



Péliné Németh Csilla—Dr. Radics Kornélia

REPÜLÉSRE VESZÉLYES IDŐJÁRÁSI JELENSÉGEK MÉRÉSE A XXI. SZÁZADBAN (HAZAI KATONAI REPÜLŐTEREK METEOROLÓGIAI MÉRŐRENDSZEREINEK FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI)

ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban, amikor a technikai fejlődés az élet minden területén érezteti hatását, köztudott, hogy a repülés biztonságát befolyásoló tényezők közül – az egyre modernebb műszaki megoldások ellenére – nem lehet figyelmen kívül hagyni az időjárást. Korábban a rendszeres vizuális megfigyelések és néhány meteorológiai elem mérési adataiból következtettek a légkör állapotára. A meteorológia tudománya azonban mindig is kihasználta az adott kor legkorszerűbb technikai lehetőségeit, így a nemzetközi gyakorlatban a repülésre veszélyes időjárási jelenségek felismerésére, ultrarövidtávú helyi előrejelzésére a repülőterek napjainkban is kiaknázzák a távérzékelési eszközök széles skáláját. Az alacsony szintű turbulencia, a vertikális szélnyírás, a konvekció többdimenziós feltérképezése elképzelhetetlen Doppler radar, wind profiler, SODAR, illetve LIDAR mérőeszközök bevetése nélkül. Dolgozatunkban áttekintettük a hazai katonai repülőterek jelenlegi mérőrendszereit, ismertettük a nemzetközi gyakorlatban ismert és alkalmazott repülőtéri mérőrendszereket. Ezt követően bemutattunk néhány modern mérőeszközt, amely a szakember számára megfelelő háttérrel biztosít a fent említett cél elérésére, vagyis a veszélyes időjárási jelenségek felismerésére. Hiszen a légkörben lejátszódó folyamatok megfelelő szintű ismerete kétségtelenül a repülés mindennapjainak biztonságát jelenti.

BEVEZETÉS

A repülés a Földet körülölelő gázburokban, a légkörben zajlik, ezért a repülés és a meteorológia tudománya elválaszthatatlanok egymástól. A légköri folyamatok nemcsak a vitorlázó vagy kisgépes, azaz időjárás szeszélyeinek leginkább kiszolgáltatottabb repülőeszközök pilótáit lephetik meg, hanem a polgári, katonai repülés, sőt az űreszközök személyzetét is.

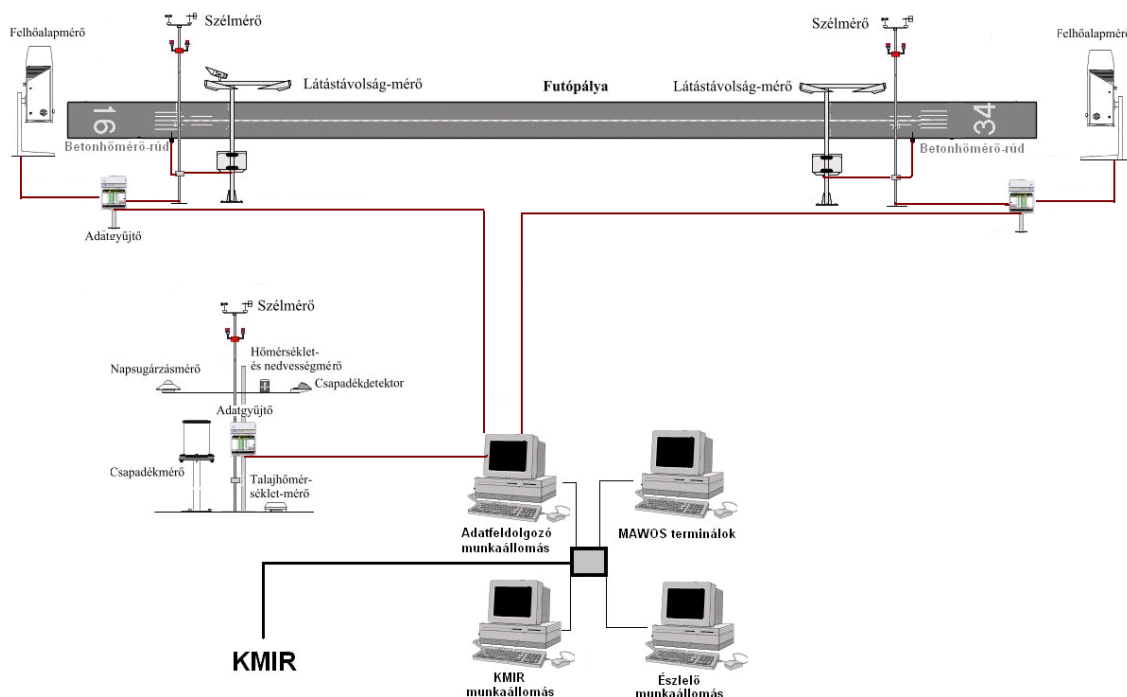
Még a NASA szakemberei is meglepődve tapasztalták, hogy milyen „tiszteltetreméltó” erők szunnyadnak a légkörben. Az amerikai Apollo-program [1] során az egyik űrhajó indításakor sem gondoltak arra, hogy a heves esőzés bármilyen hatással lehet arra a járműre, amely képes Föld körüli pályára állásra, valamint a legközelebbi égitest, a Hold elérésére. A földi időjárási körülményekkel

