jegesedések stb.) felderíteni, sőt ezekről – az információ továbbításán túl – riasztást is adhat a meteorológiai szolgálat vagy egyéb felhasználók számára.
- A légi forgalmi irányításnak ugyanígy tudnia kell, hogy van-e eltávolítást igénylő FOD¹⁹ a munkaterületén. A fedélzeti 4K felbontású kamerák képesek mindezen információk költséghatékony biztosítására napszaktól és időjárási körülményektől függetlenül.
- Drónok alkalmazásával a repülő-műszaki kiszolgáltató szakemberek munkáját is meg lehet könnyíteni és gyorsítani. Lehetőség nyílik különböző eszközök, szerszámok karbantartási helyekre történő kiszállítására vagy azok közötti mozgatásra.

¹⁹ Foreign Object Debris.

- A fel- és leszállások időszakában madárral való ütközések nagy veszélyt jelentenek a repülőtér környezetében. A repülőtér üzemeltetőinek mindent meg kell tenniük ezek kivédésére, amihez a drónok segítséget nyújthatnak. Felderíthetik a madarakat, illetve elriaszthatják azokat pusztán a megjelenésükkel vagy az általuk keltett zavaró hangokkal.

Sajnos azonban a fenti előnyök mellett több, a repülőtér üzemeltetésének szempontjából hátrányos tényezőt is meg kell említeni, amelyek a következők:

- A repülőtéri UA-ra vonatkozó légtérzár feloldásával megnyílik a lehetősége annak, hogy a spotterek eszközei is megjelenjenek a repülőterek körzeteiben, légtereiben. Ezek a fotósok ott vannak a repülőterek körül, mindent látni és képíleg rögzíteni akarnak. Egy jó kép elkészítéséért mindent megtesznek, hiszen abból – a hírnéven túl – komoly bevételhez jutnak.
- Számolni kell azzal is, hogy a katonai repülőterek körzetében olyan ellenséges, hírszerző pilóta nélküli eszközök jelenhetnek meg, amelyekkel készített képi és hanganyagok rögzítése nemzetbiztonsági szempontból kockázatot jelent.
- A pilóta nélküli légi járművek döntően kis súlyú és méretű eszközök, amelyek relatíve közel repülnek a repülőgépekhez és/vagy helikopterekhez a földi mozgásuk (légi/gurulások) idején. Fennáll annak a veszélye, hogy egy szélbefúvás vagy akár a forgószárny által keltett turbulencia miatt nekiütköznek egy légi járműnek, vagy rosszabb esetben a hajtóműbe kerülnek.
- Katonai, védelmi szempontokat figyelembe véve nem lehet eltekinteni a szándékos cselekmények elkövetésétől sem, így a drónok, habár látszólag kis tömegűek, mégis képesek végzetes kimenetelű eseményt elkövetni velük. Használatukkal akaratlagos légi ütközések idézhetők elő a légtérben repülő más légi járművekkel, vagy akár robbanószerkezt szállítóeszközeként is használhatók a repülőtér munkaterületén.
- Amennyiben az előző eset nem is történik meg, „csupán” bármely oknál fogva a drón a földnek csapódik, akkor FOD keletkezik a munkaterületen, amely a guruló légi járművek, illetve a légi közlekedés kiszolgálásában részt vevő földi járművek közlekedési fennakadásához vezet.

A fentiekben leírt negatívumok a fő okai annak, hogy a repülőterek üzemeltetői továbbra is óvatossággal tekintenek a drónok alkalmazására a működési területükön.

Ennek ellenére több szempontból kifejezetten hasznos eszközök, ha azokat a megfelelő eljárásrendek betartásával, képzett kezelők végzik, olyan személyek, akik képesek aktívan bekapcsolódni a repülőtéri légi forgalom áramlásába, és biztonság tudatosan üzemeltetnek. A jövőt tekintve az egyik legfontosabb tényező, hogy a drónok más légi járművekkel vagy a repülőtér építményeivel való összeütközésének elkerülésére szolgáló fedélzeti és egyéb rendszerének optimalizálása megtörténjen. A technológiai fejlesztésnek meg kell nyitnia a lehetőséget a radar és/vagy ADS-B²⁰ jelek, valamint a kameraképek alapján megjelenített veszélyforrások időbeni jelzésére, a kezelői helyzettudatosság fokozására.

²⁰ ADS-B: Automatic Dependent Surveillance – Broadcast.

A kismagasságú légtér rész drónok számára való felszabadításával a repülőterek üzemeltetői nemcsak költségeket takaríthatnak meg, hanem a helyzetudatosságuk növelésével biztonságosabbá is tehetik légi forgalmukat [5].

4. A drónok okozta kockázatok, azok becslése és csökkentése

A kis méretű pilóta nélküli repülőgépek gyakran működnek a földfelszíni objektumok és emberek közelében. Nincs ez másként a repülőtéri alkalmazás esetében sem. Ancel, Capristan, Foster és Condotta [6] a drónok felhasználása kapcsán sajátos kockázatbecslési modellt javasol (*UTM Risk Assessment Framework*). A modellt a Bayes-féle hálózatot (*Bayesian Belief Networks*) a kockázatos szituációk valószínűségi összefüggéseinek, a földön tartózkodó embereket fenyegető veszélyforrások valószínűségének és azok következményeinek felmérésére használja. A kockázatok illetően meghatározása és kijelzése segítheti mind a pilótát, mind az irányítót a repülés pontos és biztonságos megtervezésében és végrehajtásában.

4.1. A drónok okozta kockázatok becslése

Liliana [7] a kockázatok előzetes meghatározásához más módszert, az Isikava-diagram használatát javasolja. Az egyes folyamatok minőségének (biztonságának) elemzésére szolgáló eszköz a technikai rendszerek diagramalapú vizsgálatát négy lépésben valósítja meg:

- a probléma meghatározása;
- a főbb oki tényezők megállapítása;
- a lehetséges okok azonosítása;
- az elemzés elvégzése (diagram formájában).

A probléma körülírását és a befolyásoló tényezők körének meghatározását a repülésbiztonság vonatkozásában például az SMS²¹ metodikája biztosíthatja. Ezt követően az oki tényezők akár a SHEL(L) modellel, akár ezeknél egyszerűbb modellekkel behatárolhatók. Az Isikava-módszer a SHEL(L) modellhez hasonlóan, bár kissé más megközelítésben dolgozza fel az okokat (eltéréseket). A főbb kategóriák a következők:

- emberek: bárki, aki részt vesz a folyamatban;
- módszerek: a folyamat végrehajtásának módja és a végrehajtás konkrét követelményei (irányelvek, eljárások, szabályok, rendeletek és törvények);
- gépek: bármilyen berendezés, amely szükséges a munka elvégzéséhez;
- anyagok: nyersanyagok, alkatrészek, amelyeket a végtermék előállításához használnak;
- mérések: a folyamatból előállított adatok, amelyek a minőség értékelésére szolgálnak;
- környezet: azok a körülmények, mint például a hely, az idő, a hőmérséklet és a kultúra, amelyben a folyamat működik.

