



Az AROME modell adatasszimilációjának fejlesztése további SYNOP adatokkal

Duics-Koroscecz Lilla, Tóth Helga, Kristóf Erzsébet

HungaroMet Nonprofit Zrt., koroscecz.l@met.hu

DOI: 10.56474/legkor.2025.1.5

Az utóbbi egy-két évben jelentősen bővült a környező országok szinoptikus állomásairól származó SYNOP (surface synoptic observation) adatok elérhetősége, lehetővé téve ezek beépítését a hazai AROME (Applications of Research to Operations at Mesoscale) modell adatasszimilációs rendszerébe. A tanulmány áttekinti a bővítés eredményeit, amely során megállapítottuk, hogy az újonnan – kétoldalú megállapodások keretében – érkezett adatok ugyanúgy felhasználhatók az adatasszimiláció során, mint a GTS-en (Global Telecommunication System) keresztül elérhető adatok, mivel hasonló minőségűek. Továbbá, hogy a rendszer fejlesztése az előrejelzések minőségének kismértékű javulásával járt együtt.

Extension of AROME/HU model data assimilation with additional SYNOP data

Recently a significant amount of extra SYNOP (surface synoptic observation) data became available from the surrounding countries of Hungary, and it makes possible to include them into the AROME (Applications of Research to Operations at Mesoscale) data assimilation system. The study reviews the results of the expansion, during which it was concluded that the new observations – obtained via bilateral agreements – can be used in the data assimilation just as the data available through the GTS (Global Telecommunication System), since they have a similar quality. Furthermore, the development of the system was accompanied by a minimal improvement in the forecast quality.

A légköri kormányzó egyenletek megoldásához szükséges kezdeti feltételek minél pontosabb ismerete elengedhetetlen a minőségi időjárás előrejelzés készítéséhez, mivel az egyenletek rendkívüli érzékenységet mutatnak a kezdeti feltételekre (Lorenz, 1993). Ezek optimális előállításával foglalkozik az adatasszimiláció (Harms *et al.*, 1992). Az adatasszimiláció során a méréseket és a korábbi időpontból indított néhányórás előrejelzéseket (háttérmezőt) statisztikai értelemben optimális módon ötvözik, figyelembe

véve az egyes információk megbízhatóságát. Ennek eredménye az analízis, amelyet kezdeti feltételként alkalmaznak (Pu and Kalnay, 2018). A HungaroMet Zrt.-nél alkalmazott AROME modell adatasszimilációs rendszerébe öt forrásból kerülnek megfigyelési adatok, mégpedig a SYNOP táviratokból, rádiószondáktól (TEMP távirat), repülőgépekről (AMDAR, Mode-S MRAR távirat), a globális műholdas navigációs rendszer (GNSS; Global Navigation Satellite Systems) adataiból; továbbá az AMV (Atmospheric Motion Vectors)

műholdas adatokból. A GNSS főleg integrált nedvességi paraméterrel szolgál, azaz megadja egy légszlopban lévő nedvesség mennyiségét. Az AMV pedig a különböző magassági szinteken található felhők mozgásából meghatározott szélvektorokat jelenti (Tóth et al., 2021). A SYNOP táviratokból a 2 méteres hőmérséklet, a 2 méteres relatív nedvesség, a 10 méteres szélsébség és a felszíni légneműságből származtatott geopotenciál kerül asszimilálásra.

Kísérleti jelleggel további, a környező országokból származó SYNOP adatokkal bővítettük a hazai meteorológiai szolgálatnál használt AROME modell adatasszimilációs rendszerét, így nagyjából kétszer annyi SYNOP adatot vettünk figyelembe az előrejelzés során, mint az operatív modellváltozatban. A kísérletre azért most került sor, mert az utóbbi időszakban jelentősen bővült a környező országok SYNOP adatainak elérhetősége, amelyeket bilaterális adatcsere keretében a HungaroMet Zrt. is felhasználhat az adatasszimilációban, illetve verifikáció céljára. A hozzáadott adatok az OPLACE (Observation Preprocessing System for Regional Cooperation for Limited Area modelling in Central Europe) rendszerből származnak, amelyben összegyűjtik a környező országokból – mint Románia, Szlovákia, Csehország, Lengyelország, Ausztria, Horvátország és Szlovénia – származó mérési adatokat. Az OPLACE elsődleges célja az adatcsere támogatása az érintett országok között, és a megfigyelések adatasszimilációhoz való előfeldolgozása (Trojáková et al., 2019). Megvizsgáltuk, hogy egyrészt a hozzáadott SYNOP adatok, másrészt az AROME modell beállításain ezzel kapcsolatban történt módosítások milyen hatással vannak az előrejelzések minőségére. A modellfuttatások egy-egy hónapra készültek, 2023 májusára és novemberére.

Kísérletek

Az AROME a Météo-France és az ACCORD (A Consortium for CONvection-scale modelling Research and Development) nemzetközi konzorcium meteorológiai szolgálatai által közösen kifejlesztett, konvektív skálájú numerikus időjárás-előrejelző modell (Seity et al., 2011; Brousseau et al., 2016), amelyet 2010 óta használ operatíván a magyar meteorológiai szolgálat rövidtávú (legfeljebb 48 órás) időjárás-előrejelzés készítésére. Jelenleg az előrejelzések egy Kárpát-medencét lefedő tartományon, 2,5 km-es horizontális felbontással és 60 vertikális szinttel készülnek (Tóth et al., 2021).