nem törődve kiadták az indítás parancsot, majd meglepetten tapasztalták, hogy ezután néhány perccel az űrhajó saját villámot gerjesztett a telített, nedves levegőben. Ennek hatására mind az űrhajó fedélzetén, mind a földi irányítóknál lefagytak a számítógépek, és a lehetséges vészjelzők mindegyike felvillant, amely példa nélküli eset volt. Szerencsés módon rövid idő eltelte után a rendszerek újraindíthatóak voltak, így a személyzet elkerülte a tragédiát.

Dolgozatunkban bemutatjuk a repülések biztosítása érdekében a hazai katonai repülőterekre telepített mérőrendszereket, ismertetjük hazai és nemzetközi megállapodások keretében rendelkezésre álló meteorológiai mérési produktumokat. Ezt követően összefoglaljuk a veszélyes időjárási jelenségek mérésére szolgáló modern mérőrendszerek legfontosabb jellemzőit, majd vázoljuk az e témakörhöz tartozó saját fejlesztési elképzeléseinket, javaslatainkat.

FÖLDFELSzíNI IDőJÁRÁS-MEGFIGYELÉSI MÉRőRENDSZEREK A MAGYARORSZÁGI KATONAI REPÜLőTEREKEN

Hazánkban jelenleg három, katonai célokra kialakított repülőtér üzemel: Kecskeméten, Szolnokon és Pápán. Bár a repülőterek alaprendeltetésük szerint különböznek, a meteorológiai mérőrendszereiket tekintve alapvetően megegyeznek egymással. A 1. ábrán Pápa Bázisrepülőtéren üzemelő MAWOS¹ rendszer elvi felépítését mutatjuk be.



1. ábra Repülőtéri földfelszíni időjárás-megfigyelő rendszer (MAWOS) elvi felépítése a pápai repülőtéren

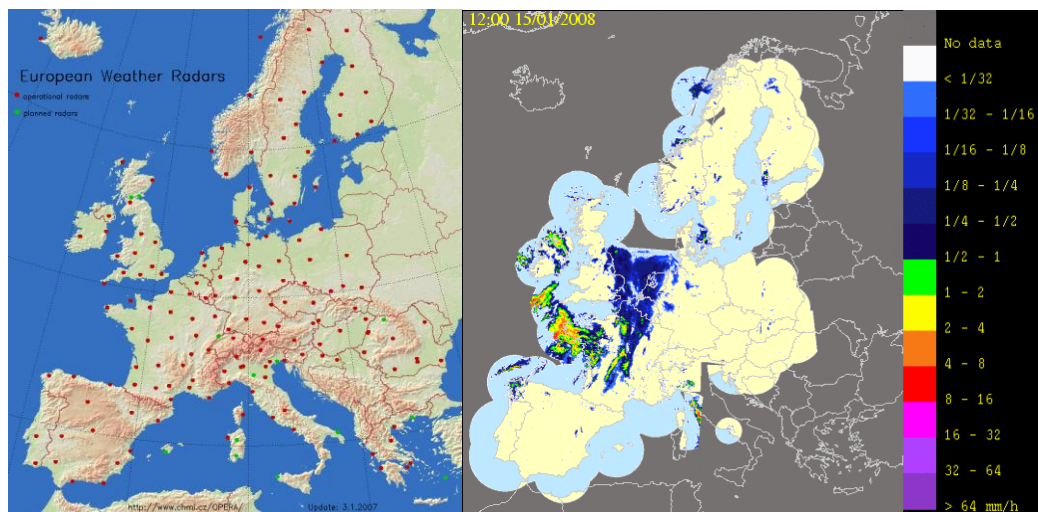
A repülőtéri műszereket minden repülőtéren úgy helyezik el, hogy minden fontos információ időben a pilóták rendelkezésére álljon. A futópálya mindkét végén sor kerül a szélirány, a szélesség, a beton hőmérséklet, a látástávolság és a felhőalap magasság mérésére. Mindezen mért értékek egy-egy adatgyűjtőbe kerülnek, amelyeket optikai kábel kapcsol össze az adatfeldolgozó munkaállomással. A repülőtéri meteorológiai mérőrendszer kivitelezésekor kialakításra került az ún. észlelőkert is, amely repülési szempontból ugyan nem lényeges, de éghajlati aspektusból fontos adatokat regisztrál. A szélirány, a szélesség, a léghőmérséklet és a légnedvesség mellett a térség éghajlati jellemzéséhez elengedhetetlen a talajhőmérséklet, valamint a csapadékmennyiség ismerete, a napsugárzás mérése a csapadék jelenlét detektálása mellett. Ezen adatok szintén egy adatgyűjtőben kerülnek rögzítésre, majd a munkaállomáson elvégzett adatfeldolgozás után a Katonai Meteorológiai Információs Rendszeren (KMIR) keresztül jutnak a tájékoztatásért felelős előrejelző tisztek, az ő munkájukat segítő meteorológiai asszisztensek, illetve a vizuális észleléseket végző meteorológiai észlelők munkaállomásaira. A mérési adatok az irányítótoronyban is megjelennek, ahonnan a repülésirányítók közvetlenül tájékoztathatják a pilótákat [2].

