

Bottyán Zsolt

A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐESZKÖZÖK METEOROLÓGIAI ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEIRŐL I. AZ IDŐJÁRÁS-FELDERÍTÉS

A mai korszerű időjárás előrejelzésekben meglévő pontatlanságok a repülésre veszélyes mikrofizikai folyamatok (pl. turbulencia, jegesedés) előrejelzését jelentősen korlátozhatják. Az ebből fakadó veszélyek - melyek a repülésbiztonságot csökkentik - kiküszöbölése érdekében, célszerűnek mutatkozik olyan pilóta nélküli repülőeszközök (UAS) alkalmazása, melyek megfelelő szenzorrendszerrel felszerelve, adott repülési útvonalakon repülve, valós időben pontos meteorológiai adatokat szolgáltatnak a repülésmeteorológusok számára. Munkánkban bemutatjuk a légi időjárás felderítés hazai előzményeit és ajánlásokat fogalmazunk meg egy korszerű időjárás felderítő UAS eszközre telepítendő szenzorrendszerre vonatkozóan. Végül beszámolunk egy általunk fejlesztett és használt kísérleti időjárás felderítő UAS eszközről és az ezzel elvégzett mérések eredményeiről is.

Kulcsszavak: repülésmeteorológia, meteorológiai támogatás, időjárás felderítés, pilóta nélküli légi jármű rendszer (UAS).

BEVEZETÉS

A repülések meteorológiai támogatásának célja, hogy a repülési feladat végrehajtása során a személyzet és a technika biztonságához - a légköri jelenségek, időjárási folyamatok szempontjából - a lehető legmagasabb szinten járuljon hozzá. A katonai repülésben a fenti cél két fő területre bomlik a repülési feladatok szempontjából:

1. egyrészt, fontos és pontos meteorológiai információ biztosítására a döntéshozó számára, valamint
2. a tevékenységek tervezésének és végrehajtásának elősegítésére és a hatékonyság fokozására [1]

Az általános repülésmeteorológiai támogatás magában foglalja a légköri állapot folyamatos megfigyelését, ennek adott formában és időszakonként történő jelentését, a várható időjárás alakulásáról szóló különböző prognózisok elkészítését, ezek állandó ellenőrzését, valamint az időjárásról történő tájékoztatások végrehajtását, egyaránt. Különleges jelentősége van az előbbiek közül, a repülésmeteorológiai előrejelzéseknek, hiszen a jövőben történő feladatok végrehajtáshoz kapcsolódó döntésekhez ezek szolgáltatják a legfontosabb információkat.

A mai korszerű repülésmeteorológiai támogatás során elkészített előrejelzések egyik fontos alapját a numerikus (számítógépes) prognosztikai módszer alkalmazása jelenti. Napjainkban már a meteorológusok rendelkezésére állnak olyan nagy felbontású, nem-hidrosztatikus regionális modellek, melyek – megfelelő parametizáció és statikus felszíni adatbázisok alkalmazásával – képesek a mezo tartományú időjárási jelenségeket is előre jelezni adott pontossággal [2]. Ugyanakkor, – a számszerű előrejelzések korlátaiból és légkörünk kaotikus viselkedéséből fakadóan – a földrajzi helytől, időjárási szituációtól és az adott modell tulajdonságaitól függően előfordulnak, nem elegendően pontos előrejelzések vagy akár alapvetően rossz prognózisok is. A repülések

támogatásában ezek a pontatlanságok kisebb-nagyobb „biztonsági rést” jelentenek, ezzel együtt számos veszélyt idézhetnek elő, amit az előrejelző – adott szituációban – csak részben képes korrigálni.

A fentiek alapján, a meteorológiai támogatásban az egyik legnagyobb kihívás az, hogy miként kezeljük a számszerű előrejelzések és a valós időjárás közötti – egy bizonyos mértékig mindig – előforduló inkonzisztenciát? Másként fogalmazva, milyen módon tud az előrejelző az atmoszféra valós állapotáról reális képet kapni az adott repülőtér körzetében, hogy összevesse azt a numerikus prognózisokkal? A probléma igen összetett, hiszen a repülésre leginkább veszélyesnek számító időjárási folyamatok pl. zivatarok, köd, alacsony felhőzet, jegesedés, turbulencia stb. kialakulása gyakran időben gyors folyamat és térben is szeszélyes eloszlást produkálhatnak, ráadásul egy olyan méretskálán, amelyen a numerikus prognózisok megbízhatósága nem mindig kielégítő.

A légkör mindenkori állapotának ismerete egyik előfeltétele ennek az előbb említett pontosításnak, de ehhez a meteorológusnak rendelkeznie kell különböző elveken történő, nagy időbeli és térbeli felbontással végzett, megfelelő pontosságú meteorológiai mérésekkel. Sajnos azonban – a repülésmeteorológiai elvárások miatti 3D-s, nagy felbontású (térben és időben egyaránt) valós, mért adatok – csak nagyon korlátozottan állnak rendelkezésre a repülést biztosító meteorológus szakembereknek. Az említett légköri adatok meghatározása, mérése napjainkban leginkább rádiószondákkal, illetve helyhez kötött távérzékelési eszközökkel (sodar, windprofiler, stb.) valósul meg, időben és térben igen alacsony felbontásban.

