

**Távérzékelt és repülőgépes megfigyelések alkalmazása a
korlátos tartományú ALADIN/HU numerikus időjárás-
előrejelző modellben**

ZÁRÓJELENTÉS

Készítette: Dr. Randriamampianina Roger

Országos Meteorológiai Szolgálat

OTKA Nyilvántartási szám: T049579

Futamidő: 2005-2008

Támogatási összeg: 8 000 ezer Ft

Budapest, 2010 február 5.

Távérzékelte és repülőgépes megfigyelések alkalmazása a korlátos tartományú ALADIN/HU numerikus időjárás-előrejelző modellben

Összefoglaló

A projekt célja, az időjárás előrejelzések javítása érdekében, minél több megfigyelési adat használata az ALADIN/HU korlátos tartományú modell operatív rendszerében. A kutatás keretein belül műholdas (származtatott-AMV, radiancia-AMSU-B és SEVIRI), repülőgépes (AMDAR), és windprofiler adatok asszimilációját terveztük és végeztük el. A megfigyeléseket az asszimilációs rendszer és modell sajátosságainak figyelembe vételével bevezettük az operatív használatba. Az új adatokat finomabb felbontásban illesztettük be az asszimilációs rendszerbe, mint ahogy a globális modellek használják azokat. A repülőgépes (AMDAR) adatok sikeres alkalmazása a mérési idő szűkítésének és egy finom előzetes szűrés bevezetésének köszönhető. A SEVIRI adatok hatása az analízisre és előrejelzésre csak a felszíni mérésekkel együtt lett elfogadható. A windprofiler adatok használata nem különbözik a globális modellekben való alkalmazásuktól, az AMV adatok pedig a szárazföld fölött is használjuk. Az AMDAR adatok főként a repülési magasságban fejtik ki pozitív hatásukat. Az AMSU-B adatok hatása főleg a nedvességre és a hőmérsékletre volt kimutatható. A SEVIRI radianciák és a felszíni mérések közös használata a felszíni paraméterekre, az AMV adatok pedig a „szélsőséges” időjárási helyzetekben hatottak jobban. A windprofiler hatása az analízisre és az előrejelzésre gyengén pozitív volt. A hagyományos megfigyelések hatása inkább a rövid távú, a radiancia adatoké a hosszabb távú előrejelzésre érvényesülnek jobban.

The use of remotely sensed and aircraft observations in the ALADIN/HU limited area numerical weather prediction model

Abstract

The project aims to improve the ALADIN/HU operational model analysis and forecasts by adding more observation types in the system. We planned to add in the analysis system satellite (retrieved wind-AMV, and radiances – ATOVS/AMSU-B and MSG/SEVIRI), aircraft (AMDAR), and windprofiler data. All the observations were conducted to the daily operation. The new observations, in contrary to their use in the global models, were assimilated with finer thinning distances. The optimal use of the aircraft data were found by restricting the data extraction time and applying an addition data thinning during the analysis process. The optimal use of the SEVIRI radiance was reached only by using them together with the surface parameters. The windprofiler data were implemented using the global settings, while the AMV data are used over land also. The impact of the AMDAR data were mainly observed around the cruise level. The AMSU-B data effected more the analysis and forecasts of humidity and temperature. The SEVIRI data assimilated together with some surface parameters improved mainly the analysis and forecast of surface fields, while the impact of the AMV data was more pronounced in case of “severe” weather conditions. The impact of the windprofiler data was rather slightly positive than neutral. According to our study, the conventional observations are more important for shorter forecast ranges, while the radiance data are most important for longer forecast ranges.

1. A kutatás célkitűzései

A technológiai fejlesztéseknek köszönhetően egyre több légköri megfigyelési adat válik felhasználhatóvá a meteorológiai adatasszimilációban (pl. poláris (NOAA) vagy geostacionárius (Meteosat) műholdak, windprofiler mérőrendszerek, repülőgépes megfigyelések (AMDAR, ACARS, AIREP, stb.))

Kutatásunk célkitűzése az volt, **hogy minél több új megfigyelési adatot építsünk be az ALADIN modell adatasszimilációs rendszerébe a rövid távú operatív időjárás-előrejelzés javítása érdekében.** A munkatervben a következő új adattípusok asszimilációját terveztük:

- AMDAR adatok
- NOAA műhold AMSU-B radianciái (nedvességre érzékeny frekvenciák)
- MSG (Meteosat Second Generation) műholdról származó radianciák
- MSG műhold származtatott szél adatai (SATO B)
- windprofiler adatok (a szélesség és a szélirány meghatározására szolgáló, ún. windprofiler műszerekről származó adatok; hazánkban jelenleg két ilyen műszer beüzemelése folyik)

A fejlesztési munka minden egyes adattípus esetében a rendszerbe építés informatikai hátterének megteremtésével kezdődött (3 fejezet). Ezt követően részletes hatásvizsgálatokat végeztük. A hatásvizsgálatok szolgáltatták a hátteret azokhoz a tudományos fejlesztésekhez, melyek – a lokális igényeknek megfelelően - az adatok minél hatékonyabb figyelembevételére irányultak.

Megjegyzés: Az eredeti munkatervben a MSG műholdmérésekből származtatott szél adatokat „SATO B”-nak hívtuk. Ezek az adatok a beszámolóban „AMV” néven szerepelnek. Ennek oka az, hogy az MSG műholdról származó adatokat tartalmazó táviratok a SATO B adatokon túl általában egyéb információt is tartalmaznak. Eszerint az AMV egy általánosabb elnevezés, mert az AMV távirat általában több információt tartalmaz, mint a SATO B.

2. A munkaterv szerinti elvégzendő feladatok és a munka ütemezése

1. év Az AMDAR és az AMSU-B nyers radiancia adatok vizsgálata és ALADIN/HU modellbe történő asszimilálásának továbbfejlesztése. Az AMDAR adatok hatásvizsgálata. A windprofiler adatok előkészítése.
2. év Az AMSU-B adatok hatásvizsgálata. A windprofiler adatok asszimilációja és hatásvizsgálata. Az MSG és SATO B adatok előkészítése. Az AMDAR adatok operatív használat próba üzemmódban.
3. év Az MSG és SATO B adatok asszimilációja és hatásvizsgálata. Az AMSU-B és a windprofiler adatok operatív használat próba üzemmódban.
4. év A vizsgált adatok együttes operatív alkalmazása az ALADIN/HU adatasszimilációs rendszerében.

3. A megfigyelések beüzemelése az ALADIN/HU korlátos tartományú (LAM) modell háromdimenziós variációs asszimilációs rendszerébe

3.1 Az ALADIN/HU analízis és előrejelzés rendszer rövid ismertetése

Az ALADIN/HU modell (1.ábra) egy olyan, a Kárpát-medence térségére fókuszáló korlátos tartományú időjárás-előrejelző modell, amely operatíván fut az Országos Meteorológiai Szolgálatnál. Az ALADIN/HU hidrosztatikus előrejelzési rendszert használ (Horányi *et al.*, 1996, Randriamampianina, 2006). A modell a kezdeti feltételek előkészítésére háromdimenziós variációs (3D-VAR) analízist alkalmaz (Fischer *et al.*, 2005; Bölöni, 2006 és Randriamampianina, 2006). A korlátos tartományú modell sajátossága, hogy egyedi jellegű kezdeti feltételeket is igényel. Ezek előállítására az ún. digitális filter inicializálási eljárást használjuk (Radnóti, 1995). A variációs analízis megoldásához az alábbi egyenlet minimalizálása szükséges:

