

Rövidtávú időjárási modellezés

Szépszó Gabriella

Klimatológiai és Kutatás-fejlesztési Igazgatóság



TARTALOM

- 1. Számszerű modellezés**
- 2. Aktuális fejlesztések**
- 3. Bekapcsolódás a munkába**

TARTALOM

- 1. Számszerű modellezés**
- 2. Aktuális fejlesztések**
- 3. Bekapcsolódás a munkába**

A számszerű modellezés alapjai

- A numerikus prognosztika a kormányzó fizikai egyenletek megoldására alkotott matematikai modellek megoldása
- A légköri egyenletek:
 - Mozgásegyenletek (kapcsolat a sebesség megváltozása, valamint a nyomási gradiens, a Coriolis- és a súrlódási erők között)
 - Kontinuitási egyenlet (a tömeg-megmaradás törvénye)
 - Termodinamikai egyenlet (az energia-megmaradás törvénye)
 - Nedvesség kontinuitási egyenlet (a víz tömeg-megmaradása: folyékony, szilárd és gáz halmazállapotban)
 - Gáztörvény (kapcsolat a nyomás, a hőmérséklet és a nedvesség között)



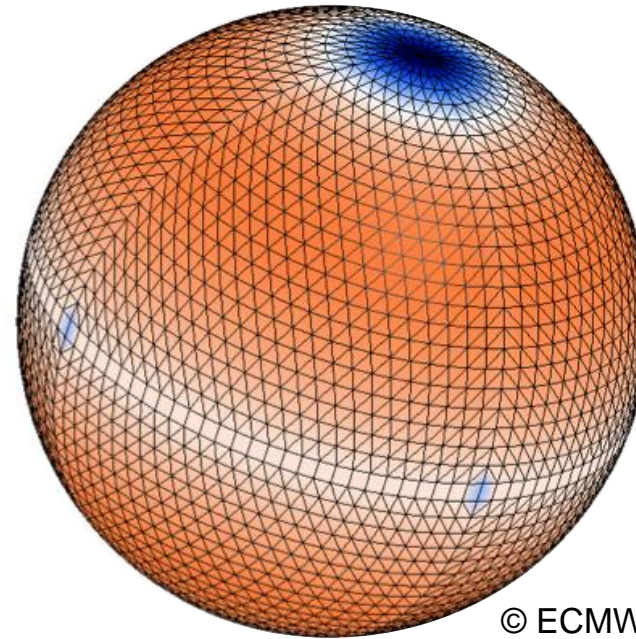
A hidro-termodinamikai egyenletrendszer

Mozgásegyenletek	$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{g} - 2\vec{\Omega} \times \vec{v} + \vec{F} + \vec{S}$
Kontinuitási egyenlet	$\frac{d\rho}{dt} = -\rho \cdot \operatorname{div} \vec{v}$
Termodinamikai egyenlet	$\frac{dQ}{dt} = c_p \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dp}{dt}$
Nedvesség kontinuitási egyenlete	$\frac{dq}{dt} = -\frac{1}{\rho} M$
Állapotegyenlet	$p = \rho RT$

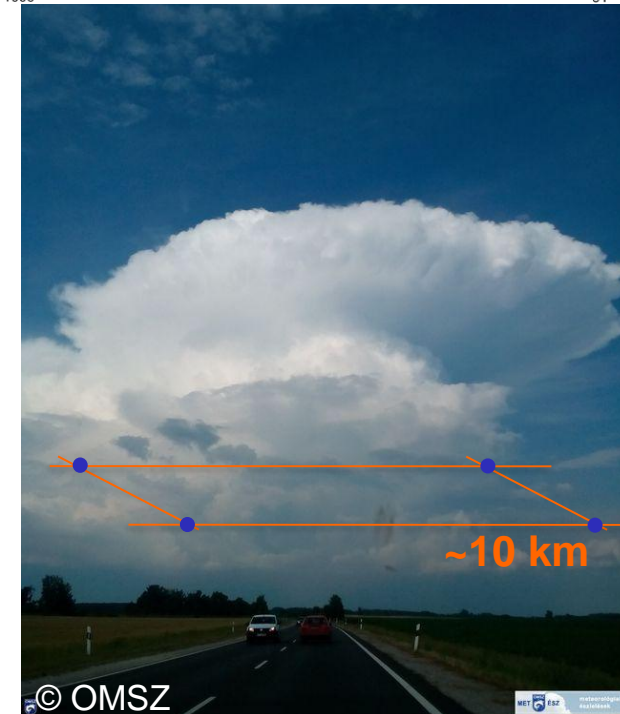
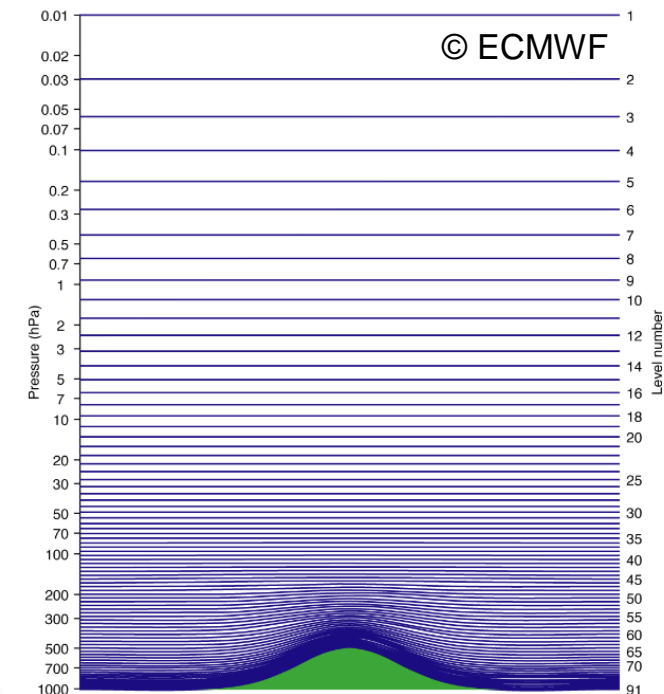
- Nem-lineáris parciális differenciálegyenlet-rendszer
- Csak numerikus módszerekkel oldható meg
- Kezdeti és peremfeltételeket igényel