A hozzáadott SYNOP adatok előrejelzés pontosságára gyakorolt hatásának értékeléséhez 2023 májusára és novemberére végeztünk modellkísérleteket. A két

vizsgált hónapra kapott eredmények verifikációjától előzetesen más-más eredményt vártunk az eltérő időjárási helyzetek és az évszakos sajátosságok miatt. Tavasszal már több konvektív helyzet is előfordult, míg ősszel az Atlanti-óceánon néhány viharciklon is képződött, amelyek az AROME tartományát is érintették [1]. Verifikált változóként a 2 méteres hőmérsékletet, a 2 méteres relatív nedvességet, a 10 méteres szélsébséget és a 3 órás csapadékösszeget választottuk, mivel az időjárási helyzet ismerete alapján ezeknél számítottunk az előrejelzés legjelentősebb javulására.

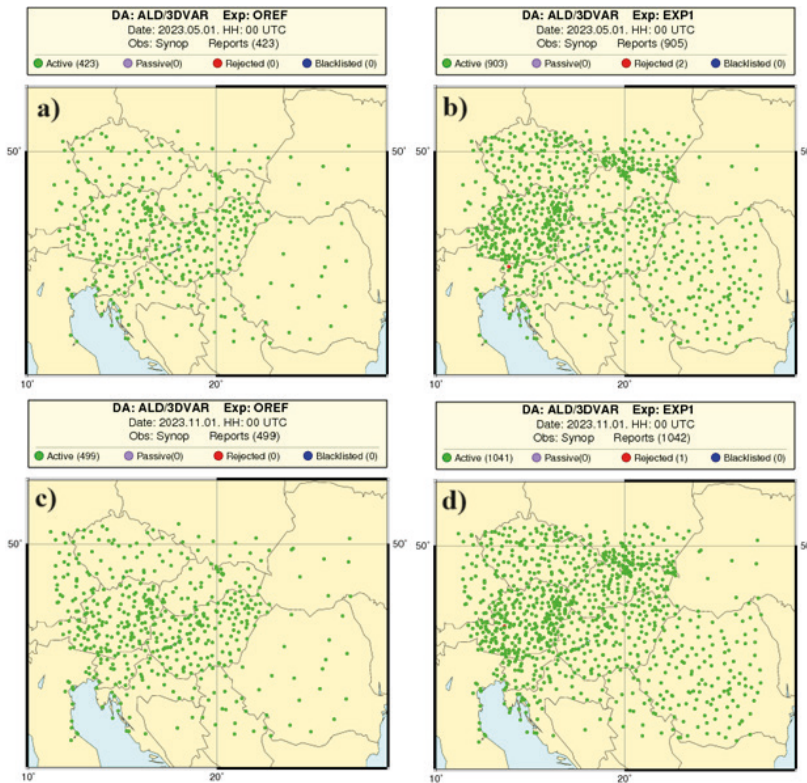
A hatás értékeléséhez három modellfuttatást végeztünk el 2023 májusára (a továbbiakban májusi vagy tavaszi időszak) és novemberére (a továbbiakban novemberi vagy őszi időszak) vonatkozóan: a referencia futtatást (OREF), az első kísérleti (EXP1) és a második kísérleti futtatást (EXP2). Az OREF az AROME operatíván használt beállításait tartalmazta. Az EXP1 modellbeállításai a referenciáéval azonosak voltak, azonban ebbe beleépítettük az új SYNOP adatokat is, s az analízis elkészítése során az operatív AROME modellhez hasonlóan, az adott rácspontról a 80 km-es távolságban lévő megfigyeléseket vettük figyelembe (Bouttier and Courtier, 2002). Az EXP2 esetén az analízis elkészítése során a megfigyelések hatókörét 40 km-re csökkentettük Bučánek (2020) eredményei alapján. Ezáltal a sűrűbb hálózatból a rácspontról közvetlen környezetben lévő megfigyeléseket használtuk fel, és figyelmen kívül hagytuk a távolabb eső méréseket, amellyel nagyobb pontosságra számíthattunk. Mindhárom modellfuttatás esetén csak a 0 UTC-s kiindulási időpontból készült előrejelzés, 30 órára előre, minden egyes nap.

Az 1. ábra a) és c) térképein a referencia futtatás által fölhasznált SYNOP jelentéseket láthatjuk május és november 1-jén 0 UTC-re vonatkozóan, és észrevehető, hogy ezek száma körülbelül feleakkora, mint az első kísérleti futtatásba bemenő adatok mennyisége (1. ábra b) és d) térképei). Ez alapján tudhatjuk, hogy a további környező adatok sikeresen beépültek a kezdeti feltételbe.

Eredmények

A vizsgált tavaszi és őszi időszak közül a tavaszra vonatkozó eredményeket mutatjuk be röviden, mivel ez esetben jobban kiütözköztek a futtatások közötti különbségek.

A 2. ábrán a három modellfuttatás 2 méteres hőmérséklethez tartozó adatstatisztikáinak szórása és átlaga látható május 1. és 31. között. Mindhárom szimuláció esetén a mérések háttérmezőtől, illetve analízistől vett eltéréseinek átlagai nulla körüli értékeket vesznek föl, ami azt jelenti, hogy megbízhatóak az adataink.



1. ábra. A referencia futtatás által felhasznált SYNOP jelentések száma a) 2023. május 1-jén 0 UTC-kor, illetve c) 2023. november 1-jén 0 UTC-kor. Az első kísérleti futtatás által felhasznált SYNOP jelentések száma b) 2023. május 1-jén 0 UTC-kor és d) 2023. november 1-jén 0 UTC-kor. A zöld pontok jelzik az adatasszimiláció során felhasznált adatok gyűjtési helyét („active”).

