

Makkay Imre¹ – Takács Sándor² – Willand Péter³

Meteorológiai szenzorok alkalmazása a kistípusú repülésben

Egyes meteorológiai szenzorok mérete, energiaigénye mára olyan mértékben lecsökkent, hogy azokat nehézség nélkül tudják hordozni a kistípusú repülés résztvevői is. A motoros és vitorlázó repülőgépek, siklóernyők, sárkányrepülő, hőlégballonok, sőt a drónok is lehetnek aktív résztvevői a meteorológiai adatgyűjtésnek, ha az általuk repült útvonalakról naprakész információkat (szél-, hőmérséklet-, páratartalom-adatokat) küldenek a meteorológiai szolgálatoknak. A cikkben áttekintjük a lehetséges műszaki megoldásokat, és ismertetjük az NKE UAS ENVIRON kutatócsoportjával közös kísérleteink eredményeit.

Kulcsszavak: repülésmeteorológia, szenzorok, kistípusú repülés

Application of Meteorological Sensors in General Aviation

The size and energy requirements of some meteorological sensors have now been reduced to such an extent that they can be carried without difficulty by participants in small aircraft. Motorised and gliding aircraft, paragliders, kites, hot air balloons, and even drones can be active participants in meteorological data collection by sending up-to-date information (wind, temperature, humidity data) about the routes they take to meteorological services. In this article we review the possible technical solutions and present the results of our joint experiments with the research group UPS UAS ENVIRON.

Keywords: flight meteorology, sensors, General Aviation

1. Bevezetés

Az utóbbi évek rendkívül változékony időjárása komoly kihívást jelent a repülésbiztonság számára – különösen kistípusú forgalomban közlekedőkre, amelyek méretük, alacsony repülési sebességük miatt erre fokozottan érzékenyek.

¹ Nyugalmazott egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: drmi48@gmail.com

² Ügyvezető igazgató, PEVIKTERA Consulting Kft., e-mail: takacsandor@peviktera.hu

³ Programozó matematikus, PEVIKTERA Consulting Kft., e-mail: peter.willand@gmail.com

A meteorológiai mérőeszközök túlnyomó része földi telepítésű állomásokon dolgozik. Csupán néhány – erre speciálisan felkészített – légköri szonda végez naponta időjárás-felderítést. Magyarországon két helyen Budapesten 0:00 és 12:00 órakor, valamint Szegeden éjjelkor indítanak meteorológiai ballont. Az Országos Meteorológiai Szolgálat időjárás radarhálózata sem képes teljes lefedettséget biztosítani – térgeometriai és műszaki okok következtében.⁴ Ugyanakkor naponta több száz kisgépes repülés útvonala hálózza be a légteret preferált vagy éppen aktuálisan használt útvonalakon – jellemzően VFR-,⁵ NVFR⁶-körülmények között. Kézenfekvő a lehetőség, hogy a fedélzetükön magukkal vitt érzékelők adatai – mint kiegészítő források – legyenek elérhetőek a repülésmeteorológia számára.

Az eljárás alkalmazhatóságát bizonyító kutatások és kísérletek az NKE GINOP-2.3.2-15-2016-00007 pályázatának UAS ENVIRON munkacsoportjával közösen folytak – különböző légi járművek bevonásával. A szenzorok és hordozóik mellett a telemetriai adatátvitel és annak földi fogadását biztosító vevőhálózat és megjelenítés is kifejlesztésre várt.

A továbbiakban e számos novummal gazdagodott munka eredményeiről számolunk be.

2. Repülésmeteorológia – jegesedésveszély

A repülésmeteorológia⁷ az időjárás folyamatokkal és előrejelzésekkel foglalkozó tudományág. Az időjárás minden földön, vízen, levegőben tartózkodó számára fontos tényező, amely elérhet olyan szélsőségeket, amelyek korlátozzák vagy akár lehetetlenné teszik a közlekedést, a szabad térben tartózkodást.

