



Dr. Bottyán Zsolt¹ – Dr. Wantuch Ferenc² – Tuba Zoltán³ – Hadobács Katalin⁴ – Jámbor Krisztián⁵

REPÜLÉSMETEOROLÓGIAI KLÍMA ADATBÁZIS KIALAKÍTÁSA AZ UAV-K KOMPLEX METEOROLÓGIAI TÁMOGATÓ RENDSZERÉHEZ⁶

A modern repülésmeteorológiai támogatás két alapvető pillérré épül. Egyrészt dinamikus előrejelzési modellekre, amelyeket a rövidtávú tervezés és a végrehajtás során használnak, másrészt a klimatológiai adatokon alapuló statisztikai összegzésekre és modellekre, amelyeket elsősorban a hosszú távú tervezés és napjainkban már a végrehajtás során használt ultra-rövid távú előrejelzéseken keresztül hasznosítanak. Ez indokolta egy olyan klimatológiai adatbázis kialakítását, amely a további statisztikai alkalmazások megfelelő alapjául is szolgálhat. Kiemelten igaz mindez a pilóta nélküli repülőeszközök meteorológiai támogatásának terén, ahol a standard eljárások kidolgozása is egy jövőbeli feladat. A kialakított új adatbázis teszt verziója működőképes, a jelentősebb szisztematikus hibák kiszűrésre kerültek. Középtávú célunk olyan, a fuzzy logikán és analóg helyzetek kiválasztásán alapuló előrejelző rendszer adaptálása és fejlesztése, amely alkalmas döntéstámogató eljárás lehet a UAV-k meteorológiai támogatásában is.

CREATION OF A NEW CLIMATIC DATABASE FOR AVIATION METEOROLOGICAL SUPPORT SYSTEM OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVs)

The modern aviation meteorological support has two fundamental parts. The first one is the numerical weather prediction model, which is used during the short term planning processes and the operations itself. The second part consists the statistical overviews and models based on climatological data. It accounted for the creation of a climatic database which can be an appropriate basis of new statistical approaches and models. This is increasingly true on the field of meteorological support of unmanned aerial vehicles, where the standard operational procedures are before construction. The test version of the new database is in good working order, the larger systematic errors are eliminated. Our middle term goal is the adaptation and development of a fuzzy-logic based analog forecasting system, which can be an appropriate decision aid in meteorological support of the UAVs.

BEVEZETÉS

A repülésmeteorológiai előrejelzés az általános meteorológiai előrejelzésekhez képest lényegesen nagyobb pontosságú és részletesebb prognózist kell, hogy szolgáltatson a felhasználók számára. Ezek a térben és időben is leszűkített repülőtéri előrejelzések általában kódolt vagy szöveges formában készülnek, és a hazai valamint nemzetközi szabályoknak, szabványoknak megfelelő pontosságot kell tartaniuk. Éppen ez a térbeli és időbeli leszűkítés, vagy megfogalmazhatnánk úgy is, hogy a növekvő felbontás, eredményezi azt, hogy az előrejelzések ké-

¹ százados, egyetemi docens, NKE Katonai Repülő Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

² hatósági meteorológus, Nemzeti Közlekedési Hatóság, wantuch.f@gmail.com

³ százados, PhD hallgató, NKE Katonai Repülő Tanszék, meteorológiai csoportparancsnok, MH 86 Szolnok Helikopter Bázis, tubazoltan.met@gmail.com

⁴ hadnagy, meteorológus tiszt, MH. Geoinformációs Szolgálat, katalin.hadobacs@gmail.com

⁵ informatikus, NKE, jambor.krisztian@uni-nke.hu

⁶ Lektorálta: Bíróné Dr. Kircsi Andrea, egyetemi adjunktus, Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék, kircsi.andrea@science.unideb.hu