²¹ Safety Management System.

Mindezek alapján minden oki kategória M betűvel jelölhető (gépek, módszerek, ember, anyagok, karbantartás, anyatermészet, környezet, menedzsment), így az azonosított okok számának megfelelően többféle Isikava-diagram is felvehető (4M, 5M, 6M, 7M).

Burin [8] megállapítása szerint a lassú és retrográd reaktív repülésbiztonsági módszerrel szemben, amely alapvetően a megtörtént esetek tanulságaira alapozza a prevenciót, a következő két előrejelzésre, lehetőségre helyezi a hangsúlyt:

- minél több adattal rendelkezni a kockázatértékeléshez és -kezeléshez annak bizonyítása érdekében, hogy a kockázat szintje kritikus, tehát érdemes foglalkozni az adott problémával;
- érdemes rendelkezni a kockázatkezelési döntéshozók támogatásával, akik a kockázatkezelési eszközök felett rendelkeznek.

Mindkettőhöz a repülésekről szóló adatokban rejlik a kulcs. Az adatok lehetővé teszik a hagyományos biztonsági dilemma megoldását, vagyis annak mikéntjét, ahogy igazolni lehet a kockázat kritikus szintjét anélkül, hogy bekövetkezett volna. Az UTM területén a repülőeszközzel fennálló folyamatos adatkapcsolat biztosítja mindezt. A repülés végrehajtását, valamint az irányítást az azt támogató, széles körű valós adatbázison alapuló gépi előrejelző rendszerek biztosítják. Ezek bejósoló metódust alkalmaznak és a reaktív és a proaktív módszertan ötvözésével teszik lehetővé a kockázatos helyzetek kivédését.

Kopardekar, Rios, Prevot, Johnson, Jung és Robinson [9] a drónok kis magasságú légtérben folyó biztonságos működése érdekében a következő működési elveket rögzítik:

- csak hitelesített UAV és üzemeltetők működhetnek a légtérben;
- az UAS-t²² szükséges elkülöníteni az UAV-tól;
- az UAS-t szükséges elkülöníteni a hagyományos légi járművektől;
- az UAS az összes releváns tényező ismeretében, a földön lévő élőlényektől és építményektől biztonságos távolságban üzemeljen;
- a közfeladatot ellátó UAV-t előnyben kell részesíteni a többi UAV-val és a hagyományos légi járművekkel szemben;
- mindennek elérése érdekében nagyobb rugalmasságot szükséges érvényesíteni, ami két alapvető feltételre alapul:
 - rugalmasság, ahol lehetséges és ahol szükséges azokban az esetekben, amikor több UAS szándékozik egyazon légtérben működni. Olyan intézkedések bevezetése szükséges, mint a folyosók, útvonalak kijelölése, az iránymagasságok alkalmazása és egyéb korlátozások foganatosítása;
 - kockázatalapú megközelítés alkalmazása, ahol a légtérigények és a felhasználási feltételek határozzák meg az alkalmazás mikéntjét, a felszínen vagy a levegőben fennálló kockázatok alapján.

A nagy forgalomsűrűségű légterekben, a hatékonyság és a biztonság egyensúlyának fenntartása érdekében valós idejű konfliktuselhárításra van szükség, olyanokra, mint az eljárásos megoldási módok alkalmazása, vagy az érkező sorrendről való értesítés, valamint közszolgálati és vészhelyzeti műveletek előnyben részesítése.

²² UAS: Unmanned Aircraft Systems.

Az UAV repülőtéri alkalmazásához kötődő kockázatok megállapítására számtalan szoftveres megoldás kínálkozik:

- A Safety Assessment Software egy átfogó biztonsági eszköz, amely megvalósítja a SAE ARP4761, MIL-STD-882 és más szabványok követelményeit és feladatait. Ez az ALD RAM Commander megbízhatósági és biztonsági eszközkészletének szerves része. Az Airbus ügyfeleinkkel együttműködve definiált és kifejlesztett FHA (Functional Hazard Analysis), PHA (Preliminary Hazard Analysis), SSA (System Safety Assessment), PSA (Probabilistic Safety Assessment) elvégzését teszi lehetővé.
- Kvantitatív kockázatértékelési rendszer, vagyis az ITEM Kvantitatív Kockázatértékelési Rendszer (iQRAS) segíthet azonosítani a kockázatokat, megtalálni a főbb hozzájáruló tényezőket. Hatékony módszereket kínál a kockázatok csökkentésére. A kezdő eseményintegráció idővonalakkal, eseménysorozatokkal, meghibásodási valószínűségi jellemzéssel, kockázati rangsorolással és érzékenységi elemzéssel hatékony, integrált kockázatelemzési környezetet biztosít.
- A Risk.Net kockázatkezelési szoftver megkönnyíti az összes létező FMEA²³ (konstrukció, folyamat, termék vagy rendszer FMEA) alkalmazását. Az intuitív hibafaszerkeztúra biztosítja a rendszer könnyű alkalmazását. A program azt is lehetővé teszi, hogy bármilyen típusú kockázatértékelés elvégezhető legyen.

4.2. A drón okozta kockázatok kezelése

Tomić, Čokorilo és Macura [10] SWOT-analízist végzett a drónok repülőtéri alkalmazása kapcsán. Az alábbi fontos kihívásokat azonosították:

- az eszköz feletti irányítás elvesztése;
- hiba a drón aktuális helyzetének észlelésekor;
- drón általi futópályasértés az aktív kifutópályán;
- a drónok más felhasználók általi hatalomba vétele;
- emberi sérülés okozása.

A drónok jelentette kockázat csökkentésére a következőket javasolják:

- fedélzeti válaszadó telepítése a drón fedélzetére;
- TCAS-rendszer²⁴ telepítése a drón fedélzetére;
- egyértelmű eljárások és biztonsági rendszabályok előírása a drónpilóta számára biztonságkritikus helyzetekben;
- repülési tervek adatbázisának elkészítése, amely tartalmazza a drón tervezett mozgási útvonalait a repülőtér területe felett;
- a drón működési magasságának korlátozása a futópálya-ellenőrzési folyamat során, az összeütközési kockázat csökkentése érdekében;
- a drón jobb megvilágítása az észlelhetőség növelése érdekében;
- a légi járművek fülkeüvegezésének keménységével kapcsolatos légi jármű-tanúsítási kritériumok szigorítása;

²³ FMEA: Failure Modes and Effects Analysis.