A légtér rendkívül összetett képet mutat a „rátámaszkodó” légi járművek számára. A felhajtóerőt létrehozó hajtóművek, termikus légáramlatok ellenére is létrejöhetnek olyan kedvezőtlen változások – hőmérséklet, páratartalom, légnyomás, szél vonatkozásában –, amelyek a repülést megnehezítik, vagy akár lehetetlenné teszik – ezek közé tartozik a légi járművek felületét, hajtóművét, kormány szerveit, mérőszondáit lefedő jég.

A dér, zúzmara, jégréteg vagy akár hó kialakulhat még felszállás előtt – ezt a repülőtéri szolgálatok megfelelő eszközökkel általában el tudják távolítani. A nagyobb veszély a levegőben tartózkodó légi járműveket fenyegeti, mert az ott kialakuló jégrétegtől sokkal nehezebb megszabadulni.⁸

A jégréteg tömegnövekedést, felhajtóerő-csökkenést, hajtóműleállást és műszerek meghibásodását okozhatja. A megváltozott aerodinamikai állapot az átesési sebességet is megnövelheti, csökken a kormány szervek hatásossága, működtetésük akadályba ütközhet.

A szélsőséges időjárás körülmények között is repülő katonai, közforgalmi utas- és teher szállító repülőgépeken jegesedésre, illetve annak veszélyére figyelmeztető mechanikus, elektromos, kémiai, rádióizotópos érzékelőkkel működő segédberendezések találhatók.

⁴ Hadvári Marianna et al.: *Országos Meteorológiai Szolgálat időjárás radarhálózatának mérései*. Budapest, OMSZ, 2018.

⁵ VFR (*Visual Flight Rule*) – látva repülés szabálya.

⁶ NVFR (*Night Visual Flight Rule*) – éjszakai látva repülés szabálya.

⁷ Sándor Valéria – Wantuch Ferenc: *Repülésmeteorológia*. Budapest, Országos Meteorológiai Szolgálat, 2005.

⁸ Wantuch Ferenc – Simon Sándor – Koczor Eszter: *Légi jármű jegesedése egy esettanulmány kapcsán. Repüléstudományi Közlemények*, (2011), ksz. 1–21.

Gondoskodnak a légsebesség/nyomás mérésére szolgáló nyílások szabad átjárhatóságáról, fűtéséről, a szárnyak belépőélét hő, vegyi, elektromos vagy mechanikus úton jégtelenítik.⁹



1. ábra

A szolarizált árnykép túlhűlt vízcseppek jelenlétéről tanúskodik. Forrás: a szerzők felvétele

A kisgépeken jellemzően nincs sem jelző, sem jégtelenítő berendezés – csupán a porlasztófűtés (ha van beépítve) védhet a jegesedés, motorteljesítmény-csökkenés vagy motorleállás ellen. Ez az egyik ok, ami miatt a figyelmünk feléjük fordult, a másik, hogy „érintettségük” miatt is számíthatunk a segítségükre, amikor hordozó eszközöket keresünk.

3. Szenzorok a fedélzeten

A GA (kisgépes) légi forgalom jellemzően a felszínközeli planetáris határréteg (0,1–3 km) tartományát¹⁰ veszi igénybe. Az itt zajló jegesedést kiváltó időjárási körülmények vizsgálata, a megtörtént események elemzése, a várható folyamatok előrejelzése a mai napig még sok nyitott kérdést hagy maga után. Ugyanakkor mára megteremtődtek a műszaki lehetőségei annak, hogy szenzorokat küldjünk korábban elérhetetlen vagy nehezen megközelíthető légterekbe, hogy valós idejű hőmérséklet- és páratartalom-értékeket kapjunk.

