

Drónveszély a légiközlekedésben A veszélycsökkentési módszerek kihívásai

Orbán József*

*HungaroControl Zrt. CNSI Igazgatóság
(Tel: 36-1-2934100; e-mail: jozsef.orban@hungarocontrol.hu).

Absztrakt: A pilóta nélküli légi járművek gyors terjedése szükségessé teszi a használatukból származó kockázatok becslését, az eszközök helyének meghatározását és beintegrálásukat a polgári légiközlekedés rendszerébe. A légi járművek kismérete, mozgékonyasága, kismagasságú repülése miatt a hagyományos eszközök nem alkalmasak felderítésükre. Az eszközök nyomon követésére új felderítési eszközökre és módszerekre van szükség. A gyenge észlelhetőség miatt javasolt a kooperatív felderítés új alapokra helyezése, a nem kooperatív felderítés érzékenységének további javítása és a LIDAR technológia beintegrálása is. A technológiai háttér fejlesztése mellett szükség van a vonatkozó törvényi szabályozás kidolgozására.

1 BEVEZETÉS

A pilóta nélküli repülőeszközök és az általuk szállított felderítő és rádiófrekvenciás készülékek terjedése forradalmi méreteket öltött az elmúlt években. Ezt jól jellemzi az European Aviation Safety Agency (EASA) jelentése, amely 2014-re vonatkozó egy millió darab legyártott, s 2015 végéig újabb két millió példánnyal való továbbnépesedésével számol. Ipari-, védelmi- és hobbicélú alkalmazása e területen új dimenziókat nyitott. A pilóta nélküli repülőeszközökkel kapcsolatosan számos elnevezést használnak. Az angol összefoglaló megnevezés Unmanned Airborne Vehicle (UAV), vagy más megnevezés szerint Unmanned Aircraft System (UAS), melynek távvezérelt alfaja a távirányított Remotely Piloted Aircraft System (RPAS). Az EUROCONTROL az RPAS kifejezést használja, mivel a polgári légiközlekedés biztonságával a teljesen önálló és csak előre programozott, avagy mesterséges intelligencián alapuló vezérléssel ellátott eszköz nem egyeztethető össze. A polgári légiközlekedésbe csak az RPAS rendszerek integrálhatók be (Cordón et al. 2014.). Az ICAO besorolási rendszere az UAS kategórián belül egyértelműen külön kezeli az RPAS és a nem távvezérelt pilóta nélküli légi járműveket (Autonomous Aircraft Systems), megjegyezve, hogy az RPAS-nak is lehetnek olyan repülési szegmensei, amikor azt autonóm módon kell teljesíteni. (ICAO, 2015.)

Ezen eszközök alkalmazásának gyors terjedését azonban a jogi szabályozás, a felderítés, az elhárítás és az etikus felhasználási szemlélet kialakulása sem követte. Ennek veszélyei az élet minden területén megjelennek a gyalogos, a közúti és a légi közlekedésben egyaránt. A kihívások közül a légiközlekedésre gyakorolt hatását és a lehetséges felderítési módszerek rövid interdiszciplináris érintettségű áttekintését célozza meg az alábbi gondolatcsor.

2 A KOCKÁZATOK ELEMZÉSE

A lehetséges veszélyforrások, mibenlétük, a veszélynek kitett eszközök elemzése alapvetően szükséges a védekezési módszerek kidolgozásához. Az áttekintést a következő alpontok foglalják magukban.