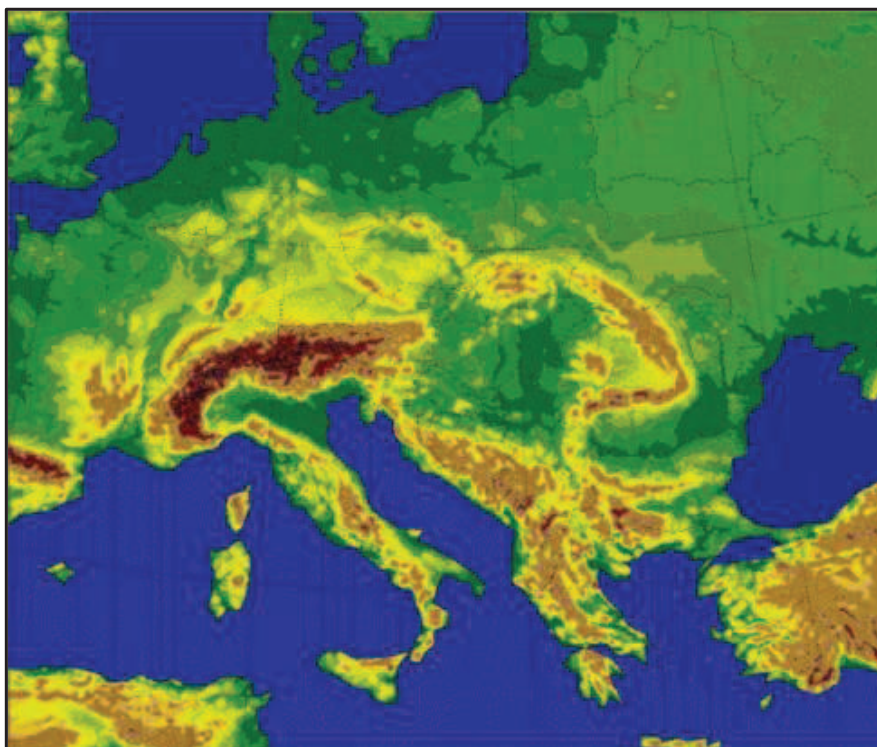
$$\mathbf{J}(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b)^T \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) + \frac{1}{2}(\mathbf{y} - \mathbf{H}(\mathbf{x}))^T \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{H}(\mathbf{x})) \quad (1)$$

Tehát az analízist x_a a büntető függvény J minimumánál kaphatjuk meg: $\mathbf{x}_a = \mathbf{J}min(\mathbf{x})$.

Ahol: x – kontroll vektor, ami tartalmazza azokat a modell paramétereket, amelyeket az analízis során közvetlenül változtatunk, $()^T$ – transzponált érték, x_b – modell háttér érték, ami esetünkben a 6-órás előrejelzés, H – megfigyelési operátor, y – megfigyelési érték, B – a háttérmező kovariancia mátrixa, R – a megfigyelések kovariancia mátrixa.

Láthatjuk, hogy az analízis minősége függ, többek között, a háttér és a megfigyelési hibáktól, illetve azoknak a beállításától is. Az OTKA keretében folytatott kutatás során foglalkoztunk a háttér hibák számításával és azok beállításával is (Bölöni és Horváth, 2009; Storto és Randriamampianina, 2010b).

Mint minden analízis rendszerben, a mi esetünkben is fontos szerepet töltenek be az alkalmazott megfigyelések. A következő alfejezetekben ismertetjük azt a folyamatot, amely a kiválasztott megfigyeléseknek a rendszerbe történő beillesztését és tanulmányozásának foglalja magába.



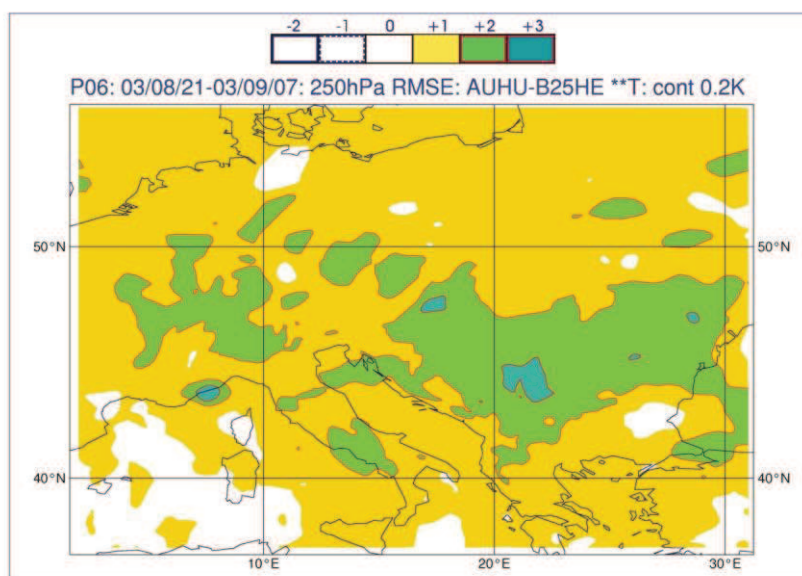
1. **ábra.** Az ALADIN/HU modell korlátos tartománya és a vizsgált terület domborzata
3.2 Az AMDAR adatok alkalmazása és hatása az ALADIN/HU modellre

A repülőgépes AMDAR (Aircraft Meteorological DATA Relay system) adatok a GTS (Global Telecommunication System) adatközlési csatornán keresztül érkeznek az Országos Meteorológiai Szolgálatához (OMSZ). Az adatokat kétféle (ASCII és BUFR) formátumban kapjuk meg. Elsődleges feladatunk tehát az volt, hogy a kétféle adathalmazt egy egységes, a rendszer számára érthető formátumú adathalmazzá konvertáljuk. Az AMDAR adatok egyik sajátossága az, hogy a repterek környékén időben és térben nagyon sok – egymást átfedő és esetlegesen nem megfelelően kiegészítő - információt hordoznak. Emiatt a fejlesztés fontos részét képezte az időben folytonos AMDAR mérések kiemelése az adatbázisból. Ez egy beépített szűrő segítségével történt: csak azok az adatok kerültek be az adatasszimilációs rendszerbe, amelyek mérési időpontja legfeljebb egy órával tért el az analízis időpontjától. Erre azért volt szükség, mert az OMSZ-nál az ún. szekvenciális asszimilációs eljárást használjuk, ezáltal kiküszöböljük azt, hogy a rendszer egy időben távoli mérés használjon. A másik fontos fejlesztés a térbeli szűrő beépítése volt. Ez a szűrő térben szűri ki és ritkítja meg az egymáshoz közel eső, a finom felbontási feltételnek megfelelő és a rendszer által már elfogadott (aktív) adatokat.

Szeretnénk kiemelni, hogy az AMDAR adatok asszimilációjának finomításáról projektársunk, Balogh Miklós diplomamunkát írt (*Balogh, 2006b*). A szakdolgozat, és a belőle elkészített szakcikk (*Balogh, 2006a*) részletesen ismerteti az AMDAR adatok térbeli és időbeli szűrésének jelentőségét és hatását (*Balogh, 2006b*).