Az UAS ENVIRON munkacsoportnak egyik feladata a *merev-, illetve forgószárnyas időjárás-felderítő UAV prototípusának kifejlesztése, amelyek speciális levegőkémiai és időjárási mérésekre és real-time adattovábbításra egyaránt képesek.*

A szenzorok kiválasztásakor tehát elsőrendű szempont volt a méret és tömeghatár betartása, valamint az energiaigény limitálása. A kísérleteink során három különböző gyártó

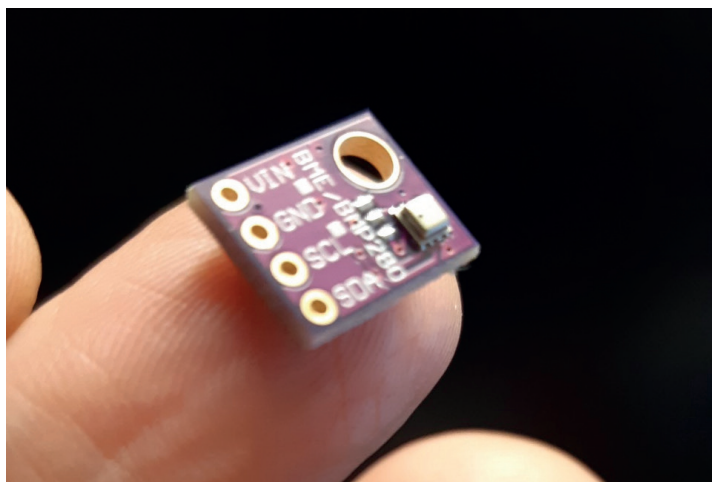
⁹ Óvári Gyula: Biztonságtechnika a repülésben: a repülőeszközök jégtelenítő rendszerei. *Repüléstudományi Közlemények*, (2008), ksz. 1–20.

¹⁰ Weidinger Tamás: *A planetáris határréteg szerkezete, felszín-légkör kölcsönhatások*. é. n.

eszközeit használtuk: a svéd Sparv Embedded AB Sparvio szenzorcsaládját, a német Graw rádiószondát és a Bosch BME280 többfunkciós érzékelőjét.

A Sparvio és Graw rendszerek teljes kiépítettségűek – biztosított a jelfeldolgozás, kiépített a rádiócsatornás adattovábbítás és a megjelenítés – ezzel ellentétben a BME280 „csak” egy szenzor, amihez ezt a környezetet létre kellett hozni.

A Bosch BME280 szenzorok olyan kis méretűek (2,5 × 2,5 × 0,93 mm), hogy elhelyezésükre külön segédpanelt használtunk – törekedve a gyári előírások betartására, amelyben a légáramlás biztosítása és a hőhidak kiküszöbölése jelentkeztet kihívásként. A szenzorok I2C protokollal címezhetők, és így akár 1090 db érzékelőről kaphatunk adatot ugyanazon a két (SDA, SCL) vezetéken. Ez kiváló lehetőséget teremt a légi járművek redundáns szenzorrendszerének kialakítására – az egyes, létfontosságú szenzorok dupla vagy akár tripla példányának kezelésére.



2. ábra

A Bosch BME280 szenzor segédpanelen. Forrás: a szerzők felvétele

A BME280 másik előnyös „tulajdonsága” az alacsony ára (~3\$), ami kedvező feltételeket biztosít a kísérletezésekhez. Népszerű a különböző fejlesztői környezetekben – számos programkönyvtár érhető el a GitHub felületen. Többféle processzorral (STM-32, Atmel-328, SAMD21) megépítettük a mérőegységünket – keresve a legkisebb méret/fogyasztás és legkedvezőbb geometriai kialakítás kombinációit –, aminek eredménye lett a tömör felépítésű, navigációs és lesugárzó egységgel közös áramkörü panel.

A szenzorok elhelyezése és környezete jelentősen befolyásolhatja azok helyes, pontos működését. Az egyes hordozók eltérő alakja, repülési tulajdonságai külön feladat elé állítja a tervezőket és az építőket. A funkcionális megfelelés mellett gondoskodni kell a mechanikai védelemről, az energiaellátásról és törekedni a hordozóeszköz repülési tulajdonságainak minél kisebb mértékű befolyásolására.

