

A pilóta nélküli repülőgépek alkalmazása az iparbiztonság területén

A pilóta nélküli repülőgépek (PNR) katasztrófavédelmi célú alkalmazására mint a közszolgálati alkalmazások egyik jellemző példájára ma már nemcsak nemzetközi, de magyarországi példákat is találhatunk. A szerző az iparbiztonság területét érintően mutatja be a PNR alkalmazásának néhány lehetőségét. A rendelkezésre álló kevés számú releváns szakirodalom áttekintésén túl a szerző felhasználta a szakterületen szerzett gyakorlati tapasztalatait, adaptálta mások e szakterülethez köthető kísérleteinek eredményeit, ezeken túlmenően a logikai következtetés és rendszerezés, valamint – a hatékonyság vizsgálatának értékeléséhez – közgazdasági szempontú megközelítés módszereire is támaszkodott.

A PNR iparbiztonsági célú alkalmazására alapvetően kétféle lehetőség adódik: az egyik a hatósági munkát elősegítve a balesetek megelőző tevékenységéhez, a másik a már bekövetkezett balesetek hatékony felszámolásához kapcsolódik. A kutatás eredményeként a szerző számba vette az alkalmazás tipikus lehetőségeit, konkrét példákkal is bemutatva bizonyítja azok hasznosságát, rámutat bizonyos kockázatokra és javaslatokat tesz a további kutatások irányára is.

Kulcsszavak: pilóta nélküli repülőgép, PNR, iparbiztonság, hatósági ellenőrzés, hatékonyság, 3D képalkotás

Bevezetés

A pilóta nélküli repülőgépek (a továbbiakban: PNR) katasztrófavédelmi alkalmazása – még ha egyre gyakrabban is találunk rá ma már példákat – még egyáltalán nem tekinthető általánosnak, annak ellenére sem, hogy a kereskedelmi és katonai célú repülések száma egyértelműen dinamikus növekedést mutat (Blyenburgh, 2009). A PNR mind katonai, mind kereskedelmi célú, egyre szélesebb körű alkalmazása azt a kérdést veti föl, hogy előnyös lehet-e ezt az eszközt a katasztrófák megelőzése és felszámolása során is bevetni, vagyis a PNR alkalmazása csökkentheti-e az erőforrások szűkösségét, növelheti-e a megelőző és beavatkozó tevékenységek hatékonyságát. Ennek vizsgálata különösen olyan eseteknél lehet előnyös, amikor a légi felderítés – egyébként – bizonyosan hatékony se-

gítséget nyújthatna, de a hagyományos, vagyis pilótával a fedélzetén repülő repülőgép alkalmazásának költsége nagyon magas, ezért az elmarad. A PNR egyik közismert előnye, hogy olcsóbb, mint a hagyományos légi felderítés, így a vizsgálat bizonyosan célszerű. Az alacsonyabb költségek azonban azt is lehetővé teszik, hogy a PNR alkalmazása az eddig légi felderítéssel nem támogatott feladatok esetében is felvetődjön, mivel a hatékony alkalmazás szélső (kezdeti) értéke a költségek szempontjából alacsonyabbá válik.

A katasztrófák során a beavatkozások általános jellemzője, hogy a felszámolásért felelős szervek erőforrásai korlátozottak, ha úgy tetszik, hiányosak. Ennek a hiánynak a csökkentése érdekében minden új eszköz, módszer alkalmazásának lehetőségét meg kell vizsgálni. Amennyiben mind szakmai, mind közgazdasági szempontból az új eszköz vagy módszer alkalmazása hatékonyan ítéltető, úgy annak bevezetése nemcsak lehetőség a szakemberek számára, de – a társadalom elvárásának eleget téve – erkölcsi kötelesség is.

A katasztrófavédelem egységes szervezete Magyarországon három fő pillérré támaszkodik: a megelőző és mentő tűzvédelemre, a polgári védelemre és az iparbiztonságra. A PNR alkalmazására a tűzvédelem területén már számos hazai (pl. Restás, 2004) és nemzetközi példát találhatunk (Ambrosia et al., 2006; Pastor et al., 2009), de a másik két pillér esetében az alkalmazások még nemzetközi szinten is csupán a lehetőségek feltárásának szakaszában tartanak. Ezeknek a lehetőségeknek a feltárását kívánja elősegíteni a cikk, amely a PNR iparbiztonság területén történő szűkebb és tágabb értelemben vett alkalmazásait igyekszik – a teljesség igénye nélkül – számba venni.

Az iparbiztonság feladatrendszerre rendkívül összetett, ennek részletes kifejtése nem lehet témája a cikknek. Ennek ellenére egyértelmű, hogy az iparbiztonsági tevékenységek célja nem lehet más, mint a társadalom és a gazdaság működőképességének egy speciális szempontból való hatékony biztosítása. Amennyiben a PNR alkalmazásával ez a hatékonyság mind szakmai, mind gazdaságossági szempontok alapján növelhető, úgy az alkalmazás szükségszerű.

A szakmai és a gazdaságossági szempontok szerinti hatékonyság közötti különbségtétel nem véletlen. Egy – a PNR alkalmazásához hasonló, technikai jellegű – példával illusztrálva: szakmai szempontból nyilvánvalóan hatékonyabb lenne, ha a katasztrófavédelmi műveleti laborok (a továbbiakban: KML) számát megdupláznánk, hiszen így egyes esetekben gyorsabban és pontosabban tudnánk döntéseket hozni. Ennek költségeit azonban valakinek – végső soron nyilvánvalóan a társadalomnak – viselnie kell. Amennyiben a megduplázott KML által a gyorsabb és pontosabb döntések hosszabb időre vonatkoztatva átlagosan nagyobb megmentett értéket eredményeznek, mint ugyanerre az időszakra vonatkoztatva a KML-re fordított költségek, úgy nemcsak szakmai, de gazdaságossági szempontból is teljesül a hatékonyság kritériuma. Általánosságban véve egy-egy szervezeten belül a szakemberek számára természetes, hogy az első teljesülését tekintik irányadónak, és nem foglalkoznak a másikkal, illetve automatikusnak tekintik annak teljesülését is, azonban nyilvánvaló, hogy a társadalom számára ez nem föltétlenül igaz. Amennyiben

a szakembereknek a második teljesülését is sikerül igazolniuk, úgy a döntéshozóknak (a társadalom reprezentánsai) racionálisan nincs más választásuk, mint elfogadni azt. A fenti logikai sor természetesen tovább részletezhető (Restás, 2011, 2012; Restás és Bleszity, 2013), azonban ez már szintén nem témája a cikknek. Ennek ellenére a PNR iparbiztonsági célú alkalmazásának helyes megítéléséhez – nem alul-, de nem is túlértékelve a benne rejlő lehetőségeket – a fentieket a szerző fontosnak tartotta bemutatni.