A MAWOS rendszeren kívül minden repülőtéren megtalálható egy-egy Hordozható Automata Meteorológiai Mérőállomás (HAMMÁ) is. A HAMMÁ-t egyrészt a MAWOS rendszerek tartalékaként alkalmazzuk, másrészt katonai gyakorlatok, kitelepülések során adott helyre telepítve terepi mérésekkel is biztosítjuk a meteorológiai támogatást.

Mindezek mellett az előrejelzők helyi távérzékelési eszközként az MRL-5 típusú meteorológiai radarok méréseire támaszkodhatnak zivataros időszakban. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) – a Honvédelmi Minisztérium és a Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Minisztérium közt létrejött együttműködési megállapodás eredményeként – folyamatosan (15 percenként frissítve) biztosítja a repülőterek, az MH 54. Légtérellenőrző Ezred, valamint az MH Geoinformációs Szolgálat (MH GEOSZ) részére a magyarországi kompozit radarképeket és a villámlokalizációs térképeket. Az európai kompozit radarkép (2. ábra) szintén negyedóránként frissül a NATO Automatizált Meteorológiai Információs Rendszerében, melynek 2007 óta a hazai radarkép is része a többoldalú (OPERA², OMSZ, MH GEOSZ, ACOMEX³) egyeztetések eredményeképpen. A radarkép a munkaállomásokhoz az ACOMEX adatfolyam részeként, műholdas kapcsolaton keresztül jut el.

Az eddig említett valamennyi rendszer a légkör adott időpontbeli állapotát tükrözi, előrejelzett információkat a különböző időjárási modellek mezőinek elemzésével kaphatunk. Gyakran felmerül az igény a mindennapi munka során, hogy a repülési körzet vagy a repülőter, esetleg a leszállópálya feletti magasabb légrétegekben uralkodó szélviszonyokról, szélnyírásról adjon információt a meteorológus, amely helyi, erre a célra alkalmas mérőeszközök hiányában nehéz feladat. Az előrejelzett felszállási görbék ugyan segítséget nyújthatnak a térséget jellemző általános szélviszonyok megismerésében, azonban nem alkalmasak a helyi, kisléptékű felszíni hatások figyelembe vételére, így a szélmező lokális jellegzetességeinek megállapítására. Dolgozatunk következő részében olyan

mérőeszközöket mutatunk be, amelyek képesek megmutatni a légkör pontos térbeli és időbeli állapotát, szél- és hőmérsékleti mező lokális jellegzetességeit.