Numerikus megoldás

- Rácsot illesztünk az előrejelzési tartományra → rácspontok, felbontás, deriváltak közelítése
- A rácstávolságnál kisebb léptékű folyamatokat parametrizáljuk
- Az időtávot időlépésekre osztjuk
- Az egyenleteket számítógép segítségével oldjuk meg



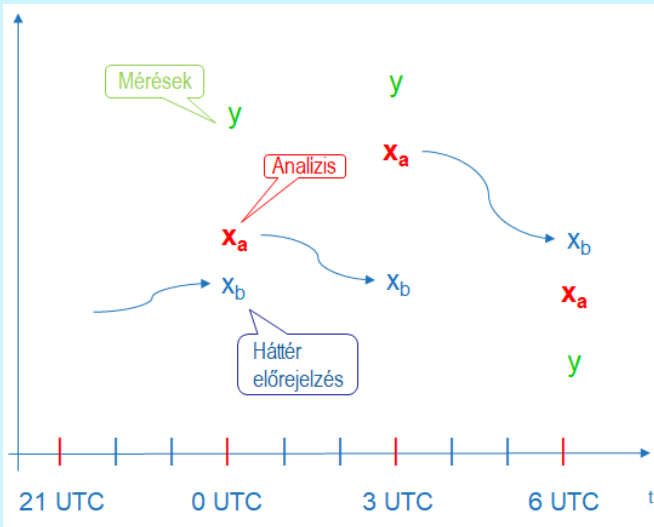
© ECMWF



A számszerű előrejelzés lépései

KEZDETI ÁLLAPOT MEGADÁSA

Mérések gyűjtése, ellenőrzése,
modellrácsra előállítása
(adatasszimiláció)



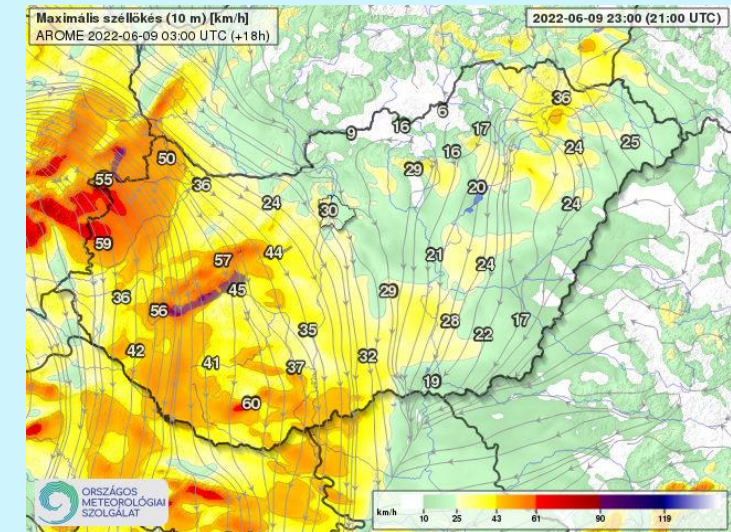
MODELL-INTEGRÁLÁS

A hidro-termodinamikai
egyenletrendszer közelítő
megoldása



UTÓ-FELDOLGOZÁS

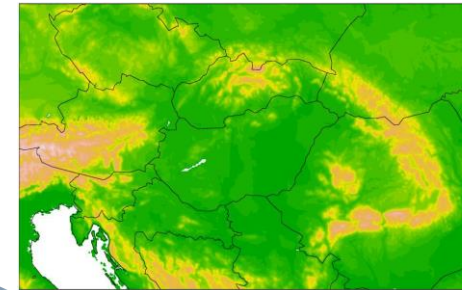
Speciális paraméterek számítása,
bizonytalanság becslése,
előrejelzés elkészítése **2-10 napra**,
verifikáció