szítése során nem elég a szinoptikus skálájú befolyásoló tényezőket figyelembe venni. [1] A pontos prognózisok készítéséhez az előrejelzőnek részletes információkkal kell rendelkeznie az előrejelzés térbeli tartományának esetünkben, a repülőtér lokális környezetének mikro- és mezo-skálájú időjárását befolyásoló tényezőiről, klimatikus sajátosságairól. [2] A repülőtereken folyamatosan keletkező meteorológiai megfigyelések repülési szempontból való feldolgozása és adatbázisba rendszerezése, egy újfajta tudásbázis kialakítását jelenti. [3] Ezt a tudásanyagot, amit nyugodtan hívhatunk tapasztalatnak, egy elkötelezett, azonos szolgálati helyen dolgozó előrejelző képes évek, évtizedek alatt megszerezni, viszont az információ számára sem rendszerezett, tetszőlegesen lekérdezhető adatként áll rendelkezésre. A fentiek alapján elmondhatjuk, hogy a repülésmeteorológiai előrejelzésben, az általános meteorológiai előrejelzésekhez képest még nagyobb szerepe van az adott szinoptikus tapasztalatának a megfelelő minőségű prognózisok készítése során, amit egy megfelelően kialakított repüléscentrikus meteorológiai adatbázis hathatósan tud támogatni.

Általános definíció szerint adatbázis alatt az azonos minőségű (jellemzővel rendelkező) adatok valamely célszerűen strukturált, szisztema szerinti tárolását értjük, amelyet az adatbázis lekérdezésére és szerkesztésére alkalmas szoftvereszköz kezel. A jelenlegi hazai repülésmeteorológiai gyakorlatban sem a katonai, sem pedig a civil szegmensben nem áll rendelkezésre olyan, a repüléshez kapcsolódó releváns meteorológiai információkat tartalmazó adatbázis, amely a korábbiakban megfogalmazott definíciónak teljes mértékben megfelelne. A Magyar Honvédségnél például a METAR táviratokban rögzített adatok központi tárolása csak a táviratok szintjén valósul meg, azaz az egyedi meteorológiai paraméterek lekérdezésére, visszakeresésére nincsen lehetőség.

Kiemelten igaz mindez a pilóta nélküli repülőeszközök esetében, ahol a repülések meteorológiai támogatásának hazai eljárásrendje szinte teljes egészében hiányzik, noha számos országban intenzíven dolgoznak ezen a területen. [4][5] Kanadában például Hansen vezetésével olyan analóg, statisztikai adatokon alapuló előrejelző módszert alkalmaznak, amelynek adaptálása és továbbfejlesztése a hazai repülésmeteorológiai támogatás minőségét és ezen keresztül a repülésbiztonságot is jelentősen növelhetné. [10][11] Egy összetett, teljes adatbázis létrehozásával lehetőség nyílik az egyes repülőterek komplex, repülés-klimatológiai leírásának elkészítésére, a meteorológiai támogatást segítő statisztikák kidolgozására és alkalmas statisztikai módszerek bevezetésére.