A fenti probléma egyik lehetséges megoldásaként, a repülésmeteorológiai támogatásban, repülő eszközökkel történő időjárás felderítést alkalmaztak, már évtizedekkel ezelőtt. A katonai repülések esetében, a repülési feladat tervezett megvalósítása során várható időjárási környezet pontosabb ismerete céljából, egy tapasztalt személyzettel végrehajtott felderítő repülést hajtottak végre, melynek során, a személyzet rádióon folyamatosan jelentette a térbeli helyzetét és a tapasztalt időjárási körülményeket. Ez a következőket foglalta magában:

3. a felhőzet mennyiségét, alakját, a felhőalapot és a felhőzet felső határát, a felhőrétegek mennyiségét;
4. a tapasztalt időjárási jelenségeket és azok körzeteit, ahol ezek előfordultak;
5. a tájékozódási pontok láthatóságát fel- és leszálláskor;
6. a levegő hőmérsékletét valamint a szél irányát és sebességét az adott szinten.

Leszállás után pedig szóban is értékelték a megfigyelések eredményét az ügyeletes meteorológus jelenlétében [3]. Mivel abban az időben még nem álltak rendelkezésre megfelelő térbeli és időbeli felbontású mérések és előrejelzések, az időjárás felderítés esszenciális fontosságú volt a repülésbiztonság megfelelő szintű biztosításához. Ugyanakkor látni kell, hogy ez a módja az időjárás felderítésnek rendkívül költséges volt, és csak hozzávetőlegesen pontos adatokat szolgáltatott, hiszen nem erre a célra speciálisan felkészített repülő eszközről volt szó az említett időszakban.

Napjainkra a légi időjárás felderítések gyakorisága – elsősorban gazdasági megfontolásból – jelentősen lecsökkent. Az ebből adódó információhiányt csak részben pótolják a nagyobb felbontású, számszerű előrejelzésekből kinyerhető adatok, ahogy azt korábban már jeleztük.

A fentiek alapján, a repülés biztonságának időjárási szempontból történő növelése érdekében szükségesnek mutatkozik egy olyan viszonylag olcsó eszköz alkalmazása – az általános meteorológiai támogatás részeként – mely képes a repülőtér környezetében valós idejű, pontos, 3D-s adatszolgáltatásra. Ennek megvalósításához – véleményünk szerint – egy olyan UAS repülő eszközre lenne szükség, mely fel van szerelve egy adott specifikáció alapján összeállított meteorológiai szenzorrendszerrel, autonóm robotpilótával és egy olyan földi egységgel, mely képes a mért adatokat közel valós időben (1–2 másodperces késéssel) megjeleníteni és akár fel is dolgozni. A továbbiakban egy ilyen UAS eszközzel kapcsolatos elvárásokat és lehetséges megvalósítási módokat mutatunk be.

IDŐJÁRÁS FELDERÍTÉS LEHETŐSÉGE UAS ESZKÖZÖKKEL

A korábban említett időjárás felderítő pilóta nélküli repülőeszközök mindkét hagyományos műszaki megvalósítással alkalmasak lehetnek a feladatra, tehát merev- és forgószárnyas változatban, egyaránt. A merevszárnyas eszközök inkább nagyobb távolságú és magasságú – alapvetően előre megtervezett 3D-s repülési útvonalon történő – meteorológiai célú repüléseket képesek végezni, adott repülőtérre történő megközelítéseket és felszállásokat is végezhetnek és akár többször is végig repülhetnek ugyanazt az útvonalat. Eközben a repülési magasság intervalluma a talajtól egészen 3000 méterig is terjedhet. Fontos, hogy az UAS eszköz rendelkezzen autonóm robotpilótával, mely képes az eszközt a már előre megadott útvonalon stabilan vezetni és az is lényeges, hogy a 3D-s útvonal szerkesztése és feltöltése a fedélzetre egyszerűen megvalósítható legyen. Ez azért szükséges, mert az adott időjárási helyzetnek és a támogatott repülési feladatnak a függvényében kell meghatározni az időjárás felderítő UAS eszköz útvonalát. Az időjárás felderítő eszköz helyzetének folyamatos meghatározása nagy pontosságú fedélzeti GPS eszközzel történik. Repülésbiztonság szempontjából fundamentális követelmény, hogy a szóban forgó eszköz rendelkezzen vészhelyzeti protokoll-lal, amely lehetővé teszi egyrészt az azonnali biztonságos leszállást (pl. ejtőernyővel) komoly meghibásodás esetén, amikor lehetetlen a további repülést tovább folytatni, másrészt a kapcsolat elvesztése esetén egy automatikus visszatérést a kiindulási helyre. Az 1. ábrán a SUMO UAS eszközt láthatjuk, melyet norvég kutatók fejlesztettek ki meteorológiai adatgyűjtés céljára. Ezt a berendezést alkalmazták többek között az Izlandon végrehajtott expedíciós mérésükön is [4].



1. ábra A SUMO pilóta nélküli repülő időjárás megfigyelő eszköz légi és földi egysége [4]

A forgószárnyas UAS eszközök elsősorban az alacsonyabb magasságú (inkább 1 km alatti) időjárási profil-mérésekben játszhatnak kiemelkedő szerepet, hiszen képesek egy adott pont felett függőlegesen fel- és leereszkedni, miközben detektálhatják a légköri állapotváltozók pillanatnyi értékeit. Ennek a mérési elvnek nagy előnye, hogy kevésbé zavarják más repülő eszközök mozgását, hiszen horizontálisan nem terjed ki a mozgás egyik irányban sem. Ugyanakkor, a troposféra alsóbb rétegének vertikális állapotának ismerete alapvető fontosságú a nyári (konvektív) és a téli (stabilis) időjárási szituációkban, egyaránt (2. ábra).