A Sparvio érzékelői számára egy külön légcatornát kellett létrehozni a merevszárnyú UAV törzsén belül, hogy védje a hőmérséklet-, páratartalom- és gázszenzorokat – ugyanakkor folyamatosan friss levegőt biztosítson számukra.

A forgószárnyas UAV-k külső (alsó, felső) szerkezeti elemei adtak lehetőséget a szenzorok rögzítésére. A méréseket egyedi vagy több szenzor adatainak összehasonlítását biztosító csoportos felfüggesztéssel végeztük.¹¹

4. Adatkapcsolat

A szenzoradatok valós idejű lesugárzása – tapasztalataink alapján – az ISM¹²-sávban működő eszközökkel, viszonylag kis ráfordítással kivitelezhető. A nyílt fejlesztésű OGN-hálózat eszközei a 868,0–868,6 MHz-es ISM-tartományban működnek. A FLARM frekvenciája nem nyilvános (de belesik a tartományba), míg az OGN Trackerek 868,2 MHz és 868,4 MHz frekvencián adnak váltakozva. A sávban 25 mW engedélyezett teljesítménnyel és < 1%-os kitöltési tényezővel kell megelégedni. A Manchester-kódolt 50 kbps OGN-adásokat aszinkron, GFSK-modulációval sugározzák ki. A FLARM protokollja nem nyilvános, de a „hivatalos” OGN-vevők mindkét adást tudják dekódolni – az alapítók által biztosított (bináris) program segítségével. A földi vevők központi APRS-szerverekre küldik a vett adásokat, ahonnan – felhasználói szervereken keresztül – már bárki számára hozzáférhetővé válnak.



3. ábra
OGN Tracker a drón „hátán” – felszállás előtt. Forrás: a szerzők felvétele

Az OGN Tracker lesugárzása – egy általunk indított fejlesztés eredményeként – már tartalmaz meteorológiai adatsorokat. A trackerek korábbi változataiban használt BMP280 (csak nyomásmérő) szenzorokat BME280-ra módosítva a nyomás, hőmérséklet és páratartalom is megjelenik az adatok között.

A meteorológiai adat ~15 s-ként kerül sorra, ami gyors emelkedés/süllyedés esetén megnehezíti a mérést. A meteorológiai üzenetben nincs helyzetadat – így az OGN számára

¹¹ A. Z. Gyongyosi et al.: *Meteorological Data in the Open Glider Network (OGN)*.

¹² ISM (Instrumental Scientific Medical) – ipar, tudomány, egészségügy.

ez egy „veszteséges” adatcsomag. Az OGN-t egyéb „támadások” is érték, amelyben megkérdőjelezték az adatátvitel biztonságát, védetségét.¹³

A tapasztalatokon és a bírálatokon is okulva elindítottunk egy következő, önálló, zárt technológias kutatás-fejlesztést, amely a kifogásolt tételek javításán túl új képességeket is generált.

A K + F fő céljai: saját protokoll, saját titkosítási rendszer, saját adatbázis-kezelés és megjelenítés; a már bevált HW elemeket megtartani, ahol szükséges továbblépni, a teljes SW rendszert saját, zárt fejlesztés irányába transzformálni; új hordozók (légi járművek) bevonása a komplex repülésmeteorológiai adatgyűjtés folyamatába.

A több mérnökév fémjelezte munka főbb eredményei:

- saját/felhasználó által definiált, bővíthető adatstruktúra;
- jelszavas belépésvédelem, titkosított adatforgalom;
- saját szerver, távoli adatbázis-elérés;
- saját interaktív honlap – testreszabott felhasználói felületek;
- BME280 szenzoros GPS-helyzet jeladó (~ 100 db);
- vezeték nélküli (BT) programfeltöltés;
- földi vevőhálózat – közvetlen kapcsolat a szerverrel;
- GSM adatkapcsolat – telefonapplikáció.