A HungaroMet előrejelzései

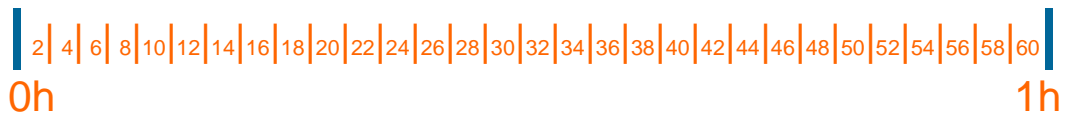
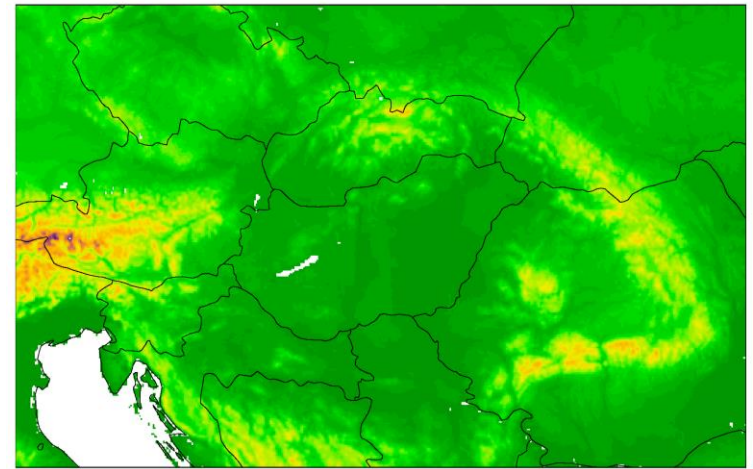
- ALADIN, ALARO, AROME modellek közös fejlesztése 1991-től az ACCORD (ALADIN) és LACE konzorciumokban, kutatási együttműködések, adatcsere
- Regionális előrejelzések a Kárpát-medencét lefedő területen
- A tartományon kívül zajló folyamatok figyelembevétele az Európai Középtávú Előrejelző Központ által futtatott globális modellből → **ECMWF-IFS** modell, 9 km-es felbontás
- Regionális előrejelzések két napra:
 - Az ALARO modellel 8 km-es felbontáson
 - Az **AROME** modellel 2,5 km-es felbontáson

Regionális modell



Az előrejelzések számításigénye (példa)

- Legalább 6 *prognosztikai változó*:
hőmérséklet, nedvesség, 3 szélkomponens, felszíni nyomás
- Kárpát-medencét 2,5 km-es felbontással lefedő tartomány:
500 x 320 rácspont
- 60 szint
- 1-perces időlépcső → 48 órás előrejelzés 2880 lépésben