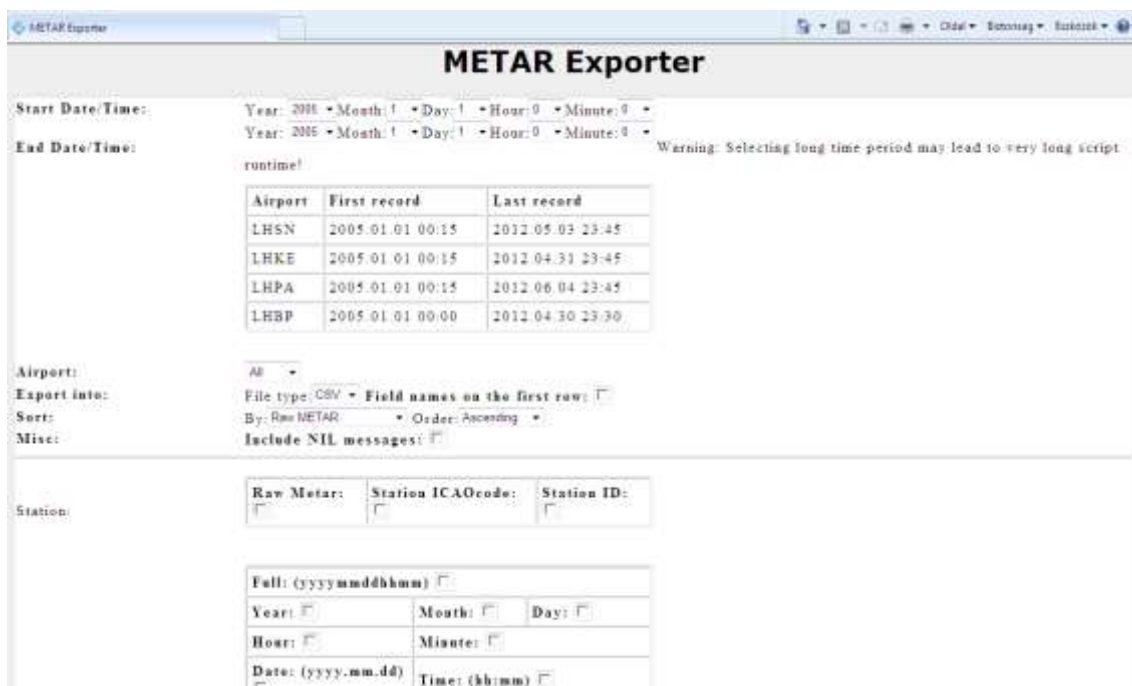
AZ ADATBÁZIS TECHNIKAI HÁTTERE

A kialakítandó adatbázis adatai nem elemi értékeként álltak rendelkezésre, ezért az információk előfeldolgozása megkerülhetetlen feladat volt. Első lépésben a táviratok formájában rendelkezésre álló repülésmeteorológiai információkat kellett feldolgozni. A METAR adatok feldolgozásához szerver oldali script nyelvet használtunk, azon belül is a méltán kedvelt PHP-t. Bár így némileg lassabb a feldolgozás egy platformhoz kötött natív kódot használó programhoz képest, de az adatok folyamatos frissítése könnyebbé válik, hiszen a szerver automatikusan megteheti azt a kevésbé forgalmas időszakokban. Ezen kívül a platform függetlenség is fontos szempont volt, hiszen így elég egy web böngésző a futtatáshoz. A fejlesztés is a szerver platformjától nagyban eltérő rend-

szeren történt, de az adaptálás gyors és zökkenőmentes volt. A futás során a program végigbongé-
szi a lehetséges távirat sorokat, azokat összeilleszti táviratokká, paraméterekre bontás után javítja
az esetleges hibákat, ellenőrzi az adatok értelmezhetőségét, majd az adatbázisba illeszti őket.
Természetesen időközben osztályozásra is kerülnek a táviratok aszerint, hogy szerepelnek-e már
az adatbázisban, és ha igen, akkor tartalmazznak-e többlet információt a meglévőkhöz képest.
Minden adatbázis kialakításának sarkalatos pontja az adatbázisba kerülés előtti adatok hiba szerin-
ti szűrése. A meteorológiai táviratok először egy nagyon komoly hibakorrekción esnek át, ami az
elírásokat, tagolási hibákat, stb. korrigálja. A következő lépésben, egy paraméterenkénti ellenör-
zés következik, amely megvizsgálja az adott paramétert, annak értelmezési tartománya és függő-
ségi viszonyai (pl.: szélerősség-szélleőkés) alapján. Az ellenőrzés eredményéről azonnal informá-
ciót kapunk a fontossági osztályoknak megfelelően (error, warning, notify), amik külön naplózás-
ra is kerülnek, segítő a későbbi vizsgálatokat.

Az adatok tárolására MySQL adatbázis motort használtunk. [7] Ez egy egyszerű, de gyors és
rugalmas adatbázis kezelő, amit gyakran megtalálhatunk a webes portál oldalak motorjától
kezdve komoly, nagy forgalmú, óriás alkalmazások alapjáig bezárólag. Könnyű használható-
ság, megbízhatóság és jó rendelkezésre állás jellemzi és emellett jól skálázható.

Az adatbázis egy nyilvánosan elérhető, Debian Linux alapú szerveren fut, „szabványos”-nak nevez-
hető Apache – PHP – MySQL környezetben. [8] Az ideiglenesen használt teszt gép egy szerény
konfigurációt tartalmaz, de megfelelő optimalizálások után elfogadható teljesítményt nyújt. A vég-
leges változat azonos szoftver-környezettel egy sokkal jobb teljesítményű szerveren fut majd.



METAR Exporter

Start Date/Time: Year: 2011 • Month: 1 • Day: 1 • Hour: 0 • Minute: 0
 End Date/Time: Year: 2015 • Month: 1 • Day: 1 • Hour: 0 • Minute: 0
 Warning: Selecting long time period may lead to very long script runtime!