2. ábra Az európai időjárási radarhálózat (bal oldal) és egy példa a kompozit radarképre az OPERA-3 projekten belül (jobb oldal)

REPÜLÉSRE VESZÉLYES IDŐJÁRÁSI JELENSÉGEK ÉS AZOK FELDERÍTÉSE

Zivatar, villámlás

Mindenki előtt ismert tény, hogy a zivatarok a hozzájuk kapcsolódó légköri jelenségek miatt rendkívüli veszélyt jelentenek a repülésre. Ezért a zivatarcellákat és azok közvetlen környezetét a légi járműveknek el kell kerülniük. A zivatarfelhők konvektív aktivitása magas, bennük a jégmagok és túlhűlt részecskék vertikális sebessége elérheti akár a 200 km/h-t is, így környezetükben gyakori a felhővillám, az intenzív turbulencia, a jégeső és a jegesedés. Amikor zivatarfelhő megközelít vagy elér egy repülőteret, akkor számítani kell a szél lökésessé válására, szélnyírásra, mikroburst-re, felhő-föld villámok kialakulására, jégesőre és erős csapadéktevékenységre [3]. A villámlás az egyik fő veszélyforrás, ezért a konvektív cellák gyors felismerése és erősségük minél pontosabb becslése elengedhetetlen.

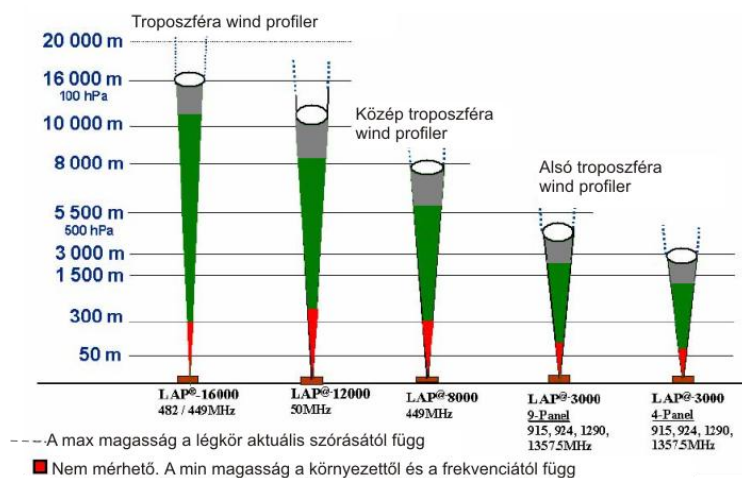
Kifejezetten erre a célra, a veszélyes jelenségekkel együttjáró zivatarok, zivatarláncok felderítésére, a nowcasting előrejelzések támogatására fejlesztette ki az Országos Meteorológiai Szolgálat az ún. SAFIR villámlokalizációs rendszert. Ennek a repülőtéri lokátor mérésekkel, valamint az országos kompozit radarképpel együtt történő alkalmazása megkönnyíti a zivatarok korai felismerését, hiszen nemcsak a repülés, hanem az élet- és vagyonbiztonság szempontjából is alapvető ezen információk korai ismerete.

Szélnyírás, horizontális és vertikális szélsébség

Különböző tanulmányokban bemutatott gyakorlati tapasztalatok alapján kijelenthetjük, hogy a közepes-erős vertikális szélnyírás és az alacsony szintű, horizontális szélnyírás a repülőgépek fel- és leszállásánál jelentenek igazán veszélyt. A szél horizontális és vertikális szerkezetének jobb megértésével – melyhez egy alkalmas eszköz az alábbiakban bemutatott wind profiler – a meteorológus tájékoztatása hozzájárulhat a műveletek hatékonyságának és biztonságának növeléséhez.

Wind profiler

A szélprofil mérését végző radar rendszerek 40–1400 MHz között működhetnek, a gyakorlatban azonban 50, 400 és 1000 MHz körüli frekvenciák használatosak (3. ábra). A működés elve mindhárom esetben hasonló, melyre leginkább a Doppler nyaláb kilengés (Doppler Beam Swinging – DBS) elnevezés terjedt el. A mérések során függőleges, illetve közel függőleges nyalábokat bocsátanak ki, melyek ciklikusan a vizsgált irányba mutatnak. A kibocsátott jelek a légkör meghatározott részecskéiről verődnek vissza. Egyrészt a légköri refrakciós index olyan irregularitásairól, melyek visszaverődést okoznak (ún. „clear-air” visszaverődés). A radarjel a hidrometeorokról is visszaverődik, miközben a Rayleigh szóródás során Doppler eltolódást szenved. Az eltolódás mértéke a jel sebességének radiális komponensétől függ.