²⁴ TCAS: Traffic Collision Avoidance System.

- a drónok harmadik fél általi használatának korlátozása a repülőtér körzetében;
- olyan repülőgép-fedélzeti radarnézet előállítás, amellyel a drónok megfigyelhetők.

Konkrét technikai megoldást javasol Shvetsova és Shvetsov [11] a drónok repülőtéri környezetben való biztonságos repülésének garantálására. A javasolt műszaki megoldások több csoportra oszthatók. Az első csoportba a passzív rendszerek tartoznak, amelyek a drónrepülések figyelését és követését jelentik beavatkozás nélkül. A második csoport az aktív rendszerek, amelyek már befolyásolják a drónok repülési pályáját.

Az ilyen típusú rendszereket főként kulcsfontosságú létesítmények jogosulatlan drónrepülések elleni védelmeként alkalmazzák. Az aktívak több alcsoportra oszthatók:

- kezelőt vagy drónvezérlést aktívan befolyásoló rendszerek;
- közvetlen befolyásolásra szolgáló rendszerek, amelyek károsíthatják az eszközt, aminek következtében a drón elveszíti repülési képességét (Boeing lézeres repülőterek védelmi rendszer);
- a repülési pályának megváltoztatása egy másik drón segítségével (drónvadászként emlegetett speciális drónok);
- biotechnikai rendszerek, vagyis olyan megoldások, mint például speciálisan kiképzett sólymok bevetése a drónok ellen.

A Shvetsova és Shvetsov [11] által javasolt megoldások mindegyike képes lehet az UAV ellenőrzött és biztonságos használatának biztosítására a repülőtereken és azok környékén, de a hatályos szabályozások alapján bizonyos aktív rendszerek nem használhatók repülőterek közelében, mivel zavarhatják a navigációs berendezések és egyéb elemek működését. Az eszközök mozgásának kezelésére a cikk szerzői sajátos módszert dolgoztak ki, amelyet RMS-nek (*Route Management System*) neveztek el. A rendszer növelheti a drónok repülőtereken való mozgásának biztonságát, azokat szigorúan egy kijelölt légi folyosóra korlátozva. A lényege, hogy a drón nem hagyhatja el a számára kijelölt légi folyosót, és ezt az eszköz földön felállított speciális földi mobil platformhoz tartókábelrel való rögzítése biztosítja. Az UAV repülésképességét ez nem korlátozza, ugyanakkor, a tartókábel hossza és a tartóplatform helye behatárolja a drón mozgási zónáját. Repülés közben az eszköz meghúzza a tartókábelt, így akár mozgathatja a mobil platformot a drón után, de mivel a platform egy sínrendszeren mozog, a pálya továbbra is a földi berendezések által behatárolt területen belül marad.

5. A drón okozta kockázatok észlelésének és kezelésének gépi támogatása

A kockázatos szituációkban meghozott biztonsági következményekkel járó emberi döntések gépi támogatásának kidolgozásához szükséges megvizsgálni, hogy milyen típusú döntéshozatal esetében, mekkora mértékben és pontosan milyen gépi támogatás szükséges. Korábbi kutatások alapján [12] ismert, hogy bonyolult és újszerű, dinamikusan változó környezetben a nehéz feladatok végrehajtói a döntés meghozatalakor csupán 5%-ban hasonlították össze a lehetséges megoldási alternatívákat. Átlagosan 2,68 alternatívára gondoltak az egyes döntési helyzetekben, a végleges alternatíva mellett pedig végül azért döntöttek a leggyakrabban (44%), mert az tűnt a legcélravezetőbbnek. A mérlegelésben szerepet játszott az is (24%), hogy

az alternatíva biztonságos volt-e. Radnóti és Faragó kutatása rámutat, hogy abban az esetben, amikor a kockázatos következménnyel járó döntések meghozatalára rendelkezésre álló idő átlagosan 3,75 perc, a résztvevők többsége elégedett volt ezzel az időmennyiséggel, ám kevésnek ítélték a rendelkezésre álló információ mennyiségét. A vizsgálat azt is kimutatta, hogy a megfigyelt több száz döntés igen nagy hányadát kevesebb mint egy perc alatt hozták meg.

A fenti megállapítások alapján a repülőtéri irányítók esetében a következő gépi támogatási módok rajzolódnak ki:

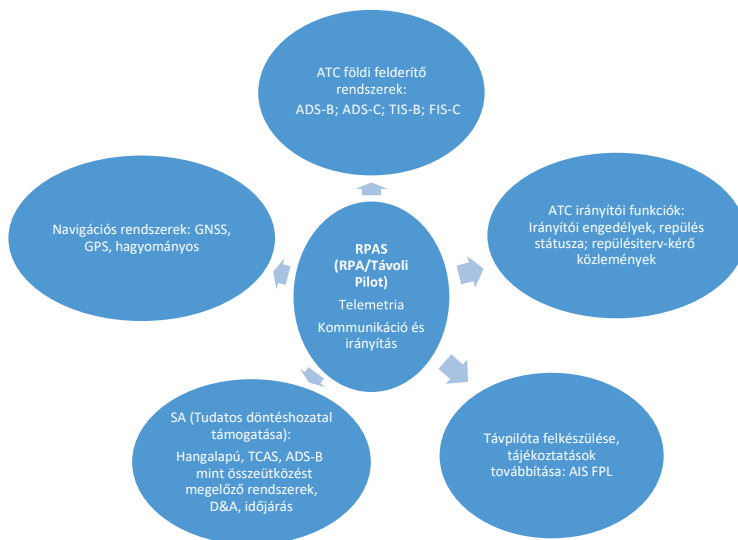
- a repülőtéri irányító támogatása többletinformációval (forgalmi, meteorológiai, helyzeti);
- lehetséges kockázatos szituációk gépi előrejelzése aktuális adatok és statisztikai háttér adatok alapján;
- a repülőtéri irányító döntésének támogatása korábbi konfliktusok megoldási módjainak elérhetővé tételével;
- a repülőtéri irányító döntésének támogatása konkrét kockázatkezelési javaslattal;
- a drón irányítását végző személyzet repülés előtti kockázatértékelésének támogatása.