$$6 \times 500 \times 320 \times 60 \times 2880 =$$

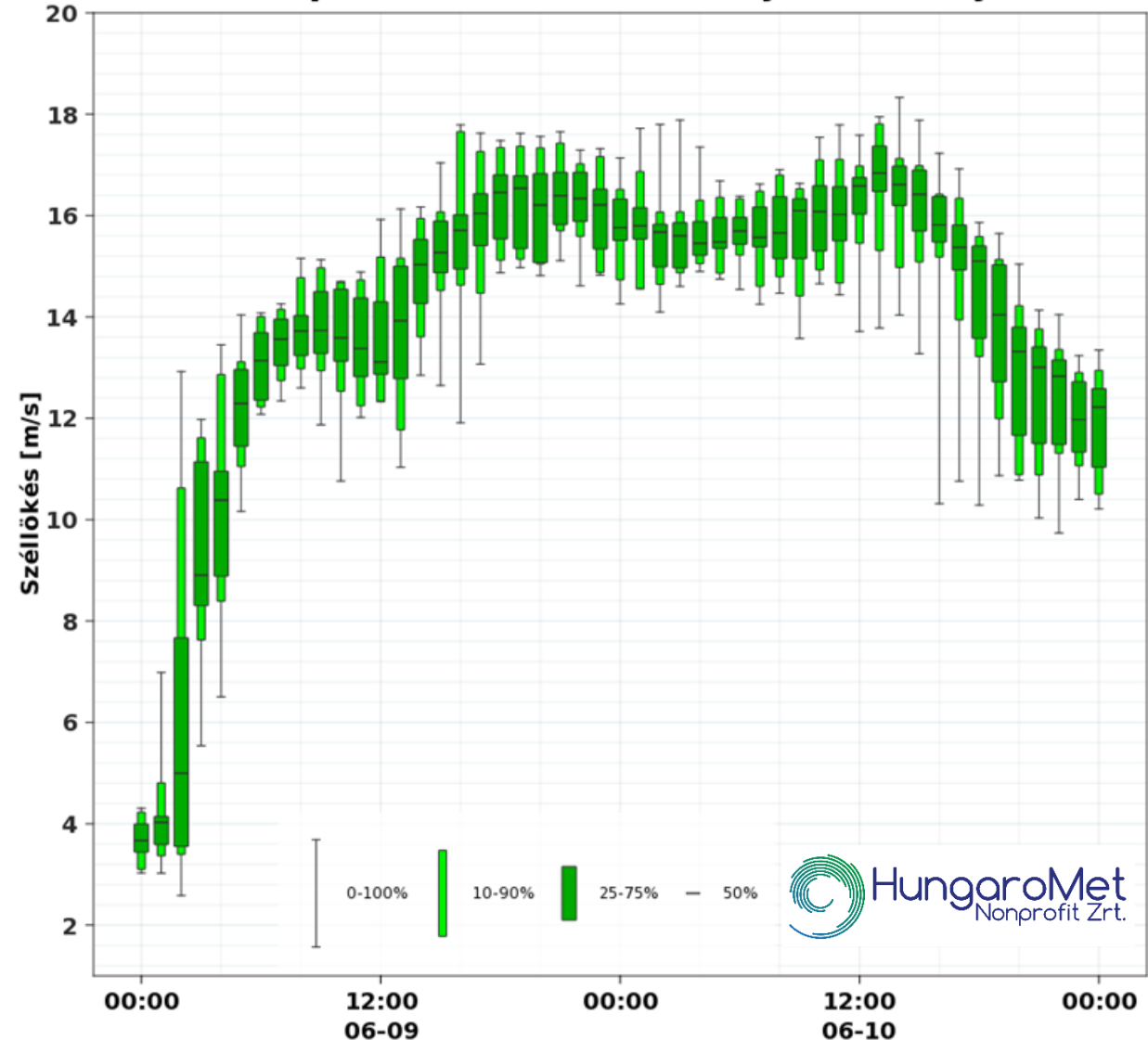
~10¹¹ mennyiségű adat előrejelzésenként

Az előrejelzések bizonytalansága

- Edward Lorenz (1972):
„Okozhat-e egy braziliai pillangó szárnycsapása tornádót Texasban?”
- A légkör bonyolult turbulens rendszer
- Kezdeti feltételek bizonytalansága, modellbizonytalanság
- Perturbáció → egy helyett több előrejelzés: együttes, azaz **ensemble**
- Valószínűségek → megjelenítés meteogrammal, valószínűségi térképpel stb.
- HungaroMetben:
10+1 előrejelzés → **AROME-EPS**