3. ábra A különböző magasságok vizsgálatára alkalmas LAP típusú wind profiler

Ahhoz, hogy a teljes háromdimenziós szélvektort származtatni tudjuk, az észlelések során legalább három nem egy síkba mutató nyalábot kell alkalmazni; általában egy függőleges és kettő 5° és 20° közötti függőlegestől eltérő irányú radarnyalábot szokás használni. A légkör állapotának feltérképezése a visszatérő radarjel időzésén alapszik, az impulzushossz pedig a felbontást definiálja.

Az eszköz kiválasztásánál, illetve az egyes méréseknél mindig feladatorientáltan kell megválasztani a működési frekvenciát. A kiválasztás során több szempontot is mérlegelni kell.

Függőleges sebesség:

- 50 MHz körüli frekvencián, amely bár intenzív csapadék detektálására alkalmas, a clear-air visszaverődés mindig erősebb a hidrometeorokról való visszaverődésnél;

- a 400 MHz környéki frekvenciák a gyenge esőnél intenzívebb csapadék észlelésére alkalmasak;
- 1000 MHz frekvencián pedig bármilyen csapadék detektálható.

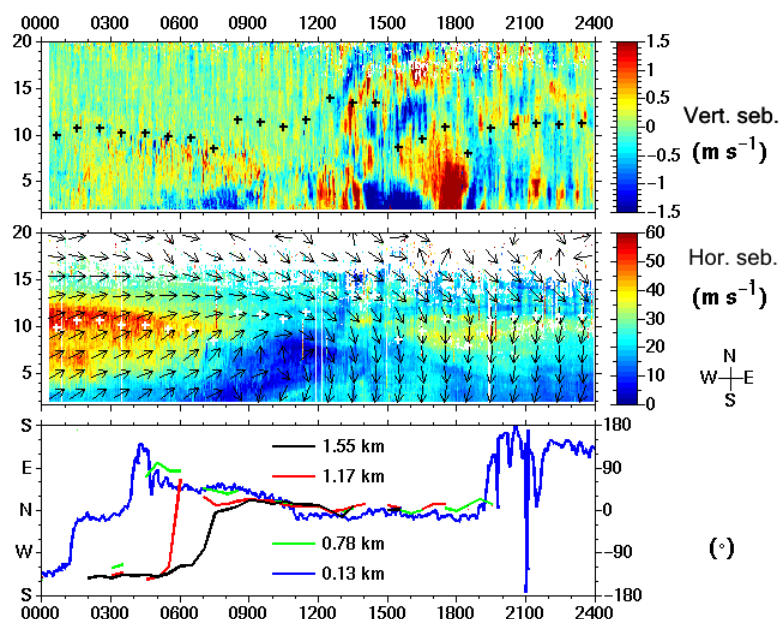
Antenna méretei: a radarjel horizontális kiterjedésének korlátozása érdekében, a wind profiler rendszerek nyalábszög szélességét be kell határolni: 10 km-es távolságban 1°-os szög 175 méternek felel meg. A nyalábszélesség fordítottan arányos az antenna horizontális méretével és a működési frekvenciával. Az 50 MHz-en működő radarok, tipikus antennamérete 100 méter, nyalábszélessége pedig 1,5°; ugyanezen jellemzők a 400 MHz-es típusoknál 10 méter és 3°; 1000 MHz-en pedig 2 méter és 5°.

Maximális észlelési magasság: növekvő frekvenciával csökken (3. ábra). A minimális észlelési magasság szintén csökken a frekvencia növekedésével, jellemzően 2 km (50 MHz), 500 m (400 MHz) és 100 m (1000 MHz).

Mindezen tulajdonságokat figyelembe véve repülésmeteorológiai feladatok közvetlen támogatására az 1000 MHz frekvencián működő wind profilerek a legalkalmasabbak.

A wind profiler radarjelének visszaverődéseit a jelerősséggel és a spektrális szélességgel szokás jellemezni. Ezt az információt arra használják, hogy további ismereteket kapjanak a légköri stabilitásról (magasság monitorozása és a tropopauza határa), a nedvesség mezőkről és a legalább közepes intenzitású turbulenciáról. A wind profiler mérésekkel fel tudjuk térképezni a légköri függőleges mozgásokat, melyre a 4. és 5. ábrán mutatunk be egy-egy példát.