6. A repülőtéri irányítás irányítási eljárásai és felelőssége

A drónok ATM-rendszerbe való teljes körű integrációja azzal jár együtt, hogy a légi forgalmi szolgálatok ugyanúgy légi járműként kívánják kezelni őket, mint a többi hagyományos légi járművet és légtér felhasználót. Az ATCA²⁵ és az Eurocontrol²⁶ még a 2013-as szemináriumán rögzítette azokat az alapvető elvárásokat, amelyek elengedhetetlenek számukra ahhoz, hogy a drónok és hagyományos légi járművek közös és egyidejű repüléseinek biztonságos feltételeit biztosítsák a légtérben. Ilyen volt, hogy az új légtér felhasználók teljes spektrumát azonosítsa, a légi navigációs szolgáltatók és ezen belül a légi forgalmi szolgálatok ismerjék ennek a spektrumnak a sajátosságait, légi járműként kezeljék őket, hiszen nem is lehet másként. A pilóta nélküli légi járművek jelenléte a légtérben legyen ismert a többi légtér felhasználó számára is. A jelenlegi ATM-rendszereket, kommunikációs és navigációs eljárásokat nem kívánják módosítani a drónok megjelenése miatt, ezért legyenek képesek azokat használni a repüléseik tervezése és végrehajtása során. Röviden összefoglalva az alábbi ábrán az látható, hogy mindazokat a funkciókat várják el a drónoktól az adott környezetben, mint amit eddig megszoktak a hagyományos légi járművek kezelése során (2. ábra).

²⁵ Air Traffic Control Association.

²⁶ European Air Navigation Organization.



2. ábra

RPAS integrálásának feltételei a meglévő ATM-rendszerbe (a szerző [18] alapján)

Ez azt jelenti, hogy a drónok:

- repülése legyen ismert és előre megtervezett még a felszállás megkezdése előtt, vagyis repülési terveiket előzetesen ismerje a légi forgalmi szolgáltató és biztosítható a neki járó szolgáltatásokat;
- a repülés tervezéséhez, az arra felkészüléshez használják és ismerjék a légi forgalmi tájékoztató szolgáltatók által publikált információkat, a rájuk vonatkozó veszélyek, korlátozások előzetes megismerésével, és legyenek tisztában a repüléseikre veszélyt jelentő időjárási jelenségekkel, azok jelenlétével a repülés ideje alatt;
- legyenek képesek eleget tenni a légi forgalmi irányítás által adott engedélyeknek és utasításoknak;
- a légtérben elfoglalt pozíciójukról folyamatosan adatot továbbítsanak a légi forgalmi szolgáltatók felé, történjen az valamilyen földi felderítő egység igénybevételével, vagy más, a légi közlekedésben használt rendszer segítségével;
- azokat a navigációs rendszereket és eljárásokat alkalmazzák, amelyeket a hagyományos repülés is alkalmaz, és rendelkezzenek azokkal a döntéstámogató megoldásokkal, mint az észlelés és elkerülés, vagy a levegőben való összeütközést megelőző szolgáló előrejelző rendszer, amelyek képessé teszik őket a repülésük biztonságos és tudatos lebonyolítására.

Korábbi kutatásaink során már foglalkoztunk a pilóta nélküli légi járművek repülőtéri forgalomba való integrálásának lehetőségeivel [13], [14], és több olyan megállapítást is tettünk, amelyek jelenlegi kutatási elképzeléseink megtervezése során jó kiindulási alapként szolgáltak. Ezek között szerepelt a drónok repülőtéri belüli üzemeltetési helyének kiválasztása, a forgalomszervezési és biztonságos földön való elkülönítési eljárások kivitelezése. Kitértünk

a rádiólevelezéssel kapcsolatos eljárások sajátosságaira, külön figyelmet szentelve annak, hogy a többi légtérfelhasználó számára is ismert legyen az új légtérfelhasználó jelenléte a repülőtéren. Foglalkoztunk az érkezési és indulási eljárások alkalmazásával, és adott dróntípusokra repülőtér-specifikusan megterveztük azokat. Elemeztük, hogy mely forgalmi szituációkban élvezhetnek elsőbbséget a pilóta nélküli légi járművek a hagyományos forgalommal szemben, és kitértünk a légi forgalmi szolgálatok közötti koordinációs eljárások sajátosságaira is.

Folyamatosan nyomon követve az uniós szabályozást és az integrációt elősegítő koncepció kidolgozásáért felelős munkacsoportok munkáját, világossá vált, hogy nem lehet a hagyományos légi forgalom-irányítási eljárások mindegyikét alkalmazni különösen az ellenőrzött légterekben biztosított szolgáltatások során. Ennek egyik oka például az, hogy a drónok által alkalmazott repülési szabályok nem feleltethetők meg a VFR²⁷, illetve IFR²⁸-repülésnek, definiálták a VLL-t mint a drónok ellenőrzött légtérben alkalmazott repülési szabályát. Jogszabályban rögzítették, hogy a drónpilóta, a légi jármű parancsnoka, aki közvetlenül vezeti a drónt, ellátja a légi jármű-parancsnok felelősségét és feladatait. Emellett kizárólag ő felelős az elkülönítés létrehozásáért és fenntartásáért.²⁹ Új megközelítést hoz a drónműveletek kockázatalapú besorolása és ezzel a nyílt, speciális és engedélyköteles kategóriák megjelenése. Az első két kategória szabályozási keretrendszere és alapelvei ismertek. A harmadik engedélyköteles kategória foglalja majd magában a nagy méretű, 3 m-nél nagyobb, embertömegek felett végrehajtott és bizonyos veszélyes áruk szállítására is alkalmas drónokat. Továbbá azok is ebbe a kategóriába tartoznak majd, amelyek embereket is szállíthatnak fedélzetükön, és végül azok a műveletek, amelyek nem automatizált, hanem autonóm repülést végeznek. A napjainkban egyre fejlődő és már rendelkezésre álló technológia valóban képessé teszi a drónokat a precíz, emberi beavatkozás nélküli műveletek végrehajtására, ami azonban újabb kihívást jelent az eddig alkalmazott légi forgalom-irányítási eljárások alkalmazásában.