2. ábra Meteorológiai célra kialakított oktokofter, határreteg mérési feladatra [5]

Az időjárás felderítő pilóta nélküli repülő eszközöknek a fedélzetükön mindenképpen rendelkezniük kell hőmérséklet, statikus légnyomás és légnedvesség mérésére alkalmas szenzorokkal (alap szenzorok). Ezeknek az érzékelőknek célszerűen gyors méréseket kell tudniuk végrehajtani, hiszen a repülő eszközök horizontális és vertikális sebességéből adódóan, hirtelen változtathatják meg a pozíciójukat. Ezért is szükséges, hogy az érzékelő berendezések képesek legyenek legalább 10 Hz-es frekvenciával elvégezni az adott mérési folyamatot. A fedélzeten szükséges további berendezések (GPS pozíció, IAS esetleg GS) adataiból számíthatóak az adott helyen, a 3D-s szélvektorok. Természetesen van lehetőség a szél menet közben történő közvetlen mérésére is, de ehhez speciális 3D-s szélmérő berendezést (pl. szónikus anemométer) vagy több lyukú Pitot-csővet szükséges még a fedélzetre installálni. Ez utóbbi esetben a repülés közben fellépő turbulencia mérésére is lehetőség adódik. Véleményünk szerint, egy időjárás felderítő UAS eszköz fedélzetén a fentebb említett szenzorcsoport működésével (alap szenzorok) és a legelemibb szélvektor meghatározás alkalmazásával már elegendő információt kapunk a légkör pillanatnyi állapotáról és egy kisebb méretű repülő eszköz terhelése is határok között tartható.

Felmerül a kérdés, hogy mekkora az a mérési pontosság, ami elegendőnek bizonyulhat az említett paraméterek mérése esetén? A hőmérséklet esetében 0,2–0,3 °C-os érték megfelelő, jóllehet a földi eszközök esetében ez az érték 0,1 °C. A statikus nyomás mérésekor törekedni kell a 0,2–0,3 hPa pontosságra, szemben a felszíni légnyomás mérések esetén alkalmazott 0,1 hPa-lal. A relatív nedvesség esetében 5–6%-os mérési pontossággal célszerű számolnunk. A szélvektorok irányának meghatározásakor 10–20 fokkal, míg nagyságának (sebességének) becslésekor 1 m/s-os pontosságot kell minimálisan elvárni a rendszertől.

Ahhoz, hogy az időjárás felderítő UAS eszközök hatékonyan alkalmazhatóak legyenek, ezek használatát be kell integrálni a repülőtéren kialakított meteorológiai támogatás munkarendjébe (SOP). Nyilvánvaló, hogy csak akkor lehet ezeket a repülő eszközöket megfelelően alkalmazni, ha a meteorológiai támogatásért felelős személy döntheti el a repülések időpontját, időtartamát és útvonalát. Ehhez azonban szükséges egyfelől az UAS eszköz használatának integrációja a hagyományos repülő eszközök alkalmazási rendszerébe (repülőtér és légtér használat, repülési, megközelítési eljárások, kommunikáció, stb.), másfelől, az adott repülőtér forgalmát irányító személyekkel történő folyamatos koordináció, a magas szintű repülésbiztonság fenntartása érdekében.

Az említett célra alkalmazandó UAS eszközök esetében – figyelembe véve a szükséges fedélzeti szenzorrendszer méreteit és tömegét – olyan merev- vagy forgószárnyas gép jöhet számításba, mely minimálisan képes 1–1,5 órát a levegőben tartózkodni és alkalmas 1–2 kg hasznos tömeg szállítására. A meghajtást illetően elektromos és más üzemanyaggal működő motorok is szóba jöhetnek, de mindkét típusnak vannak előnyei és hátrányai, melyekről ebben a munkában nincs módunk értekezni.

Végül fontosnak tartjuk kiemelni, hogy időjárás felderítés – ugyan ma már sajnálatos módon kevésbé alkalmazott módszer – céljára a legalkalmasabb eszköz mindenképpen egy speciális szenzorrendszerrel felszerelt UAS eszköz, melynek gyakori és flexibilis használata jelentősen növelné a repülés biztonságát hazánkban. Ráadásul – felhasználva az általunk végzett kutatások, mérések eredményeit – akár hazai bázison is ki lehetne fejleszteni egy komplett időjárás felderítő UAS rendszert, mely piacképesé válhatna itthon és külföldön egyaránt.

HAZAI KÍSÉRLETEK UAS IDŐJÁRÁS-FELDERÍTŐ ESZKÖZ ALKALMAZÁSÁRA



3. ábra A HA-MET-02 repülőmodell, hagyományos rádiószondával felszerelve, repülés előtt [6]

A korábbi hazai repülőgépes meteorológiai mérések áttekintése közben bukkantunk egy 1975-ben, Ferihegyen végrehajtott kísérletsorozatra, melyben egy nagyméretű repülőmodellt szereltek fel egy meteorológiai szondázó berendezéssel, adatgyűjtés céljából (3. ábra).