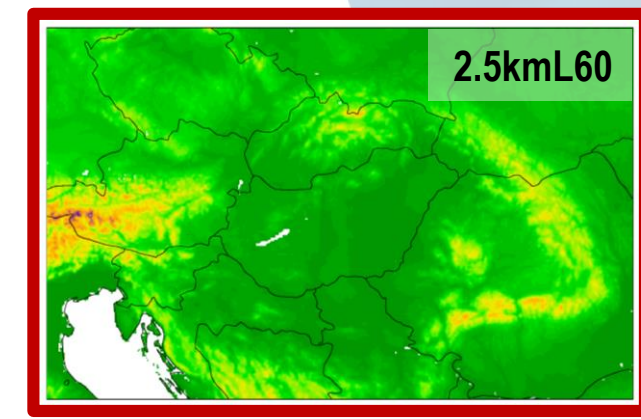
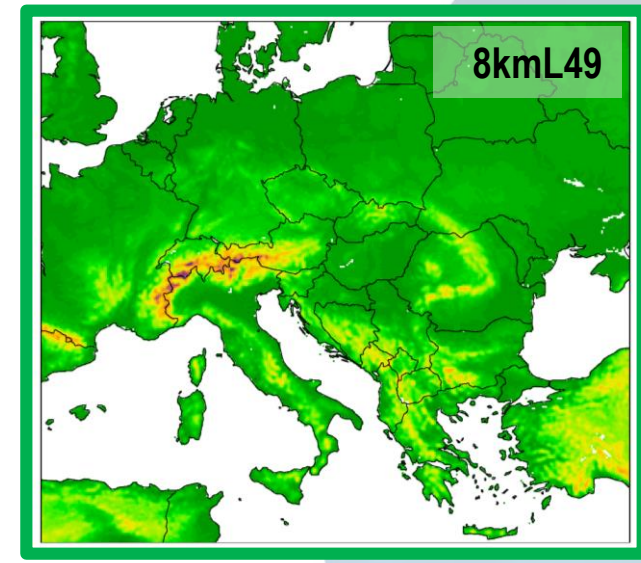
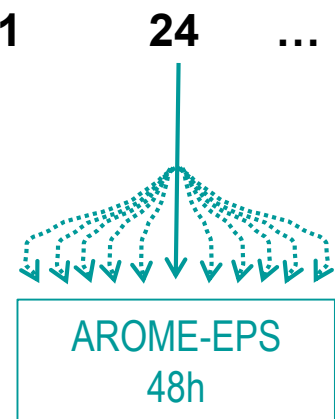
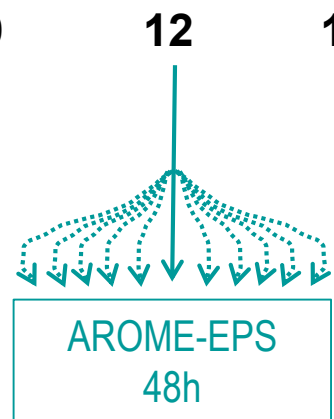
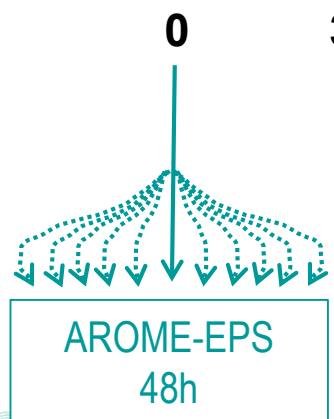
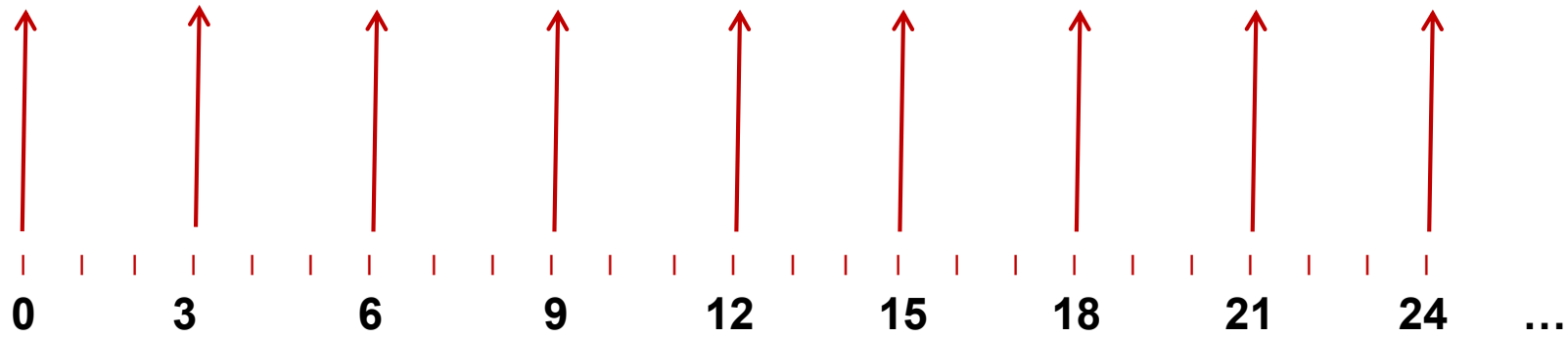
AROME-EPS Sopron

2022. június 9. - június 11.