2.1 A veszélyforrásnak tekintett eszközök és kockázataik csoportosítása

A legfőbb kockázati tényezőket áttekintve hét veszélyforrás-csoport nevesíthető: maga a repülő eszköz, a tipikusan non kooperatív légtérhasználat, a repülő eszköz energiaforrása, az eszközvezérlő kommunikációs kapcsolata, a fedélzeti vezérlés, a helyzet meghatározó rendszer és a gyűjtött adatok rádiófrekvenciás továbbítása. A csoportosítás a felderítés és az elhárítás szempontjából is értelmezhető, amely további alcsoportokat tartalmaz. A repülő eszköz mérete, felhasznált alapanyagai és repülési módja alapvetően meghatározza a felderítési módszereket. Az üzemszerűen jelenleg használt non kooperatív légtérfelderítő radarok az emberi vezérléssel működő légi járművekre optimalizáltak, a hatásos radarkeresztmetszet és a feldolgozási metodika szempontjából egyaránt. Alapvetően meghatározó tényező a visszaverő felület, a visszavert jel spektruma, a céltárgy sebességvektora és gyorsulása. A nagyméretű szállító és felderítő eszközök céltárgy kategorizálás szempontjából nem térnek el a hagyományos légi járművektől. A tipikusan non kooperatív légtérhasználati mód miatt nem sugároz szabványosan értékelhető és feldolgozható azonosító adatokat, amely a hagyományos értelmezés szerint atipikus jellegű visszavert echók általi felderítési problémákat jelentősen orvosolhatná. Az energiaforrás is jelentősen eltérő lehet, mivel tipikusan már nem lokális energiatermelés történik az eszközön, hanem energia pufferből hő és zajmentes ellátást biztosítanak. Terror vagy harci célú

alkalmazás esetén a kevert energiaellátás is megvalósítható, amellyel a nagyobb távolságról való indíthatóság és a közel téri lopakodás egyaránt jellemzője lehet az eszköznek. Az energiatermelés hiánya az infravörös és az akusztikus felderíthetőséget csökkenti nagymértékben. Az energia puffer jellemzően lítium akkumulátor, amely burkolatsérülés esetén tűzveszély forrása. Amennyiben az UAV távvezérelt, újabb kockázati elemek veendő figyelembe. Az adatsere folyamán használt RF sugárzás megzavarhat más eszközt, avagy más eszköz is zavart okozhat a vezérlési pont és az UAV közötti kommunikációban. Fontos kérdés ez utóbbi, mert a vezérlését elvesztett repülő mindenképp hangsúlyos kockázati elemként jelenik meg. A fedélzeti vezérlést célszerű külön kockázati elemként megemlíteni, mert amennyiben programhiba, avagy zavartatás miatt nem a szándékolt parancsot hajtja végre az eszköz, vagy teljesen kontrolálhatatlanná válik és potenciális fenyegetést jelent. A teherautók nyomkövetését lehetetlenítő – amúgy illegális – GPS blokkolók hatása az UAV saját fedélzeti GPS-ére, ami egyéb tényezők kedvezőtlen együttállása esetén megzavarhatja a légi jármű további mozgását. A kistömegű eszközök különösen érzékenyek a szélnyírásra, ezért a szélben üzemeltetett UAV fokozott kockázatot jelent.

A technológiaváltozás, a gyakorlati tapasztalatok, avagy egy más szemszögből készített elemzés további kockázati tényezőket azonosíthatnak, így a jövőben újabb kockázati elemek kiküszöbölésére is fel kell készülni.

2.2 A közlekedésben UAV veszélynek kitett eszközök

A veszélyeztetett elemcsoportok a légi és a földi járművek, a közlekedésirányítás infrastruktúrája, így különösen a navigációs, rádiókommunikációs és radarberendezések. Ezeknek működését megzavarhatja, vagy akár fizikai kárt is okozhat bennük. A légi közlekedésben elsősorban a polgári és katonai légi járműveket lehet tekinteni veszélyeztetett eszköznek. Magam részéről hangsúlyozom az ellenőrzött légtéren kívül mozgó légi járművek veszélyeztetettségét. Gyakorlati problémával is alátámaszható a gyűjtött adatok, képek, videofelvétel lesugárzása okozta kockázat. Ennek egyik csatornája (1080 MHz) a rigai DME (1081 MHz) működését megzavarta. Még gyakorlati tapasztalat nem áll rendelkezésre hogy az SSR/IFF interrogátorok és MLAT rendszerek 1090 MHz-en működő vevőire milyen hatást gyakorolna egy térben közeli 1080 MHz-en történő video streaming.