A három modellfuttatás adatstatisztikáinak szórásai is körülbelül azonos értékeket vesznek föl, noha az EXP2 szórásai valamivel kisebbek maradnak a másik két futtatáshoz képest, mivel ebben az esetben csak a rácspontok közvetlen környezetében lévő megfigyeléseket vettük figyelembe, ezáltal pedig kisebb különbség lépett föl a mérések és a háttérmező, illetve az analízis között. Míg a 2 méteres hőmérsékletnél a három modellfuttatás hasonlóan teljesített, addig a 10 méteres szél két vizsgált adatstatisztikája esetén jobban kiütököztek a futtatások közötti, illetve a két adatstatisztika közötti különbségek (3. ábra). Az analízisben lévő többlet adatok miatt elvárt, hogy a megfigyelésektől vett eltérése nullához közelebbi értékeket produkáljon, mint a megfigyelések és a háttérmező különbsége, és ebből is látszik az adatasszimiláció haszna: csökkenti az előrejelzésből fakadó hibákat a pontosabb kezdeti értékekkel. Az őszi futtatás esetén is hasonlókat figyeltünk meg.

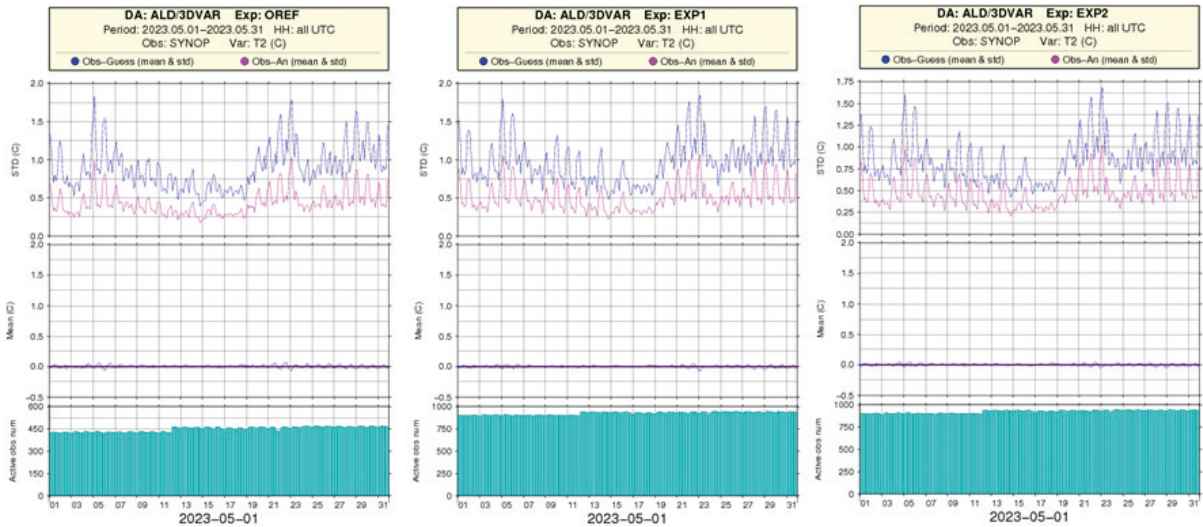
További, gyakran használt adatstatisztika az inkrementum, amely az analízis és a háttérmező különbségéből áll elő. A segítségével megmutatható, hogy az adatasszimiláció során felhasznált SYNOP adatok

nek mekkora a hozzáadott értéke a modell előrejelzéséhez. A három modellfuttatás 2 méteres hőmérsékletre vonatkozó inkrementuma a tavaszi időszak első analízisének időpontjára a 4. ábrán látható. Az időpont megválasztása nem véletlen, mert ezáltal látható, hogy már az első analízis elkészültekor észrevehető különbségek ütköztek ki a modellfuttatások analízisei között. Az OREF esetén az inkrementumok homogénebb mezőt mutatnak, mint az EXP1 és az EXP2 esetén, mivel az előbbi esetben kevesebb megfigyelést vettünk figyelembe. A tartomány keleti és nyugati határán megfigyelhetjük, hogy az analízis néhány ponton jelentősen eltért a modell előrejelzésétől. Ennek az lehet az oka, hogy a tartomány szélén, leginkább a hegyvidéki területeken, a modell előrejelzése pontatlanabb, mivel az AROME orográfija eltér a tényleges orográfiától a durvább térbeli felbontása miatt. Ennek okán nagyobb inkrementum értéket kapunk, vagyis az adatasszimiláció

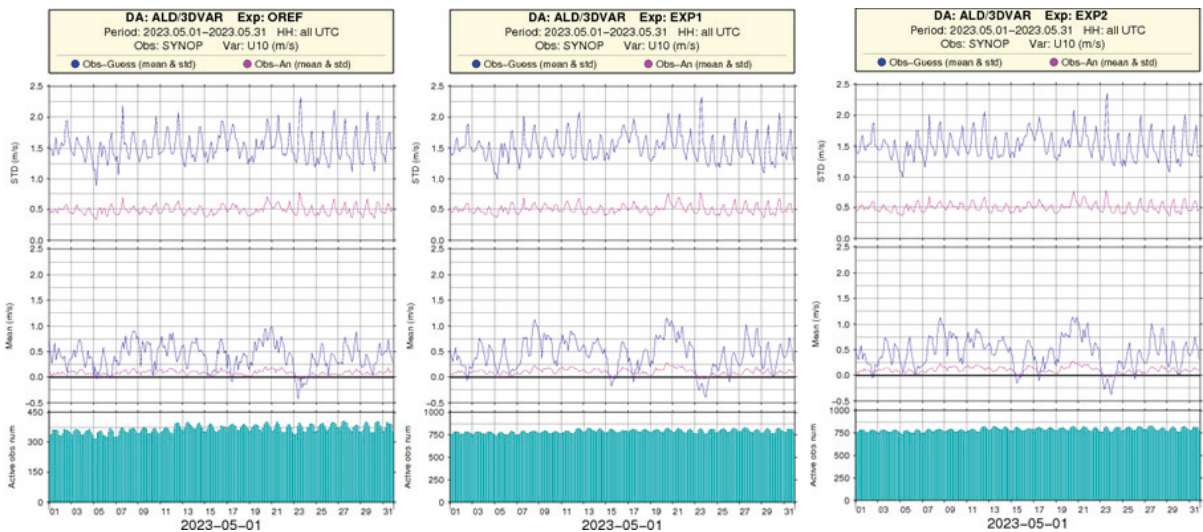
szórási értékei nagyobbak, mint a többi helyen. Az őszi időszak inkrementum vizsgálatára is hasonlókat figyeltünk meg.