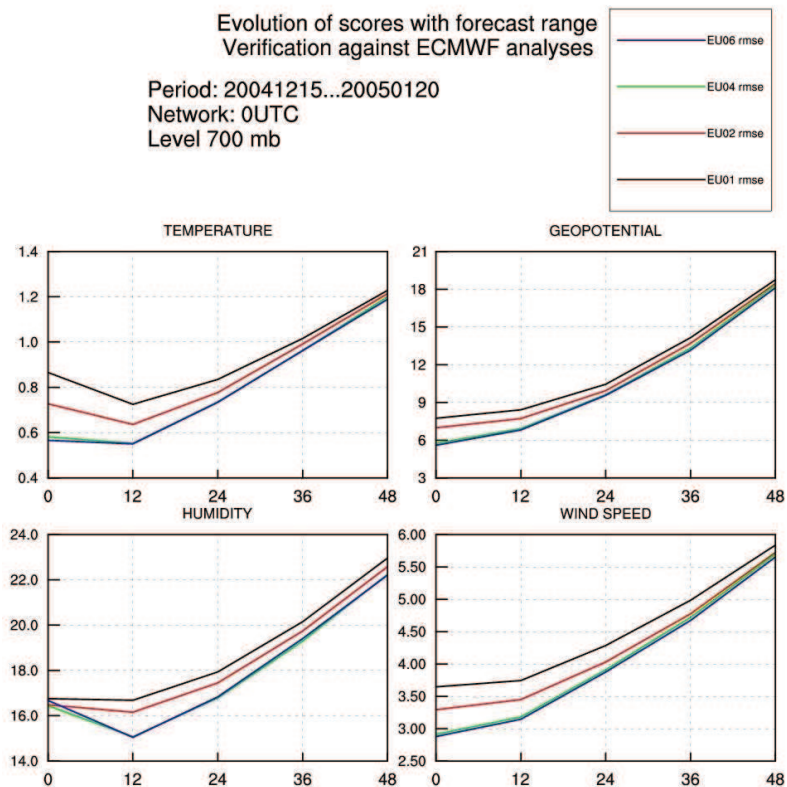
Az AMDAR adatok leválogatását követően hatásvizsgálat keretében értékeltük az adatok hatását a modell analízisére és előrejelzésére. Tanulmányunk alapján az AMDAR adatok elsősorban a repülési magasságnak megfelelő légköri szint környékén (felső troposzféra) gyakorolt pozitív hatást az ALADIN/HU modell előrejelzésére. Gyengébb, de szintén pozitív hatást észleltünk a modell alacsonyabb rétegében is (2. ábra). Kimutattuk továbbá, hogy a radioszondás és repülőgépes mérésekből származó hőmérséklet és szél adatok együttes alkalmazásával javul a légköri paraméterek előrejelzése (3. Ábra). A későbbiekben egy másik projekt keretében, új beállításokkal folytattuk az AMDAR adatok felhasználására irányuló kutatásainkat. Kimutattuk, hogy az AMDAR adatok hatása az analízisre és az előrejelzésekre kb. a fele a radioszondákénak (3. ábra).

Az AMDAR adatoknak az ALADIN/HU modell analízisére és előrejelzésére gyakorolt hatását Balogh (2006b) részletesen ismerteti.



2. **ábra:** Az ALADIN/HU modell 6 órás előrejelzése a 250hPa-os szintre: az ábrán az AMDAR adatokkal és az azok nélkül készült előrejelzések négyzetes hibájának különbsége látható. A bemutatott esetben az

AMDAR adatokat új adatszűrőkkel, 25 km-es ritkítási rácestávolsággal, 1órás analízisablakkal asszimiláltuk. A színes területeken pozitív a különbség, tehát jobb az előrejelzés az AMDAR adatok felhasználásával.



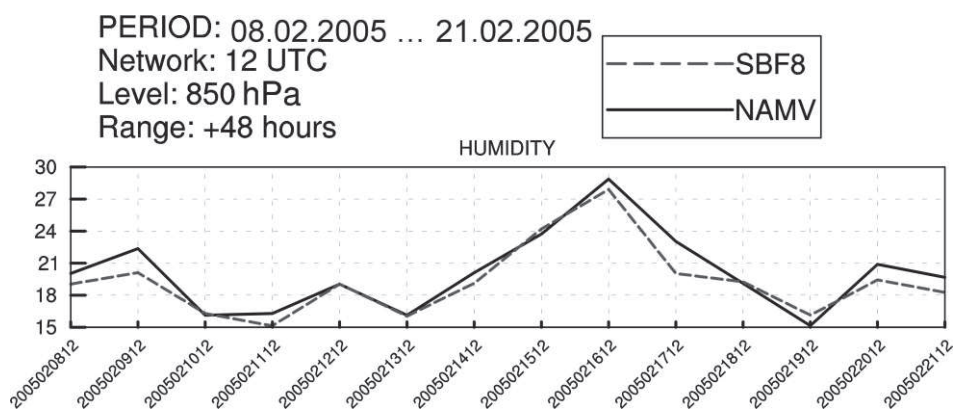
3. ábra: A radiosondás (TEMP) és a repülőgépes (AMDAR) mérésekből származtatott szél (V) és hőmérséklet (T) adatok együtt használatának hatása az ALADIN/HU analízisére és előrejelzésére: az a ábrán a hőmérsékletre (K), a geopotenciálra (m), a nedvességre (%) és a szélességre (m/s) számított négyzetes hiba látható.

Kék vonal: az AMDAR és TEMP T és V adatok együtt kerültek felhasználásra; **fekete vonal:** egy lényegesen kevesebb megfigyelési adatokat tartalmazó futtatás – alapfuttatás – eredményei; **piros vonal:** az alapfuttatáson túl csak az AMDAR V és T adatokat tartalmazó futtatás; **zöld vonal:** alapfuttatáson túl csak a TEMP V és T adatokat tartalmazó futtatás.

3.3 Az AMSU-B adatok alkalmazása és hatása az ALADIN/HU modellre

Az ATOVS AMSU-B és MHS (továbbiakban csak AMSU-B) adatokat az ún. EUMETCast adatközlési rendszeren keresztül kapjuk. Az OTKA projekt keretében a NOAA (16, 17 és 18) és a Metop műholdakról származó AMSU-B/MHS radiancia adatokat vizsgáltuk. Ismeretes, hogy az AMSU-A érzékelők a légkör hőmérsékletére vannak kihegyezve, az AMSU-B és a MHS pedig a légkörben található nedves rétegekre érzékenyek. A globális modellekben az AMSU-B adatok kb. egyharmadát használják. Ezzel szemben mi minden beérkező adatot feldolgozunk. Akkoriban, az IFS-ben (ECMWF globális modell) 120 km-es, az ARPEGE modellben (Météo France globális modell) pedig 160 km-es felbontásban asszimilálták AMSU-B radianciákat.

Figyelembe véve a finom felbontású, korlátos tartományú ALADIN-HU modell sajátosságait, a kutatás során három az AMSU-B adatok hatását három eltérő - 120, 80, illetve 60 km-es - felbontásban vizsgáltuk az optimális felbontás megállapítása érdekében. Kutatásunk eredményeként a 80 km-es felbontás bizonyult a legjobbnak, ugyanis ebben a felbontásban mutatkozott meg leginkább az AMSU-B radianciák pozitív hatása a modell előrejelzésére. A pozitív hatás főként a hőmérsékletre és nedvességre volt észlelhető (4. ábra). Az adatok alkalmazása és az eredmények részletes ismertetése megtalálható az alábbi közleményekben: Randriamampianina (2005) és Randriamampianina (2006a).



4. ábra: Két futtatás 48-órás nedvesség (%) előrejelzésének négyzetes hibája (verifikáció a megfigyelésekhez képest). SBF8: Az AMSU-B adatok teljes adathalmazból olvastuk és 80 km-es felbontásban asszimiláltuk a rendszerben; NAMV: AMSU-B adatok nélküli futtatás.