2.3 A felhasználási módból eredő kockázatok áttekintése

A kockázati csoportosítás megközelíthető a felhasználási szándék szemszögből is. A szándékos veszélyeztetés, a terrorcselekmény elkövetése, gondatlan veszélyeztetés, avagy műszaki zavar. Az Unió és a hazai jogi szabályozás hiánya azt a tévképzetet alakíthatja ki, hogy az UAV-kat korlátok és szankciók nélkül lehet alkalmazni, ezért a megfelelő szabályozók a jóhiszemű felhasználók és a veszélyeztetett légtérhasználók számára egyaránt kiemelkedő

fontosságúak. A felderítés az eszközök jóhiszemű alkalmazása esetén is fontos, azok nyomon követése az esetleges kockázatváltozás folyamatos ellenőrzése érdekében.

3 VESZÉLYCSÖKKENTÉSI MÓDSZEREK

Az UAV okozta veszély csökkentésének első lépése a kockázatok felmérése és modellezése. A második legfontosabb teendő a felderítés megfelelő kidolgozása. A felderített eszközök azonosítását követően meghatározható a következő taktikai lépés sorozat, amely a kármegelőzést szolgálja.

3.1 UAV által okozott veszélyek modellezése

Az új fejlesztések egyik fontos lépése a fejlesztéssel kapcsolatos környezeti hatástanulmány, a veszélyek számbavétele, azok súlyosságának modellezése. A 2006-os Arizonában történt Predator B UAV baleset utáni NTSB vizsgálat számba vette a kockázatokat és a kockázatra utaló jeleket. Ezek között sorolják fel a gyanús riasztások, a transzponder elvesztése, a kommunikációs kapcsolat megszűnése utáni hajtómű újraindítás, nem dokumentált karbantartás, gyenge karbantartási terv, a kockázatok nem kellő felmérése, stb. (NTSB, 2007). Ezeket a kockázatokat egyenként és együttes fellépést feltételezve is szimulálni kell.

3.2 UAV felderítési lehetőségek

Az UAV felderítés az akusztikus, a rádiófrekvenciás, az infravörös és a látható fény tartományára terjedhet ki. A rádió frekvenciás felderítés lehet sugárzás figyelésen, avagy radarelvén alapuló módszer. A módszerek és eszközök önállóan is használhatóak, de a kisméretű „lábnyom” miatt javasolható ezek együttes használata az információfüzítő elvét használva.

3.2.1 Akusztikus felderítés

Az akusztikus módszereknél figyelembe kell venni, hogy a kisméretű eszközök jelentős része önállóan energiát nem termel, nagyon kissúlyú ezért ezek zajkibocsátása alacsony, a környezeti zajba süllyedhet saját zajuk. A hang terjedési sebessége miatt csak a jelenlét észlelésére használható, de elhárítás alapjául kevésbé várható alkalmazásuk.

3.2.2 A rádiófrekvenciás spektrum figyelése

A pilótánélküli légi járművek kis energiával ugyan, de nagyon sok frekvencián sugároznak ki magukból rádiófrekvenciás jelet. A távműködtetés rádiófrekvenciás vezérlése, s amennyiben nincs közvetlen rálátás, akkor az eszköz környezetét észlelő kamera videó jelének sugárzása folyamatos sugárzást, és viszonylag nagy kisugárzott rádiófrekvenciás teljesítményt igényel. Hasonlóképp a felderítésre online használt eszközök folyamatosan sugározzák az érzékelő jeleit, amely alapján a pilótánélküli légi jármű és annak vezérlője azonosítható, s helyzetük meghatározható. A védendő terület körül elhelyezett

vevőberendezéseik jeleiből számítható az eszköz tartózkodási helye. A vezérlő rádióadó a földön helyezkedik el kisebb optikai rálátással, ezért helymeghatározása nehezebb.