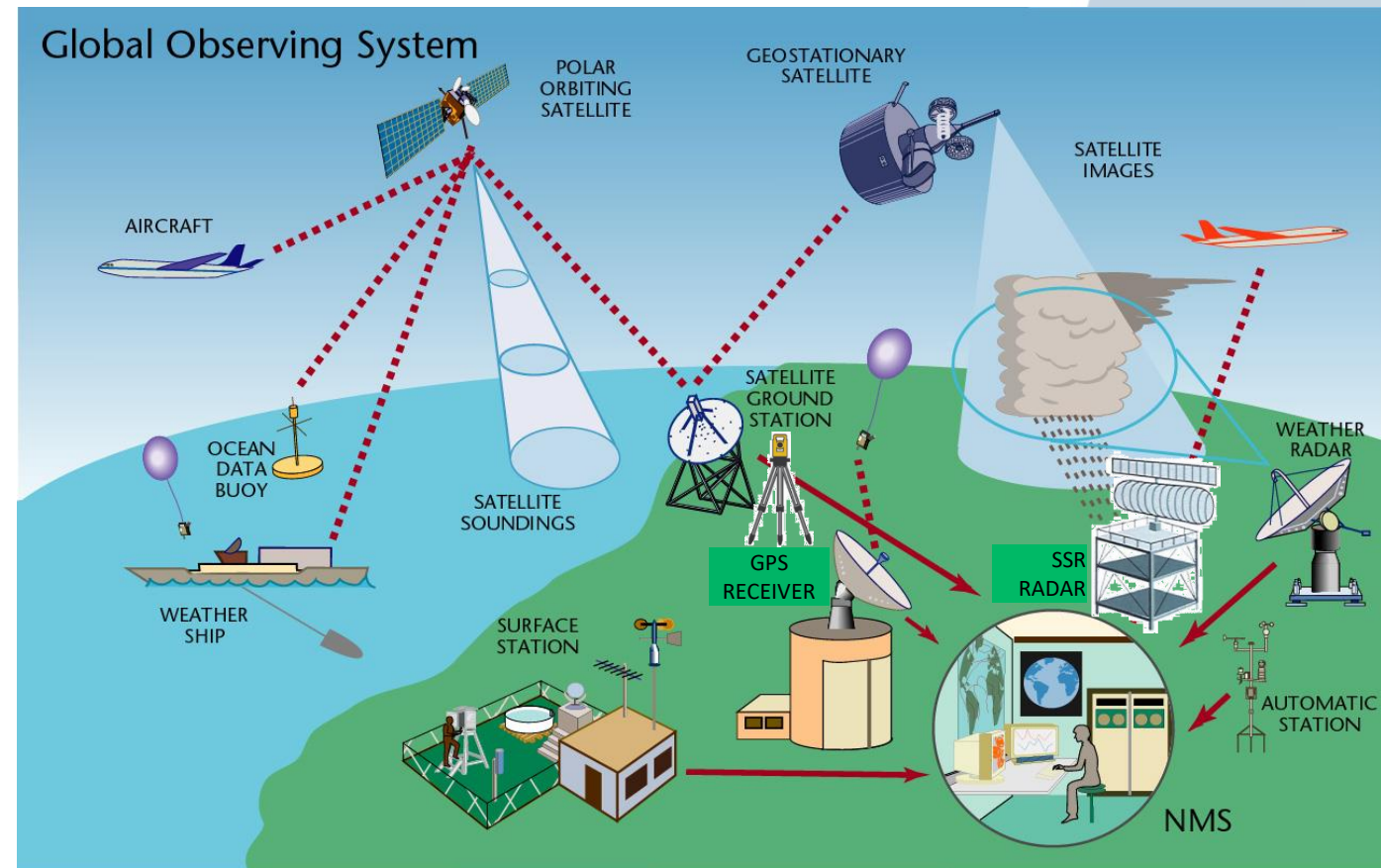
Operatív modellfuttatások – 2024

ALARO és AROME előrejelzések



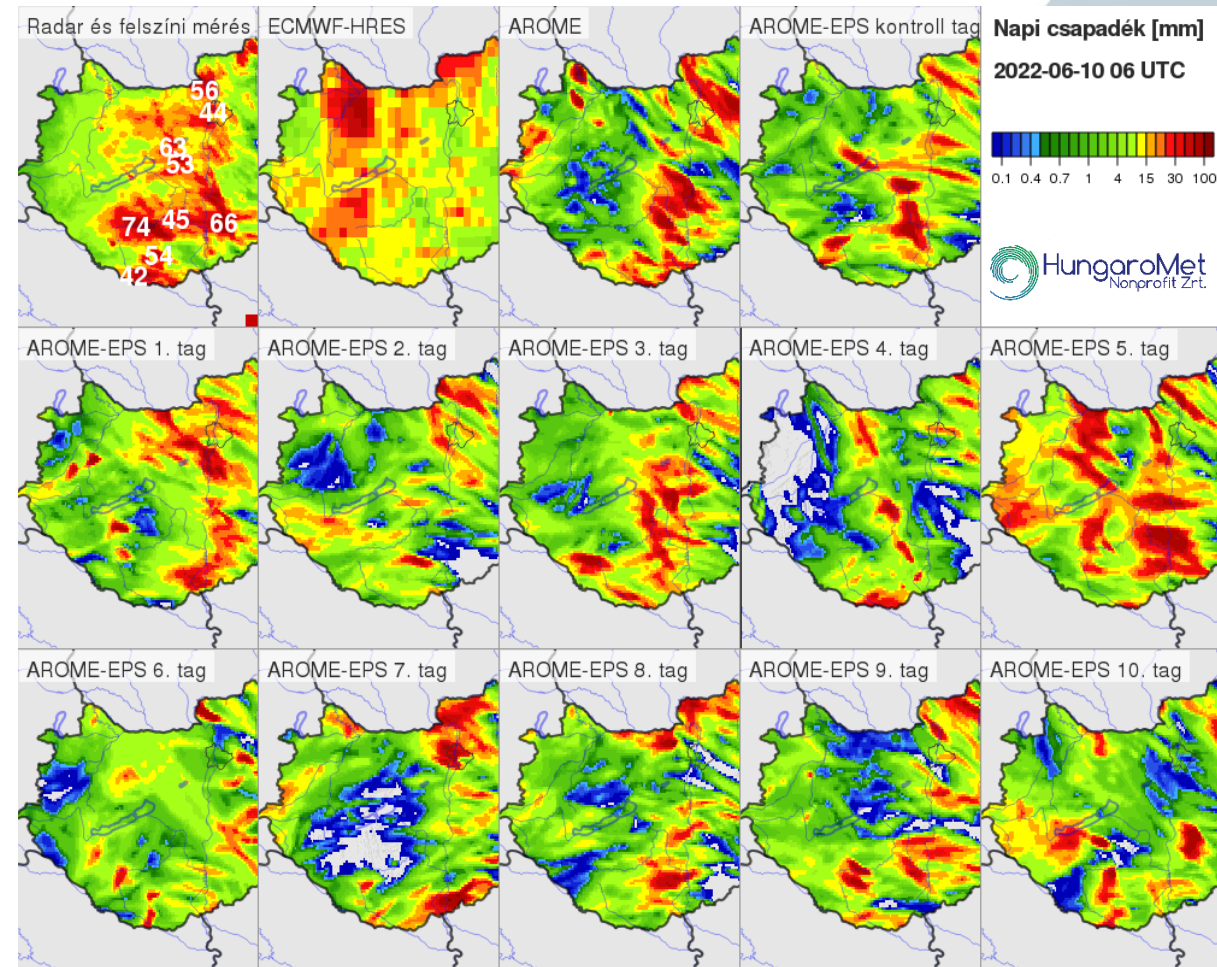
A kezdeti feltétel meghatározása

- Az előrejelzés érzékeny a kiindulási állapot pontosságára
- Előállításához: rövidtávú előrejelzések, **mérések** → globális telekommunikációs rendszerben (GTS) elérhető adatok, környező országok megfigyelései, lokális adatok
- (SYNOP) felszíni állomások mérései: szél, hőmérséklet, nedvesség, nyomás
- (TEMP) rádiószondák adatai: szél, hőmérséklet, nedvesség
- (AMDAR) repülőgépes mérések: szél, hőmérséklet, nedvesség
- (Mode-S) felszíni radarral gyűjtött repülőgépes adatok: szél, hőmérséklet
- Műhold adatok: szél
- (GNSS) GPS mérések: légszlopban integrált nedvesség



Megjelenítés és verifikáció

- Az előrejelzések eredményei és a mérések sokféle formátumban, rácshálózaton, vertikális felbontásban, időbeli részletességgel állnak rendelkezésre
- A prognózis készítésénél fontos a megjelenítés hatékonysága és interaktivitása → HAWK
- Verifikáció: az előrejelzések összevetése megfigyelésekkel és mérésekkel
- Fontos a mérések megbízhatósága, rendszeressége
- Objektív és szubjektív verifikáció (bővebben Bogi előadásában)



TARTALOM

- 1. Számszerű modellezés**
- 2. Aktuális fejlesztések**
- 3. Bekapcsolódás a munkába**

Aktuális fejlesztések

Homonnai Viktória, Lancz Dávid, Nagy Gabriella, Tóth Helga,
Kardos-Várkonyi Anikó, Szintai Balázs