Összességében tehát az első – vagyis a szakmai hatékonyság – szükséges, de nem elégséges feltétele a gazdaságossági szempontú hatékonyság teljesülésének, de a második szükségszerűen tartalmazza az első feltétel teljesülését is.

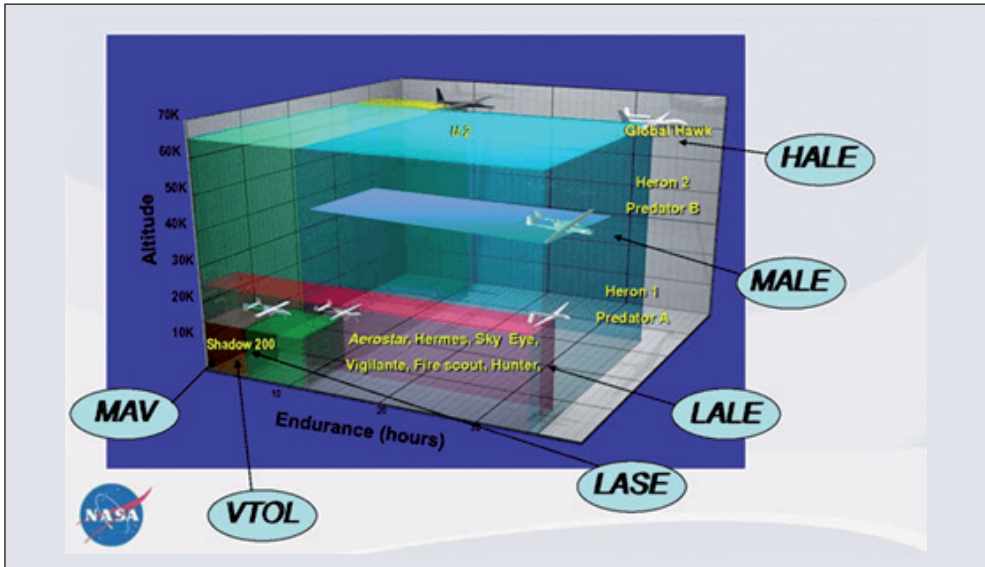
A pilóta nélküli repülőgépek fogalmának értelmezése

A pilóta nélküli repülőgépek fogalmának pontos meghatározása a választott szakirodalomtól függően változhat, hangsúlyeltolódással jelezve valamely markáns jellemzőt (Ambrosia et al., 2007; Restás, 2007, Pastor et al., 2008; Blyenburgh, 2009). A fogalom az angol nyelvterületről származtatható, kezdetben „unmanned aerial vehicle”-ről, vagyis mozaikszóval „UAV”-ről beszéltek. Ezek a légi járművek számos berendezéssel felszereltek (pl. autonavigációs rendszer, érzékelő szenzorok, adatátviteli berendezések), valamint a földi irányító állomás is hozzájuk tartozik; ezért már nemcsak magáról a repülőgépről, hanem egy teljes pilóta nélküli repülőgéprendszeréről, azaz „unmanned aerial systems”-ről, angol rövidítéssel „UAS”-ről beszélhetünk. Európai irányvonalnak tekinthető az „RPAS” rövidítés használata, amely kifejezetten hangsúlyozza azt, hogy a légijármű *nem pilóta nélküli*, hanem *pilóta által a távoból irányított eszköz*, angolul „remotely piloted aircraft systems” (Blyenburgh, 2009). Hazai kezdeményezés volt a magyar kifejezésből alkotott PNR mozaikszó használata (Restás, 2007), ám mind a hazai, mind a nemzetközi szóhasználatban a „drón” (drone) kifejezés terjed, amely bár nem túl elegáns, de többnyire közérthető. (A cikk a továbbiakban is a magyar kifejezésből származtatott PNR rövidítést alkalmazza.)

Ma már számtalan, különböző paraméterrel rendelkező PNR-típust gyártanak, ezek felsorolása nem szükséges, viszont az eligazodást segíti az 1. ábra. A rövidítések angol nyelvterületről származnak, elsősorban a repülési hatótávolság és a repülési magasság figyelembevételével, amelyek sokszor a szállítható hasznos terhet is meghatározzák. A leginkább alkalmazott jelölések a következők:

- HALE: nagy magasságú és nagy hatótávolságú (high altitude, long endurance),
- MALE: közepes magasságú és nagy hatótávolságú (medium altitude, long endurance),
- LALE: alacsony magasságú és nagy hatótávolságú (low altitude, long endurance),

- LASE: alacsony magasságú és rövid hatótávolságú (low altitude, short endurance),
- VTOL: függőlegesen fel- és leszálló (vertical take off and landing),
- MAV: nagyon kis tömegű (micro air vehicle).



1. ábra: A pilóta nélküli repülőgépek kategóriáinak magyarázó ábrája (forrás: Ambrosia, NASA, 2007)

Az iparbiztonság megelőző tevékenységének támogatása

Általánosan elfogadott megállapítás, hogy a megelőzésre fordított magasabb kiadások összességében mindig költséghatékonyabb megoldást jelentenek, mint a balesetek okozta komplex károkozás megtérítése. Ezért a megelőzésre fordított költségek haszna esetenként lehet vita tárgya, de a társadalom egészét tekintve és hosszú távon bizonyosan nem az. Különösen igaz ez az olyan iparágakban, ahol egy-egy baleset esetén jelentős károkkal számolhatunk; minden bizonnyal ide sorolhatók a veszélyes anyagok gyártásával, előállításával foglalkozó ipari üzemek is. Az ipari balesetek megelőzésének fontossága ezért nyilvánvalóan vitathatatlan; a magyarországi katasztrófavédelmi rendszer teljes megújítása ezért is tekintette különös fontosságúnak e szakterület más szakterületekkel egyenrangú, a hatékony megelőző tevékenység növelése érdekében külön pilléreként való megjelenítését. A hatékony megelőző tevékenység eredményeként egyrészt csökkenthető a balesetek kockázata, másrészt növelhető az általában jól jövedelmező, de a környezetre veszélyt jelentő ipari tevékenységek társadalmi elfogadtatása is.