3.2.3 Nem kooperatív radarelvű felderítési módok

A nem kooperatív, passzív felderítés fontosságát megalapozza az a tény is, hogy a kommunikációs kapcsolat elvesztésekor nincs ember a fedélzeten, aki az adott helyzethez szabott eljárások hiányában is képes alternatív kockázatsökkentési módszereket keresni. A mesterséges intelligenciával is rendelkező eszközök helyzetfüggő döntési képessége korlátozott, ezért alaphelyzetben is minden pilóta nélküli eszközt javasolt non kooperatívként kezelni. A kis hatásos radar keresztmetszet miatt (RCS) a felderíthetőség komoly kihívást jelent. Az azonos összsúlyú merevszárnyú és multikopter jelviszaverő tulajdonságai jelentősen eltérnek egymástól, mivel a merevszárnyú nagyobb hatásos felületet képvisel, a rotorok viszont nagy jel modulációt eredményeznek. A jelenleg használatban lévő polgári radarberendezések észlelési képességét legalább egy-két nagyságrenddel nagyobb hatásos keresztmetszetű céltárgyra vonatkoztatják. A jelenlegi eszközökkel történő felderíthetőséget tovább rontják azok a tények is, hogy a nagy hatótávolság miatt szükséges jelentős adóteljesítmény az alkalmazható adásvétel kapcsoló feléledése hosszabb idő, továbbá nagy impulzus szélesség is rontja a berendezés közelében a felderíthetőséget. További nehézséget jelent, hogy a radarok állócel kioltása érdekében megemelik az antenna nyálábját, ami a tipikusan kismagasságban repülő tárgyak felderíthetőségét még tovább rontja. Hazai kutatások a hajtóművek keltette speciális moduláció észlelésén keresztül célozták meg a felderítés hatékonyságának növelését. A mobil távközlési szolgáltatók frekvencia igénye miatt várható, hogy hamarosan korlátozhatják a nonkooperatív radarfelderítésre dedikált sávok használatát. Ez a fejlődési tendencia arra készítette a légtérfelderítéssel foglalkozó gyártókat, hogy civil célokra is új észlelési eljárásokat dolgozzanak ki. Jó kísérleti eredményeket lehet már felmutatni a digitális tv műsorszórás (DBTV) és a digitális rádió műsorszórás (DAB) adására épülő multisztatikus felderítés fejlesztésének területén, ahol az eredeti szolgáltatásnyújtás (műsorszórás) és az UAV-k manőverezési területe egybe esik. A GSM adókat a kis teljesítmény miatt nem tekintik fejlesztési alapnak. A DVBT adó rádiófrekvenciásan bevilágított területén elhelyezett vevőcsoport egymástól függetlenül veszi az adó jelét, amit a kisugárzott jellel, mint referenciával hasonlítanak össze. Az egyes vételi pontok közötti jeletérésből becsülhető a céltárgy helye (Bezoušek – Schejbal, 2008.) A jelfeldolgozás nagymennyiségű adat gyors feldolgozását igényli, amit egész sajátosan a videó játékokhoz kifejlesztett nagyteljesítményű videoprocesszorok célnak megfelelő programozásával oldanak meg. Az UAV-k felderítéséhez további számítások is szükségesek, mert a megfigyelt térben más reflektáló felületű tárgyak is mozoghatnak. Az UAV-k forgószárnya keltette speciális modulációra jellemző jelformák figyelése a pilótánélküli légi jármű kategóriájának meghatározására is

lehetőséget nyújt. Itt említendő meg, hogy a passzív és aktív felderítés tématerülettel kapcsolatosan a Budapesti Műszaki Egyetem Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszékén többirányú kutatások folynak.

3.2.4 Kooperatív felderítési utak

Kézenfekvő, hogy a meglévő rendszerekhez illeszkedjen az UAV, ami feltételezi a távvezérelhetőséget és célszerűen a fedélzeti MODE-S válaszadót, amely már az RPAS kategóriát jelenti. A transzponder mérete és energia ellátási problémái miatt felmerül az igény új és kifejezetten az RPAS célokra kifejlesztendő kooperatív felderítési rendszerre.

3.2.5 Optikai felderítési lehetőségek

Az optikai felderítés alapvetően az infravörös és a látható fény tartományára értelmezhető, figyelembe véve az eltérő tulajdonságokat. Az infravörös tartományban kihasználható az, hogy az UAV-k működésük közben hőt termelnek, így a környezet megfigyelő infravörös kamerával észlelhetőek.

A videokamerás megfigyelés megvalósításának egyik előnye, hogy egyes infrastrukturális elemek már más célból kiépítésre kerültek a repülőtereken, illetve azok környezetében, így korszerű érzékelők esetén szerencsés esetben elegendő lehet a meglévő képek feldolgozása UAV felderítésre optimalizált kép- és mozgásfelismerő algoritmusok használata.