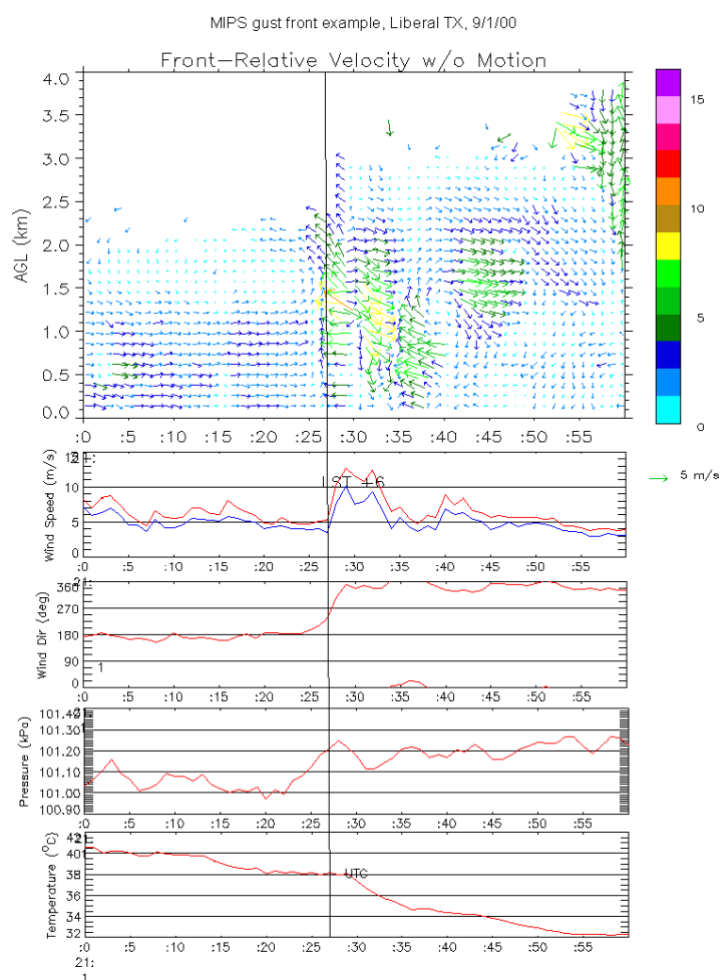
A 4. ábra alsó részén a feltüntetett magasságokon a mért szélirány kerül bemutatásra az alsó troposféra vizsgálatára alkalmas, ún. határréteg wind profiler perces adatai alapján. Ahogy 09 és 18 óra között látható, a horizontális szélvektor felülről nézve a magasság csökkenésével óramutató járásával ellentétesen fordul el körülbelül 20°–30° fokot (az Északi-féltekén).



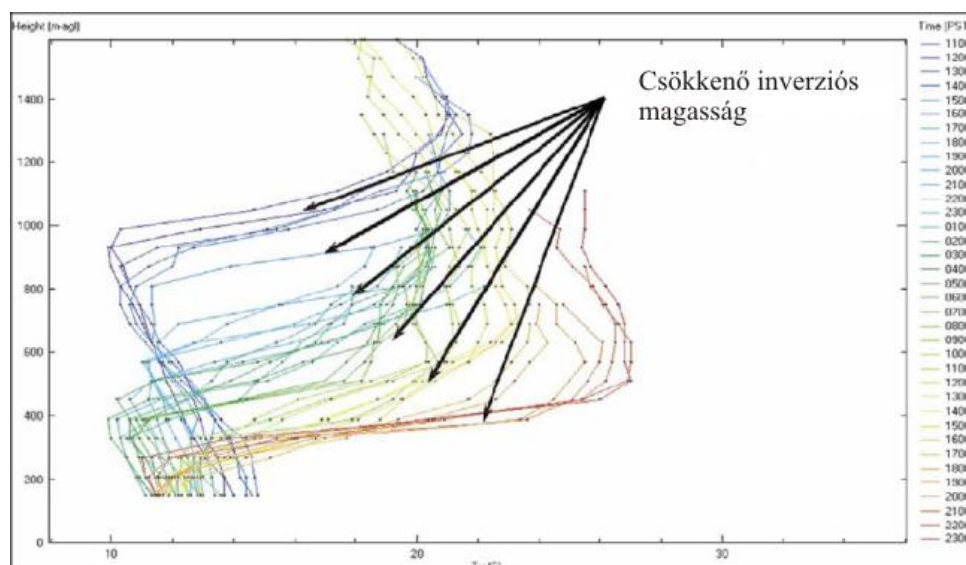
4. ábra Wind profiler mérések 915 MHz-en (MetOffice, 2001. 02. 12.)