A fejlesztés a legújabb megoldásokat keresve az IoT-technológia irányában indult el. Az ISM-frekvenciasáv megfelelt az igényeinknek, és az ott szerzett ismereteket sikerrel hasznosítottuk. Az adás-vétel minőségét gondosan tervezett és ellenőrzött antennákkal, RF áramköri megoldásokkal biztosítottuk. Az adó- és vevőberendezések távoli eléréssel folyamatosan felügyelhetők. Az egyes vevők teljes adatforgalmát napi bontásban, a vevőben és a szerveren is tároltuk. Az üzenetekhez többlépcsős azonosítást követően lehet hozzáférni – lecsökkentve az idegen beavatkozás lehetőségét.

Számos laboratóriumi és terepi kísérletet követően kialakítottunk egy nullszériás, majd sorozatgyártásra is alkalmas eszközparkot. Az intenzív fejlesztő munka első kézzelfogható eredménye a 2019. októberben Palma de Mallorca-n lebonyolított hőlégballonos versenyorozat, amelyen naponta két futamban 80–100 résztvevő vitte magával a „Tube”-okat, online közvetítve az eseményeket. Hasonlóra eddig nem volt példa – arra pedig még kevésbé, hogy ugyanezek meteorológiai adatokat is küldtek minden egyes üzenetükben. A versenyen működő öt mobil vevőállomást VNC-kapcsolattal távvezérelve üzemeltettük – adataikat közvetlenül és szerveren keresztül is elértük.

Hasonló sikerrel zárult a 2020. szeptember 11–18. között Szegeden folyó Közép-európai Kupa hőlégballonos verseny közvetítése.¹⁴ A (korlátozások miatt) 21 indulóra csökkent létszám ellenére a „Peviktera Balloon-tracking System” minden tervezett szolgáltatását teljesíteni tudta. A célra repülést ellenőrző három mobil és a repülőtéri irányítótoronyban működő stabil vevőállomás teljes lefedettséget biztosított. A vevők által rögzített meteorológiai adatbázist a további feldolgozás/elemzés céljából az NKE VOLARE program központi szerverén is tároltuk.

¹³ Vránics Dávid Ferenc – Palik Mátyás – Bottyán Zsolt: Esettanulmány egy nyílt repüléstámogató rendszer biztonságáról. *Repüléstudományi Közlemények*, 30. (2018), 1. 185–194.

¹⁴ Szeged 2020 CECUP.



4. ábra

A fejlesztés fázisai. Forrás: a szerzők felvételei

A jeladókat ezen kívül számos más hordozón – UAV-n, merevszárnyú motoros és motoros vitorlázó repülőgépen, sárkányrepülőn – is kipróbáltuk. Elsőrendű szempontként a rögzítést, mechanikai védelmet és a rádiófrekvenciás adás hatótávolságát jelöltük meg célul, mivel a szenzorok optimális elhelyezésére, kalibrálására az előzőek teljesülése után kerülhet sor.

A jelenlegi „cső” kivétel kiemelten jól vizsgázott a hőlégballonos versenyek ütök-kapok körülményei között, és az árnyékolásoktól mentes, függőleges antennahelyzet is általában biztosítható volt, de ahol a nagy sebességű légáramlás az elhelyezésben és a mérésben is zavart okozhat – például a merevszárnyú repülőgépeken –, ott a külső borítás és a belső elrendezés is átalakítást igényel.

A legkedvezőbb rögzítési lehetőségeket a multirotoros drónoknál találtuk – a PVC-borítást (csövet) is elhagyhattuk, és a szenzor is teljesen szabad légáramba került. Ugyanitt kell hangsúlyozni a gyártó (Bosch) installálási ajánlásának betartását, amely a szenzorok elhelyezésére, védelmére és a méréseket befolyásoló körülményekre vonatkozik. Ez a különböző hordozók és eltérő repülési körülmények miatt egyedi kutatás-fejlesztési feladat, amelyre (az írásmű megszületéséig) méltatlanul kevés figyelmet tudtunk fordítani.