LIDAR (Light Detection And Ranging) alkalmazásával nem csak a felderítés egyik alternatívája nyílik meg, hanem egy speciális nyomkövetési lehetőség is. Kriminálisztikai helyszínelési célokra is kifejlesztett mobil eszköz (Wen et al., 2013) az UAV felismerésére optimalizált programmal viszonylag rövid idő alatt megvalósítható felderítőeszköz lehet.

3.2.6 Információfeldolgozás és adatfűző

Az információ feldolgozás – amint arra utaltam a multisztatikus felderítésnél – a nagy mennyiségű információ halmaz miatt multiprocesszoros párhuzamos feldolgozást igényel. Az egyes szenzor csoportoktól érkező információkat egymással is korreláltatni kell valós időben.

3.3 Vezérlését elvesztett RPAS eszközök

A távolról vezérelt pilótánélküli eszközök egyik reális kockázata a vezérlés elvesztése. Ezt a kockázati tényezőt több szinten is kezelni szükséges. A vezérlés elvesztésekor szükséges, hogy rendelkezzen olyan beépített rutinokkal, amely előre meghatározott helyre vezérli. Minden egyes kockázati tényezőre külön fel kell készíteni az eszközöket, ami nagyon alapos tervezést kíván meg.

3.4 UAV elhárítási lehetőségek

Az UAV elhárítás feladata nem csak a rossz szándékú felhasználókra vonatkozik, hanem a meghibásodott eszközökre is. A vezérelhetetlen, avagy már nem

megengedhető kockázatot jelentő UAV-k miatt az elhárítás alapelveit is ki kell dolgozni, azaz nem ellenséges, de megbízható eszköznel is felmerülhet a megsemmisítés, mint utolsó lehetőség. Fontos felhívni a figyelmet arra, hogy az eszközök nagy száma miatt valószínűségi számításokat figyelembe véve nem hanyagolható el a jó szándékú alkalmazás ellenére kockázatot jelentő eszközökkel szembeni elhárítás igénye. A forró pontok becsléséhez és a hozzájuk rendelhető kockázati érték meghatározásához javasolható a Bayes-hálók alkalmazása.

Az elhárítási lehetőségeket több kategóriába sorolhatjuk: a humán megoldás, a vezérlés átvétele, a vezérlés lehetetlenné tétele vagy megsemmisítése, az eszköz elfogása vagy megsemmisítése.

4 MILYEN LENNE AZ IDEÁLIS UAV?

A kérdés a közlekedés biztonsága, a számonkérhető eszköztervezés miatt nem elméleti. Jelenleg a gyártókkal szembeni elvárásokat sem határozták meg kellő körültekintéssel, ami pedig szintén veszélyforrás.

Az ideális UAV az lehetne, amely a légi közlekedés számára nem jelent többlet kockázatot, a polgári légi közlekedés integráns része, azaz RPAS-nak tekinthető. Rendelkezik SSR válaszadóval, a jogosítással rendelkező távirányító pilóta rádiókapcsolatot tart a releváns légiforgalmi irányító központtal. Az időjárási körülményeknek és a repülési módnak megfelelő fedélzeti műszerezettséggel rendelkezik. Az elektronikai vezérlő rendszerei duplikáltak, s megfelelő önellenző rendszer felügyeli a fedélzeti eszközöket. A mikroelektronika fejlődése ezek közül számos kihívást megoldott, vagy hamarosan meg fog oldani kivéve azokat a problémaköröket, melyeket valamilyen fizikai törvényszerűség behatárol úgy, mint a kimenő RF teljesítmény és az ehhez szükséges energiaellátás.