Sajnálatos módon, a kísérlet eredményeiről – egyelőre legalábbis – nincsen semmilyen információnk, tekintve, hogy a szóban forgó kísérleti repülések 41 évvel ezelőtt zajlottak le. Annyit azonban tudunk, hogy ez a kísérlet tekinthető a pilóta nélküli repülőeszközökkel történt meteorológiai adatgyűjtés első lépésének hazánkban. Másrészt, miután a kezdeményezés – feltehetően – a ferihegyi kollégáktól indult el, alapvetően nyilván repülésmeteorológiai adatgyűjtés volt a cél. Ennek a kísérletnek az is mozgatórugója lehetett – a szerző véleménye szerint – hogy 1975. január 15-én, Ferihegyen leszállás közben lezuhant a Malév HA-MOH lajstromjelű IL-18 típusú menetrend szerint közlekedő repülőgépe, igen rossz időjárási viszonyok közepette. A baleset kivizsgálása során nyilvánvalóvá vált, hogy a meteorológiai szolgálat részére rendelkezésre álló információk időbeli felbontása nem volt elegendő a prognózis pontosabb elkészítéséhez, jóllehet a balesetet elsődlegesen nem ez az adathiány okozta [7]. Az említett kísérleti repülőeszköz fejlesztése és próbarepülései is nagyrészt azért indulhattak meg, hogy ezt az adathiányt pótolják és mintegy időjárás felderítő repülőeszközként alkalmazzák az említett berendezést (4. ábra). Jóllehet a kísérleti stádiumból továbblépés nem történt, a munkában részt vett kollégáknak az ötletért és a megvalósításért csak elismerésünket fejezhetjük ki.



4. ábra Az 1975-ös kísérleti repülőeszköz (repülőmodell) és a fejlesztésben részt vevő szakemberek csoportja [6]

Azóta, hosszú ideig – legalábbis dokumentált módon – nem történt pilóta nélküli repülőeszköz bevonása a meteorológiai kutatásba hazánkban. A technika fejlődésével azonban lehetővé vált ezeknek az eszközöknek az alkalmazása az említett célra, így Magyarországon először (2012-2013 között, mintegy 65 óra nettó repülési idővel), a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 számú „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások” című pályázat, „UAV-k komplex meteorológiai támogatási rendszerének kidolgozása” kutatási területének keretében fejlesztett előrejelző rendszer által szolgáltatott időjárási adatok verifikációjához használtunk kollégáimmal ilyen eszközt [8][9][10].

Az alkalmazott pilóta nélküli repülőeszköz a Bonn Hungary Kft, a hazai UAS eszközök fejlesztésében és gyártásában is jelentős szerepet vállaló cég terméke volt. A szóban forgó cég által fejlesztett eszköz, a BXAP15 UAV kódjelű, merevszárnyas sárkánnyal épített, elektromos hajtású pilóta nélküli repülőeszköz (5. ábra).



5. ábra A meteorológiai mérések céljára alkalmazott BXAP15 UAV pilóta nélküli rendszer . Alégijármű (bal felső panel) és a földi kezelő felület (bal alsó panel) képe, valamint a meteorológiai szenzor rögzítése (jobb oldali panel) [5]

A kutatásba bevont rendszer egy földi és egy repülő egységből áll. Előbbi magában foglalja a kézi vezérléshez szükséges távirányító rendszert. Ez GPS vezérelt, forgatható antenna segítségével kommunikál a repülő egységgel, kétirányú, mikrohullámú adatkapcsolaton keresztül. A vezérlő egység felületén repülési adatok (levegőhöz viszonyított és felszín feletti sebességek, barometrikus és GPS magasság, akkumulátor kapacitás, navigációs adatok, műhorizont) valamint real-time, videó követhető figyelemmel, a repülő egység telemetrikus adatai mellett. Nagyon fontos megjegyeznünk, hogy az eredetileg megadott repülési útvonal, repülés közben is módosítható, ezen a kezelőfelületen keresztül. A repülés útvonala nem más, mint egy jól definiált adatbázis, mely akár 500 darab útvonal pont földrajzi és magassági koordinátáját, valamint a hozzá vezető úton alkalmazni kívánt sebességeket tartalmazza. A repülőgép a célpont megadott sugarú körének érintését követően felveszi a következő pontra vezető irányt és automatikusan kompenzálja a közegáramlás eltérítő hatását. A robot üzemmódban repülve is bármikor lehetőség van kézi beavatkozásra. Szintén a földi egység tárolja még a légi egységről lesugárzott egyéb műszaki jellegű információkat is.



6. ábra. A BXAP15 UAV eszköz a szállítóládában és a hozzá tartozó kiegészítő konténerek [11]

A repülő egység tervezése és legyártása a legkorszerűbb kompozit technológia (üveg- és szén-szál valamint kevlár erősítésű gyanta) és számítógépes tervezés (3D CAD) alkalmazásával történt a cégnél. A fedélzeten alkalmazott vezérlő elektronikus rendszerek konstrukciója során a

megbízhatóság volt az elsődleges szempont. Rendkívül gyorsan össze- és szét szerelhető valamint könnyen szállítható, a hozzá tervezett és gyártott szállítókonténerekben (6. ábra).



7. ábra. Bal oldal: a légi egység elfogása hálóval. Jobb oldal: a légi egység az indítókatapulton [5] [11]

A légi egység indítása történhet katapultálással, csörlő berendezés alkalmazásával, illetve képes saját futóműről is a levegőbe emelkedni, amennyiben a talaj ezt lehetővé teszi. A leszállás ke-rek-re, hasra, vagy elfogó hálóba történhet (7. ábra). Rendkívüli esetben (pl. kommunikáció megszakadása, vagy vészlandolás) a rendszer képes a fedélzeten elhelyezett ejtőernyővel is földet érni. A repülőeszköz alapvető műszaki paramétereit az 1. táblázat tartalmazza.

repülési sebesség	60–100 km/h között
szolgálati csúcsmagasság	mérésekkel igazoltan több, mint 3500 m AMSL
fesztávolság	3,7 m
hossz	1,7 m
legnagyobb felszálló tömeg	14 kg
maximális repülési idő	akár 90 perc
meghajtás	1200W (névleges) teljesítményű elektromos
hasznos terhelés	kb. 4 kg

1. táblázat A BXAP15 UAV légi egységének legfontosabb műszaki adatai.