5. Összegzés

Az időjárás szélsőségeinek leginkább kitett kisgépes repülésre leselkedő veszély egyik formája a jegesedés, amelynek kialakulását a hőmérséklet, páratartalom mérésével előre lehet jelezni. A mérőeszközök kijuttatása – méretük, fogyasztásuk csökkenésével – oda küldött UAV-k vagy más „arra járó” kisgépek fedélzetén is megoldható.

A mért adatok közvetlen rádiókapcsolattal lejuttathatók – biztosítva a valós idejű jelzés/riasztás feltételeit –, vagy megfelelő tárolóeszközökön akkumulálva segítik a statisztikai elemzéseket, előrejelzéseket.

Az NKE GINOP pályázata által támogatott UAS ENVIRON munkacsoport a Peviktera Consultink Kft-vel többéves K + F tevékenységet folytatott a lehetőségek feltárása és a megoldások, fizikai megvalósítások érdekében.

Sikeresen alkalmaztuk az OGN-hálózaton (közreműködésünkkel) megteremtett műszaki lehetőséget – az OGN Trackerek repülésmeteorológiai szenzorként való használatát. Az eredményekről az ISARRA nemzetközi konferencián is beszámoltunk.

Időközben – az OGN gyenge pontjait kivéve – egy saját repüléskövető/meteorológiai adatgyűjtő hálózatot építettünk, amely zárt gyártástechnológiával, zavarás/beavatkozás elleni védelemmel, saját protokollal, kiterjesztett alkalmazási lehetőségekkel rendelkezik. A sportrepülésben több versenyen részt vett, nagyszámú meteorológiai adatot szolgáltató rendszer bizonyította az eszközök és az eljárás életképességét.

A továbbiakban is keressük a különböző kisgépes közreműködőket, akik alkalmasak (hajlandók) a szenzorok hordozására, meteorológusokat, akik segítenek a mérések megtervezésében, validálásában és a repülésirányítás szakembereit, akik megtalálják a lehetőséget a „nem szokványos módon” szerzett repülésmeteorológiai információk hasznosítására.

Felhasznált irodalom

- Gyongyosi et al.: *Meteorological Data in the Open Glider Network (OGN)*. Online: www.isarra.org/wp-content/uploads/2019/08/ISARRA_2019_Tue_Gy%C3%B6ngy%C3%B6si.pdf
- Hadvári Marianna – Szegedi Csaba – Csirmaz Kálmán – Németh Péter: *Országos Meteorológia Szolgálat időjárási radarhálózatának mérései*. Budapest, 2018. Online: www.met.hu/ismertetek/radar_ismerteto.pdf
- Óvári Gyula: Biztonságtechnika a repülésben: a repülőeszközök jégtelenítő rendszerei. *Repüléstudományi Közlemények*, (2008), ksz. 1–20. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2008_cikkek/Ovari_Gyula_poszter.pdf

Sándor Valéria – Vantuch Ferenc: *Repülésmeteorológia*. Budapest, Országos Meteorológiai Szolgálat, 2005.

Szeged 2020 CECUP. Online: <https://balloon-tracking.eu/index.php/about-us>

Vránics Dávid Ferenc – Palik Mátyás – Bottyán Zsolt: Esettanulmány egy nyílt repüléstámogató rendszer biztonságáról. *Repüléstudományi Közlemények*, 30. (2018), 1. 185–194. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2018_1/2018-1-13-0460_Vranics_D_F-Palik_M-Bottyán_Zs.pdf

Wantuch Ferenc – Simon Sándor – Koczor Eszter: Légi jármű jegesedése egy esettanulmány kapcsán. *Repüléstudományi Közlemények*, (2011), ksz. 1–21. Online: www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2011_cikkek/Koczor_E_Simon-S_Wantuch-F.pdf

Weidinger Tamás: *A planetáris határréteg szerkezete, felszín-légkör kölcsönhatások*. é. n. Online: http://web.cs.elte.hu/~zempleni/wt_15.pdf