3.4 Az AMV adatok alkalmazása és hatása az ALADIN/HU modellre

Az AMV adatok más egyéb adatokhoz hasonlóan az EUMETCast adatközlési rendszeren keresztül érkeznek az OMSZ-ba. Mint azt a beszámoló elején említettük, vizsgálataink során a SATOB adatok helyett a METEOSAT által előállított, a képek mozgásából számított, a SATOB adatoknál finomabb felbontású széladatokat (AMV) használtuk. Fontos megemlíteni, hogy az AMV adatokban minden előállított széladat mellé megbízhatóság információt is csatolnak. Ez az ún. minőségi mutató, vagy quality indicator (QI).

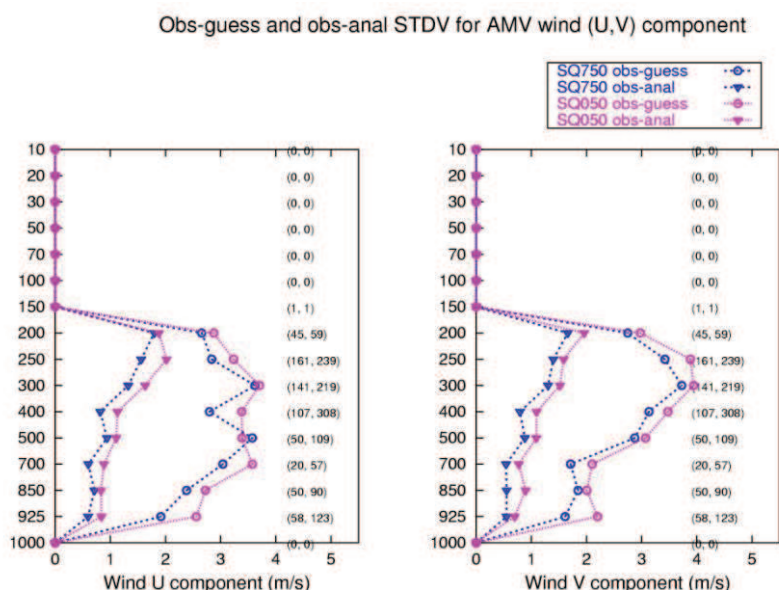
Kihhasználva a QI által nyújtott lehetőségeket, kutatásunk során megvizsgáltuk a széladatok minőségét a 3D-VAR rendszer szerint (5. ábra). Megállapítottuk, hogy a széladatok mellé csatolt QI értékek megfelelően tükrözték az előállított adatok minőségét. Kísérleteink alapján megállapítottuk, hogy a legmegbízhatóbb adatminőséggel a 85%-nál nagyobb QI értékű adatok rendelkeznek (Randriamampianina, 2006b).

A minőségi vizsgálatot követően megoldottuk a széladatok 3D-VAR rendszerbe történő beillesztését úgy, hogy csak a szárazföld fölött használjuk őket. Ez eltér a globális modellekben történő alkalmazásuktól, mert ezekben a modellekben csak a tenger felett használják az AMV

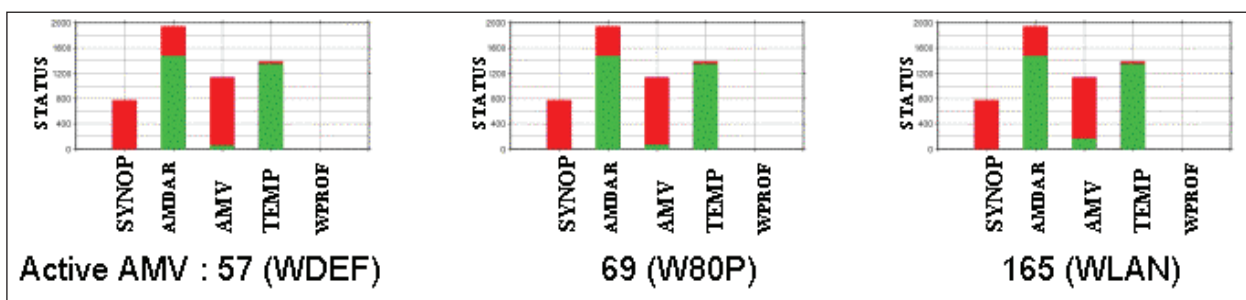
adatokat. Egy ilyen beállítással az AMV adatok nem nyújtottak volna plusz információt a Kárpát-medence térségére.

Az AMV adatok ALADIN/HU modell analízisében történő alkalmazásáról Randriamampianina (2006b) részletesen beszámol. Megállapítottuk, hogy annak ellenére, hogy nagy mennyiségű adatot használunk, a többi megfigyeléshez képest viszonylag kevés AMV adatot fogad el a rendszer (6. ábra). Az elvégzett hatástanulmányok alapján megállapítottuk, hogy az egész ALADIN/HU tartományra vonatkozóan a széladatok hatása a troposzférában neutrális. Csekély, de szignifikáns pozitív hatást észleltük a felszíni nyomásra. Az ARPEGE - francia globális modell – modell analíziseihez képest elvégzett verifikáció során gyengén pozitív hatást tapasztaltuk a geopotenciálra, a szélre, és a nedvességre az egész vizsgálati tartományban.

Részletesebb kísérleteink során (Randriamampianina, 2006b) kimutattuk, hogy amennyiben kifejezetten a célterületen és annak környezetében vizsgálódunk, akkor az AMV adatok hatása a modell előrejelzésére sokkal egyértelműbben kimutatható. Külön esettanulmány keretében igazoltuk az AMV adatok csapadék előrejelzésre gyakorolt szignifikánsan pozitív hatását (7. ábra).



5. ábra: A háttér- (referencia-) futtatás (kör) ill. az analízis (háromszög) és megfigyelés közötti különbségek szórása azokban az esetekben, amikor a széladatok minőségi indexe QI nagyobb, mint 30% (rózsaszín vonal– SQ050) illetve nagyobb, mint 70% (kék vonal– SQ750). Az alkalmazott ritkítási távolság 50 km mindkét esetben. A rendszer szerint a magasabb QI adatok statisztikája jobb, mint az alacsonyabbaké.



6. ábra: Az adatok relatív hozzájárulása az adatasszimilációs rendszerhez az aktív adatok száma alapján. Az ábrán három beállítást hasonlítottunk össze. Az AMV adatokat mindhárom esetben 25 km-es ritkítási távolságban használtuk.