5 SZABÁLYOZÁSI KÉRDÉSEK

Az első pilóta nélküli légi járművel kapcsolatos hivatkozás 1929-re datálható, mégis majd egy évszázadnak kellett eltelténi, hogy a vonatkozó jogalkotás folyamata érdemben meginduljon. Törvényi szabályozás nélkül nincs meghatározva a társadalom által elvárt magatartási forma. A nullum crimen sine lege elve alapján törvény hiányában nincs büncselekmény, s a felelősségre vonás is csak akkor nyílik meg, ha az adott tényállás kimeríti más büncselekmény tényállását. Bár nem műszaki kérdés, de vitathatatlan, hogy a veszélycsökkentés egyik fontos eleme a betartható, betartott és szankcionált törvénysértés, továbbá a tényállást megfelelően dokumentáló rendszer. A kártérítési pereket elkerülendő hasonlóképp fontos az UAV-k által okozott veszélyeztetést és a megsemmisíthetőségüket leíró tényállás is.

A légi közlekedés nemzetközi szervezete 2015-ben kibocsátotta a pilótánélküli légi járművek használatára vonatkozó kézikönyvét (ICAO, 2015.). Az Egyesült Államokban az FAA is ez évben terjesztette elő szabályozás szempontjából érdemi törvényjavaslatát, melynek társadalmi

vitája folyamatban van. (DOT, 2015.). Az FAA megkülönbözteti az állami, üzleti célú és hobbi alkalmazást, s ennek megfelelő ajánlást tesz a légtér felhasználók felé (FAA, 2015.). Az európai szervezetek lemaradása nagyobb. Az EASA ez év végére kívánja a Tanács elé terjesztetni a tényleges szabályozási javaslatát. (EASA, 2015).

Hazai szabályozás még nincs. Felmerül a kérdés, Unió tagországi lenne értelme előbb szabályozni, mint az EU melynek iránymutatása kötelezően beépítendő és a jogalkotási folyamatunk erre kell, hogy alapuljon?

6 KÖVETKEZTETÉSEK

A címben szereplő veszély valós. Az UAV-k gyártása, használata, felderítése, szükség esetén törvényes megsemmisítése és az ehhez biztonsággal használható eszközök kifejlesztése még csak folyamatban van. A veszélyhelyzetek modellezése sem történt meg. A feladatok végrehajtása nem várható magára tovább.

7 HIVATKOZÁSOK

- Bezoušek, P. – Schejbal, V.(2008): Bistatic and Multistatic Radar Systems, *Radioengineering*, **Vol.17, No. 3**, pp.53-59.
- Cordón, R.R., - Sáez Nieto, F.J. – Cuerno Rejado C. (2014): RPAS Integration in Non-segregated Airspace: the SESAR Approach. System interfaces needed for integration. Hozzáférés: 2015.10.10. <http://www.sesarinnovationdays.eu/sites/default/files/media/SIDs/SID%202014-19.pdf>
- DOT (2015): Operation and Certification of Small Unmanned Aircraft Systems, [Docket No.: FAA-2015-0150; Notice No. 15-01] Hozzáférés: 2015.10.10. https://www.faa.gov/regulations_policies/rulemaking/recently_published/media/2120-AJ60 NPRM 2-15-2015 joint signature.pdf
- EASA (2015): Concept of Operations for Drones A risk based approach to regulation of unmanned aircraft, Hozzáférés: 2015.10.10. https://easa.europa.eu/system/files/dfu/204696_EASA_concept_drone_brochure_web.pdf
- FAA (2015): Overview of Small UAS Notice of Proposed Rulemaking. Hozzáférés: 2015.10.10., https://www.faa.gov/regulations_policies/rulemaking/media/021515_sUAS_Summary.pdf
- ICAO (2015): Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) Hozzáférés: 2015.10.10., <http://www.wyvernlttd.com/wp-content/uploads/2015/05/ICAO-10019-RPAS.pdf>
- NTSB, (2007): NTSB Cites Wide Range of Safety Issues In First Investigation of Unmanned Aircraft Accident. Hozzáférés: 2015.10.10. http://www.nts.gov/news/press-releases/Pages/NTSB_Cites_Wide_Range_of_Safety_Issues_In_First_Investigation_of_Unmanned_Aircraft_Accident.aspx
- Wen, C. - Chen, H. – Lin, C. – Yang, W.(2013): A Study of Applying Light Detection and Ranging (LIDAR) to

Crime Scene Documentation, *Forensic Science Journal*,
Vol.12. pp.31-46.