A vertikális mozgások jól megfigyelhetők az 5. ábrán, felfelé 7 m/s, lefelé 9 m/s sebességet észleltek (30 másodperces átlag). Az eső az adott óra 30. percében eredt el a gust front után. A felszíni mérési eredmények viselkedésében is megjelent néhány figyelemre méltó, a gust fronthoz köthető jellemző, pl.: nyomásemelkedés a front előrehaladásával, hőmérséklet esése a front mögött és gyenge szélsébség-csökkenés a front előtt (néhányszor 10 cm/s).

A wind profilerek egy másik hasznos lehetőséget is kínálnak. Méréseik által betekintést engednek a határréteg szerkezetébe, lehetővé teszik a hőmérsékleti inverziók felismerését. A Graph-XMTM (Vaisala) megjelenítő szoftver segítségével a virtuális hőmérséklet vertikális profilja is elkészíthető. A 6. ábrán látható példában az inverziós magasság időbeni csökkenését figyelhetjük meg, amely 36 óra alatt 1000 méterről 300 méterre süllyedt. A csökkenő inverziós magasság erősen korlátozza a függőleges keveredést és fontos, levegőminőséget jellemző faktorként is alkalmazzák.



5. ábra Mobil wind profilér mérésekből (915 MHz) a szélvektor térbeli és időbeli változása gust front esetén, valamint a felszíni légnyomás és hőmérséklet időbeli menete (Mobile Integrated Profiling System, MIPS, 2000. 01. 09.)



6. ábra Vaisala wind profiler Graph-XMTM megjelenítő szoftverével megjelenített virtuális hőmérséklet vertikális profiljai (<http://www.vaisala.com>)

WIND PROFILER HÁLÓZATOK

A légi közlekedés ellenőrzéséért felelős osztrák Austro Control GmbH szakemberei 1997-ben egy wind profiler hálózatot építettek ki (Vaisala LAP®-3000, 1280 MHz) Ausztriában, mely az alsó troposzféra szélviszonyainak elemzésére alkalmas (3. ábra). Három repülőtér – Bécs, Salzburg és Innsbruck – azért telepítették az eszközöket, hogy monitorozzák a szelet a felszállópályák környékén és a bevezető folyosókon. Az Austro Control kifejlesztett egy védjegyzett grafikai megjelenítőt, ami felismeri a potenciálisan veszélyes szélnyírási zónákat, és riasztást ad le, így figyelmeztetni tudják a pilótákat a repülőgép fedélzetén a kritikus zónákban.

A szakirodalom áttekintése során láthatjuk, hogy Európában a CWINDE⁴ hálózat, mely az EUMETNET⁵ program részeként a nemzeti meteorológiai szolgálatok, egyetemek, repülőterek és kutatóintézetek által működik, biztosítja a wind profilerek és az időjárási radarok szélprofiljai valós idejű adatfeldolgozását és adatmegjelenítését Interneten (7. ábra) keresztül. A CWINDE hálózat különböző típusú (50 MHz, 400 MHz és 1 GHz rendszerek) és gyártmányú profilerekből épül fel. Ebben a nagyszabású programban részt vesz Ausztria, Finnország, Franciaország, Németország, Írország, Hollandia, Svájc, Egyesült Királyság és Magyarország is. A már több mint tíz éve folyó fejlesztést az Egyesült Királyság Meteorológiai Hivatala végezte a COST-76 program keretében. Jelenleg (2008) a CWINDE adatszerver 27 wind profilerről és 91 időjárási radarról gyűjti a szélprofilokat, melyek a jelszóval védett www.metoffice.gov.uk/corporate/interproj/cwinde honlapon jeleníti meg [4, 5].

Az Országos Meteorológiai Szolgálat 2003 nyarán két wind profiler radart vásárolt. 2004-ben a rendszereket integrálta a CWINDE hálózathoz, a mérőeszközöket, melyek típusát és néhány műszaki paraméterét az 1. táblázat mutatja, Budapesten és Szegeden helyezte üzembe.

Típus	Hely	Fix / Mobil	Frekvencia (MHz)	Vertikális felbontás (m)	Teljesítmény (kW)	
					Csúcs	Átlag
Degreane	Budapest	M	1290	50	3,5	0,17
LAP-3000	Szeged	F	1290	60	0,6	0,1

1. táblázat Hazai wind profilerek (OMSZ) néhány jellemzője



7. ábra. CWINDE Profiler hálózat (2005. január)