Forrás: BHE Bonn Hungary Kft., 2013.

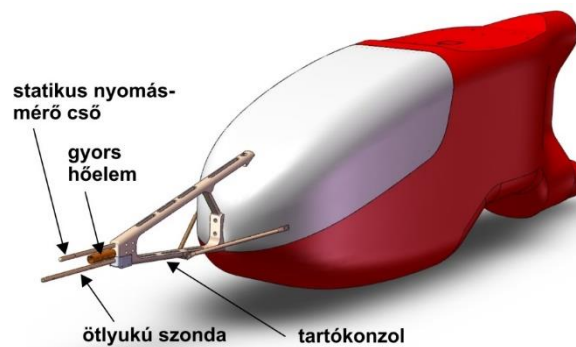
A fentiekben bemutatott légi egység rendkívül alkalmasnak mutatkozott a kis skálájú légköri folyamatok pontos detektálására, amennyiben meteorológiai szenzorokat lehet elhelyezni az eszközön. A meteorológiai előrejelző rendszer fejlesztésével párhuzamosan – a felszíni mikro meteorológiai turbulencia mérések és a nemzetközi repülőgépes megfigyelések tapasztalatai alapján – egy nagy érzékenységű meteorológiai szenzorrendszer kialakítása is zajlott, mely az alap légköri paraméterek kis gyakoriságú („lassú”) megfigyelése mellett magában foglalta a hőmérséklet és nyomási paraméterek nagy gyakoriságú mérését is. A repülések során földi referencia-mérések is zajlottak és a lassú fedélzeti adatokat a földi egységnek rádióan keresztül is lesugározta a rendszer. Erre azért volt szükség, hogy – amennyiben szükséges – be tudjunk avatkozni a repülési útvonal alakításába valamint kapjunk real-time információt a szenzorok megfelelő működéséről (ne repüljünk „vakon” a tesztek során hosszú ideig, feleslegesen).

A meteorológiai alkalmazásokhoz a következő szenzorok kerültek installálásra (8. ábra):

7. Vaisala rádiószonda (légnyomás, hőmérséklet és relatív nedvesség mérésére). A szonda téglatest alakú fehér doboza a repülőeszköz törzsének oldalán, a szárny alatt került installálásra. A szonda rádiójeleit a közelben lévő obszervatórium vevőbe-rendezése vette, melyet az OMSZ kollégái átprogramoztak, hogy a teljes 3D repülési útvonalon legyen képes az adatokat rögzíteni;
8. Vaisala hőmérséklet és nedvesség szenzorok (lassú, 1 Hz-es adatfolyam). A szenzorok a repülőeszköz törzsének oldalán helyezkedtek el egy csőben árnyékolva.
9. fedélzeti légnyomás, hőmérséklet és nedvesség szenzorok (gyors, 10 Hz-es adatfolyam);
10. ötlyukú, Pitot-rendszerű nyomásmérő rendszer (BME saját fejlesztése), amely a turbulencia karakterisztikák meghatározásához szolgáltatott adatokat és a repülő-eszköz orr részén került elhelyezésre (gyors, 10 Hz-es adatfolyam) (9. ábra).

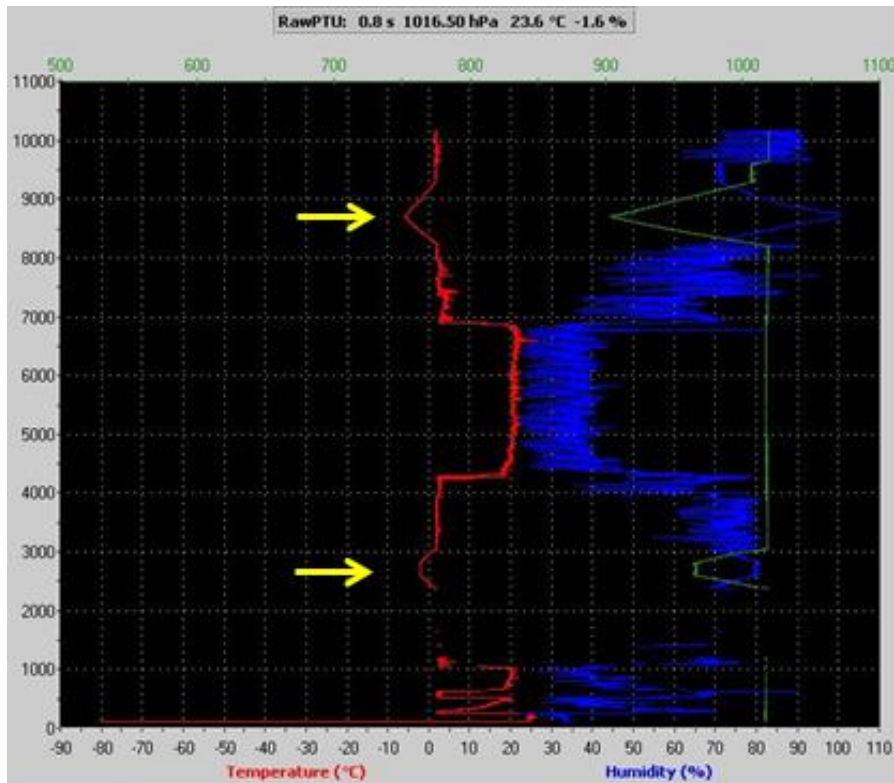


8. ábra Az UAS eszköz teljes szenzorrendszerrel felszerelve, a repülés előtti teszt alatt. A rádiószonda a gép oldalán látható, mint fehér „doboz” [5]