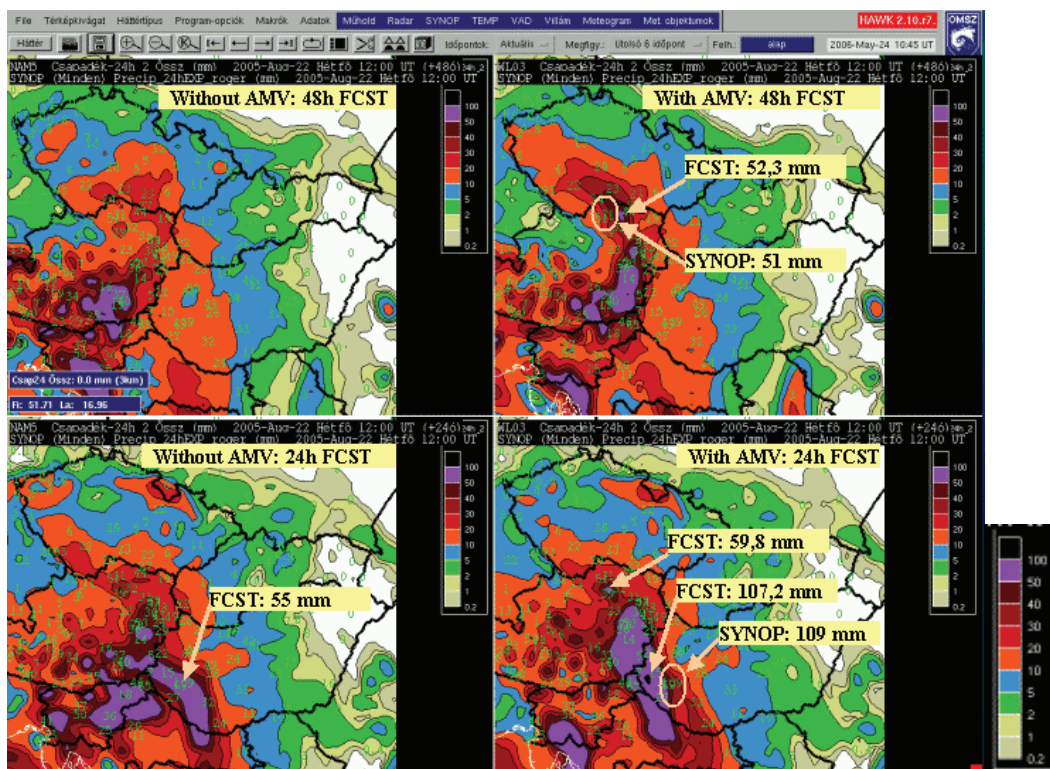
WDEF: a modellben alapértelmezett beállítás (QI > 85%, csak vízgözképekből számított szél; az adatokat csak a tenger fölött használjuk);

W80P: mint WDEF-e, de QI > 80%;

WLAN: QI > 85%, de a széladatok a szárazföld fölött is használjuk.

Láthatjuk, hogy a sok beérkező adat ellenére az AMV adatokból relatíve keveset fogad el a rendszer.

A 7. ábrán bemutatott esettanulmány azért is érdekes, mert egyértelműen igazolja az AMV adatok szerepét a gyorsan fejlődő, lokális időjárási jelenségek előrejelzésének javításában.



7. ábra: A 24-órás csapadékösszeg második napi (48 óras - felső ábrák) és első napi (24 óras – alsó ábrák) előrejelzése. Érvényes hétfőn, 2005. Augusztus 22, 12 UTC-kor.

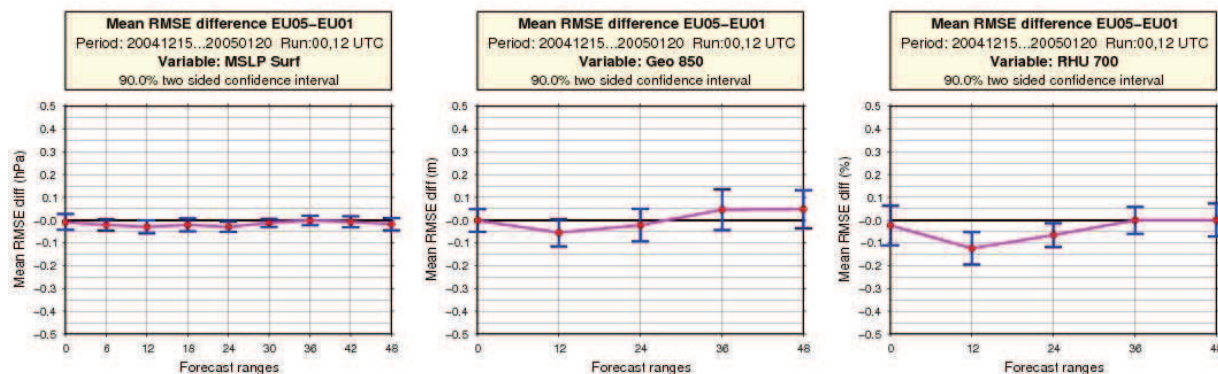
Az ábrán látható jelölések közül az FCST az előrejelzett csapadékösszegeket jelenti, a SYNOP pedig mérési értékeket mutat. A baloldalon található ábrák az AMV nélküli futtatásokból származnak. A jobb oldali képek az AMV-vel futtatott kísérletek eredményeit mutatják.

Megfigyelhető, hogy mindkét esetben (24 és 48 óras előrejelzés) az AMV adatok alkalmazásával előrejelzett csapadékösszegek közelebb álltak a mért értékekhez.

3.4 A windprofiler adatok alkalmazása és hatása az ALADIN/HU modellre

A windprofiler adatok a GTS adatközlési rendszeren keresztül érkeznek az OMSZ adatbázisába. Ezen adatok asszimilációja azért is fontos számunkra, mert Magyarországon két windprofiler állomást is üzemeltetünk. Az európai arányok tükrében ez soknak számít. A windprofiler adatok minősége erősen függ az állomások üzemeltetésétől/beállításától, ami országonként jelentősen eltérhet. Az EUMETNET keretében működő, a radar és windprofiler-rel foglalkozó WINDPROF projektnek köszönhetően rendszeresen hozzájutunk több, Európában működő windprofiler minőségi értékeléséhez. A mérőrendszerekből származó adatok monitorozását a francia globális modell 4D-VAR asszimilációs rendszere végzi számunkra. Ezek a vizsgálatok nagymértékben elősegítik az aktív – az adott időszakban az ALADIN/HU adatasszimilációs rendszere által figyelembe vett – állomások kiválasztását. A windprofiler adatok alkalmazása a hazai modellben nem különbözik a globális modellekben való használatuktól. Ennek megfelelően az alsó troposzférát kihagyva használjuk az adatokat. Ez a gyakorlat azért alakult ki, mert gyakran előfordul, hogy különböző tényezők – pl. madarak jelenléte - zavarják a mérőrendszert.

A hatástanulmány során megállapítottuk, hogy a windprofilerek hatása a rövid távú előrejelzésére inkább gyengén pozitív mint neutrális (8 ábra).



8. ábra: A windprofiler adatok hatásának szignifikancia (t-teszt alkalmazásával) tesztje. A szignifikáns különbségeket azok az esetek jelölik, amelyekben a hibahatár nem lépi át a nullás szintet.

Bal oldali ábra: (tengeri nyomás) összehasonlítás a megfigyelésekkel.

Középső ábra: (850 hPa geopotenciál) összehasonlítás az ECMWF globális modell analizisével.

Jobb oldali ábra (700 hPa nedvesség) összehasonlítás az ECMWF globális modell analizisével.

3.5 Az MSG/SEVIRI adatok alkalmazása és hatása az ALADIN/HU modellre

Az összes kiválasztott és a kutatásba bevont megfigyelés közül az MSG/SEVIRI radiancia adatok előállítását bizonyult a legbonyolultabbnak. Mivel azonban a SEVIRI adatok használata számos előnnyel jár – melyekre a továbbiakban részletesebben is kitérünk -, mindenáron arra törekedtünk, hogy ezeket az adatokat is bevonjuk az OMSZ operatív időjárás-előrejelző rendszerébe.