A referencia és a kísérleti futtatások összehasonlítását több paraméterre is elvégeztük, amelynek alapját az átlagos négyzetes hiba négyzetgyöke (root mean square error, RMSE) és az átlagos előrejelzési hiba (bias) adta. A bias egy adott paraméter becslésének – jelen esetben egy állapotváltozó előrejelzésének – és a megfigyelés átlagos eltérését veszi, míg az RMSE az előrejelzés és a megfigyelés átlagos négyzetes eltérésének négyzetgyöke. Az RMSE esetén a nullához közeli értékek jelentik a pontosabb becsléseket, maga a nulla pedig a tökéletes becslést jelenti, bias esetén ugyanakkor nem, mert a pozitív és negatív értékek kiejthetik egymást az átlagolás során. Míg az RMSE nem lehet negatív értékű, addig a pozitív bias értékek szisztematikus felülbecslést, a negatív bias értékek alulbecslést jelentenek (Harwell, 2018).

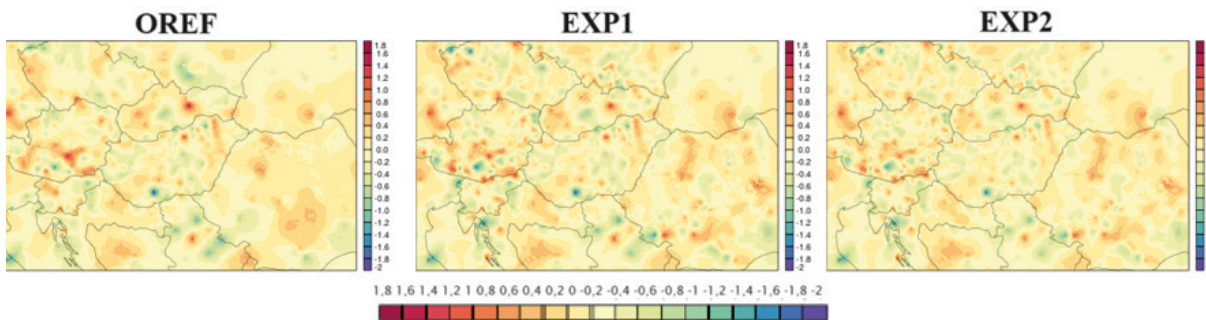
A verifikáció az OVISYS (Objective Verification System) és a HAWK-3 segítségével történt. Az OVISYS a HungaroMet Zrt. belső fejlesztésű



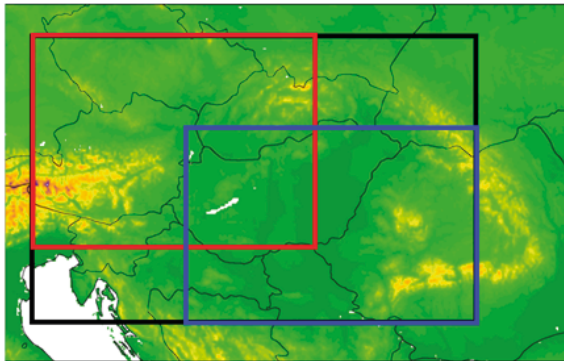
2. ábra. A megfigyelések háttérmezőtől vett különbsége (kék görbe), illetve a megfigyelések és az analízis eltérése (magenta görbe) a referencia futtatás (OREF) és a két kísérleti futtatás (EXP1, EXP2) esetén május 1. és 31. között, a 2 méteres hőmérsékletre. Az ábrán megtalálhatók az eltérések szórásai (standard deviation, STD) és átlagai (mean) °C-ban, illetve az asszimiláció során felhasznált megfigyelések száma (Active obs. num.).



3. ábra. A megfigyelések háttérmezőtől vett különbsége (kék görbe), illetve a megfigyelések és az analízis eltérése (magenta görbe) a referencia futtatás (OREF) és a két kísérleti futtatás (EXP1, EXP2) esetén május 1. és 31. között, a 10 méteres szélsősségre. Az ábrán megtalálhatók az eltérések szórásai (standard deviation, STD) és átlagai (mean) °C-ban, illetve az asszimiláció során felhasznált megfigyelések száma (Active obs. num.).



4. ábra. Az OREF, az EXP1 és az EXP2 2 méteres hőmérsékleteinek inkrementumai [°C] április 25-én 21 UTC-kor.



5. ábra. Az AROME operatív verifikációs tartományában (fekete) pirossal jelöljük a nyugati kivágatot, és kézzel a keleti kivágatot.

verifikációs rendszere (Szabó, 2011), míg a HAWK egy szintén belső fejlesztésű rendszer, amit megjelenítésre használnak (Rajnai et al., 2024).