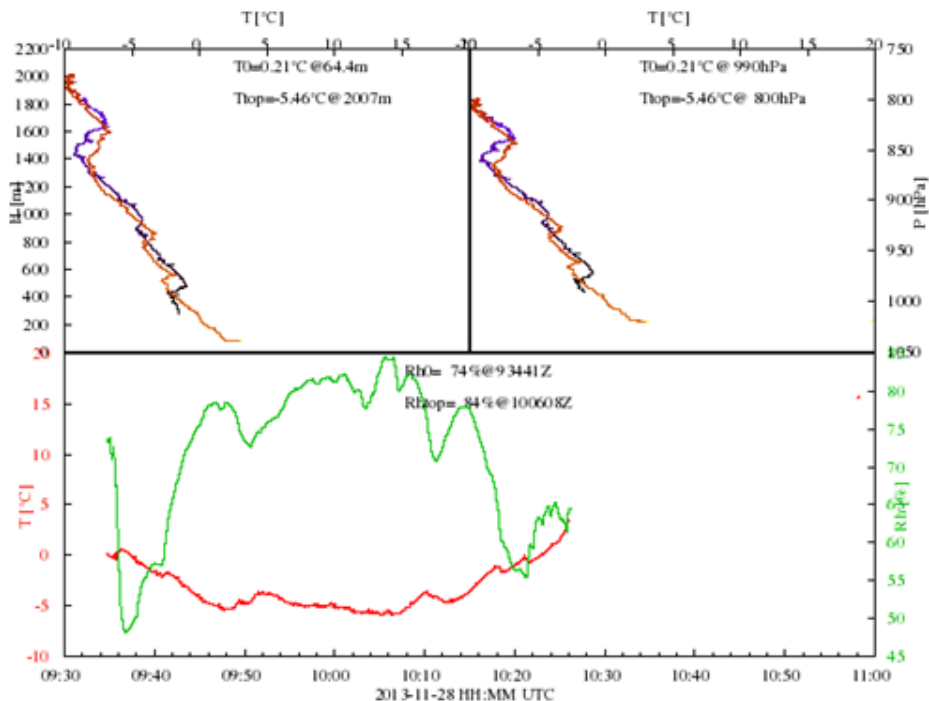


9. ábra. Az orr részre szerelt érzékelők rögzítése a légi egységen [12]

A rádiószondát, mint fedélzeti mérőberendezést a szóban forgó UAS eszköz 2013. november 27-én történt második indítása során alkalmaztuk először, melynek során autonóm robotpilóta által vezérelt UAS eszközön ez volt az első hazai kísérlet alkalmazására (10. ábra).



10. ábra. A OMSZ rádiószonda vevő rendszerének real-time megjelenítő modulja a 2013. november 27-én történt UAS fedélzeti mérések légnyomás, hőmérséklet és relatív nedvesség adataival. (A piros vonal a hőmérsékletet, a kék a relatív nedvességet reprezentálja, a zöld vízszintes skála a légnyomást jelzi, a sárga nyilak a két felszállás alatt mért értékeket mutatják) [13]

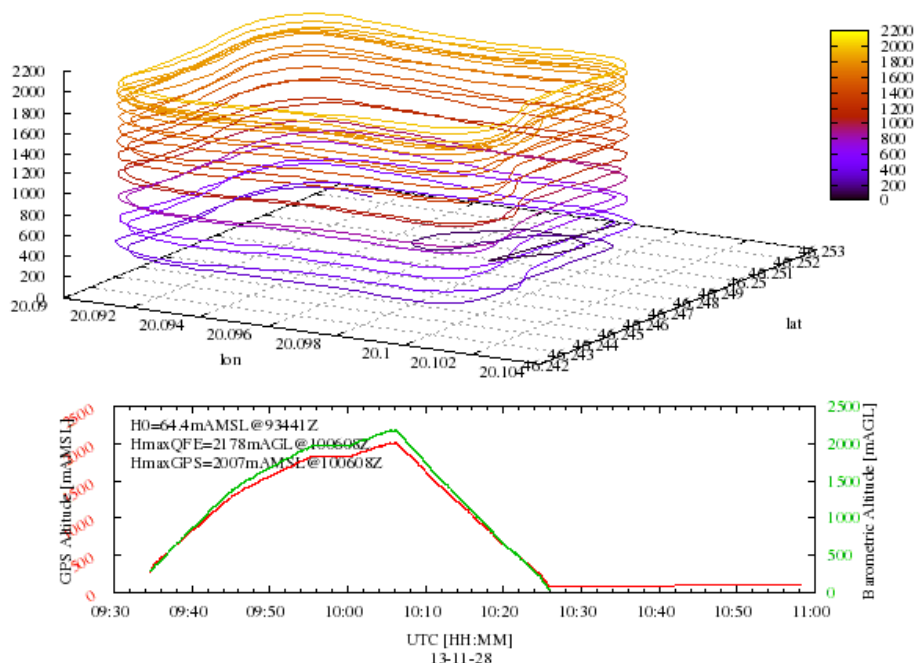


11. ábra. Az alkalmazott UAS eszköz fedélzeti meteorológiai szenzorai (gyors) által szolgáltatott adatok a 2013. november 28-án történt második felszállás során. Bal felső ábra: hőmérséklet a magasság függvényében; Jobb felső ábra: harmatpont a magasság függvényében; Alsó ábra: hőmérséklet (piros vonal) és relatív nedvesség (zöld vonal) időbeli változékonysága a repülés ideje alatt [14]