Ennek oka abban áll, hogy az ellenőrzött légterekben, köztük kutatásunk szempontjából érdekes ellenőrzött repülőtéren, a légi járművek levegőben való összeütközésének megelőzése légi forgalom-irányítói feladat és felelősség. Ez a fentiekben leírt szabályt, miszerint a hagyományos légi járművektől való elkülönítés létrehozása kizárólag a távpilóta feladata, felülírja. A repülőtér munkaterületén az összeütközések megelőzésére irányítói eljárások, irányítói engedélyek és hasznos tájékoztatások szolgálnak, de a légi jármű-parancsnok feladata, hogy biztonságos elkülönítést hozzon létre egy másik légi járműtől. A távpilótának és a légi forgalmi irányítónak is szüksége van olyan tudásra, támogatásra, amely ezeknek a biztonságos távolságoknak a létrehozását szolgálja. Kutatásunk célkitűzése egy olyan döntéstámogató megoldás létrehozása, amely tartalmazza az integrált UTM-ATM-megjelenítést, különböző adatforrásokból származó repülési adatok integrálásával, figyelembe veszi a repülőtér légtérszerkezetének és munkaterületének specifikumait, valamint a légi járművek/pilóta nélküli légi járművek sajátosságait. Ilyen a sebesség, magasság, gurulási eljárások, méret, meghajtás stb., az időjárás adatok és azok hatása különösen a drónok teljesítményére és feladataira, a légi járművek által keltett turbulencia hatásait is figyelembe veszi, és támogatja az irányítói döntések meghozatalát az egyes drónműveletek engedélyezése előtt. A megvalósítást virtuális (VR-) környezetben kívánjuk megjeleníteni, amelynek 3 dimenziós megoldásai még inkább

²⁷ Visual Flight Rules.

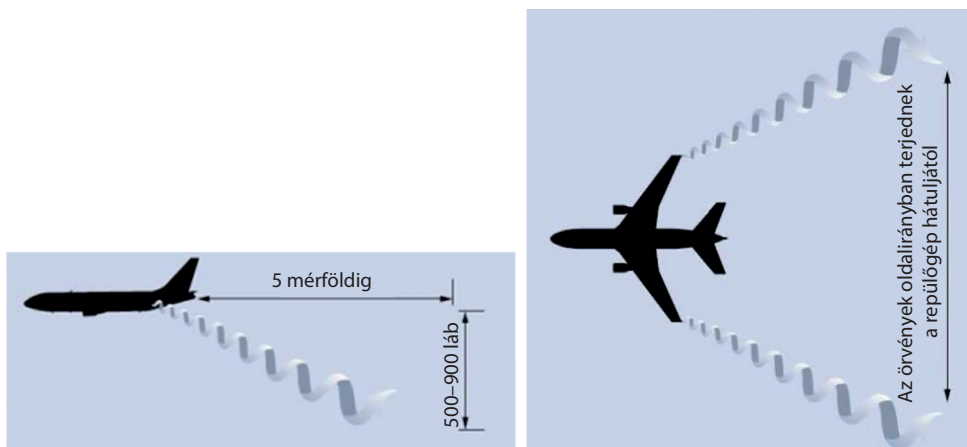
²⁸ Instrument Flight Rules.

²⁹ Lt. 60/A.

átláthatóvá teszik az irányító számára a repülőtér munkaterületének és légterének forgalmát. A kevert valóság (MR)³⁰ lehetőséget biztosít 3 dimenziós időjárási jelenségek (például zivatarláncok) megjelenítésére a repülőtér környezetében, végül a kiterjesztett (AR-) valóság elemeivel különböző forgatókönyvek és kísérletek is elvégezhetővé válnak majd.

7. A légi járművek keltette turbulencia és annak hatásai a drónokra

Az UA-k repülőtéri forgalomba való integrálásának egyik kiemelt figyelmet igénylő szegmense, hogy a repülőtéri környezetben időn alapuló hosszirányú turbulencia elkülönítési minimumokat hogyan lehet alkalmazni a drónok és hagyományos légi járművek elkülönítésére. A biztonságos távolság létrehozása nemcsak a légi forgalmi irányítás eljárásainak kidolgozásában és alkalmazásában kulcskérdés, de a drónpilóták számára is. A légi járművek által keltett turbulencia nem más, mint a légi jármű szárnyvégeiről leváló áramlás, amely egyrészt minden esetben fellép, másrészt pedig veszélyes is lehet más repülőeszközök számára. Tekintettel arra, hogy a szárnyvégi örvények jelentős energiát megmozgató légköri képződmények, amelyek turbulens jellege miatt nagyon nehezen prognosztizálhatók, alapvető feladat egy repülőtéren, hogy találjunk olyan mechanizmusokat, amelyek segítségével megakadályozhatunk minden olyan konfliktust, amelynek során egy repülőgép rá veszélyes örvénnyel kerül konfliktusba. A szárnyvégi örvények vertikális és horizontális kiterjedését a 3. ábra mutatja be.



3. ábra

A szárnyvégi örvények vertikális és horizontális kiterjedése [15]

Jól látható, hogy ezeknek az örvényeknek a kiterjedése (természetesen a későbbiekben leírt paramétereiktől függően) akár a repülőgép után 7–10 km-re is elnyúlhat, és a repülőgép magassága alatt akár 300 m-rel is még aktívak lehetnek. A légi jármű-balesetek bekövetkezésének

³⁰ MR: Mixed Reality.

okai között külön kategóriaként szerepelnek a WTC³¹ okozta balesetek, amelyek megelőzésére a pilóták és légi forgalmi irányítók számára is külön tréninget szerveznek.

7.1. A drónok turbulenciaelkülönítéséhez szükséges alapelvek és kutatási feladatok meghatározása

A korábbi vizsgálatok alapján a drónok repülőtéren való biztonságos alkalmazása megköveteli ezeknek az eszközöknek az elkülönítését is. Itt meg kell jegyeznünk, hogy jelen tanulmányban a merev szárnyú drónokkal kapcsolatos elképzeléseket vizsgáljuk, hiszen ezek az eszközök gyakran igénylik a repülőtéri infrastruktúrát a működésükhöz.

Hasonlóan a korábbi gyakorlathoz célszerűnek mutatkozik egy drónadatbázis összeállítása, amelyben az eszközök – turbulencia szempontjából fontos – adatait összegezzük. Ezek az alapvető adatok: maximális felszálló súly, fesztávolság, maximális/átlagos/átesési sebesség értékei. Az ismert adatok és korábbi fizikai összefüggések alapján meghatározható a kialakuló szárnyvégi örvény kezdeti cirkulációja, amely szintén rögzíthető a szóban forgó adatbázisban.

A szakirodalomból ismert, hogy a szárnyvégi örvénykeresztezés okozta hatás erősségének mérésére felhasználható RMC-összefüggésből³² levezethető egy olyan – viszonylag egyszerű – horizontális, időbeni elkülönítési eljárás, amely alkalmas lehet egy repülőtéren a drónok biztonságos üzemeltetéséhez [16].

Az RMC-határértékek drónokra érvényes meghatározása további feladatot jelent, de tekintettel arra, hogy a hagyományos repülésben ezek már léteznek, ebben az esetben is elvégezhető a feladat. Ugyanakkor mindenképpen megfontolandónak tartjuk, hogy a repülőtéren – lehetőleg a futópálya mentén több helyen – legyen elhelyezve egy-egy szélmérést lehetővé tevő automata, amely minimálisan 10 másodpercenként szolgáltatson adatot. Ezekből az adatokból horizontális szélnyírás számolható, amely fontos indikátor a turbulenciaképződés vizsgálatokor.