Annak megfelelően, hogy mely területekre érkezett be több SYNOP adat, az AROME teljes verifikációs tartományában kijelöltünk további két, kisebb területet,

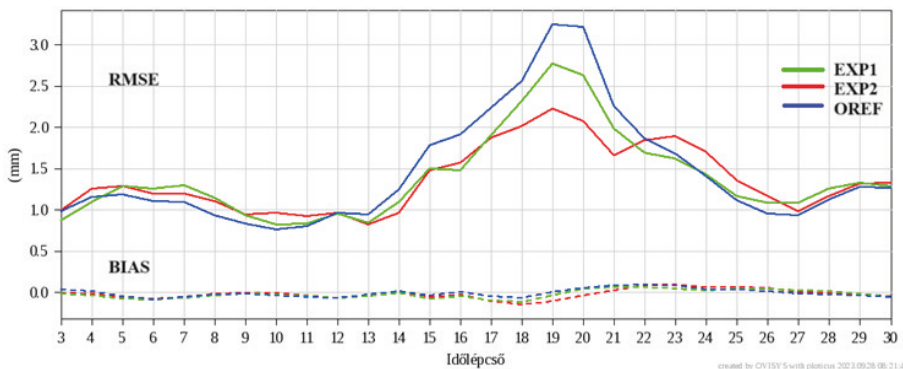
amelyek az 5. ábrán láthatók. Az egyszerűség kedvéért a két kivágatra az elhelyezkedésük alapján fogunk hivatkozni, mint keleti és nyugati kivágat.

A tavaszi időszakra vonatkozó 3 órás csapadékösszeg előrejelzések verifikációja látható a 6. ábrán a keleti kivágatra vonatkozóan. A legnagyobb eltéréseket a késő délutáni órákban, leginkább az RMSE értékeiben figyelhetjük meg, ami 19 UTC-nél éri el a maximumát, míg éjszaka a modellfuttatások nagyjából együtt mozognak. Ennek magyarázata a napközbeni csapadék-előrejelzésben rejlő bizonytalanság lehet, amely a konvekcióból fakad. Ebből adódóan a hibák alakulásában napi menet látható. Ezt az időjárási helyzet vizsgálata is alátámasztotta [1]. Amíg májusban kirajzolódott a napi menet, addig novemberben ezt nem figyeltük meg.

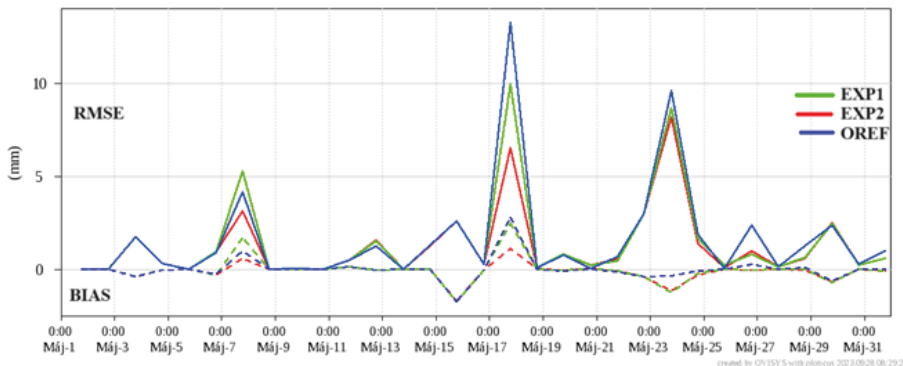
A 7. ábrán (technikai okok miatt a maximális értékhez tartozó 19 UTC-s időpont helyett) a 18 UTC-re vonatkozó 3-órás csapadékösszeg előrejelzéseket jeleltettük meg május minden napjára. Habár mindhárom futtatás a hónap folyamán nagyjából együtt változott, az RMSE értékeiben több napon is előfordultak szignifikáns különbségek, mégpedig május 7-én, 17-én, illetve 23-án. Ekkor frontátvonulások zajlottak. Ezekben a napokban a 2. kísérleti futtatás jobb előrejelzésekkel szolgált, mint az 1. kísérleti futtatás, vagy mint a referencia, mivel ekkor az RMSE értéke nullához közelebbi.

A prognózisok javulása különösen jól látszik május 17-én, amikor az EXP2 hibája az OREF-hez képest nagyjából feleakkora. Ezen a napon Magyarország környezetében egy gyengülő mediterrán ciklon helyezkedett el, amelynek frontrendszere az esti órákban a modelltartomány keleti részén széles, csapadékos időjárást okozott, néhol zivatarokkal [1].