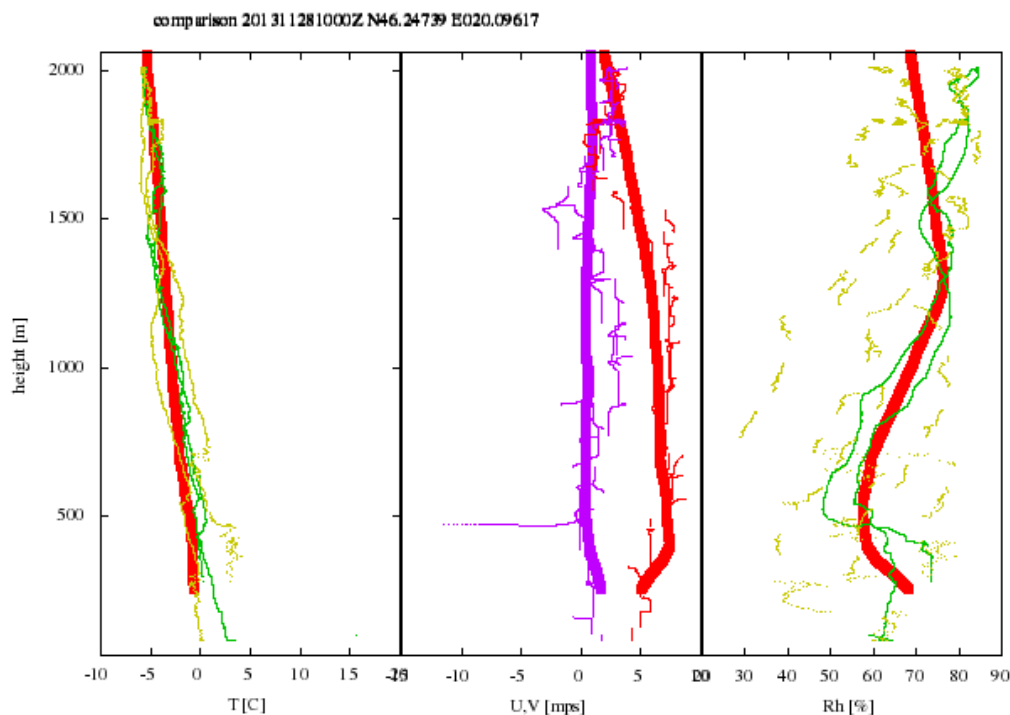
Az UAS eszköz fedélzetén levő légnyomás, hőmérséklet és nedvesség szenzorok is folyamatosan mérték a légköri levegő állapotát. Ezek az adatok a kísérleti repülések során – ahogyan korábban említettük – real-time üzemmódban lesugárzásra kerültek a földi egységre, de a fedélzeti adatrögzítőn is tárolásra kerültek. Az említett adatok mellett a repülőeszközön installált Vaisala (lassú) szenzor adatait is rögzítettük a fedélzeten. A 11. ábrán a fedélzeti meteorológiai (gyors) szenzorrendszer által szolgáltatott meteorológiai adatok láthatóak a 2013. november 28-án történt második felszállásból.

A repülések során a nemzetközi repülőgépes méréseknél alkalmazott pálya-geometriákat jelöltük ki és repültük le, melyek közül a leginkább alkalmazott repülési útvonal a profil mérések és szél számítási algoritmusok szempontjából legkedvezőbb, folyamatosan emelkedő, majd süllyedő négyszög geometria mentén történő repülés volt. Ilyen profil mentén történő repülés volt a 2013. november 28-án végrehajtott utolsó (második) repülés is, melynek 3D-s pályáját és a repülés időben történő magassági értékeit a 12. ábrán láthatjuk.

Az előzetes eredmények közül bemutatjuk a 2013. november 28-án történt egyik felszállás során mért és az általunk fejlesztett meteorológiai támogató rendszer által előre jelzett meteorológiai paraméterek vertikális eloszlásának diagramját (13. ábra). Jól látható, hogy a mért adatok igen jó egyezést mutatnak az általunk prognosztizált hőmérséklet, szél és relatív nedvesség értékekkel, ami azt támasztja alá, hogy az előrejelzések jól írták le az légkör alsó rétegének állapotát az adott helyre és időpontra vonatkozóan.



12. ábra. A 2013. november 28-án másodikként végrehajtott repülés 3D-ös útvonala a földrajzi koordináták függvényében (felső ábra) és a repülési magasság időbeli menete (alsó ábra). A függőleges tengelyeken a GPS és barometrikus magasság méterben látható. A felső ábrán a földrajzi szélesség (lat) és a földrajzi hosszúság (lon) található fokban. Az alsó ábrán a vízszintes tengelyen a világidő került ábrázolásra (UTC) óra:perc egységekben [14]



13. ábra. A 2013. november 28-án történt egyik felszállásból származó meteorológiai adatok vertikális profiljai: balra: hőmérséklet, középen: szélkomponensek, jobbra: relatív nedvesség. A zöld adatok a rádiószondából, a sárga adatok az UAS eszköz fedélzeti szenzoraiból származnak. A vastag vonalak az általunk készített WRF numerikus előrejelzés eredményeit reprezentálják. A függőleges tengelyen a magasság méterben, a vízszintes tengelyeken pedig a hőmérséklet [T] °C-ban, a szél u és v komponensei [U,V] m/s-ban, valamint a relatív nedvesség [Rh] %-ban került ábrázolásra [14]

ÖSSZEFOGLALÁS

A mai korszerű repülésmeteorológiai támogatás részeként fontosnak tartjuk a légi időjárás felderítés módszertanának újragondolását és megvalósítását, egyaránt. A jelenlegi numerikus időjárás előrejelzések természetszerű és adott időjárási helyzethez kötődő pontatlanságaiból fakadóan, szükségesnek mutatkozik különböző pilóta nélküli repülőeszközök meteorológiai felderítésre történő alkalmazása. Mind a merev- és forgószárnyas megvalósításnak megvannak az előnyei bizonyos mérések végrehajtásakor.