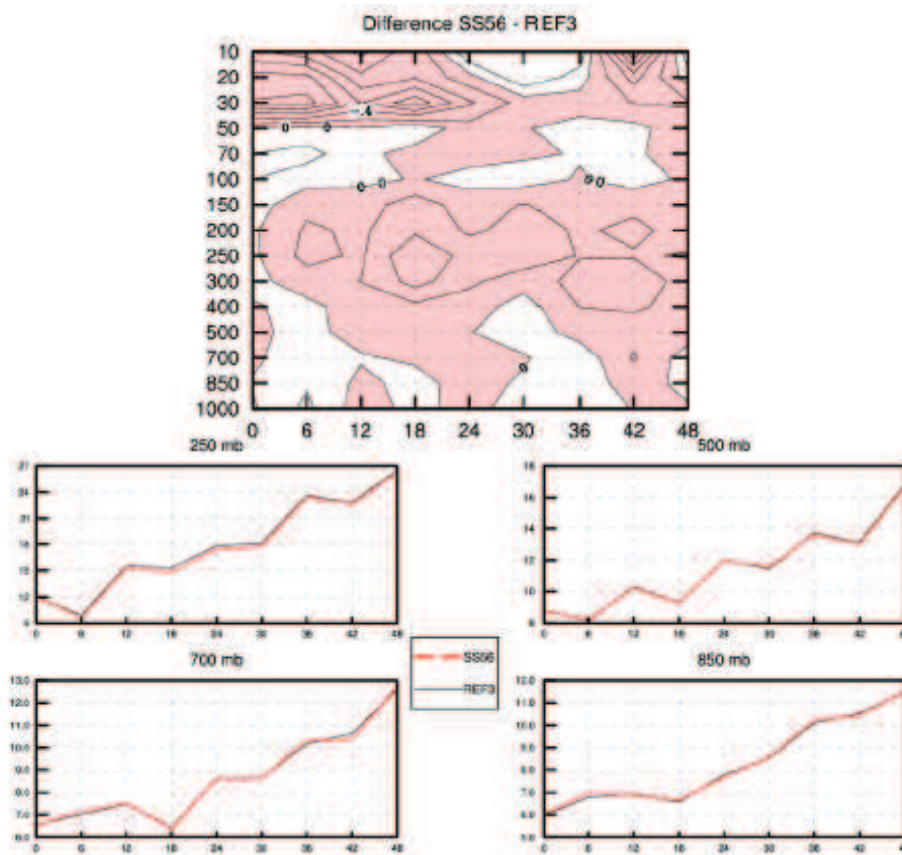
A SEVIRI adatok azért nagyon értékesek, mert a műhold 15 percenként biztosít finom felbontású méréseket az ALADIN/HU tartományon belül. Ezt jelenleg egyetlen poláris műhold sem tudja biztosítani számunkra. Sajnálatos módon a poláris műholdak mérései csak bizonyos asszimilációs időkre érhetőek el. Pl. a NOAA-15 csak 06 és 18 UTC körül halad át az ALADIN/HU tartománya fölött, így csak akkor tud biztosítani méréseket. Ugyanakkor az MSG műhold elsődleges feladata nem a numerikus modellek mérésekkel történő ellátása, hanem az, hogy részletes és gyakori információt nyújtson a nowcasting (ultrarövidtávú előrejelzés) számára.

Az alkalmazás sajátosságai közül kiemelendő, hogy a SEVIRI egy infravörös érzékelő, melynek adatait csak a felhőtlen területekre tudjuk jól használni.

A fent említett előnyök miatt a nehézségek ellenére is ragaszkodtunk ahhoz, hogy a SEVIRI adatokat beüzemeljük a 3D-VAR rendszerben.

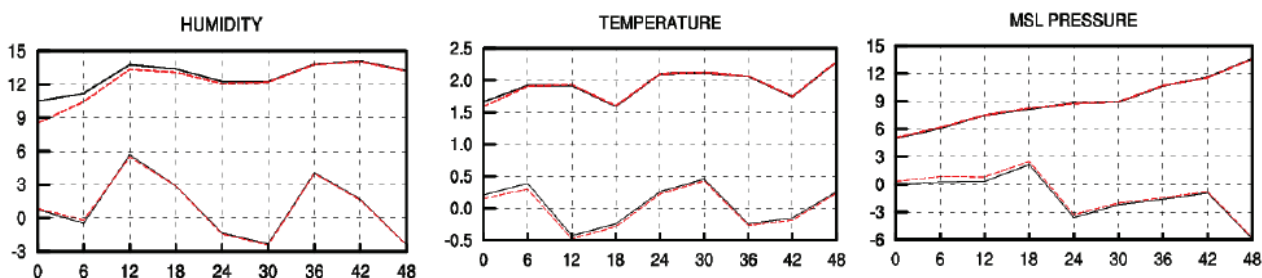
A nyers műholdas (MSG) képek az EUMETCast adatközlési rendszerén keresztül érkeznek. Az ALADIN 3D-VAR rendszer a különböző SEVIRI csatornák által érzékelt és kalibrált fényességi hőmérséklet-értékeket használja. A kutatás során a következő problémákkal/nehézségekkel szembesültünk: i) a modellben található megfigyelési hibák pontosítása; ii) az analízis rendszerben alkalmazott háttér hiba kovarianciájának finomítása és iii) az adatok alkalmazása során megfigyelt sajátosságok értelmezése. Ez utóbbi keretein belül arra kerestük a választ, hogy miért tapasztalunk (a hibák alapján) egyfajta csökkenést a modell nedvesség-tartalmában a különböző csatornák használata közben. Ezt a jelenséget, mely főként a troposzférára volt jellemző, nehéz megmagyarázni. A lehetséges érvek közül az egyik az, hogy mivel csak felhőtlen területeken használjuk az adatokat, a rendszer a SEVIRI adatokat révén csak a „relatív száraz” inkrementumokat dolgozza fel. Természetesen tovább lehet folytatni ezt az érvelést, de tény, hogy amikor a felszíni (2-méteres hőmérséklet és nedvesség) paraméterekkel együtt asszimiláltuk (és ebben az esetben csak a vízgőzre érzékeny csatornákat használjuk) a SEVIRI radianciákat, javulást tapasztaltuk a modell analízisében és az előrejelzésében is. A hatás különösen a 2-méteres hőmérsékletre és nedvességre volt tapasztalható. Ugyanakkor enyhe romlás volt megfigyelhető a

tengerszinti nyomásra vonatkozó eredményekben (csekély eltérést látszik az előrejelzésen 12 óráig) (9. és 10. ábrák).



9. ábra: A négyzetes hibák különbsége (felső ábra) a SEVIRI adatokkal (SS56) és a SEVIRI adatok nélkül (REF3) elvégzett futtatások között. Az y-tengely mentén a modellszinteket tüntettük fel, az x-tengelyek az előrejelzés hosszát jelölik. A piros szín azokat a területeket jelöli, ahol a SEVIRI adatok pozitív hatást gyakorolnak a geopotenciális magasság előrejelzésére.

Négyzetes hibák különböző szintekre (alsó ábrák). A hibák a megfigyelésektől való eltérést tükrözik. Az y-tengely mentén a hiba értékét tüntettük fel, az x-tengelyek az előrejelzés hosszát jelölik.



10. ábra: A 2-méteres nedvesség (%) és hőmérséklet (K), illetve tengerszinti nyomás előrejelzésének négyzetes hibája. A piros szaggatott vonal a SEVIRI adatokkal történő futtatás, a fekete folytonos vonal pedig a SEVIRI adatok nélküli futtatás eredményeit mutatja.

A hibák a megfigyelésektől való eltérést tükrözik.

3.6 Az ALADIN/HARMONIE előrejelzések érzékenysége a megfigyelésekre

A fentiekben egyenként részleteztük a kutatás során használt, és a munkatervben bevállalt megfigyelésekkel kapcsolatos tapasztalatainkat az ALADIN/HU modellben.