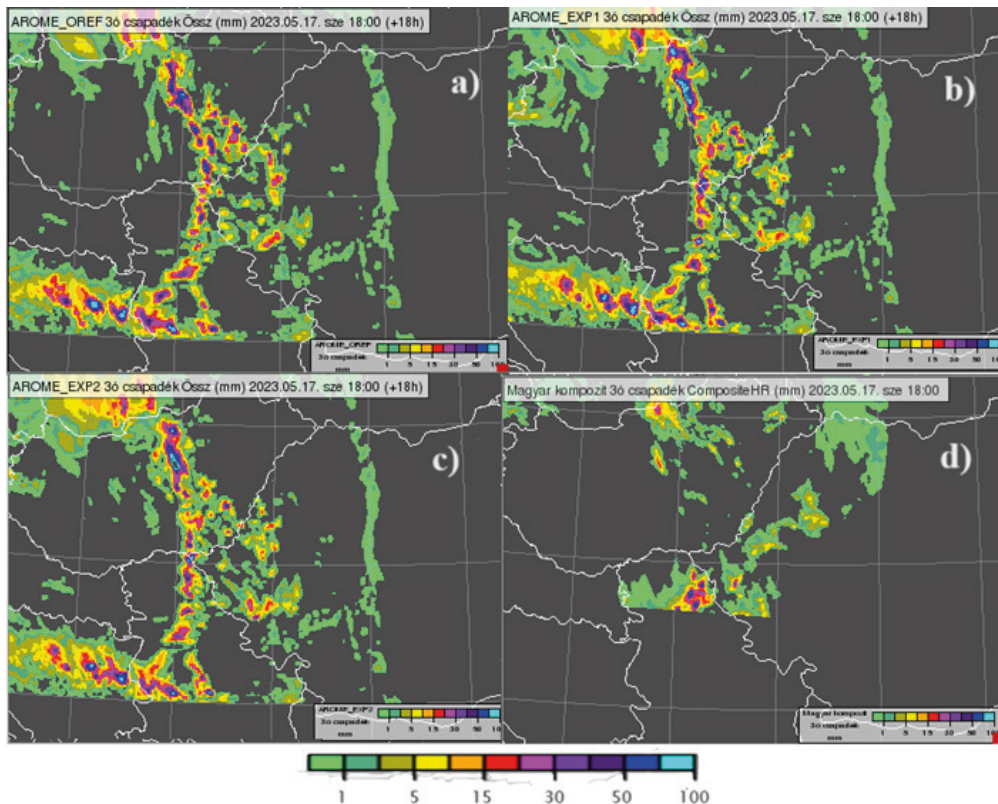
A május 17-én 18 UTC-re vonatkozó térképeken (8. ábra) megfigyelhetjük, hogy a csapadékösszeg elhelyezkedése a modellfuttatásokban viszonylag eltérő, valamint több csapadékot jeleztek előre a valóságnál. Az ehhez hasonló előrejelzések miatt nehéz szubjektív módon megítélni, hogy melyik futtatás előrejelzése sikerült jobban az adott időpontra vonatkozóan. Az alkalmazott metrikák – RMSE és bias (ld. 6., 7. ábra) – lehetővé teszik az objektív döntéshozatalt, miszerint az EXP2 előrejelzése a legpontosabb, mivel az kevésbé becsült felül.



6. ábra. Az OREF (kék), az EXP1 (zöld) és az EXP2 (piros) 3 órás csapadékösszeg előrejelzéseinek hibája mm-ben kifejezve, az órában megadott időtől függvényében a keleti kivágaton, 2023 májusában. A hibát az RMSE (folytonos vonal) és a bias (szaggatott vonal) segítségével fejeztük ki.



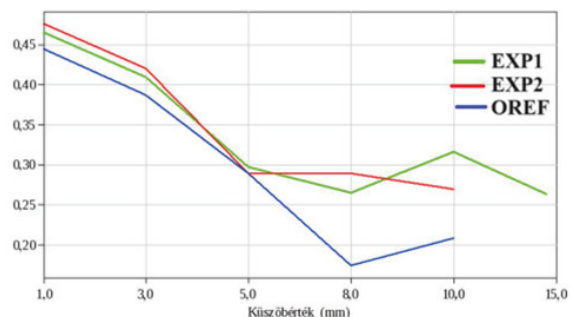
7. ábra. Az OREF (kék), az EXP1 (zöld) és az EXP2 (piros) 3 órás csapadékösszeg előrejelzéseinek hibája 18 UTC-kor, 2023 májusának minden napjára vonatkozóan, a keleti kivágaton. A hibát az RMSE (folytonos vonal) és a bias (szaggatott vonal) segítségével fejezzük ki mm-ben.



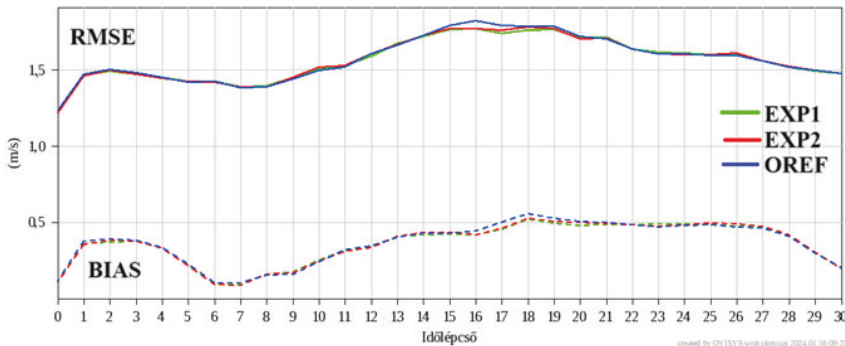
8. ábra. 2023. május 17-én 18 UTC-re vonatkozó 3 órás csapadékösszeg előrejelzések [mm] a) az OREF, b) az EXP1 és c) az EXP2 alapján, a keleti kivágaton. A d) ábrán a radaradatokból számított 3 órás csapadékösszeg látható. A radarkép kivágata kisebb, mint az előrejelzésekhez használt tartományok mérete.