A PNR iparbiztonsági célú alkalmazására számtalan lehetőség nyílik. Alapelv, hogy

ahol a hagyományos légijárművek alkalmazása valamilyen formában hasznos lehet, ott a PNR alkalmazása is nyújthat előnyöket. Természetesen nem minden hagyományos repülőgép alkalmazás cserélhető fel erre, de úgy ítéljük meg, hogy a technikai fejlődéssel együtt ezek aránya növekszik, vagyis a PNR előnyére tolódik el. Mivel a tapasztalatok azt mutatják, hogy a PNR alkalmazásával a légi alkalmazások költségeinek csökkenése várható, ezért az előbbi tételt továbbgondolva arra a következtetésre juthatunk, hogy a PNR alkalmazása a későbbiekben ott is szóba kerülhet, ahol a hagyományos légi felderítés szakmai hasznossága már eddig sem volt kétségbe vonható, viszont annak magas költségei az igénylését nem tették elérhetővé. Vagyis a PNR nemcsak hogy számos esetben helyettesítheti a hagyományos légijárművek igénybevételét, de akár olyan dimenziókba is kitolhatja a légi felderítés alkalmazását, ahol erre eddig nem lehetett példát találni. Tipikusan ilyenek lehetnek az iparbiztonság területén történő alkalmazások is.

A megelőző tevékenységek között a PNR elsősorban az ellenőrzéseknél kaphat szerepet, amely az eddigi gyakorlat hatékonyabbá tételét, annak kiegészítését, de akár új módszerek alkalmazását is szolgálhatja. A továbbiakban néhány konkrét lehetőséget mutatunk annak figyelembevételével, hogy azok részletes (pl. feladat előkészítése, repülés engedélyeztetése, adatvédelem) kibontására a cikk terjedelmi korlátai miatt sem kerülhet itt sor.

Veszélyes árut szállító jármű megfigyelése, légi ellenőrzése vagy ellenőrzésre kiválasztása

A veszélyes árut szállító járművek ellenőrzése az egyik legmarkánsabb ellenőrzési feladat az iparbiztonság területén. Végrehajtásával egyrészt növelhető a szállítók jogkövető magatartásának minősége, másrészt csökkenthető a szállítás környezetre gyakorolt kockázata, sőt, probléma esetén akár azonnal is megszüntethető a közvetlen balesetveszély vagy a szennyezés. A PNR légi felderítésével támogatott ellenőrzés előnyei közé tartozhat, hogy annak rejtettsége jelentősen nagyobb, mint a hagyományos ellenőrzéseké, esetenként akár teljesen rejtve is maradhat. A veszélyes árut szállító jármű részleges ellenőrzése a forgalom zavarása nélkül nemcsak egy kiválasztott ponton, statikusan, de folyamatában többször is végrehajtható, a vezető tevékenysége, a KRESZ szabályainak betartása akár dinamikusan is ellenőrizhető. További előny, hogy a négy közlekedési ág közül három esetében, vagyis a közúti, a vasúti és a vízi szállításnál is alkalmazható. Ez a jelenlegi, egyszeri (statikus) ellenőrzés gyakorlatán túlmenően jelentheti a szállítás szakaszos, de egyedi, különleges esetekben (pl. sugárzó anyag) akár a folyamatos megfigyelését is. A vízi szállítás esetén a PNR alkalmazásával az előzetes felmérés (légi ellenőrzés), a kiválasztás, illetve az ellenőrzés rejttségének megőrzése jelentősen segítheti a megelőzés hatékonyságát.

Figyelembe kell venni azonban azt is, hogy a PNR által támogatott ellenőrzés – még akkor sem, ha a jövőben akár külön ellenőrzési formává is fejlődik – nem váltja ki a hagyo-

mányos ellenőrzést, azt inkább csak kiegészíti, ezáltal hatékonyabbá teheti. Az alkalmazás természetesen nem minden esetben indokolt, ettől függetlenül rendszerszerű alkalmazása minőségi változást jelenthet mind az ellenőrzések végrehajtásában, mind a szállítók jogkövető magatartásának feszességében. Az indokolatlan alkalmazás vagy az alkalmazás előnyeinek túlértékelése viszont csökkentheti a hagyományos ellenőrzés minőségét és hatékonyságát, ezért annak szakszerű megtervezése gondos előrelátást igényel.



2. ábra: Veszélyes árut szállító járművek megfigyelésének lehetősége közúti és vízi szállításnál, kiválasztás ellenőrzésre a levegőből (forrás: a szerző magánarchívuma, 2010)

Veszélyes üzemek tevékenységének ellenőrzése

A veszélyes üzemek hatósági ellenőrzésére a jogszabályok által meghatározott rend szerint kerülhet sor. A hatóság jelenléte – még ha előre bejelentett is – olykor megzavarhatja az üzem működésének rendjét. Ennek ellenére az ellenőrzés sokszor csak egy meghatározott állapot felmérésére alkalmas, még akkor is, ha a tevékenység nyomon követhetősége szigorú előírásokban rögzített. Amennyiben a légi felderítés ipari üzemek fölötti alkalmazásának jogszabályi keretei megteremtődnek, úgy a hatósági ellenőrzésnek egy része részlegesen vagy akár teljesen is rejtve maradhat, az adott üzem tevékenységének megzavarása nélkül is végrehajtható. A légi ellenőrzés az eddigiekkel összehasonlítva gyakrabban, akár rendszeresen is megismételhető. A bejelentett ellenőrzések esetében a légi felvételekkel az üzem területéről egy geoinformációs adatbázison nyugvó, komplexebb kép biztosítható, amely például az üzem területén történő raktározás pillanatnyi helyzetéről, valamint időbeli alakulásáról is képes lehet bizonyító erejű információval szolgálni. Mindezekon túlmenően, a légi felderítés az üzem tevékenységének kerítésen belüli ellenőrzését könnyen az eddigi határokon túlra tolhatja, azt kibővítheti, a környezetre gyakorolt hatások gyors feltérképezésével azt kiegészítheti. Térinformatikai rendszerek alkalmazásával akár ún. „pollution history” is létrehozható, azaz a külső szennyező hatás időbeni bemutatása, időskálához kötött archiválása is generálható.



3. ábra: A Duna vízének elszíneződése egyszerűen észlelhető a levegőből; ennek ellenőrzése a Google Earth segítségével (forrás: a szerző magánarchívuma, 2011)

Technológiai előírások betartásának felügyelete

Az ipari üzemek létrehozásakor, bővítésekor vagy felújításakor a hatóság az engedélyeztetési folyamat során a kor színvonalának megfelelő biztonságot kíván szavatolni, az előírások maradéktalan betartásával. Ennek költsége a tulajdonost terheli, aki jogkerülő magatartást tanúsítva – költségcsökkentés címén – esetenként minőségben eltérhet a hatósági előírásoktól. A költségkímélés természetesen vonatkozhat – a megrendelő tudta nélkül – a kivitelezői munkákat végzőkre is. Ennek ellenőrzése nagyon nehéz feladat, amihez a légi felderítés nagy felbontású kamerák segítségével jelentős segítséget adhat. Különösen igaz lehet ez olyan eseteknél, amikor az adott beruházás annak elkészülte után már egyáltalán nem vagy csak nagyon nehezen ellenőrizhető.