Szintén célszerűnek mutatkozik legalább kettő, a futópálya végénél elhelyezett *wind-profiler* alkalmazása is, amely segít mérni a vertikális szélnyírást és a hőmérsékleti/hedvességi profilt is az adott helyen. Szükséges egy megfelelő felbontású időjárás-előrejelző modell *domain* konfigurálása is a korábban említett elvárások mentén, amely képes a turbulencia-mérőszámok időben és térben való *előrejelzésére* (is). A *modell-domain* kialakítása majd tesztelése további kutatást igényel.

Végül, de nem utolsósorban az itt leírt feladatok elvégzése után lehetőség nyílik egy komplex turbulenciaveszély-jelző rendszer kialakítására, amelyben az alfejezetben felsorolt elemek mindegyike szerepet játszik. Ennek a rendszernek a riasztásait figyelembe véve lehet tervezni a drónok repülését.

³¹ Wake Turbulence Category.

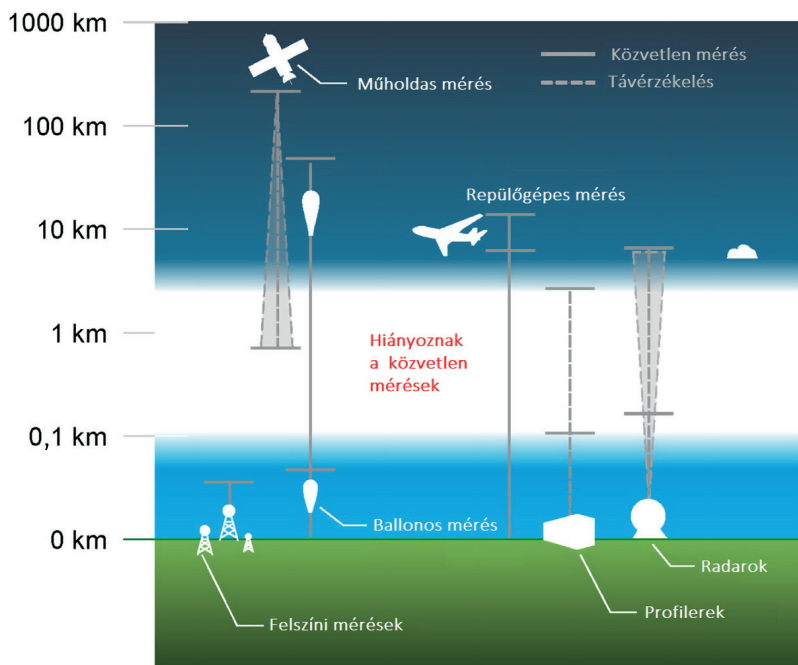
³² Rolling Moment Coefficient.

7.2. A drónok lehetséges alkalmazása a turbulencia kezelésében

Planetáris határretegnek (PHR) a légkörnek azt a felszínközeli, maximum néhány kilométer vastag rétegét tekintjük, ahol a felszín és a légkör közötti kölcsönhatás közvetlenül kimutatható. A PHR szerepe az időjárás alakításában kulcsfontosságú (és nagyrészt ismert is), hiszen ebben a tartományban zajlanak azok a folyamatok, amelyek a légkör-felszín kölcsönhatáson át, alapvetően meghatározzák a légkör mindenkori állapotát. A PHR aktuális állapotának ismerete különösen a mikro- és mezoskálájú folyamatok fejlődésének megértésében és előrejelzésében lényeges, hiszen a nagyobb skálák dinamizmusát már a szabad légkör folyamatai determinálják. A mikroskálájú folyamatok közé tartozik a légköri turbulencia is.

Sajnos azonban minél kisebb léptékű folyamatot akarunk előrejelezni, annál nagyobb térbeli és időbeli felbontású bemeneti adatra van szükségünk a modellszámításokhoz. Általános probléma, hogy a légköri határretegből nem állnak rendelkezésre ezek az adatok (4. ábra).

A meglévő adathiány a hagyományosnak mondható eszközrendszerrel észszerű keretek között nem elégíthető ki, újszerű, költséghatékony megoldást kell keresni, amely időben és térben is megfelelő mérési felbontást tud garantálni. A megoldást a WMO³³ iránymutatása szerint is a drónos vertikális profilozó mérések jelenthetik. Hangsúlyozni kell, hogy ezek a mérődrónok egyrészt adatokat szolgáltatnak a pontosabb turbulencia előrejelzéséhez, másrészt verifikálni is lehet az általuk mért adatokkal a korábbi előrejelzéseket.



4. ábra
Hiányzó mérési adatok a planetáris határretegből [17]

³³ WMO: World Meteorological Organization.

A mérőrendszer legfontosabb elemeit maga a mérési feladat végrehajtására alkalmas drón, a meteorológiai paramétereket mérő szenzorok, valamint a hozzájuk tartozó adatgyűjtő, adattovábbító és adatfeldolgozó infrastruktúra jelentik [17]. A mérőhálózat legfontosabb eleme egy olyan drón (5. ábra), amely akár néhány óránként képes a PHR vertikális szondázására. Egy ilyen feladat ellátásánál pedig elengedhetetlen a magas határfok és a megbízható működés.



5. ábra
Meteorológiai méréseket végző drón kísérleti prototípusa [17]