A tavaszi időszak esetén nemcsak az RMSE és a bias, hanem az EDS (Extremal Dependence Score) (Stephenson et al., 2008), az EDI (Extremal Dependence Index) és a SEDI (Symmetric Extremal Dependence Index) (Ferro and Stephenson, 2011) mérőszámokat is megvizsgáltuk a délutáni csapadékra vonatkozóan. Mindhárom mérőszám a ritkán bekövetkező, szélsőséges időjárási események előrejelzésének verifikálására szolgál, és előnyük a korábbi mérőszámokhoz képest, hogy csapadékmennyiség alapján csoportosítják és értékelik az eseményeket, ezáltal a ritkán bekövetkező eseményekre is adnak értékeket. A kiértékelés -1 és 1 közötti skálán történik, ahol minél közelebb van az egyhez az adott mérőszám, annál közelebb van az előrejelzett érték a megfigyelésekhez, míg minél inkább közelít a nullához, annál pontatlanabb a prognózis (Sharma et al., 2017). A vizsgálattal a délutáni konvekcióból származó nagyobb mennyiségű csapadékkal járó események is kiértékelhetők. A mérőszámokat az AROME teljes tartományára vetítve elemeztük mindegyik modellfuttatásra, a 3 órás csapadékösszege. A kiértékelés a teljes májusi

hónapra, 18 UTC-re vonatkozik, tehát a 15–18 UTC közötti időszakra. Mindhárom mérőszám alapján megállapítható, hogy minél nagyobb mennyiségű csapadék hullik 3 óra leforgása alatt, annál pontatlanabb az előrejelzés. Az EDS-t bemutató 9. ábra alapján továbbá az is megmutatható, hogy a 8 vagy 10 mm fölötti 3 órás csapadékösszegek esetén az előrejelzések pontossága kis mértékben megnő. Ennek egyrészt az az oka, hogy



9. ábra. Az OREF (kék), az EXP1 (zöld) és az EXP2 (piros) EDS értékei az AROME teljes tartományán 2023 májusában, 18 UTC-kor.



10. ábra Az OREF (kék), az EXP1 (zöld) és az EXP2 (piros) 10 méteres szélesség előrejelzéseinek RMSE (folytonos görbe) és bias (szaggatott görbe) értékei m/s-ban kifejezve az órában megadott időtáv függvényében a keleti kivágaton, 2023 májusában.

a nagy területre kiterjedő nagyobb mennyiségű csapadékok előrejelzése pontosabb, mint a kisebb mennyiségűé, mivel a nagy mennyiségű csapadékok általában jól definiált frontrendszerek csapadékszónáihoz, vagy konvektív rendszerekhez kötődnek, míg a kis mennyiségű csapadékok ebben az időszakban (szitálás, helyi záporok) sokkal inkább a lokális hatások eredményeképpen keletkeznek. Másrészt az adatstatisztikák alapján gyakrabban fordultak elő ebben az időszakban a 8 vagy 10 mm feletti 3 órás csapadékösszegek, ezért a beválási arányuk is nagyobb. A referencia futtatás mérőszámai szinte mindig kisebbek a két kísérleti futtatásénál, ez egyet jelent azzal, hogy minél nagyobb mennyiségű csapadék hullott 3 óra alatt, a referencia futtatás annál pontatlanabb volt a két kísérleti futtatáshoz képest. Az EXP1 és az EXP2 azonban kevésbé különböztek egymástól, és az esetek nagy részében a második kísérleti futtatás szolgáltatott jobb előrejelzésekkel a három szimuláció közül. Az OREF és az EXP2 grafikonja nem haladja meg a 10 mm-es csapadékküszöböt, mert ebben az időintervallumban nem prognosztizáltak 10 mm fölötti 3 órás csapadékösszeget, míg az EXP1 igen.

A 10 méteres szélesség verifikálása során kisebb eltéréseket figyeltünk meg a modellfuttatások között. A keleti kivágatra vonatkozó 10. ábrán megmutatható, hogy a 30 órás időtáv alatt a szimulációk csak kissé, és leginkább a délutáni, kora esti órákban különböztek egymástól. A hibák alakulásában észrevehető egy napi menet,

amelynek minimuma a hajnali órákban van. Ez összefüggésben állhat a szélesség napi alakulásával, miszerint éjszaka a szél általában gyengébb, és kevésbé lökéses, mint nappal.

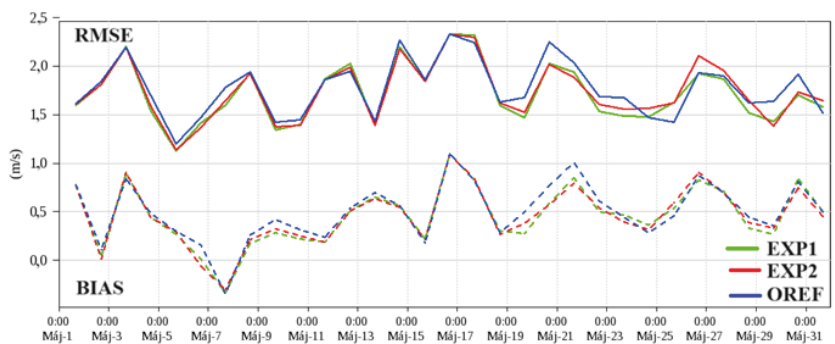
A 17 UTC-re vonatkozó RMSE és bias értékeket mutatja a 11. ábra, amelyen egyes időpontokban jól kivehetők a modellfuttatások közötti eltérések. A legnagyobb differencia május 19. és 25. között mutatható ki. Ennek az lehet az oka, hogy május 18-án egy okklúziós front

vonult át hazánk fölött, amit napokig tartó anticiklonális helyzet követett a május 23-án érkezett hidegfrontig. Az átmeneti időszakban, leginkább az ország keleti, délkeleti részén napközben sok helyen alakult ki zápor, zivatar, amelyeket erősebb széllesek kísértek [1]. Ebből következőleg a futtatások közötti eltérések a labilis légtömegben lezajlott, konvektív események miatti szélesség-változások előrejelzésében mutatkoztak meg.