A 4. ábrán egy ipari hulladéklerakó medence építése látható, amelynek kivitelezési munkálatait a levegőből készített felvételek kérésével maga a telep igazgatója ellenőrizte. A nagy felbontású képek alkalmasak arra, hogy egy-egy apróbb részlet is felismerhetővé, ellenőrizhetővé váljon.

Az ellenőrzés természetesen lehet előre bejelentett vagy váratlanul elrendelt. A PNR alkalmazásával az is elérhető, hogy egy nagyobb terület légi ellenőrzése után a képeket ne azonnal értékeljék, hanem azokat archiválják, majd a későbbiekben szükség szerint elővehetők legyenek, például igazolás céljára. A lehetőségek szerteágazók, a megrendelői igényeknek megfelelően módosíthatók. A légi felderítés alkalmazása ilyen esetekben is csak a jogszabályok által biztosított keretek között történhet, ennek részletes kidolgozása a PNR-alkalmazások esetén még bizonyosan hiányosak. Figyelembe kell venni az adott feladat jellegzetességeit, a személyiségi jogok tiszteletben tartását, az adatvédelmi szempontokat, azt, hogy a repülési feladat csak és kizárólag az előre meghatározott célok elérése érdekében történhet. A kamera látószöge sok esetben nagyobb területet láthat be, mint amire a feladat végrehajtása korlátozódik, ám ennek a problémának a megoldására már ma is van

lehetőség, pl. ún. *elektronikus maszkolás* alkalmazásával. Persze lehet, hogy egy veszélyes üzem tevékenységének (káros) hatása a kerítésen is túlnyúlik, így annak ellenőrzéséhez a légi felvételek alkalmazása ismételten előnyökkel szolgálhat.



4. ábra: Új medence építési technológiájának ellenőrzése a levegőből egy ipari hulladéklerakó-telepen (forrás: a szerző magánarchívuma, 2011)

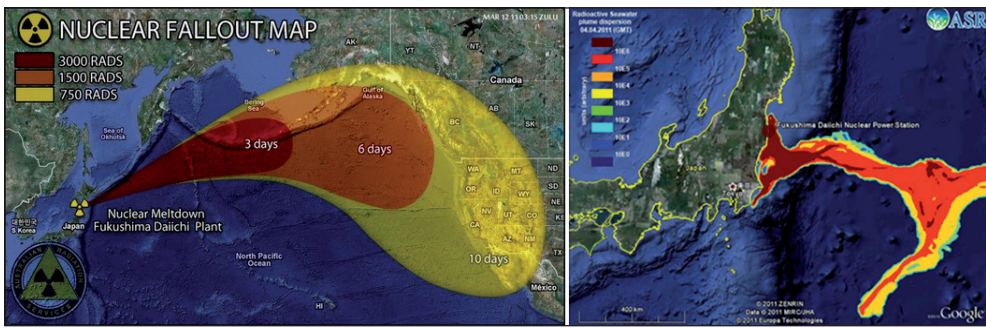


5. ábra: Iparbiztonsági alkalmazás határterülete: magas foszfortartalom (szennyezés) környezetre gyakorolt hatásának észlelése és igazolása (forrás: 6DOF, Horvátország engedélyével a szerzőtől, 2010)

Ipari balesetek felszámolásának támogatása PNR alkalmazásával

A megelőző tevékenységek ellenére időről időre találkozhatunk veszélyes anyagokkal kapcsolatos balesetekkel. Ezek felszámolása az eset jellegétől függően különleges eszközöket is igényelhet. A PNR alkalmazása egy lehet a felszámolás hatékonyságát növelni képes lehetőségek között. A továbbiakban néhány eset, illetve a lehetőségek bemutatása következik.

Nukleáris baleset



6. ábra: A fukushimai nukleáris szennyezés kihullási és vízszennyezési térképe egy-egy jellemző időszakra vonatkozóan (forrás: www.rezn8d.net/2011/09/02/fukushima-fallout)

A nukleáris katasztrófák időben elhúzódó felszámolással, hosszantartó utóhatással, nagy kiterjedésű érintett területtel, a felszámoláshoz szükséges speciális eszközigénnyel és a beavatkozók jelentős sugárterhelésének kockázatával jellemezhetők. A csernobili katasztrófa során (1986. április 26.) a legnagyobb veszteséget a sugárterhelésnek közvetlenül kitett tűzoltók és a levegőből beavatkozó pilóták szenvedték. A levegőből történő beavatkozást a következő, alapvetően eltérő célú repülésekre oszthatjuk:

- az első a robbanás hatásának és a megkezdett felszámoló munkák eredményének közvetlen légi felderítését,
- a második a nukleáris szennyezés kihullási területének feltérképezését,
- míg a harmadik a sugárzás forrásának levegőből kiszórt anyaggal való letakarását célozta.

A fentiek egyértelműen a fedélzeten tartózkodók közvetlen sugárterhelését eredményezték, ennek ellenére a feladat végrehajtására elkerülhetetlenül szükség volt. A beavatkozók biztonságának növelésével szemben támasztott követelmények korunk fejlődésével együtt nőnek, ennek fontosságát már hazai kutatások is bizonyítják (Pántya, 2011, 2014).

A fukushimai reaktor robbanása (2011. március 11.) – ha nem is teljesen azonos avval, de – számos tekintetben hasonlít a csenobili esethez: a szennyezés kihullásának feltérképezése, a robbanás hatásának levegőből történő felderítésének igénye ugyanúgy fellelhető itt is. A hagyományos eszközök alkalmazása esetén nyilvánvaló, hogy ezek – a védelmi intézkedések ellenére is – a fedélzeten tartózkodók sugárterhelésének magas kockázatát jelentik. A légi felderítés során hagyományos esetekben is nagy felbontású képrögzítést alkalmaznak (amit a repülés befejezése után értékelnek), míg a kihullási terület feltérképezésénél eddig sem az emberi érzékszervekre, hanem szenzorok adataira támaszkodtunk. A fentiek alapján levonható az a következtetés, hogy a légi felderítéshez és a kihullási terület meghatározásához repülőeszközre szükség van, de a fedélzeten tartózkodó személy(ek) re már nem feltétlenül. Amennyiben mind a repülés, mind a fedélzeten lévő képrögzítő eszközök, szenzorok kezelése megvalósítható távirányítással vagy automatizálással, úgy az eddig fedélzeten tartózkodók szükségszerű sugárterhelése teljesen elkerülhető. Mivel a fedélzeti rendszerek és a repülőgépek irányíthatók távolról is, így ennek a módszernek az alkalmazása a beavatkozók sugárterhelésének csökkentése vagy elkerülése céljából indokolt és szükségszerű. A fedélzetről kiszórt, a sugárzást csökkenteni képes anyagok kibocsátása esetén sem lehet kizárni a PNR alkalmazását, hiszen a légi felderítésen túl ma már ilyen célú kutatásokat és gyakorlati kísérleteket is végeznek (Arjonilla, 2015).