Airport	First record	Last record
LHNS	2005-01-01 00:15	2012-05-03 23:45
LHKE	2005-01-01 00:15	2012-04-31 23:45
LHPA	2005-01-01 00:15	2012-06-04 23:45
LHBP	2005-01-01 00:00	2012-04-30 23:30

Airport: All
 Export into: File type: CSV • Field names on the first row:
 Sort: By: Raw METAR • Order: Ascending
 Misc: Include NIL messages:

Station: Raw Metar: Station ICAOcode: Station ID:

Full: (yyyy-mm-ddhhmm)
 Year: Month: Day:
 Hour: Minute:
 Date: (yyyy-mm-dd) Time: (hh:mm)

1. ábra Részlet a METAR Exporter web-es lekérdező felületéről

Az adatok egy weblapon keresztül tölthetőek le, ahol beállítható, hogy milyen paraméterekre
van szükség. A weblap mind szerver, mind kliens oldali kommunikációt (AJAX) használ a
lekérdezési adatok feldolgozására és a kért adatok generálására. [9] Az adatok többféle for-
mában is lekérdezhetők (csv, txt) és további célformátumok integrálása is várható a közeljő-

vőben (nyílt dokumentum formátumok).

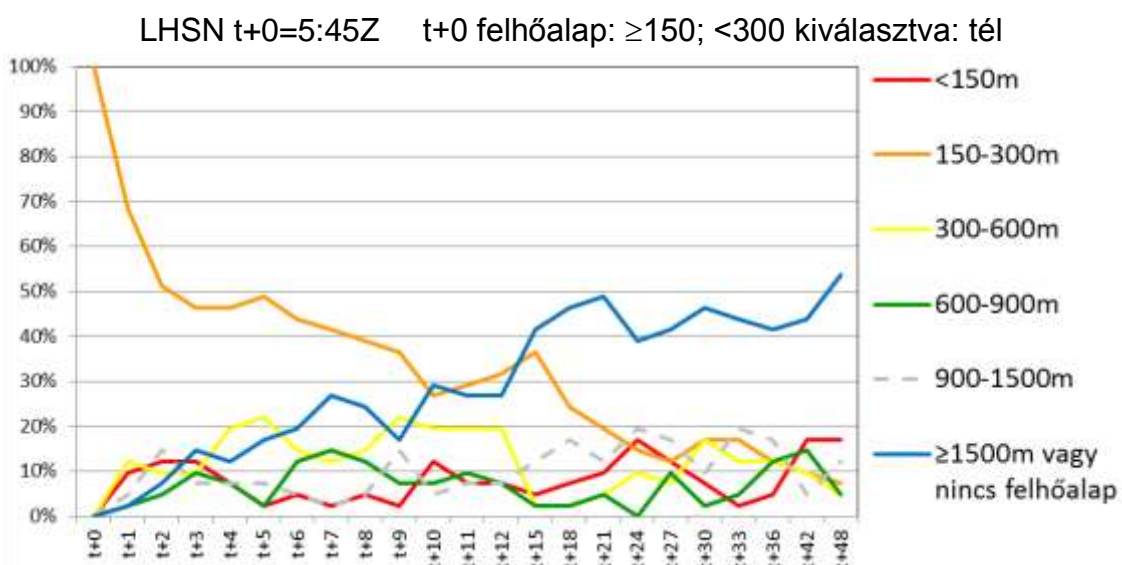
Az adatbázis elsődleges célja, hogy egy minél teljesebb, időben folyamatos, paraméter szintű bontásban megvalósított adattár legyen, ahonnan minél egyszerűbben és minél többféle szempont szerint, rugalmasan lehessen adatokat lekérdezni. Az adatok elérésével kapcsolatban pedig az a cél, hogy azt interneten keresztül bárhonnán elérhetően meg lehessen tenni. Az 1. ábrán látható egy részlet a jelenleg már használatba került adatbázis lekérdező felületéről.

Gyakorlatilag a METAR-okban megtalálható, összes paraméter alapján lehet keresni az adatbázisban, tetszőlegesen megadott időszakra vonatkozólag. Az adatok könnyebb felhasználhatósága érdekében egy adatot többféle összeállításban is lekérhetünk: a dátum például elérhető év, hónap, nap bontásban és összevont formában is.