Összefoglalás

Kísérleti jelleggel további, a környező országokból származó SYNOP adatokkal bővítettük az AROME modell adatasszimilációs rendszerét, így nagyjából kétszer annyi SYNOP adatot vettünk figyelembe a 2023 májusi és novemberi előrejelzés során, mint korábban.

A kísérletek alapján azt állapítottuk meg, hogy a hozzáadott SYNOP adatok, illetve a modell beállításain történt módosítások kissé javítottak



11. ábra. Az OREF (kék), az EXP1 (zöld) és az EXP2 (piros) szélesség előrejelzéseinek RMSE (folytonos görbe) és bias (szaggatott görbe) értékei [m/s] 17 UTC-re vonatkozóan, 2023 májusának minden napjára, a keleti kivágaton.

az előrejelzések minőségén, leginkább a bemutatott májusi időszakban. A csapadék szempontjából aktívabb tavaszi időszakban nagyobb eltérések mutatkoztak a futtatások között a 3 órás csapadékösszegre, mint az ősziben; az őszi időszakban viszont a három modellfuttatás relatív nedvesség előrejelzése jobban elkülönült, mint a tavaszi időszakban.

A 2,5 km-es horizontális felbontású operatív modellváltozat esetén a második kísérleti futtatás (EXP2) beállításait javasoljuk. A kutatás következő célkitűzése a kísérletek megismétlése az AROME modell finomabb, 1,3 km-es horizontális felbontású változatával, amellyel megvizsgálható, hogy milyen hozzáadott értéke van az újonnan asszimilált SYNOP adatoknak egy finomabb térbeli felbontáson. Az újabb futtatások elvégzése során a megfigyelések hatókörének további optimalizálása várható, valamint a finomabb térskálán a csapadék előrejelzésekre gyakorolt hatást is célszerű olyan verifikációs módszerekkel megvizsgálni, amelyek figyelembe futják venni ennek a változónak a térbeli jellemzőit.

Irodalomjegyzék

Bouttier, F. and Courtier, P., 2002: Data assimilation concepts and methods. *Meteorological training course lecture series. ECMWF*, 718, 59.

Brousseau P., Seity Y., Ricard D., and Léger J., 2016. Improvement of the forecast of convective activity from the AROME-France system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 142, 2231–2243, <https://doi.org/10.1002/qj.2822>.

Bučánek, A., 2020: Progress report of data assimilation: Assimilation of surface observations (SYNOP, national data, private observation networks) for upper-air and soil data assimilation (40–44) https://www.relac.eu/media/files/Data_Assimilation/reports/DA_report2020_v20210323.pdf

Ferro, C. A. T. and Stephenson, D. B., 2011: Extremal Dependence Indices: Improved Verification Measures for Deterministic Forecasts of Rare Binary Events, *Weather and Forecasting*, 26, 699–713. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-10-05030.1>

Harms, D., E., Raman, S. and Madala, R., V., 1992: An Examination of Four-Dimensional Data-Assimilation Techniques for Numerical Weather Prediction, *Bulletin of the American Meteorological Society* 73, 425–440, [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1992\)073<0425:A-EOFDD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1992)073<0425:A-EOFDD>2.0.CO;2)

Harwell, M., 2018: A Strategy for Using Bias and RMSE as Outcomes in Monte Carlo Studies in Statistics, *Journal of Modern Applied Statistical Methods* 17, 2, 5, 3 pp. <https://doi.org/10.56801/10.56801/v17.i.991>

Lorenz, E., N., 1993: The Essence of Chaos, *University of Washington Press*, 106–107 pp.

Pu, Z. and Kalnay, E., 2018: Numerical Weather Prediction Basics: Models, Numerical Methods, and Data Assimilation, In: *Handbook of Hydrometeorological Ensemble Forecasting* (Szerk.: Duan Q., Pappenberger F., Thielen J., Wood A., Cloke H., Schaake J.), Springer, Berlin, 22–24. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40457-3_11-1

Rajnai M., Tajti D., Vörös M., 2024: HAWK-3. Felhasználói kézikönyv

Seity, Y., P. Brousseau, S. Malardel, G. Hello, P. Bénard, F. Bouttier, C. Lac, and V. Masson, 2011: The AROME-France Convective-Scale Operational Model. *Mon. Wea. Rev.* 139, 976–991, <https://doi.org/10.1175/2010MWR3425.1>.

Sharma, K., Ashrit, R., Bhatla, R., Mitra, A. K., Iyengar, G. R. and Rajagopal, E. N., 2017: Skill of Predicting Heavy Rainfall Over India: Improvement in Recent Years Using UKMO Global Model, *Pure and Applied Geophysics*, 174, 4241–4250. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1640-9>

Stephenson, D. B., Casati B., Ferro C. A. T. and Wilson C. A., 2008: The extreme dependency score: A non-vanishing measure for forecasts of rare events. *Meteor. Appl.*, Vol. 15, Issue 1, 41–50. <https://doi.org/10.1002/met.53>

Szabó, L., 2011: OVISYS. OMSZ belső dokumentáció

Tóth, H., Homonnai, V., Mile, M., Várkonyi, A., Kocsis, Zs., Szanyi, K., Tóth, G., Szintai, B., and Szépszó, G., 2021: Recent developments in the data assimilation of AROME/HU numerical weather prediction model. *Időjárás* 125, 4, 521–553, <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.4.1>

Trojáková, A., Mile, M., and Tudor, M., 2019: Observation Preprocessing System for RC LACE (OPLACE), *Adv. Sci. Res.*, 16, 223–228, <https://doi.org/10.5194/asr-16-223-2019>

Internetes hivatkozások

[1] https://www.met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes/ (2024.03.25.)