A nukleáris katasztrófáknál történő PNR-alkalmazások megtervezésénél számos kérdést szükséges tisztázni. Mivel a PNR a repülés során szennyeződni fog, így a le- és felszállóhely szennyezett területen belüli vagy azon kívüli megválasztása (a kezelő személyzet védelme mindkét esetben fontos), a PNR későbbi alkalmazása, a mentesítés lehetőségei és célszerűsége, vagy például a szennyezett területen való végleges hátrahagyásának megválaszolása elsődleges. A repülés megtervezését nyilvánvalóan a kárfelszámolás irányítását végzőkkel közösen, a PNR lehetőségeinek kihasználásával kell elvégezni. A fenti néhány alapelv részletes kidolgozása a jövő feladata.

Veszélyes anyag nem szándékolt szabadba jutása

A veszélyes anyagok nem szándékolt szabadba jutása esetén a PNR alkalmazása számos tekintetben összevethető a nukleáris katasztrófák esetében történő beavatkozással: sokszor már a helyszín megközelítése is nehézségbe ütközhet, a baleset súlyosságának meghatározása felderítés nélkül pontatlan, a beavatkozók csak a veszély jellegének megfelelő védőöltözetben közelíthetik meg a helyszínt, mérgezés, gyulladás, robbanás is gyakran bekövetkezhet, és másodlagos veszélyek is jelentkezhetnek (pl. a robbanással egyidejűleg szerkezeti károsodásból adódó veszélyek, dominóhatás).



7. ábra: Vegyipari üzem csőrendszerének sérülése és a felderítésére alkalmazott UAS (forrás: Mika, 2009)

Az elsőként kikerkező egységek – leggyakrabban a hivatásos tűzoltók – a hagyományos eljárásrend alapján a felderítést úgy hajtják végre, hogy felveszik a vegyi anyagok ellen is biztonságot nyújtó védőruhát, valamint a légzőkészüléket. A beöltözés jelentős idővesztést okozhat a felderítésben, sőt, a védőruhában történő mozgás sokszor nehézkes, akár a pontos felderítést is hátráltathatja. Az erdőtüzes tapasztalatok azt mutatják, hogy a PNR alkalmazásával gyorsabban juthatunk a beavatkozás szempontjából alapvető információhoz, mint gyalogosan (Restás, 2006). A teljes védőruha kímálházása, előkészítése, a légzőkészülék felvétele és a beöltözés, valamint a felderítéshez esetlegesen alkalmazott mérőműszerek aktiválása nyilvánvalóan időt vesz igénybe, ezt gyakorlott tűzoltók esetében is legalább 5 perces késésnek feltételezhetjük. A veszélyes anyagtól függően és a baleset jellegéből adódóan a biztonsági zóna határa eltérő lehet, de alapesetben is a legalább 100 m távolságot biztosítani kell; vagyis a járművel való megközelítés eddig lehetséges. Feltételezve a minimálisához közeli kiindulási pontot (kb. 120 m), valamint azt, hogy beöltözve a felderítést végzők átlagos haladási sebessége legfeljebb kb. 1 m/perc, a járműtől a baleset helyéig eljutva további legalább 2 perc késéssel számolhatunk. Nagyobb távolság arányosan nagyobb késést jelent, de ugyanígy, a szélirány és a megközelítési útvonal akadályai is tovább növelhetik a hagyományos felderítés időkeretét. Összességében tehát egy vegyi balesetnél az elsőnek kikerkező egység pontos információszerzésénél hagyományos felderítés esetén minimum 7 perc időkéséssel számolhatunk.

A PNR hatékony alkalmazásának elvi feltételei

Ahhoz, hogy a PNR alkalmazása a fenti esetben hatékony legyen, több feltétel egyidejű teljesülésére van szükség. Az egyik, hogy a PNR által szolgáltatott információ legyen gyorsabb, mint a hagyományos felderítés által nyújtott. A fentiek alapján ennek a fordulópontja a hagyományos felderítés minimális szélsőértékénél, tehát kb. 7 percnél van.

Vagyis ha a PNR ezen belül tud információt szolgáltatni, akkor az hatékonyabb megoldás a hagyományosnál, míg ha kívül, akkor nem hatékonyabb. Az erdőtüzeknél tapasztaltak alapján a PNR képes lehet 7 percen belül információt szolgáltatni (Restás, 2006), tehát ez a feltétel a PNR javára teljesíthető még a hagyományos felderítés legkedvezőbb esetén is. Nagyobb távolság esetén a különbség még egyértelműbb, hiszen a repülési sebesség nyilvánvalóan nagyobb, mint a gyaloglás sebessége, ezáltal az időnyereség a PNR alkalmazásának irányába tolódik.



8. ábra: Nagyobb kiterjedésű ipari baleseteknél történő beavatkozásra alkalmas forgó- és merevszárnyas PNR (forrás: a szerző magánarchívuma, 2009, 2010)

A másik feltétel, hogy a PNR által szolgáltatott információ megfelelő minőségű legyen. A megfelelő minőség nem azt jelenti, hogy legalább olyan legyen, mint a hagyományos felderítés által biztosított – bár ez nyilvánvalóan nincs kizárva, sőt, az lehet akár magasabb is –, de azt igen, hogy a beavatkozás irányításáért felelős személy annak alapján gyors és szakmailag helyes döntést tudjon hozni. Maga a döntés és ennek alapján a beavatkozás PNR alkalmazásakor nem szenvedhet sem időbeli késést, sem szakmai hatékonyságban hátrányt. Összességében tehát, a PNR által szolgáltatott információnak ki kell tudnia elégíteni a hatékony felderítéssel szemben támasztott minimális követelményeket.