A rendszer további részletes tesztelése szempontjából az lett volna az ideális, ha mindegyik megfigyelési típusra egyenként végeztünk volna hosszú időszakra vonatkozó hatástanulmányt. A műholdas adatok esetében tanulmányozni lehetne az egyes érzékelési csatornák hatását az előrejelzésekre. Az ilyen jellegű tanulmányok azonban nagyon sok forrást és gépidőt igényelnek, ezért általában nincs rájuk lehetőség. Emiatt a kérdést kicsit más módon tettük fel. Arra voltunk kíváncsiak, hogy mennyire érzékenyek az általunk létrehozott rendszer előrejelzései a különböző megfigyelési típusokra és azokban használatra kerülő paraméterekre, ill. - a műholdas műszerek esetén – a használt csatornákra. E célból egy merőben új környezetben vizsgáltuk a rendszer „viselkedését”.

Az adatasszimilációs rendszert a Norvég Meteorológiai Intézetnél (met.no) teszteltük, az eredeti beállítástól merőben eltérő körülmények és feltételek között. A feladat megoldását az ún. „energia normán” alapuló eljárásra építettük. A módszer az alábbi elvekben alapszik:

Rabier *et al.* (1996) szerint egy adott kezdeti feltétel hatása az előrejelzésre leírható egy költség függvény J segítségével:

$$J = \frac{1}{2} \langle \mathbf{x}_t^{\text{exp}} - \mathbf{x}_t^{\text{ref}}, \mathbf{x}_t^{\text{exp}} - \mathbf{x}_t^{\text{ref}} \rangle \quad (1)$$

Ahol $\mathbf{x}_t^{\text{ref}}$ - előrejelzés egy referencia kezdeti feltételből;

$\mathbf{x}_t^{\text{exp}}$ - előrejelzés, általában, valami változtatás után a kezdeti feltételben.

$\langle \dots, \dots \rangle$ - norma operátor

Egy adott i megfigyelési halmazra, amit kihagyunk az asszimilációs rendszerből, a költség-függvény az alábbi módon írható fel:

$$J^i = \frac{1}{2} \langle \mathbf{x}_t^i - \mathbf{x}_t^{\text{ctr}}, \mathbf{x}_t^i - \mathbf{x}_t^{\text{ctr}} \rangle. \quad (2)$$

Ahol : \mathbf{x}_t^i - előrejelzés egy olyan kezdeti feltételből, amelyben nem használjuk az i -halmaz megfigyeléseit;

$\mathbf{x}_t^{\text{ctr}}$ - előrejelzés egy olyan kezdeti feltételből, amelyben minden megfigyelés használtunk, feltételezve, hogy ez a legjobb előrejelzés.

Amennyiben egy bizonyos megfigyelési halmazra sikerült kiterjesztenünk a módszert, úgy definiálhatunk egy P operátort, melynek segítségével elkülöníthetünk egy tetszőleges P térséget a modelltartományon belül. Így az alábbi normát kapjuk:

$$J^i = \frac{1}{2} \langle \mathbf{P}(\mathbf{x}_t^i - \mathbf{x}_t^{\text{ctr}}), \mathbf{P}(\mathbf{x}_t^i - \mathbf{x}_t^{\text{ctr}}) \rangle. \quad (3)$$

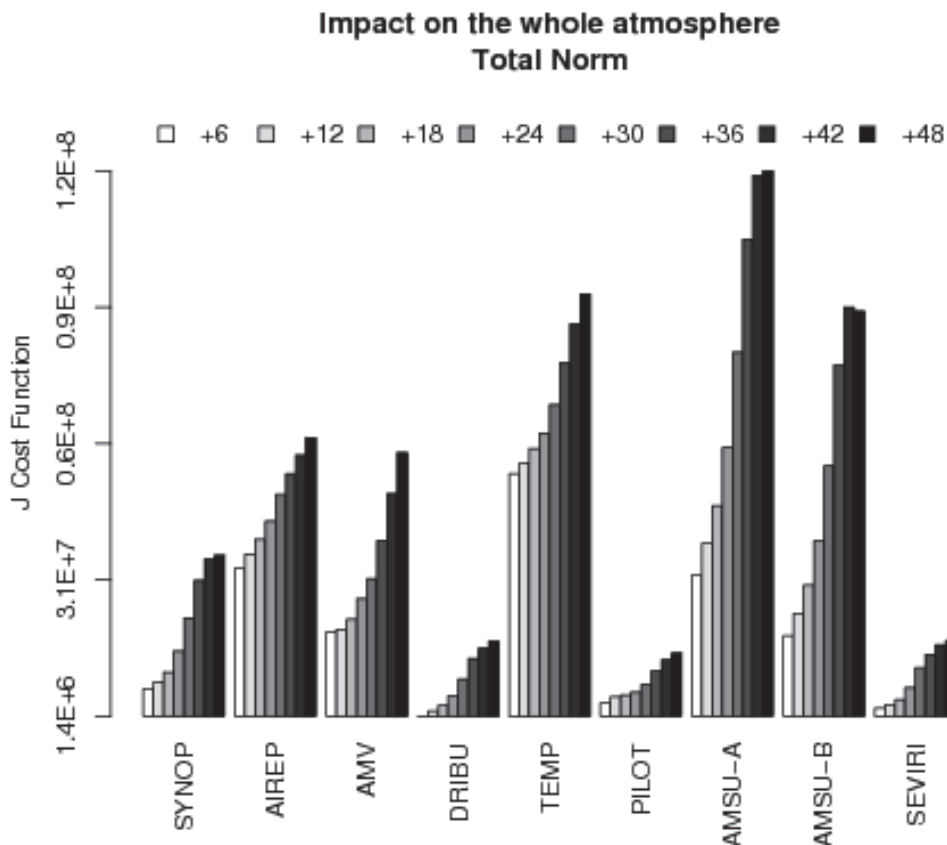
A választott norma adott esetben a nedves teljes energia norma (moist total energy norm) (Ehrendorfer *et al.*, 1999).

A fenti módszer alkalmazásával az egyes megfigyelések hatását a modell előrejelzésére két tartományban és négy elkülönített modell magassági rétegben vizsgáltuk.

Részletes leírás a módszerről és a tanulmányról az alábbi szakcikkekben található: Storto és Randriamampianina (2010a).

Az alkalmazott módszer alapján a hagyományos megfigyelések közül a radiosondás és a repülőgépes mérések bizonyultak a legfontosabbnak. Az egész modell tartományra vonatkoztatva azt tapasztaltuk, hogy az AMV adatok nagyobb szerepet játszanak az előrejelzések alakulásában, mint pl. a felszíni mérések vagy a szélprofil – PILOT – adatok. A windprofiler mérések ez utóbbiak közé sorolhatóak.

A műholdas adatok közül a mikrohullámú mérések (az ATOVS, az AMSU-A és az AMSU-B adatok) szerepe jelentősebb volt, mint az infravörös adatoké (MSG SEVIRI). Emellett eredményeink arra engednek következtetni, hogy a rövid távú előrejelzések elkészítése során a hagyományos megfigyelések szerepe a jelentősebb, míg a hosszabb távú előrejelzéseknél a műholdas adatok játsszák a nagyobb szerepet (11. ábra).



11. ábra: Az egyes megfigyelések relatív hatása/hozzájárulása a különböző távú előrejelzésekre. Az eltérő árnyalatok a különböző távú előrejelzésekre vonatkoznak.

Vizsgált adatok:

SYNOP és a DRIBU: felszíni mérések

AIREP: repülőgépes mérések

AMV: műholdképek mozgásából származtatott szél adatok;

TEMP: radiosondás mérések;

PILOT: szélprofil mérések, beleértve a windprofilereket is;

AMSU-A, AMSU-B: az ATOVS mikrohullámú szenzorok által érzékelt radianciák;

SEVIRI: MSG infravörös szenzorok által érzékelt radianciák.