Természetesen szükség volt az adatbázis lekérdező aprólékos tesztelésére is. A lekérdező programot és az adatokat párhuzamosan teszteltük, hogy informatikai és meteorológiai szempontból is vizsgáljuk az adatok helyességét. Ez magában foglalta a különböző szempontok szerinti szűrőpróbaszerű ellenőrzést és a célirányos módszeres ellenőrzéseket is. A tesztelés során számos hibát (pl.: hiányzó és duplikált adatok, helytelenül kiolvasott értékek, stb.) találtunk, amelyek javításra kerültek.

EREDMÉNYEK

A létrehozott adatbázis segítségével időközben elkészültek a katonai repülőterek repülés-klimatológiai leírásai. A több száz oldalas dokumentumok az általános leíró részekén kívül olyan statisztikákat is tartalmaznak, amelyek a hazai gyakorlatból eddig szinte teljesen hiányoztak. Így szerepelnek benne a repülőtér és a repülőeszközök üzemben tartása szempontjából lényeges, általánosnak mondható felhőalap és látástávolság együttes előfordulási statisztikáin túl, olyan összegzések is – a teljesség igénye nélkül, – mint például a feltételes relatív és a feltételes rákövetkezési gyakoriságok adatai.[6]

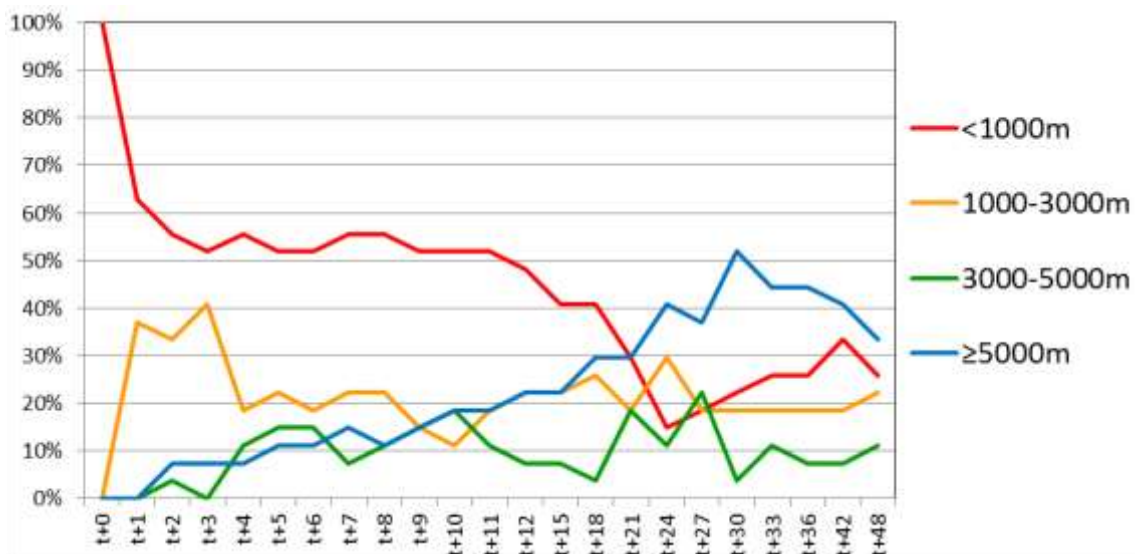


2. ábra A felhőalap kategóriák adott feltételek melletti relatív gyakoriságai a szolnoki repülőtéren (LHSN) a téli időszakban. Kiindulási feltételek: 5:45 UTC és 150-300 m felhőalap.