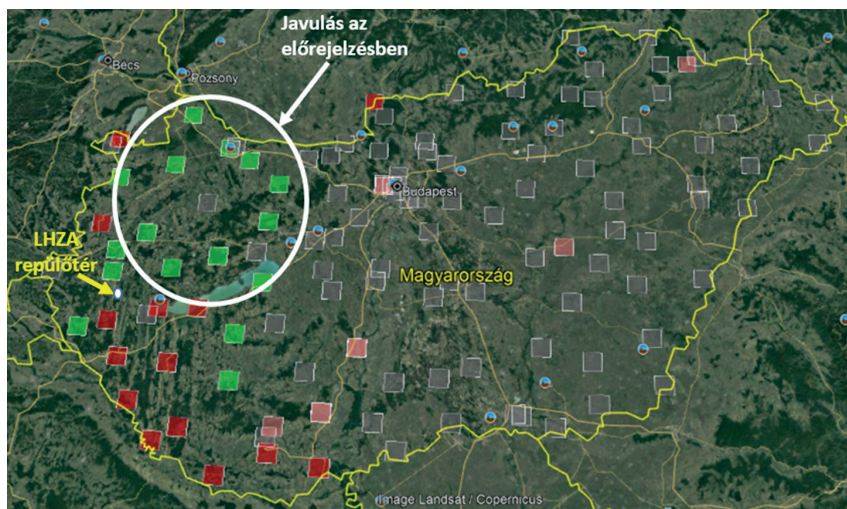
A szenzorrendszer kialakításánál a hagyományos rádiószondás profilozó mérésekkel szemben támasztott elvárásokat vettük irányadónak. Ez nemcsak a vizsgált állapothatározók kiválasztását, azaz egyben a szenzorok meghatározását, hanem a mérésekkel szemben elvárt pontosságot is alapjaiban determinálta. Ennek megfelelően olyan szenzorrendszer összeállítását végeztük el, amely alkalmas a levegő hőmérsékletének, nedvességének és nyomásának mérésére. Tekintettel arra, hogy még egy szónikus anemométer drónra való fizikai illesztése sem egyszerű feladat, nem is beszélve a drón mozgása és a légcsavarak okozta áramlás figyelembevételéről, úgy döntöttünk, hogy a rádiószondás mérésekhez hasonlóan mérőeszköz nélkül oldjuk meg a levegő mozgási karakterisztikáinak (szélsebesség, szélirány, szélleőkés) számítását. Az eredményeket egy egyszerűsített ábrán mutatjuk be, amelyen a jelzett állomások helyén különböző színű négyzettel reprezentáljuk, hogy a vertikális méréssel támogatott modell futtatása esetén javult (zöld), romlott (piros) vagy lényegileg nem változott (szürke) az említett paraméterek tekintetében az összesített eredmény (6. ábra). Itt tehát valójában arról van szó, hogy azt tudjuk elemezni, hogy pusztán egy szélprofil milyen változásokat indukál a komplex modell eredményében a felszínen, és ennek a hatásnak a horizontális kiterjedésére is kapunk információt. A 6. ábráról leolvasható néhány nagyon fontos megállapítás:

- a szélprofil felhasználása a mérés helyszínéhez csak egy adott távolságon belül hozott szignifikáns változást az előrejelzésben (ez körülbelül maximum 150 km-nek adódott), ami alátámasztotta az előzetes várakozásunkat;

- a vertikális mérési adatok alkalmazása az előbb említett területen belül kettő jól elkülönülő zónát jelöl ki: LHZA repülőtértől északra egyértelműen javultak, míg délre inkább romlottak az eredmények. Ez szintén várható volt, hiszen a korábban említett déli szélirány miatt a mérési ponttól északra lévő terület irányába tudta a modell figyelembe venni pontosan a légmozgást;
- ez nem csak magának a szélkarakterisztikáknak a pontosítását, hanem az északi irányba való hőmérséklet és nedvesség advekciónak (szállításának) precízebben történő figyelembevételét tette lehetővé, aminek eredménye az ábrán fehér körrel jelzett területen az egyértelmű javulást mutatja.

Az alkalmazott vizsgálati módszer alapján világossá vált, hogy időjárási helyzetétől függően egy-egy mérőállomás horizontálisan várható hatása – adott modellkonfiguráció mellett – mintegy 80–100 km-es távolságig várható. Természetesen ezek még csak előzetes eredmények, így további vizsgálatokat igényel a szóban forgó probléma megoldása, hiszen tesztelnünk szükséges a teljes profil esetén (hőmérséklet, relatív nedvesség, szélirány és szélsébség együttesen) és különböző időjárási helyzetekben is az adatokra vonatkozó modellérzékenységet.

A fentiek ismeretében a turbulencia előrejelzésében/megfigyelésében a repülőtéren célszerűnek mutatkozik egy olyan meteorológiai mérődrón-rendszer alkalmazása, amely pontosabb adatokkal látja el a kialakítandó turbulenciaveszélyre figyelmeztető rendszert, és így hozzájárulhat a repülésbiztonság magas szinten tartásához a drónrepülések során is.



6. ábra

Egy vertikális szélmérs hozzáadott értékének vizsgálata az előrejelzés pontossága szempontjából, LHZA repülőtér, 2021. november 3-án

(Megjegyzés: A zöld szín a javuló, a piros a romló, a szürke az indifferens hatást mutatja az adott felszíni mérőállomás esetében) [Kardos Péter és Bottyán Zsolt által szerkesztett ábra]

8. Befejezés

A drónok és a velük megjelenő új technológiák folyamatosan formálják és bővítik alkalmazási területeiket. Ezért a repülőtereken való hagyományos légi járművekkel való egyidejű alkalmazásukra is előbb több igény mutatkozik, ezért szükséges egy olyan közös UTM–ATM–környezet létrehozása, amely a közös forgalom kezelését biztonságossá teszi. Ennek részét képezi az előre tervezett repülési adatok és az aktív adatok biztosítása egy közös felületen, de a drónrepülések egyéb specifikumait, azok hatásait is figyelembe kell venni a forgalomkezelés során. Kutatásunk következő két évében az elméleti kutatási eredményeink gyakorlati megvalósításával olyan megoldásokat szeretnénk kidolgozni, amelyek mind a drónpilóták, mind a hagyományos légi járművek pilótái, a repülőterek és légi forgalmi szolgálatok számára is hasznos tudást biztosítanak.

Irodalomjegyzék

- [1] Eurocontrol Corus, *U-space Concept of Operations*. SESAR 4/9/2019
- [2] 4/1998 (I. 16.) Korm. rendelet a magyar légtér igénybevételéről
- [3] SESAR, *Delivering Drone Solutions for Smart and Sustainable Air Mobility, U-space Research and Innovation Portfolio*. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2021. Online: www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/U-space%20Randl%20portfolio.pdf
- [4] SESAR, *Concept of Operations for European UTM Systems, Final Version, CORUS*, 2019. Online: www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/u-space/CORUS%20ConOps%20vol2.pdf
- [5] Bali T., „Ajánlások az UAV-k biztonságos légi és földi üzemeléséhez szükséges (repülési) szabályokra,” *Repüléstudományi Közlemények*, 26. évf. 3. sz. pp. 7–12. 2013. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2013_3/2013-3-01-Bali_Tamas.pdf
- [6] Ancel, Ersin et al., *Real-time Risk Assessment Framework for Unmanned Aircraft System (UAS) Traffic Management (UTM)*. AIAA AVIATION Forum, Denver, Colorado 2017. Online: <https://doi.org/10.2514/6.2017-3273>
- [7] Liliana, L., “A New Model of Ishikawa Diagram for Quality Assessment,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 161. évf. pp. 012099. Online: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/161/1/012099>
- [8] Burin, J., “Being Predictive in a Reactive World,” *ISASI Journal*, 46. évf. 1. sz. 2013. Online: <https://isasi.org/Documents/library/technical-papers/2012/1-Making-Safety-Predictive-in-a-Reactive-World-Jim-Buren.pdf>
- [9] Kopardekar, P. et al., “Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) Concept of Operations to Safely Enable Low Altitude Flight Operations,” *16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operation Conference*, Washington, D.C., 2016. június 13–17. Online: <https://doi.org/10.2514/6.2016-3292>
- [10] Tomić, L., Čokorilo, O., Macura, D., “Runway Pavement Inspections Using Drone – Safety Issues and Associated Risks,” *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 10. évf. 3. sz. pp. 278–285. 2020. Online: [https://doi.org/10.7708/ijtte.2020.10\(3\).02](https://doi.org/10.7708/ijtte.2020.10(3).02)