Természetesen további feltételeknek is teljesülnie kell. A PNR alkalmazása csak olyan mértékben köthet le humán erőforrást (pl. PNR-pilótának kiképzett tűzoltók), ami nem hátráltatja a beavatkozást, illetve nem jelenthet kockázatot a végrehajtás hatékonyságára. Vagyis lekötött erőforrás esetén a kiesett munka vagy nem hiányzik a beavatkozás során, vagy annak meg kell térülnie a PNR által biztosított információk alapján végzett hatékonyabb beavatkozás által.

Az olyan feltételek vizsgálata, mint a repüléshez megfelelő időjárás viszonyok (pl. a szélerősség, a látástávolság), a repülési engedély rendelkezésre állása, a pilóták feladatra való alkalmassága vagy a felderítés alapján hozott döntések szakmai hatékonysága itt nem releváns, ezért azokat nem tárgyaljuk. Viszont a PNR alkalmazásával generált kockázat-

változásokat mindenképpen vizsgálni szükséges: az egyrészt növelheti, másrészt csökkentheti a beavatkozás kockázatait.

A PNR alkalmazásának előnyeit sokszor azzal indokolják, hogy az adott kárhelyszínhez közel repülve akár 0,5 méter távolságról is képes képeket továbbítani (Mika, 2009). Ismeretlen anyag szabadba kerülése esetén az esetleges robbanásveszély miatt kifejezetten kerülendő a túl közeli megfigyelés, az esetlegesen robbanásveszélyes körzetbe történő belerrepülés. A robbanásveszély oka, hogy a gyors bevetésre alkalmas PNR alapvető technikai feltétele az elektromos meghajtás, így a működés során keletkező ívhúzás, szikraképződés természetes velejárója az üzemeltetésnek, ami viszont gyújtóforrást is jelenthet robbanásveszélyes térben.¹ Ezért a kiáramlás helyéhez való túl közeli repülés mindenképp kerülendő.

Más kockázatok is megjelenhetnek, így például a PNR meghibásodása okozta másodlagos balesetveszély, a kiforratlan alkalmazási taktika vagy főleg az alkalmazás kezdeti szakaszában jelentkező esetleges túlzott hangsúlyeltolódás, figyelemelterelés a PNR irányába (humán faktor). A fentiekhez hozzátartozik, hogy a PNR alkalmazásával más kockázatok viszont nyilvánvalóan csökkennek, így a felderítést végzők szennyező anyagokkal szembeni kitettsége, a művelet során jelentkező esetleges egyéni balesetveszély stb. A PNR alkalmazásának kockázatait egy erre fókuszáló elemzésben még részletesen vizsgálni szükséges, erre a szerző a SWOT-analízist² javasolja.

A PNR esetében tehát az egyik jellemző kockázatként az ismeretlen anyagok körzetében történő repülés, a robbanásveszély elkerülése említhető. Ezért, illetve a felderítés hatékonyságának növelése, minőségi javítása érdekében előnyös lenne a szabadba került anyagok terjedésének pontos meghatározása. A jelenlegi felderítés alapvetően a KML méréseire támaszkodik, amely bár hasznos lehet, mégis vannak gyengeségei. Egyrészt szinte mindig később ér a helyszínre, mint a riasztott tűzoltóegységek, tehát mérései a beavatkozás első szakaszát nem segíthetik; másrészt a KML többnyire egy ponton végez mérést, amelynek a megbízhatósága egy 3 dimenziós térben még elfogadott terjedési modellek által számított kiegészítésekkel sem tekinthető nagynak. Ez utóbbi kritika természetesen csak valós probléma esetén releváns, a legtöbb esetben a veszélyes anyagok csak kis mennyiségben jutnak a szabadba, azok a problémás küszöbérték (alsó robbanási határérték, mérgezés, egyáltalán az észlelhetőség) elérése előtt könnyen felhígulnak a légtérben, a levegőnél könnyebb anyagok nem okoznak gondot a forráshoz már kisebb távolság esetében sem stb.

¹ Vízre leszállni is képes PNR alkalmazásáról tudhatunk (pl. Fulmar), de robbanás biztos üzemeltetésű PNR alkalmazásáról a szerzőnek nincs tudomása.

² Angol mozaikszó: Strengths – erősségek, Weaknesses – gyengeségek, Opportunities – lehetőségek, Threats – veszélyek



9. ábra: Különböző veszélyes anyagok mérésére alkalmassá tett PNR a fedélzetére installált szenzorokkal (forrás: Molnár, 2014)

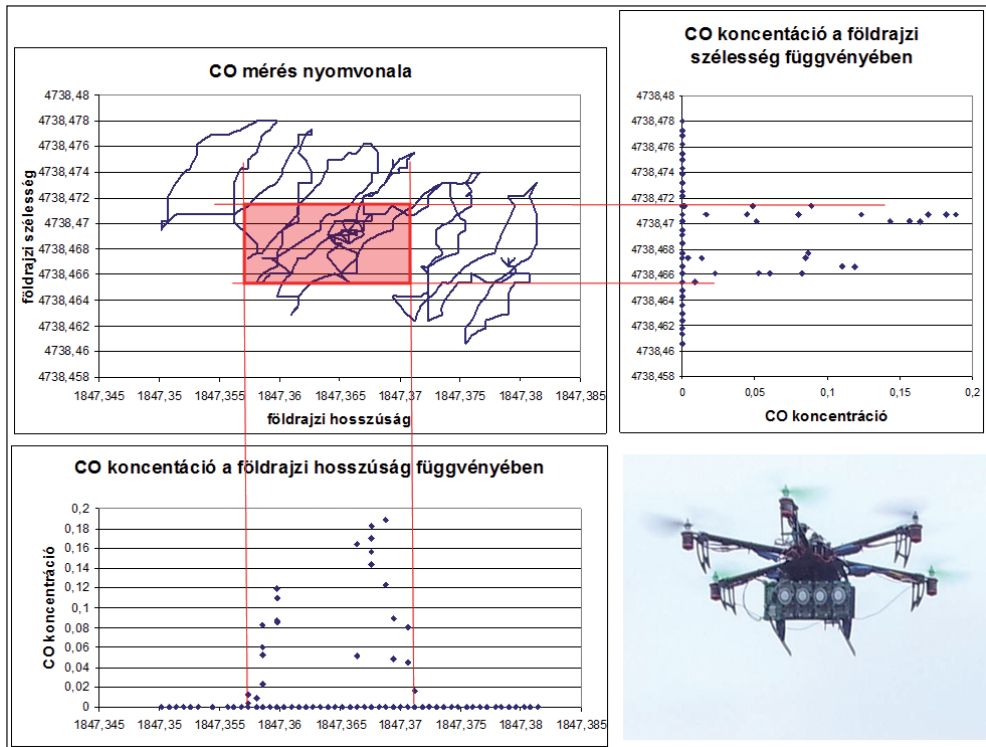
Az egyponτος (egydimenziós) mérés eredményeinek kiegészítése 3 dimenziós térre a fentiek alapján nyilvánvalóan nem lenne célszerűtlen. A modellek alkalmazásával gyakorlatilag most is ez történik: a betáplált (mért) adatoknak megfelelően az anyagok terjedését 3 dimenziós térre becsüljük. A jellemző vagy kívánatos határértékeket itt megjelenítve ún. reológiai görbéket kaphatunk, amelyek alapján döntünk a szükséges intézkedések megtételéről. A valós és a modellezett terjedés között viszont akár jelentős eltérések is lehetnek, és természetes, hogy a modellek olyan toleranciával dolgoznak, amelyek a döntéshozó számára mindig a biztonságosabb szint elérését garantálják. Amennyiben a valós terjedést pontosabban tudjuk modellezni, nyilvánvaló, hogy a beavatkozás hatékonyságát is növelni tudjuk: a szükséges intézkedések korábban meghozhatók vagy a szükségtelenek (pl. fölösleges kitelepítés) megtétele elkerülhető.