A 2. ábrán az összes olyan, a téli hónapokban előforduló időjárási szituációnak a relatív gyakorisági adatai szerepelnek, amikor a 05:45Z-s METAR táviratban a felhőalap elérte a 150 métert, de kisebb volt 300 méternél. A vízszintes tengely $t+x$ jelölései a kiindulási időponttól mért időbeli eltérést mutatják órában. A példaként bemutatott ábrán látható, hogy az esetek körülbelül 50%-ban 11:45Z-ig 300 méter alatt maradt a felhőalap. Mindez egy tapasztalt szinoptikusnak várhatóan nem meglepő, de a nem szakmai felhasználók (Pl. UAV pilóták, kezelők) és a kezdő, kevesebb tapasztalattal rendelkező előrejelzők számára biztosan hordoz új információkat. Természetesen az éven belüli helyzet, a kiindulási időpont, a paraméterek kezdő értékei és a vizsgálati kategóriák szabadon megválaszthatók, így a produktumok számának és tulajdonságainak csak a felhasználói fantázia szab határt. A parametrizálhatóságnak köszönhetően az egyes produktumok az üzemeltetési előírásokhoz, határértékekhez igazíthatók, így például a különböző pilóta nélküli repülőeszközök (UAV-k) differenciált igényei is kielégíthetők. Az ábrán szemléltetett statisztikai szcenárióhoz hasonló produktumok már a műveletek tervezési folyamata során felhasználhatók és segítségükkel a tényleges végrehajtásra vonatkozóan különböző forgatókönyveket lehet kidolgozni.

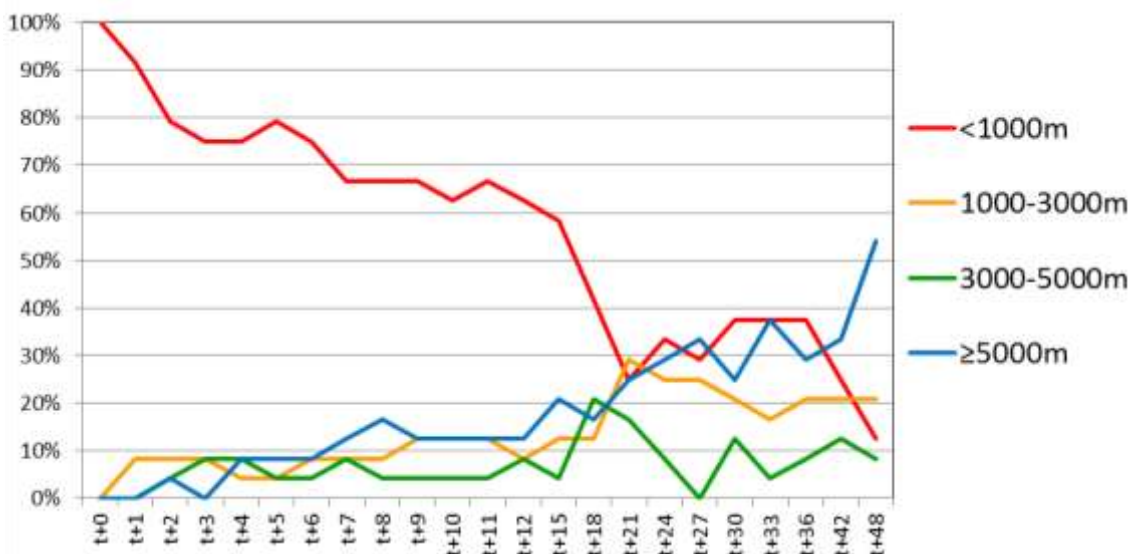
A következőkben tekintsünk át néhány, a téli hónapok alapján elkészített hasonlóan értelmezhető látástávolság ábrát! Ezek bemutatásával az a célunk, hogy rávilágítsunk arra, hogy az azonos értékekből induló szituációkat milyen erős mértékben határozza meg a kiindulási időpont napon belüli helyzete. Az egyes ábrák között mindössze 3 óra telt el, ez mégis jelentősen befolyásolta a kiindulási látástávolságtól eltérő kategóriák meneteit. Mindez nyilvánvalóvá teszi azt a tényt, hogy az elkészített statisztikák nem „csupán” operatív használatra, hanem kutatási célokra is alkalmasak. A leszűrt konzekvenciák segítségével ugyanis például az analóg szituációk kiválasztásán alapuló statisztikai előrejelző módszerek tagsági függvényeinek objektivitása növelhető.

LHSN $t+0=11:45Z$ $t+0$ látástávolság: ≥ 0 ; <1000 kiválasztva: tél



3. ábra A látástávolság kategóriák adott feltételek melletti relatív gyakoriságai a szolnoki repülőtéren (LHSN) a téli időszakban. Kiindulási feltételek: 11:45 UTC és 1000 m alatti látástávolság.