FEJLESZTÉSI TERVEK

Az MH Geoinformációs Szolgálat három, repülőterenként egy-egy hordozható wind profiler – amely típustól függően 3 vagy 8 km-es magasságig képes mérések végrehajtására – beszerzését jelentette meg a Tárca Védelmi Tervező Rendszer hosszú távú, tízéves terveiben. Mivel a repülőterek környezetében a horizontális szélsébség és szélirány, valamint a vertikális szélsébség függőleges változásának folyamatos és valós idejű ismerete lehetséges – ahogy azt a dolgozatban bemutattuk – wind profilerek méréseinek felhasználásával, ezért a mért adatok feldolgozása hozzájárul a katonai repülésre veszélyes időjárási jelenségek időben való felismeréséhez (vertikális szélnyírás és turbulencia), a szinoptikus és mezoszkálájú folyamatok mélyebb elemzéséhez. Ezeken túlmenően alapjául szolgálhat a rövidtávú előrejelzések készítésének, mivel hozzájárul azok jobb beválásához. Ezek a nemzeti képesség felajánlás részeként bevethetők a szövetségi feladatok geoinformációs támogatásában is.

A meteorológiai mérőrendszerek egységesítése jegyében tervezzük a repülőtereken üzemelő MAWOS rendszerek fejlesztését is. Ennek során az elavult, minőségi, műszaki követelményeknek nem megfelelő szenzorok, adatgyűjtők, kábelek, kommunikációs eszközök, munkaállomások cseréjét végeznénk el. A rendszer fejlesztése maga után vonja a mért adatok adatbázisba szervezését is, mely nagyban hozzájárulna az adatellenőrzési és adatfeldolgozási feladatok modern eszközökkel történő elvégzéséhez.

A harmadik tervünk egy jelenleg fennálló problémára adna megoldást, nevezetesen mobil harcászati meteorológiai mérőrendszerek beszerzését célozza meg. A beszerzés sikeres végrehajtása esetén alapvető hiányt pótolna a katonai kitelepülési, terepi vagy missziós feladatok meteorológiai támogatása során, hiszen a jelenlegi hordozható rendszerek (szállíthatóságukat, rádiós kommunikációjukat, életkorukat tekintve) elavultak. A mobil rendszerek gyors amortizációja pedig szemmel látható az afganisztáni alkalmazás során. Továbbá a beszerzés hiánypótló jelentőséggel is bírna, mivel jelenlegi rendszereink nem tartalmazzák az optikai szenzorokat (felhőalap mérő, látástávolság mérő, villámdetektor).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetünket fejezzük ki kutatóhelyünknek, az MH Geoinformációs Szolgálatnak, hogy a dolgozat elkészítéséhez biztosította számunkra a technikai háttérrel. Továbbá köszönjük a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíjának támogatását.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Űrhajózási lexikon, Főszerkesztő: ALMÁR Iván, Szerkesztő: HORVÁTH András, Akadémiai Kiadó, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1984.
- [2] HÁY György: Amit a repülésről tudni kell, Typotex kiadó, 2006.
- [3] SÁNDOR Valéria—WANTUCH Ferenc: Repülésmeteorológia, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 2004.
- [4] Iwan HOLLEMAN—Laurent DELOBBEY—Anton ZGONC: Update on the European Weather Radar Network (OPERA), Report of OPERA-3, 2008.
- [5] Tim OAKLEY—Myles TURP: Quality management of a European wind profiler network (CWINDE), UK Met Office, Exeter, United Kingdom, 2007.
- [6] J.R. JORDAN—J.L. LEACH—D.E. WOLFE: Operation of a mobile wind profiler in severe clutter environments, NOAA Environmental Technology Laboratory Boulder, 2008.
- [7] Pavan Kumar Reddy KANKANALA: Doppler sodar observation of the winds and structure in the lower atmosphere over Fairbanks, Alaska, 2007.

¹ MAWOS: Military Airfield Weather Observation System – Repülőtéren földfelszíni időjárás-megfigyelő rendszer

² OPERA: Operational Exchange of Radar Data – Radar adatok operatív cseréje, a projekt fenntartja és fejleszti a kölcsönös megállapodáson működő radar adatok cseréjét Európában

³ ACOMEX: Allied Command Operation Meteorological and Oceanographical Data Exchange – Szövetséges Hadműveleti Parancsnokság Meteorológiai és Oceanográfiai Adatcsere (munkacsoport és adatfolyam)

⁴ CWINDE: Cooperation On Science and Technology (COST) Wind Initiative for a Network Demonstration in Europe — Koordináció a tudományban és a technológiában, kezdeményezés
Co-ordinated WIND profiler network in Europe — Koordinált wind profiler hálózat Európában (későbbi definíció)

⁵ EUMETNET: Network of European Meteorological Services – Európai meteorológiai szolgálatok hálózata