Veszélyes anyagok gőzeinek, gázainak 3 dimenziós terjedése

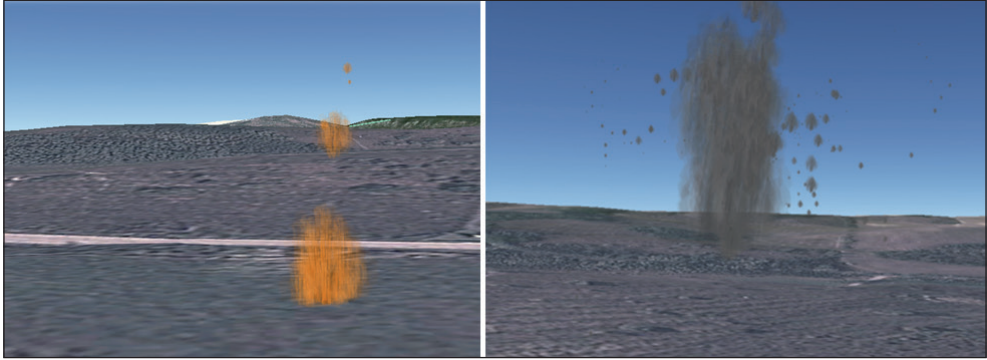
A fentiek a veszélyes anyagok gőzeinek, gázainak terjedési mérését indukálják, amelyre már ma is tudunk példákat felhozni. A PNR fedélzetére installált, különböző anyagok mérésére alkalmas eszközökkel a veszélyes anyagok légnemű fázisának valós, 3 dimenziós megjelenítése is elérhető. A repülőgépre szerelt különböző szenzorok szolgáltatják a mé-

rések alapadatait, amelyeket egy összetett koordináta-rendszerben rögzítenek. Itt történik a repülések földrajzi koordinátaíhoz a mért értékek hozzárendelése, amelynek alapján a magassággal kiegészítve kirajzolható az adott anyag térbeli elhelyezkedése (Molnár, 2004). Ezek az adatok egyrészt kiegészíthetők a modellek alapján kapott értékeket, másrészt azok bevalási mutatói is értékelhetők, ellenőrizhető a számítási algoritmusuk valósághoz közelsége.

A 9. ábrán egy gázok érzékelésére felkészített, merevszárnyú PNR látható, amelynek repülése során szén-monoxid és nitrogén-monoxid mérésre került sor. A repülés földrajzi koordinátái, valamint a példában hozzájuk rendelt mért szén-monoxid-koncentrációk a mellettük lévő függvényeken láthatók. A magassággal kiegészített értékekkel már 3 dimenziósan is megjeleníthetők a számított értékek, amely a fenti szén-monoxid-mérés mellett egy szintén tesztrepülés során kapott nitrogén-monoxid-megjelenítéssel 10. ábrán láthatók.



10. ábra: Egy tesztrepülés földrajzi koordinátái és a mérés során kapott szén-monoxid-koncentrációk függvényeinek harmonizált ábrája, valamint a mérést végző forgószárnyas PNR a fedélzetre installált szenzorokkal (forrás: Molnár, 2014)



11. ábra: Tesztrepülések mérésének eredményeként szén-monoxid- és nitrogén-monoxid-felhők grafikus megjelenítései (forrás: Molnár, 2014)

Összefoglalás

Kutatásaim alapján a PNR alkalmazására a katasztrófavédelem területén belül az iparbiztonság szakterületén is van lehetőség. Ez alapvetően kétféle módon valósulhat meg: a hatósági megelőző tevékenységek támogatása, valamint a veszélyes anyagokkal kapcsolatos balesetek kárfelszámolása során. Mindkettőnél alapelveként kell figyelembe venni azt, hogy a PNR alkalmazása nem helyettesíti a jelenleg alkalmazott eljárásrendet, hanem kiegészítheti azt, még akkor is, ha a jövőben akár egyedi, kifejezetten iparbiztonsági célú PNR-alkalmazásokat is kidolgozhatnak és bevezethetnek. Az ezzel kapcsolatos kutatások jelenleg még kezdeti szakaszban vannak, ezért a cikk a lehetőségek feltárására fókuszált, és eltekintett a jelenlegi megvalósítást akadályozó jogi, szervezeti vagy felkészültségi problémáktól. Ez utóbbiak kiküszöbölésére külön kutatás, tanulmány készítése szükséges.

A cikkben a hatósági megelőző tevékenységek sorában bemutattuk, hogy a veszélyes áru szállításának ellenőrzéséhez milyen támogatást nyújthat a PNR alkalmazása. Az eddigi gyakorlat kiegészítéseként a járművek kiválasztásának elősegítésében, az „egy ponton” történő, statikus ellenőrzés dinamikussá tételében, az ellenőrzés részleges vagy a későbbiekben akár teljes rejtettségeinek megőrzésében nyújthat segítséget a PNR alkalmazása. Ez utóbbi véleményünk alapján leginkább a vízi közlekedés esetében jelenthet előnyt. Az ipari üzemek jelenlegi hatósági ellenőrzési gyakorlatát a PNR alkalmazása esetén ki lehet egészíteni az ellenőrzés idejével azonos időpontban vagy azt megelőzően, akár rendszeres időközönként készített légi felvételekkel, az esetleges szennyezések szenzoros kimutatásával, a környezetszennyezés történetének (ún. „pollution history”) létrehozásával és dokumentálásával. Egyes fejlesztések esetében a technológiai fegyelem megtartásának rejtett ellenőrzésére is sor kerülhet. Összességében a PNR iparbiztonsági célú alkalmazása a hatósági megelőző tevékenység támogatásával a jogkövető magatartás feszegetését erősítheti,

ami a balesetek bekövetkezésének alacsonyabb kockázatát eredményezi.