LHSN t+0=14:45Z t+0 látástávolság: ≥ 0 ; <1000 kiválasztva: tél



4. ábra A látástávolság kategóriák adott feltételek melletti relatív gyakoriságai a szolnoki repülőtéren (LHSN) a téli időszakban. Kiindulási feltételek: 14:45 UTC és 1000 m alatti látástávolság.

A 3. ábrán látható kiindulási szituáció általában egy tartósan fennmaradó, az éjszakai vagy a kora reggeli órákban képződött köd folyamányaként áll elő. A napi menettel való javulásnak a kezdeti néhány órában van a legnagyobb realitása és ez meg is látszik a magasabb látástávolság kategóriák görbéin. Kezdetben egy viszonylag gyors, nagyarányú javulás indul meg, ami az éjszakai órákig monoton folytatódik, és csak ott mutat stagnálást. Mindemellett kiemelt figyelmet érdemel, hogy az 1 km alatti látástávolság az esetek felében késő éjszakáig fennmarad és az aránya csak másnap nappal kezd szignifikánsan csökkenni.

A 4. ábra nagyobb fennmaradási aránnyal ugyan, de hasonló képet mutat az 1 km alatti látás tekintetében. A többi kategória esetében azonban esetenként rendkívül eltérő képet kapunk. Markáns, gyors, nagyarányú javulás nem látható és az 5 km-t legalább elérő látástávolság kategória már 4 órával a kiindulási időpont után a második leggyakoribbá válik. A fentiek magyarázata az, hogy a nap ezen szakaszában nem tipikus a köd kialakulása, azaz az alacsony látástávolság korábban kialakult permanens ködből származik. A kiindulási időpont azonban már elég közel van a napnyugtához, ahhoz, hogy a tipikus nappali javulást előidéző folyamatok már ne lehessenek meghatározóak. Ebben a szituációban javulást általában olyan érdemi ok idézhet elő (pl.: jelentős szélerősödés, hidegfront érkezése, stb.), ami dinamikájából adódóan jelentős látástávolság növekedést okoz. Ez okozhatja az 5 km feletti látástávolság gyakoriságának relatíve gyors növekedését is.

A fentiekben példaként bemutatott eredményekkel arra igyekszünk rávilágítani, hogy a létrehozott adatbázis segítségével kialakított produktumok felhasználási lehetőségei milyen széleskörűek és hogy ezek mennyire érzékenyek a kiindulási paraméterek egyes értékeire. Mindez ugyanis jelentősen befolyásolja a nem szakmai felhasználók által való alkalmazási lehetőségeket és rámutat arra, hogy akár a legtapasztaltabb előrejelző számára is hasznos eszközök lehetnek az egyes statisztikák a meteorológiai biztosítás során.



FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK, TERVEK

Az adatbázis létrehozásával az egyértelmű cél az, hogy egy olyan rendezett, lekérdezhető adat együttes jöjjön létre, amelynek az operatív használatával – legyen a felhasználó szakképzett, gyakorlott meteorológus, egy pilóta nélküli repülőeszköz kezelője vagy akár a repülési feladat tervezéséért felelős parancsnok –, a repülések biztonságos végrehajtása repülésmeteorológiai szempontból jobb minőségben legyen biztosítható. Nyilvánvalóan a lekérdezhető adat együttes alatt nem csupán a nyers adatok egyszerű lekérését értjük, hanem az adatok felhasználásával készült összegzések, leírások, valamint a korábbiakban bemutatotthoz hasonló, parametrizálható produktumok, statisztikák elérését is. Az egyszerű lekérdezést meghaladó, hozzáadott értékkel rendelkező és utófeldolgozást nem igénylő produktumok kidolgozását megkezdtuk a hozzá tartozó célfelület kialakításával együtt. Terveink szerint ezeknek a parametrizált lekérése webes felületen lesz végrehajtható, amelynek megvalósítása a közeljövőben fog megtörténni. Ennek az opciónak a Visual Basic alatt kialakított teszt verziója már működőképes, fejlesztése és tesztelése folyamatban van. Az adatbázis folyamatos építésével, karbantartásával pedig a rendelkezésre álló adatsorok hossza fogja garantálni az előállított statisztikák és az azokra épülő új eljárások pontosságának növekedését.