Munkánkban bemutattunk egy erre a célra összeállított műszerekkel felszerelt merevszárnyas UAS időjárás felderítő rendszert, melynek kísérleti repülésének eredményei azt mutatták, hogy alkalmas lehet a szóban forgó célok elérésére. További feladatként jelentkezik ennek a rendszernek a további műszaki fejlesztése és az alkalmazási lehetőségeinek módszertani kimunkálása, egyaránt.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KÉZIKÖNYV A METEOROLÓGIAI TÁMOGATÁS VÉGREHAJTÁSÁRÓL. A Magyar Honvédség Geoinformációs Szolgálatának kiadványa., Budapest, 2014.
- [2] BOTTYÁN ZSOLT: A repülésre veszélyes mezo-skálájú meteorológiai jelenségek modellezésének aspektusai - numerikus prognosztikai megközelítés. Repüléstudományi Közlemények Különszám, Szolnok, 2009/2 (e-dok.) url: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2009_cikkek/Bottyán_Zsolt_1.pdf(2016.03.11)
- [3] Utasítás a repülés végrehajtására URV-71. A Honvédelmi Minisztérium Kiadása. Budapest, 1973.
- [4] S. MAYER, A. SANDVIK, M., O. JONASSEN, J. REUDER: Atmospheric profiling with the UAS SUMO: a new perspective for the evaluation of fine-scale atmospheric models. Meteorology and Atmospheric Physics, (2012) 116 pp.15–26. DOI 10.1007/s00703-010-0063-2.
- [5] B. WRENGER et al.: Multicopter Based Ultra Low Latitude vertical profile flights in the Eastern Ebro basin (Catalan): Method intercomparison. 2011. (e-dok) url: http://workshop.cost-uas.net/fileadmin/user_upload/infos/Meetings/Meeting_Cyprus_20110328/presentations/workshop/Wrenger.pdf (2013.03.11)
- [6] Gyöngyösi András Zénó személyes közlése. 2013.
- [7] BOTTYÁN ZSOLT: Kísérlet egy repülőgép-katasztrófa meteorológiai viszonyainak rekonstrukciójára - a Malév HA-MOH repülőgépének balesete. Repüléstudományi közlemények 20:3 p. 12 2008. (e-dok) url:http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2008_3/2008_3_Bottyán_Zsolt.html (2016.03.11)
- [8] BOTTYÁN ZSOLT et al.: Measuring and Modeling of Hazardous Weather Phenomena to Aviation Using the Hungarian Unmanned Meteorological Aircraft System (HUMAS). IDŐJÁRÁS / QUARTERLY JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE 119:(3) pp. 307-335. (2015)
- [9] BOTTYÁN ZSOLT et al.:Development of a Complex Meteorological Support System for UAVs. WORLD ACADEMY OF SCIENCE ENGINEERING AND TECHNOLOGY 7:(4) pp. 646-651. (2013)
- [10] BOTTYÁN ZSOLT: A pilóta nélküli repülő eszközök alkalmazásának meteorológiai aspektusai. In: Békési Bertold, Bottyán Zsolt, Dunai Pál, Halászné dr Tóth Alexandra, Makkay Imre, Palik Mátyás, Restás Ágoston, Wühl Tibor, Palik Mátyás (szerk.) Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek. 320 p. Budapest, Nemzeti Közszerkeleti Egyetem, 2013. pp. 193-217. ISBN:9789630869232.
- [11] KAZI KÁROLY: Magyar fejlesztésű, teljesen automatizált UAV rendszer. Repüléstudományi Közlemények Különszám. 20:3 pp. 999 – 1013. 2008. (e-dok) url: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2012_cikkek/82_Kazi_Karoly.pdf
- [12] url:<http://meteor24.elte.hu/wrf/index.html> (A hozzáféréshez felhasználónév-jelszó szükséges)
- [13] Országos Meteorológiai Szolgálat, 2013.
- [14] url: http://meteor24.elte.hu/~zeno/test_flights/20131128/flt_2/(A hozzáféréshez felhasználónév-jelszó szükséges)

ON THE METEOROLOGICAL APPLYING OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS I. – THE WEATHER RECONNAISSANCE

The numerical weather forecastings contain some mistakes which may generate serious problems in the forecasting of microphysical processes such as turbulence and icing. In order to decrease the dangers of the mentioned problems it seems to be a good decision to apply unmanned aircraft systems which are equipped with an adequate meteorological sensor system. These UASs are able to produce exact real-time meteorological information during their flight for the operational forecasters. In our work we show the earlier meteorological reconnaissance experiments were made by UASs in Hungary. On the other hand we also present a recommendation about a complex meteorological sensor system which can be applied onboard an meteorological UAS. Finally we present our results are based on the experimental measurements were made by our Hungarian meteorological UAS, too.

Keywords: aviation meteorology, meteorological support, weather reconnaissance, unmanned aircraft system (UAS)

Dr. BOTTYÁN Zsolt, PhD
egyetemi docens
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék
bottyán.zsolt@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0003-0729-2774

Dr. BOTTYAN Zsolt, PhD
associate professor
National University of Public Service
Department of Aerospace Controller and Pilot Training
bottyán.zsolt@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0003-0729-2774



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016_2/2016-2-03-0331-Bottyán_Zsolt.pdf