A PNR alkalmazása a veszélyes anyagokkal kapcsolatos balesetek esetén is számításba jöhet. Az elsődleges beavatkozók munkáját a PNR által végzett felderítő repülés segítheti. A beavatkozás egy nukleáris balesetnél hosszabb idejű, a vegyi anyagok baleseténél viszonylag rövidebb idejű alkalmazást jelenthet. A nukleáris balesetknél vagy a sugárzó anyagok szabadba kerülésekor ugyanúgy, mint a vegyi anyagok környezetében végzett beavatkozásoknál, a PNR alkalmazása a beavatkozók felderítés és kárfelszámolás során tapasztalt kitérttségét szünteti meg, illetve csökkenti. Valamennyi esetben nagyon fontos feladat a repülés előzetes megtervezése, még akkor is, ha a felderítés hatékonyságának elsődleges kritériumai közé tartozik a mielőbbi információszerzés, a gyorsaság. Ezzel kapcsolatban felhívjuk a figyelmet az esetleges kockázatokra és a PNR túlhangsúlyozásának veszélyére is.

A PNR felderítéshez történő hatékony alkalmazásának feltételei több rétűek. Egyrészt a PNR által szolgáltatott (képi) információnak ki kell tudnia elégíteni a hatékony felderítéssel szemben támasztott minimális követelményeket, másrészt annak legalább olyan gyorsnak kell lennie, mint ami a hagyományos felderítéssel elérhető. Ez utóbbi feltétel kutatásaim alapján könnyen teljesíthető, és minimális ideje kb. 7 percnél kevesebb. Egyéb feltételek teljesülésére is szükség van, amelyekre e cikkében csupán utalásokat tettünk.

A felderítés alapján meghatározott intézkedések helyességét alapvetően meghatározza, hogy a veszélyes anyagok terjedésének modellezése mennyire közelíti a valóságot. A jelenleg alkalmazott módszer kiegészítéseként javasoljuk, hogy a PNR segítségével mért adatokra támaszkodva ne a modellezett, hanem a valóságos terjedés alapján határozzák a szükséges (pl. lakosságvédelmi) intézkedéseket.

Irodalomjegyzék

- Ambrosia, V. – Hinkley, E. – Brass, J. A. – Buechel, S. – Sullivan, D. – Myers, J. – Schoenung, S. (2006): *The Western States UAV Fire Mission*. Eleventh Biennial USDA Forest Service, Remote Sensing Applications Conference, RS-2006, New Remote Sensing Technologies for Resource Managers; April 24–28, 2006, Salt Lake City, Utah, USA
- Ambrosia, V. – Wegener, S. – Schoenung, S. (2007): *History of Unmanned Aerial Systems*. NASA Ames Research Center, TFRSAC Spring Meeting, Moffett Field, CA, US
- Arjonilla, A. (2015): *The Use of UAS for Prevention, Detection, Fighting & Restoration*. Nitrofirex, Spain, Aerial Fire Fighting Conference, 2015, Sacramento, CA, US
- Blyenburgh, P. (2009): *UAS Yearbook, UAS – The Global Perspective*. Paris, France, Edit. 2009/2010.
- Mika, P. (2009): *Emergency Service Use of UAS West Midlands Fire Service*. UAS Yearbook, 2009/2010 UAS – The Global Perspective, Paris, France, pp. 137–139.
- Molnár A. (2014): *UAV-alkalmazások fejlesztése az Óbudai Egyetemen (Légköri jellemzők mérése pilóta nélküli repülőgéppel)*. Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások, Konferenciaelőadás, Szolnok, 2014. február 28.
- Pántya P. (2011) *Zárt térben történő tűzoltói beavatkozások kockázatának csökkentése*. PhD-értekezés. Budapest, ZMNE.
- Pántya P. (2014): *Lehetőségek a katasztrófavédelmi, tűzoltói beavatkozó biztonság növelésére*. In: Pokorádi László (szerk.): *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2014*. Szolnok, 2014. 05. 13. 214–222. ISBN 978-963-508-752-5

- Pastor E. – Royo P. – Lopez J. – Barrado C. – Santamaria E. – Prats X. (2008): *Project SKY-EYE, Applying UAVs to Forest Fire Fighter, Support and Monitoring*. Technical University of Catalonia, Department of Computer Architecture, Barcelona, Spain
- Restás Á. (2004): Erdőtűzek felderítésének támogatása levegőből. *Védelem – Katasztrófa-, tűz- és polgári védelmi szemle*, 11:(6), 47–49.
- Restás Á. (2006): *The Regulation Unmanned Aerial Vehicle of Szendrő Fire Department Support Fighting Against Forest Fire*. V International Conference on Forest Fire Research, 27–30 November, 2006, Figueira da Foz, Portugal
- Restás Á. (2011): Az erdőtűztöltés hatékonyságának közgazdasági megközelítése. *Védelem – Katasztrófa-, tűz- és polgári védelmi szemle*, 18:(5), 47–50.
- Restás Á. (2012): *An Approach for Measuring the Economic Efficiency of UAV Applications at Forest Fires Helping Decision Makers*. AUVSI Israel 2012, International Conference, 20–22 March 2012, Tel Aviv, Israel
- Restás Á. (2008): *Az erdőtűzek légi felderítésének és oltásának kutatás-fejlesztése*. PhD-értekezés. Budapest, ZMNE, 2008.

Application of Unmanned Aerial Vehicles in Industrial Safety

RESTÁS ÁGOSTON

Introduction: Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are used for the purposes of disaster management in Hungary. The author describes some possibilities of UAV use in the field of industrial safety. Methods: After reviewing the small amount of professional literature available, the author draws on his own experience and relevant research findings, while also taking an economic approach to assess efficiency. Results: There are two basic possibilities for the use of UAVs in the field of industrial safety: firstly UAVs can be used for prevention to support the work of authorities; secondly they for accident response. At the end the author explores the possibilities of typical UAV use, illustrating their usefulness with real examples, while also identifying certain risks and making recommendations on further research.

Keywords: unmanned aerial vehicle, UAV, industrial safety, authority inspection, effectiveness, 3D imagery