3.7 Következtetések

A projektben vállaltuk a repülőgépes adatok (AMDAR), a műholdképek mozgásából származtatott szél adatok (AMV), a műholdas ATOVS mikrohullámú (AMSU-B) és MSG infravörös (SEVIRI) szenzorból érzékelt radianciák és a windprofiler adatok beillesztését és alkalmazását az ALADIN/HU korlátos tartományú operatív modell analízis rendszerébe.

Mivel az ismertetett adatok különböző adatközlési csatornákon keresztül érkeznek az OMSZ adatbázisába, első lépésként megteremtettük azok rendszerbe építésének informatikai hátterét. A megfigyeléseket egyenként beillesztve a rendszerbe pozitív hatást tapasztaltunk a modell előrejelzésére. Ez a hatás az adattípustól függően a modell különböző rétegeiben, illetve az előrejelzés különböző távlatában bizonyult erősebbnek. Eszerint az AMDAR adatok főként a repülési magasságban – felső troposzférában – fejtik ki pozitív hatásukat az előrejelzésre, de ez a hatás az alacsonyabb rétegekben is észlelhető. A kutatás során az AMSU-B adatok hatását elsősorban az előrejelzett nedvesség- és a hőmérséklet-értékek alakulásában észleltük. A SEVIRI radianciák és a felszíni mérések együttes használata a felszíni paraméterekre fejtett ki leginkább pozitív hatást. Ugyanakkor az AMV adatok használata a „szélsőséges” időjárási helyzetekben bizonyult jelentősnek. A windprofiler hatása az analízisre és az előrejelzésre inkább gyengén pozitív, mint neutrális.

Megállapítottuk, hogy a hagyományos megfigyelések hatása inkább a rövid távú előrejelzésekben, a radiancia adatoké pedig a hosszabb távú előrejelzésekben érvényesül.

Eredményeink szerint valamennyi, az OTKA kutatási téma keretében vizsgált adat pozitív vagy gyengén pozitív hatást gyakorolt az ALADIN/HU modell előrejelzésére. Ez alapján megállapítható, hogy az összes megfigyelést sikeresen alkalmaztuk az ALADIN/HU modell operatív adatasszimilációs rendszerében, tehát a projekt célkitűzéseinek maradéktalanul eleget tettünk.

3.8 Az eredmények alkalmazása az operatív gyakorlatban

A megfigyelések következő sorrendben kerültek be az ALADIN/HU modell operatív rendszerébe:

- 2000 ősz: Első rendszeres futtatás SYNOP és TEMP adatokkal
- 2002 december: ATOVS/AMSU-A és AMDAR (repülőgépes) adatok használata
- 2005 május: Operatív adatasszimiláció (AMDAR adatok szűrésével együtt)
- 2006 január: ATOVS/AMSU-B adatok használata
- 2007 június: MSG/AMV adatok használata
- 2007 október: Windprofiler adatok használata
- 2008 január: ATOVS/MHS adatok használata
- 2009 június: MSG/SEVIRI adatok használata

4. Kitekintés

Az OMSZ-nál napjainkban operatíván alkalmazott adatasszimilációs rendszer az OTKA és a RC LACE támogatásának köszönhetően jött létre. Térségünkben egyedül Magyarországon sikerült egy ilyen átfogó, gyakorlatilag az összes elérhető megfigyelés adatait tartalmazó rendszer beüzemelése és operatív alkalmazása. Ennek köszönhetően mi készítjük el az adatasszimilációs rendszerbe bekerülő adatokat a LACE tagországok számára.

Időközben azonban újabb megfigyelési rendszerek váltak elérhetővé, melyeket szintén be lehetne építeni a felállított rendszerbe. Így például, az ALADIN/HARMONIE rendszerben már sikeresen használjuk a Metop műholdról származó IASI radianciákat és az AQUA műholdról mérő AIRS adatait is. A fentiekén kívül egyre több GPS megfigyelés is elérhető GTS adatközlési hálózaton keresztül. A jövőben szeretnénk újabb felszíni adatokat is alkalmazni.

Referenciák:

- Balogh, M.** 2006, Repülőgépes mérések felhasználása az ALADIN számszerű időjárás előrejelzési modellben, *Léggör*, pp 24-25.
- Balogh, M.**, 2006, Az AMDAR repülőgépes adatok asszimilációja az ALADIN számszerű időjárás előrejelző modellben, *diplomamunka*.
- Böloni, G.** and K. Horvath, 2009: Diagnosis and tuning of background error statistics in a variational data assimilation system, *Időjárás*, **114**, pp:
- Ehrendorfer M, Errico RM, Raeder KD. 1999. Singular-vector perturbation growth in a primitive equation model with moist physics. *Journal of Atmospheric Sciences* **56**: 1627–1678.
- Fischer C., T. Montmerle, L. Berre, L. Auger and S.E. Stefanescu, 2006: An overview of the variational assimilation in the ALADIN/France NWP system *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, **13**, 3477-3492.
- Horányi, A., Ihász, I., and Radnóti, G., 1996: ARPEGE/ALADIN: A numerical weather prediction model for Central-Europe with the participation of the HMS. *Időjárás* **100**, 277-301.
- Rabier F, Klinker E, Courtier P, Hollingsworth A. 1996. Sensitivity of forecast errors to initial conditions. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **122**: pp: 121–150.
- Radnóti, G., 1995: Comments on "A spectral limited-area formulation with time-dependent boundary conditions applied to the shallow-water equations". *Mon. Wea. Rev.* **123**, 3122-3123.
- Randriamampianina, R.**, 2005: Radiance-bias correction for a limited area model, *Időjárás*, **109**, 143-155.
- Randriamampianina, R.**, 2006a: Impact of high resolution satellite observations in the ALADIN/HU model., *Időjárás*, *Vol. 110*, 329-347.
- Randriamampianina R.**, 2006b: Investigation of the AMV data derived from Meteosat-8 in the ALADIN/HU assimilation system., *Proc. of 8th International Winds Conference*, Beijing, China, 2006. Available on: http://www.eumetsat.int/groups/cps/documents/document/pdf_conf_p47_s2_06_randriama_v.pdf
- Trojaková A M. Majek, **Böloni G** and **Randriamampianina R**, 2006: [Assimilation of SEVIRI data, report form RCLACE stay in Budapest](http://www.rclace.eu/File/Data_Assimilation/2006/AT_MM_LACE_report_SEVIRI_2006.pdf), 18/9/06-10/11/06; available from: http://www.rclace.eu/File/Data_Assimilation/2006/AT_MM_LACE_report_SEVIRI_2006.pdf
- Trojaková A and **Böloni G**, 2007a: [Assimilation of SYNOP and SEVIRI data](http://www.rclace.eu/File/Data_Assimilation/2007/at_synop_seviri_draft.pdf), part I, *report form RCLACE stay in Budapest*, available from: http://www.rclace.eu/File/Data_Assimilation/2007/at_synop_seviri_draft.pdf
- Trojaková A and **Böloni G**, 2007b: [Assimilation of SYNOP and SEVIRI data](http://www.rclace.eu/File/Data_Assimilation/2007/at_seviri2.pdf), part II, *report form RCLACE stay in Budapest*, available from: http://www.rclace.eu/File/Data_Assimilation/2007/at_seviri2.pdf
- Storto, A and **Randriamampianina R**, 2010a: The Relative Impact of Meteorological Observations in the Norwegian Regional Model as determined using an energy norm-based approach, *Atmospheric Science Letters* (közlésre elfogadva).
- Storto, A and **Randriamampianina R.**, 2010b: Ensemble variational assimilation for the representation of background-error covariances in a high-latitude regional model, *Journal of Geophysical Research Atmosphere* (benyújtva)