- [11] S. V. Shvetsova, A. V. Shvetsov, "Ensuring Safety and Security in Employing Drones at Airports," *Journal of Transportation Security*, 14. évf. 1–2. sz. pp. 41–53. 2021. Online: <https://doi.org/10.1007/s12198-020-00225-z>
- [12] Radnóti I., Faragó K., „A kockázatpercepció és a kockázattvállalás vizsgálata egy fegyveres testületnél,” *Magyar Pszichológiai Szemle*, 60. évf. 1–2. sz. pp. 29–50. Online: <https://doi.org/10.1556/mpszle.60.2005.1-2.3>
- [13] Vas T., Fekete Cs. Z., „UAV az ellenőrzött repülőtér forgalmában, avagy egy szimuláció tapasztalatai,” *Repüléstudományi Közlemények*, 25. évf. 2. sz. pp. 371–383. 2013. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-28-Vas_Timea-Fekete_Csaba.pdf
- [14] Vas T., Fekete Cs. Z., Palik M. (szerk.), *Kutatási jelentés a 3D TWR, és a LETVIS radar szimulátor berendezéseken végrehajtott légi forgalmi irányítói gyakorlatok kutatási eredményeiről*. 2013.
- [15] Alonso, C. M., *UAS Sensitivity to Wake Turbulence for Establishing Safety Distance Requirements*. Universitat Politècnica de Catalunya Master in Aerospace Science & Technology. 2014. szeptember.
- [16] I. De Visscher, G. Winckelmans, V. Treve, *A Simple Wake Vortex Encounter Severity Metric*. Eleventh USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2015).
- [17] Bottyán Zs. et. al., „Rutinszerű légköri vertikális profilmérések végrehajtására alkalmas drón mérőhálózat kialakítása,” *Közlekedés és Mobilitás*, 1. évf. 1. sz. pp. 1–11. 2022. Online: <https://doi.org/10.55348/KM.16>
- [18] European RPAS Steering Group, *Roadmap for the Integration of Civil Remotely-Piloted Aircraft Systems into the European Aviation System*. Final Report Annex 2. 2013. június. Online: www.sesarju.eu/sites/default/files/European-RPAS-Roadmap_Annex-2_130620.pdf

Integration of UAS into Traffic of the Aerodrome

The integration of UASs (Unmanned Aircraft Systems) into civil and any special use of airspace have already started. Their integration into the air traffic management system is being done by reducing the risks that can be identified in the operational environment. UASs are seen as a threat in the airport environment, but their increasingly wide range of applications as work drones make them a more cost-effective and cheaper solution for many tasks. The conditions under which they can be integrated into airport traffic depend on many factors. In our research plan, we are working on the development of decision support solutions that model the use of UAS work drones and conventional aircraft in joint airspace and airports using VR, AR tools, risk assessment and mitigation solutions and specific ATC procedures. Our model airport uses the model for state flights as a starting point.

Keywords: aerodrome, UAS, conventional aircraft, integrated operation, flight safety

<p>Dr. Vas Tímea alezredes, egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék</p> <p>vas.timea@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0082-0370</p>	<p>Tímea Vas, PhD Lieutenant Colonel, Associate Professor University of Public Service Faculty of Military Sciences and Officer Training Aerospace Controller and Pilot Training Department</p> <p>vas.timea@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-0082-0370</p>
<p>Halászné dr. Tóth Alexandra légi közlekedési jogász, főosztályvezető Honvédelmi Minisztérium Állami Légügyi Főosztály h.toth.alexandra@gmail.com orcid.org/0000-0002-5410-621X</p>	<p>Alexandra Halászné dr. Tóth Aviation Lawyer, Head of Department Ministry of Defence State Aviation Department h.toth.alexandra@gmail.com orcid.org/0000-0002-5410-621X</p>
<p>Dr. Bali Tamás ezredes, parancsnok MH Kiss József 86. Helikopterandár</p> <p>bali.tamas@hm.gov.hu orcid.org/0000-0001-6098-8602</p>	<p>Tamás Bali, PhD Colonel, Commander Hungarian Defence Forces Kiss József 86th Helicopter Brigade bali.tamas@hm.gov.hu orcid.org/0000-0001-6098-8602</p>
<p>Dr. Dudás Zoltán alezredes, egyetemi docens Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék</p> <p>dudas.zoltan@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8682-884X</p>	<p>Zoltán Dudás, PhD Lieutenant Colonel, Associate Professor University of Public Service Faculty of Military Sciences and Officer Training Aerospace Controller and Pilot Training Department</p> <p>dudas.zoltan@uni-nke.hu orcid.org/0000-0002-8682-884X</p>
<p>Dr. Bottyán Zsolt vezető kutató-fejlesztő munkatárs Mould Tech Systems</p> <p>zsolt.bottyan@mouldtech.hu orcid.org/0000-0003-0729-2774</p>	<p>Zsolt Bottyán, PhD Senior Research and Development Associate Mould Tech Systems zsolt.bottyan@mouldtech.hu orcid.org/0000-0003-0729-2774</p>

Gajdos Máté
százados, tanársegéd
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék

gajdos.mate@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-3572-4637

Máté Gajdos
Captain, Assistant Lecturer
University of Public Service
Faculty of Military Sciences and Officer
Training
Aerospace Controller and Pilot Training
Department

gajdos.mate@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-3572-4637

Fekete Csaba
alezredes, tanársegéd
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék

fekete.csaba@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-1181-8276

Csaba Fekete
Lieutenant Colonel, Assistant Lecturer
University of Public Service
Faculty of Military Sciences and Officer
Training
Aerospace Controller and Pilot Training
Department

fekete.csaba@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-1181-8276

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



AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROGRAM