

REPÜLSMETEOROLÓGIAI ELŐREJELZÉSEK LEHETSÉGES VERIFIKÁCIÓJA

POSSIBLE VERIFICATION METHOD OF AVIATION WEATHER FORECASTS

Wantuch Ferenc¹ és Potor Anita²

¹Nemzeti Közlekedési Hatóság Légügyi Hivatal, Vecsés, Lincoln u. 1., wantuch.f@gmail.com;

²Felső Tiszavidéki Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Igazgatóság, 4400 Nyíregyháza, Széchenyi u. 19., potorani@gmail.com

Összefoglalás. A meteorológiai egyik legfontosabb alkalmazási területe a repülésmeteorológia. A repülésmeteorológiai előrejelzések megfelelő verifikációja hozzájárulhat az alkalmazott módszerek fejlesztéséhez. A cikk bemutatja a repülőtéri előrejelzések (TAF) verifikációjának egy lehetséges módját, és ismerteti a vonatkozó nemzetközi előírásokat. A vázolt verifikációs módszerek alapján a 2008-as év valamennyi hazai repülőterének előrejelzését kiértékeljük és összehasonlítottuk. Megvizsgáltuk azt is, hogy mekkora hibát vitt az előrejelzésekbe a hosszabb távú előrejelzésekre való átállás a Budapest Liszt Ferenc repülőtér esetén.

Abstract. The aviation meteorology is one of the most important area of the meteorological applications. The correct verification is a good tool for improvement of future forecast methods. A possible method of aerodrome terminals forecasts is described in the article including a short review of the most important international regulations. Described verification method was tested on real meteorological dataset of all domestic airports of Hungary for 2008. The verification score of long and short term forecast were compared for Budapest Liszt Ferenc International Airport.

Bevezetés. A meteorológia egyik legfontosabb alkalmazási területe a repülésmeteorológia. Mivel a repülés biztonságát az előrejelzések pontossága befolyásolja, ezért különösen fontos az időjárás előrejelzések bevalásának ellenőrzése (Caesar, 2007). Megfelelő verifikációs séma alkalmazásával az előrejelzések minősége javítható.

A program bemutatása. A repülőtereken általában félóránként kiadott rendszeres megfigyeléseket METAR táviratoknak (Meteorological Actual Report), a repülőterre vonatkozó különböző rendszerességgel ismétlődő előrejelzéseket TAF táviratnak (Terminal Aerodrome Forecast) nevezzük. A TAF és a METAR táviratok kódolásának rendjét az ICAO (International Civil Aviation Organization) Annex 3 nemzetközi szabályozás írja elő.

A következőkben a METAR táviraton alapuló verifikációs módszer (Wantuch, 2008) kerül bemutatásra. Kiértékelésünk során feltettük, hogy a repülőtéri észlelő tökéletesen végzi a munkáját, azaz mind a fellépő időjárási elemeket, mind azok intenzitását helyesen ítéli meg, továbbá olyan egyéb, pl. felhőzeti megfigyeléseket végez, amelyek leírják a repülőtér és annak - megfelelő ICAO által definiált környezetében - végbement változásokat. Meteorológiai távérzékelési eszközök nyújtotta információkat nem építetünk bele az eljárásunkba, mert ez megakadályozta, illetve jelentősen megnehezítette volna a kiértékelő program hordozhatóságát.

A program alkalmas egyedi előrejelzések számszerű kiértékelésére, előrejelzési időszakok számszerű össze-

hasonlítására, valamint repülésmeteorológusok, azaz előrejelzők munkájának összevetésére. A verifikációt a szélirány, szélesség, széllokkés, látástávolság elemekre végzi el a program, de számításba veszi a felhőzet, illetve egyéb, a repülésre veszélyes meteorológiai elemek előrejelzésének pontosságát is. 2008. november 5-én a repülésmeteorológiai kódok kódolási szabályzata megváltozott; kiértékelő programunk képes értelmezni a régi és az új típusú táviratokat is.

Az automatikus verifikáció elvégzéséhez kidolgozott program archiválja a forgalomba kerülő időjárás-jelentő és előrejelző táviratokat, szétválogatja a meteorológiai elemeket külön fájlokba, illetve a verifikálásra kiválasztott TAF-hoz megkeresi a hozzá tartozó METAR – egyes esetekben METAR-ok – értékeit. A verifikáció elvégzéséhez szükséges C++ nyelven írt program (Wantuch, 2008) Windows és Unix rendszerben is használható. A felhasználó a programot parancs fájlon keresztül futtathatja. Ebben lehet beállítani a kiértékelésre kiválasztott TAF paramétereit, valamint a keletkező fájlok helye is megadható. Lehetőség van parancssorok beírása nélküli, grafikus felületen keresztül történő programfuttatásra is.

Az elemek szelektálása előtt a program formai ellenőrzést végez: például a változást jelző csoportok időintervalluma a távirat érvényességi idején belül van-e, szerepel-e elírás benne stb. Ha az előrejelzés nem felel az ICAO által előírt követelményeknek, hibaüzenet jelenik meg a képernyőn, s így tulajdonképpen a verifikáció már az előfeldolgozással megkezdődik. (Az ellenőrző program hatásköre a METAR-

okra is kiterjed, s az észlelőkhöz eljuttatott hibagyűjtemény az ő munkájuk minőségének javulását is elősegíti.) A kiválogatás során mind a METAR, mind a TAF esetén karakterenként olvassa be a program a sorokat, és a csoportok jellegzetessége alapján különíti el és gyűjti ki a meteorológiai elemeket. A szélcsoportot például a benne szereplő KT (szélsebesség csomóban megadva) vagy MPS (szélsebesség m/s-ban megadva) karakterek alapján azonosítja. Egy újabb parancsot futtatva hosszabb időtartam is kiértékelhető.

Az eredményeket százalékos formában kapjuk meg úgy, hogy a program félóránként összehasonlítja a TAF-ban szereplő értékeket a METAR-éval, és valamennyi elemre előállítja a bevételeket. A félórás értékek átlaga jellemzi az adott előrejelzés bevételeit.

A TAF mérőszámmal történő értékelése.

A következőkben bemutatjuk, hogy a program milyen elvek alapján végzi az összehasonlítást, és hogyan kapjuk meg a százalékos bevételeket. Az általános elv a következő: a METAR -ban lévő érték kerül összehasonlításra a TAF-ban lévő értékekkel. Ha csak egyetlen érték (az úgynevezett alap) szerepel az előrejelző táviratban, akkor azzal, ha az alap mellett TEMPO (időnkénti változás), és (vagy) PROB TEMPO (kis valószínűséggel fellépő időnkénti változás) csoport is szerepel, akkor azokkal is megtörténik az összevetés. A félórás bevételek értéke több csoport esetén a csoportok bevételeinek számtani közepe. Így az előrejelző, illetve a prognózis bizonytalansága is belekerül a mérőszámába. A távirat félóránkénti bevételeinek átlaga adja a TAF bevételeit.

Az egyes elemekre különböző szabályok által történik a bevételek meghatározása, figyelembe véve a repülés szempontjából veszélyes paramétereket.

Szélirány: Alacsonyabb szélsebességnél – ami különösen nyáron napközben fordul elő –, a szél változása sokkal nagyobb, de ennek sem prognosztikai, sem repülési jelentősége nincs, ezért itt sokkal enyhébbek a kritériumok.

- Ha a METAR-ban szereplő szélirányhoz tartozó sebesség 5 KT vagy kisebb, akkor
 - +/- 60° vagy annál kisebb eltérés esetén 100%;
 - +/- 60°-nál nagyobb, de 80° vagy annál kisebb eltérés esetén 50%;
 - +/- 80°-nál nagyobb eltérés esetén 0%.
- Ha a METAR-ban szereplő szélirányhoz tartozó sebesség 6 KT vagy nagyobb, és 10 KT vagy kisebb, akkor
 - +/- 40° vagy annál kisebb eltérés esetén 100%;
 - +/- 40°-nál nagyobb, de 60° vagy annál kisebb eltérés esetén 50%;
 - +/- 60°-nál nagyobb eltérés esetén 0%.
- Ha a METAR-ban szereplő szélirányhoz tartozó sebesség 10 KT-nál nagyobb, akkor
 - +/- 20° vagy annál kisebb eltérés esetén 100%;
 - +/- 20°-nál nagyobb, de 40° vagy annál kisebb eltérés esetén 50%;

- +/- 40°-nál nagyobb eltérés esetén 0%.
- Ha a METAR szélirányhoz tartozó sebesség 5 KT-nál kisebb, és akár a METAR-ban, akár a TAF-ban változó irányú szél (VRB) szerepel, akkor, ha a nem VRB-hez tartozó szélsebesség
 - 5 KT vagy annál kisebb, a bevételek 100%;
 - 6-7 KT esetén a bevételek 50%;
 - 8-9 KT esetén a bevételek 30%;
 - 10 KT vagy annál nagyobb, a bevételek 0%.

Szélsebesség: A tényleges és az előrejelzett szélsebességek összevetése történik. A bevételek megadása százalékosan történik (a szélsó 1 KT-val kerül számításra). Például, ha a TAF-ban 6 KT-s szél szerepel, és a METAR-ban 9 KT-t adott az észlelő, az előrejelzés, 66.7 %; ha az előrejelzett és a tényleges sebesség megegyezik, a bevételek 100 százalék.

- A bizonytalanabb megadású TAF-nál – a fenti általános elvek szerint – alacsonyabb lesz a bevételek.
- Folyamatos változást jelző csoport alkalmazása esetén, ha a szélsebesség a BECMG (időjárás megváltozása csoport) kezdeti és végpontjában közölt sebességek közé esik, a bevételek 100%.
- Folyamatos változást jelző csoport alkalmazása esetén, ha a szélsebesség nem a BECMG kezdeti és végpontjában közölt sebességek közé esik, az észlelő által mért adatot azzal a végponttal kell összevetni, amelyik közelebb esik hozzá.
- Ha az előrejelzett és a tényleges szélsebesség egyaránt 5 KT vagy kisebb, akkor a bevételek 100%.

Szállókés: A tényleges és az előrejelzett szállókés összevetése történik. A bevételek megadása százalékosan történik.

- Ha nem volt szállókés, és nem is jelezték előre, akkor a bevételek 100%.
- Ha előre jelezték, de a METAR-ban nem szerepelt az adott félórára, illetve volt szállókés, de nem szerepelt a TAF-ban, az időszakra a bevételek 0%.
- Ha a szállókést előre jelezték, a METAR-ban viszont nem szerepel, de az alapszél sebessége meghaladja a 14 KT-t, a prognosztizált elemet az észlelt alapszéllel kell összevetni.
- Ha a szállókés előre volt jelezve, de a METAR-ban nem szerepelt, akkor a METAR-ban lévő átlagszél+8 KT-val vesszük figyelembe a szállókést – ha az alapszél egyébként eléri a 8 KT-t.
- Ha szállókés a METAR-ban szerepel, de nem volt előre jelezve, akkor a TAF-ban lévő átlagszél + 8 KT-val vesszük figyelembe a szállókést – ha az alapszél egyébként eléri a 8 KT-t.
- Ha 10 KT-t eléri a különbség a TAF és a METAR közötti átlagszélnél és lökésnél egyaránt, akkor az egész TAF 0%-os lesz.
- Folyamatos változást jelző csoport esetén a kiértékelés a szélsebességhez hasonló módon történik.
- Mivel a szállókés a repülésre nézve igen veszélyes elem, az 50%-nál alacsonyabb bevételeket minden esetben 0%-nak kell tekinteni.

Látástávolság: A tényleges és az előrejelzett látástávolságok összevetése történik. A beválás megadása százalékosan történik.

- CAVOK, 9999 megadásakor 10 km-es látástávolsággal történik az értékelés.
- Folyamatos változást jelző csoport esetén a kiértékelés a szélsőségekhez hasonló módon történik.
- Mivel az alacsony látástávolság a repülésre igen veszélyes elem, ezért ha a látástávolság (akár a tényleges, akár a prognosztizált) kisebb 3000 m-nél, és az előrejelzés 55%-nál alacsonyabb beválása, a TAF az adott fél órában 0%-os.

Felhőzet és jelenidő: Ezen elemek teljes körű verifikációja még nem megoldott, de az igazán veszélyes jelenségek kiszűrésre kerülnek az alábbi feltételek alapján.

- Ha a METAR-ban Cumulonimbus felhőzet előfordul egy adott fél órában úgy, hogy az nem lett előre jelezve, a TAF összesített beválása 0%.
- Ha a METAR-ban zivatar, ónos jellegű csapadék, közepes vagy erős intenzitású havazás fordul elő egy adott fél órában úgy, hogy az nem lett előre jelezve, a TAF összesített beválása lenullázódik.
- Ha a TAF-ban Cumulonimbus felhőzetet jeleztek előre, viszont a METAR-ban nem szerepelt, akkor az összesített beválásból levonjuk a 20%-át.

Előrejelzések minősítése az ANNEX 3 alapján. 2007 júliusában, Annex 3. kiadványában az ICAO megfogalmazta, milyen követelményeket kíván meg a repülőtéri TAF előrejelzésekkel kapcsolatban. Ez egyelőre „csak” ajánlott eljárás, de egységes alkalmazását kívánatosnak tartják a nemzetközi repülés biztonsága, rendszeressége vagy hatékonysága érdekében, és ehhez a szerződő államok az Egyezménynek megfelelően igyekeznek is alkalmazkodni.

I. táblázat: Az előrejelzések üzemelési szempontból megkívánt pontossága (ICAO, 2007).

Előrejelzendő elemek	Előrejelzések üzemeltetési szempontból kívánatos pontossága	A tartományon belüli esetek minimális százaléka
Szélirány	$\pm 20^0$	az esetek 80%-a
Szélsőségek	± 10 km/h (5csomó)	az esetek 80%-a
Látás	± 200 m 800 m-ig $\pm 30\%$ 800 m és 10 km között	az esetek 80%-a
Csapadék	Előfordulás vagy nem-előfordulás	az esetek 80%-a
Felhő mennyiség	Egy kategória 450 m (1500 láb) alatt BKN vagy OVC előfordulása vagy nem-előfordulása 450 m (1500 láb) és 3000 m (10000 láb) között	az esetek 70%-a
Felhő magasság	± 30 m (100 láb) 300 m-ig (1000 láb) $\pm 30\%$ 300 m (1000 láb) és 3000 m (10000 láb) között	az esetek 70%-a
Levegő hőmérséklet	$\pm 1^0\text{C}$	az esetek 70%-a

Az I. táblázat alapján, ha az előrejelzések pontossága a második oszlopban bemutatott, üzemelési szempontból kívánatos tartományon belül marad az eseteknek a harmadik oszlopban jelölt százaléknál, akkor az előrejelzés

hibáinak hatása nem tekinthető lényegesnek a navigációs hibák és más üzemelési bizonytalanságok hatásaihoz képest, tehát az előrejelzés jó.

A fenti táblázat alapján készült program karakterenként olvassa be a METAR és a TAF táviratban szereplő csoportokat, majd félórás időlépcsőben hasonlítja össze az észlelt és előrejelzett értékeket a táblázatban szereplő kritériumok alapján. Ez után a félórás eredményeket együtt vizsgálja, és egy szöveg fájlba írja ki, hogy hány százalékban feleltek meg az elvárásoknak. Mivel általában nem jellemző a hőmérséklet előrejelzése a repülési táviratokban, ezért ennek az elemnek az értékelésétől el kellett, hogy tekintsünk. A konkrét kiértékelő algoritmusban azonban számos problémát meg kellett oldanunk, amire jelen cikkben nem tudunk részletesen kitérni. Felhőzet esetén a METAR táviratban előforduló felhőcsoportok minden egyes eleméhez megkeressük az előrejelzésben a rávonatkozó időpontban, a hozzá leginkább hasonlító felhőcsoportot, és így végezzük el az összehasonlítást. Figyelembe véve természetesen az SKC (felhőtlen)¹, NSC (nincs jellegzetes felhőzet) és a CAVOK (a pontos definíciót most mellőzve a látástávolság, a felhőzet és jelenidő szempontjából optimális repülő idő) kategóriákat is. Összességében azonban ezek a kritériumok lényegesen egyszerűbbek, mint az előző verifikáció esetén, nincsenek átmeneti értékek, tehát egy TAF minősége vagy megfelelő, vagy nem megfelelő.

A 2008-as évre elvégzett kiértékelés tapasztalatai. A 2008-as évre 5 hazai repülőtér esetén végeztük el a verifikációkat. A következőkben néhány eredményt fogunk ismertetni.

A II. táblázatban összefoglaltuk a saját módszer szerinti beválásokat. Az utolsó sor az összesített beválást mutatja, amely szinte minden esetben alacsonyabb az első négy csoport átlagánál. Ennek oka, hogy az összesített beválás tartalmazza azon levonásokat is, ha a meteorológusok nem jelezték előre a repülés szempontjából veszélyes eseményeket, mint például a CB felhőzet, zivatar, ónos jellegű csapadék, havazás (Wantuch és Potor, 2009). A legalacsonyabb beválás mind az 5 repülőtér esetén a szélsőségek előrejelzésénél volt.

A következő táblázatban az öt repülőtérre jellemző minimum, maximum (a hozzá tartozó hónappal) és az átlag szélirány beválási értékek szerepelnek.

A következő, IV. táblázatban az Annex 3-ban előírt kritériumrendszer alapján kapott eredményeket láthatjuk. Egy állomás szélirány-, szélsőségek- és látástávolság előrejelzései megfelelőek, ha az esetek 80%-ában a korábban bemutatott kritikus értékeken belül maradnak, felhő alapmagasság és felhőzet mennyiség előrejelzése esetén pedig az esetek 70%-ában. Ezen kritériumok alapján arra, hogy az egyes hónapokban hány nap volt, amikor az előrejelzés

¹ 2008. november 5-e óta az SKC-t nem használják, de az értékelési időszakban még használatos volt.

pontossága nem érte el az ICAO által megkívánt százalékot, a 2008-as évre a következő eredményeket kaptunk. Mivel egy nap több TAF-ot is kiadnak, és ezek száma az öt repülőtéren eltérő, ezért az egyszerűség kedvéért az egy nap kiadott előrejelzések átlagát tekintettük, és erre az értékre vizsgáltuk az eredményeket.

A vizsgálatok során bebizonyosodott, hogy a civil repülőtereken készült előrejelzések némileg pontosabbak, mint a katonai repülőterek előrejelzései, ezen belül is a budapesti repülőtéren tapasztalhatóak a legjobb bevalású előrejelzések. Ennek az lehet az oka, hogy a katonai repülőtereken nem állnak rendelkezésre az ALADIN finom felbontású modell adatai. Az összehasonlított elemek közül a szélsébség előrejelzésénél voltak a legalacsonyabb bevalások minden tanulmányozott repülőtéren, illetve a veszélyes jelenidőt és felhőzetet tartalmazó összesített kiértékelésnél is tapasztalunk alacsony értékeket. A látástávolság, szélirány és szélsebesség elemek előrejelzése egész éves átlagban jól sikerült, de néhány, ritkán előforduló időjárási helyzetben ezek előrejelzésének bevalása is meglehetősen alacsony értékeket mutatott.

II. táblázat: Meteorológiai előrejelzések kiértékelése a TAF táviratok bevalása alapján 2008-ra öt hazai repülőtérre [%] (LHBP – Budapest Ferihegy, LHDC – Debrecen, LHKE – Kecskemét, LHPA – Pápa, LHSN – Szolnok).

	LHBP	LHDC	LHKE	LHPA	LHSN
Szélirány	86	85	90	78	79
Látástávolság	85	86	82	75	76
Szélsebesség	82	84	86	74	77
Szélsébség	78	83	79	70	74
Összesített	83	82	83	74	75

III. táblázat: A szélirány előrejelzésének bevalása öt hazai repülőtérre 2008-ban.

Szélirány	MIN	MAX	ÁTLAG
LHBP	82% (május)	90% (szeptember)	86%
LHDC	77% (május)	96% (december)	85%
LHKE	75% (február)	89% (október)	82%
LHPA	64% (március)	88% (október)	78%
LHSN	73% (március)	91% (október)	83%

IV. táblázat: Nem megfelelő előrejelzések száma napokban, 2008-ban öt hazai repülőtérre.

	Szélirány	Szélsebesség	Látástávolság	Felhőalap	Felhőmennyiség
LHBP	318	44	25	157	58
LHDC	289	81	6	196	43
LHKE	314	81	22	125	44
LHPA	318	133	8	198	51
LHSN	325	31	45	122	34

Feldolgozásra került a szélirány, szélsébség, látástávolság, felhőalap-magasság és a felhőzet mennyisége az ICAO ajánlás alapján. A programban alkalmazott kritériumrendszerek ugyan nem olyan részletesek, mint az előző programbeliek, de eleget tesznek az ICAO új elvárásainak. A legnagyobb probléma a szélirány előrejelzésével volt. Itt voltak a leggyengébb eredmények. A felhőzet kiértékelésekor csak a 3000 m-nél alacsonyabb alapmagasságú felhőzet számított, ezért tapasztalhatóak gyenge értékek a felhőalap előrejelzésénél. Viszont a felhőzet mennyiségének a kiértékelésekor mind az öt repülőtér nagyon jó eredményeket produkált. A kiértékelés során nem tapasztalható olyan nagy különbség a civil és a katonai állomások között, mint amit az előző program eredményeinél megfigyelhettünk. Részletesebb következtetések levonásához azonban hosszabb időszak kiértékelésére lenne szükség.

2008 novemberében a Budapest Liszt Ferenc repülőtérre szóló előrejelzések a korábbi 9 órásról 24 órára változtak, ez egyértelműen a bevalás leromlásával járt. Minden előrejelzést a most bemutatott kritériumrendszerrel értékeltünk ki, így hosszabb időszak esetén a jövőben összehasonlíthatóvá válik a különbség a rövid és a hosszabb távra szóló előrejelzések között. Repülésmeteorológiai előrejelzések verifikációja eddig csak az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) történt a Ferihegyi repülőtérre. Ugyanakkor néhány éven belül várható, hogy az ICAO a tagországokban kötelezővé teszi egy egységes TAF verifikációs szoftver alkalmazását. Néhány európai ország jelenleg is használ közös TAF kiértékelési módszert, de még korántsem egyöntetűek az alkalmazott statisztikák és szoftverek. Számos országban nincs ilyen fajta tevékenység, illetve jelenleg is kifejlesztés alatt áll ilyen típusú program kidolgozása.

A most bemutatott program Magyarországon kívül még Máltán fut operatívan, de a szerzőket megkeresték már Olaszországból is. A Skandináv térség országai közös TAF verifikáló programot szeretnének a közeljövőben kidolgozni, ezért szintén felvették velünk a kapcsolatot. A kialakult együttműködés keretében, finn repülőterek repülésmeteorológiai előrejelzéseit is értékeltük, és az eredményeket az alkalmazott módszerek bemutatásával megküldtük a finn repülésmeteorológus kollegáknak.

Irodalom

- Caesar, K., 2007: CMO Terminal Aerodrome Forecast Verification Programme. Caribbean Meteorological Council – 47, St. Vincent. 2007.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), 2007: Use of aeronautical broadcasting service. Attachment B. operationally desirable accuracy of forecasts.
- Wantuch, F., 2008: Repülésmeteorológiai előrejelzések bevalásának automatikus kiértékelése katonai repülőtereken. Repüléstudományi Konferencia, Szolnok, 2008.
- Wantuch, F. és Potor, A., 2009: A magyarországi repülőterek TAF előrejelzéseinek összehasonlító verifikációja. Repüléstudományi Konferencia, Szolnok, 2009.