Az adatbázis folyamatos bővítés alatt áll. Folyamatban van az automatikus METAR frissítés üzembe helyezése, amivel 1-2 nap késéssel, de mindig friss adatokkal töltődik fel az adatbázis. A késő esti órákban ütemezett feladatként történik a frissítés. Ezen felül a METAR táviratokra épülő adatbázis hamarosan kiegészítésre kerül a SYNOP táviratok adataival, hogy még teljesebb és pontosabb legyen az adathalmaz.

A kiépített teljes adatbázis segítségével a jövőben egy ultrarövidtávú, analógiás elven alapuló előrejelző módszert szeretnénk adaptálni és fejleszteni, amely a közvetlen döntéshozatal támogatására mind szakmai, mind parancsnoki, mind pedig egyszerű repülőeszköz üzemeltetői szinten alkalmas. [10] Az eljárás alapjául, az analóg időjárási szituációk kiválasztásához a fuzzy halmazok és logika elméletét kívánjuk felhasználni, amely a megfelelő szakértői ún. tagsági függvényekkel a nemzetközi szakirodalmi vonatkozások alapján ígéretes eredményeket generálhat. [11]

ÖSSZEFOGLALÁS

A repülésmeteorológiai támogatás hatékonyságának növeléséhez és a modern kori kihívások teljesítéséhez elengedhetetlenül szükségessé vált egy repülésmeteorológiai adatokon alapuló adatbázis kialakítása. Ez a megfelelő számítástechnikai háttérrel megvalósításra került. Az adatokhoz való hozzáférés felhasználóbarát webes felületen keresztül lehetséges, melynek bővítése az utófeldolgozást nem igénylő produktumokkal és a tetszőlegesen parametrizálható lekérdezésekkel folyamatban van. Az adatbázison alapuló első eredmények alátámasztották az elvégzett munka szükségességét, hiszen mind felhasználói, mind pedig kutatói oldalon jelentős távlati perspektívák nyílnak meg.

A publikáció a TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 „Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások”, pályázat keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SÁNDOR Valéria – WANTUCH Ferenc: Repülésmeteorológia. Tankönyv pilóták és leendő pilóták számára. Második javított kiadás, Folium Nyomda, Budapest, 2005.
- [2] World Meteorological Organization – No. 770: Methods of interpreting numerical weather prediction output for aeronautical meteorology., Technical Note No. 195., 79-85.
- [3] International Civil Aviation Organization (ICAO): Meteorological Service for internationale air navigation, Chapter 4–6., 2011.
- [4] PALIK Mátyás: A pilótánélküli repülő eszközök alkalmazásának sajátosságai nemzeti légtérben. Repüléstudományi Közlemények, Különszám I., 2001.
- [5] David I. KNAPP, J. RABY, E. MEASURE, R. C. BROWN: U.S. Army Research Laboratory White Sands Missile Range, New Mexico and V. Gupta U.S. Army Corps of Engineers, Topographic Engineering Center, Alexandria, Virginia: A weather decision aid for Unmanned Aerial Vehicle missions, 12th Conference on Aviation Range and Aerospace Meteorology, 2006.
http://ams.confex.com/ams/Annual2006/techprogram/paper_100935.htm
- [6] Daniel S. WILKS: Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. International Geophysics Series Volume 100, Third Edition, 2011.
- [7] Lynn BEIGHLEY – Michael MORRISON: Agyhullám: HP & MySQL. Kiskapu Kiadó, Budapest, 2009.
- [8] Rob FLICKINGER: Linux bevetés közben. Kiskapu Kiadó, Budapest, 2003.
- [9] Kris HADLOCK: Webalkalmazások fejlesztése Ajax segítségével. Kiskapu Kiadó, Budapest 2007.
- [10] Bjarne K. HANSEN: A Fuzzy Logic–Based Analog Forecasting System for Ceiling and Visibility. Weather Forecasting, Vol. 22, 2007, 1319–1330.
- [11] Bjarne K. HANSEN: Analog forecasting of ceiling and visibility using fuzzy sets, 2nd Conference on Artificial Intelligence, American Meteorological Society, 1-7., 2000.