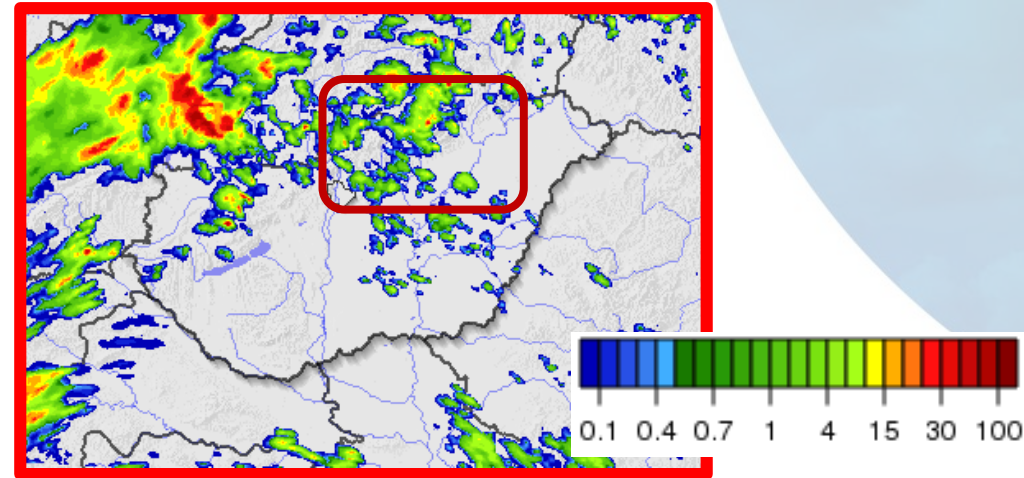
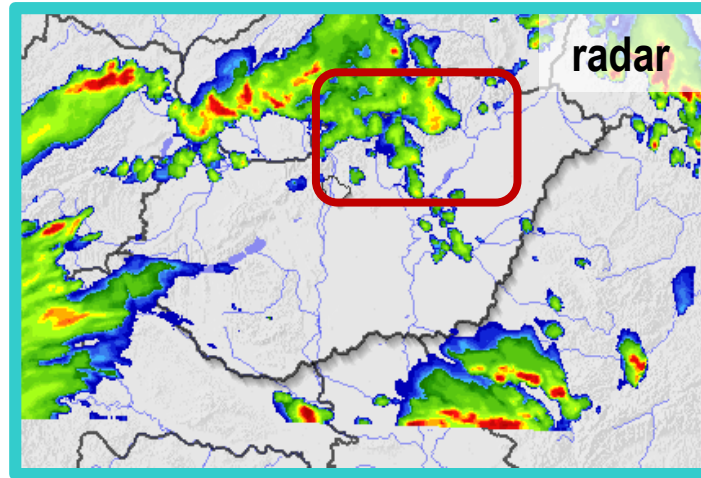
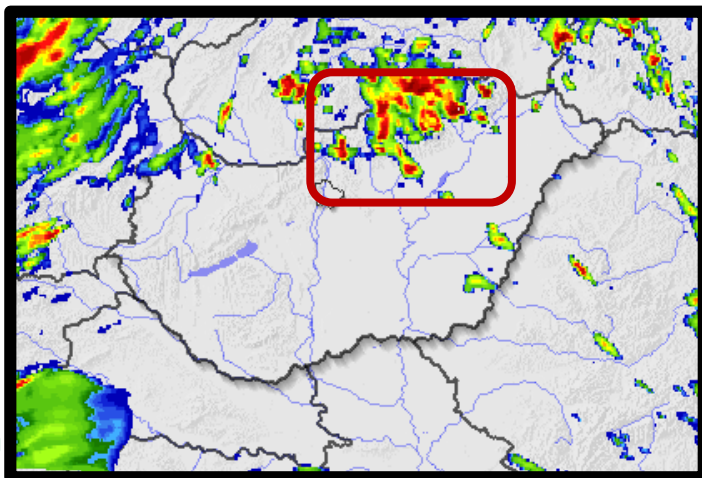
- Gyakoribb és új megfigyelések bevonása az adatasszimilációba: repülőgépes adatok, nedvesség információk
- Kezdeti feltétel gyakoribb frissítése: 3 óra → 1 óra
- Térbeli felbontás növelése: 2,5 km + 60 szint → 1,3 km + 90 szint
- Bizonytalanság reprezentációja az ensemble előrejelzésekben: modellhiba reprezentáció



Nagyobb térbeli felbontás

- 2,5 km-es rácsfelbontás és 60 szint →
1,3 km-es rácsfelbontás és 90 szint
- Kb. 8-szoros számítási igény

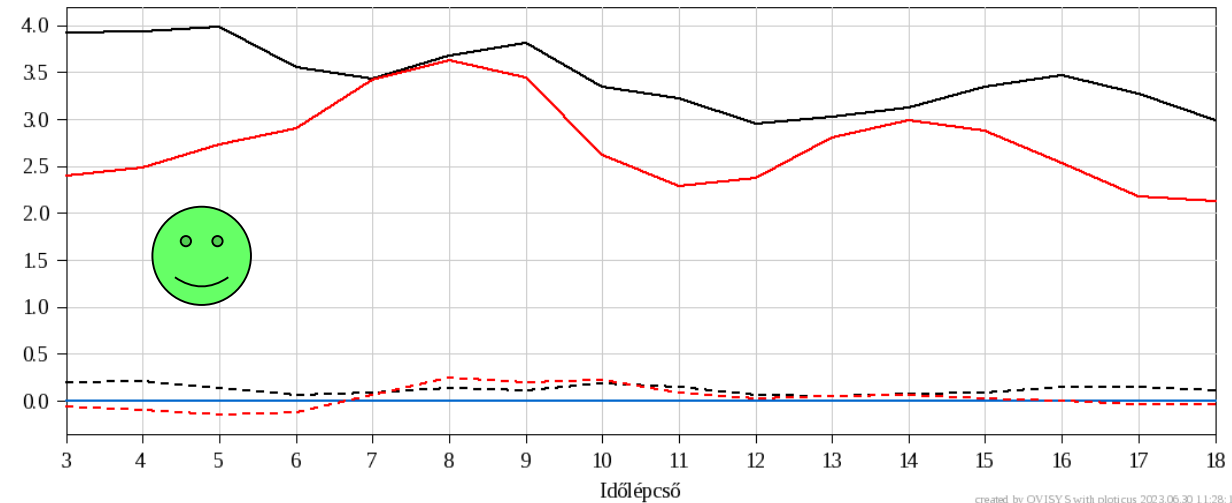
Csapadékösszeg [mm], 2021. július 18. 12–15 UTC
(radar és 3-órás előrejelzések)



3-órás csapadék előrejelzés négyzetes (–) és átlagos (– –) hibája [mm]

AROME @ 2,5kmL60 és **AROME @ 1,3kmL90**

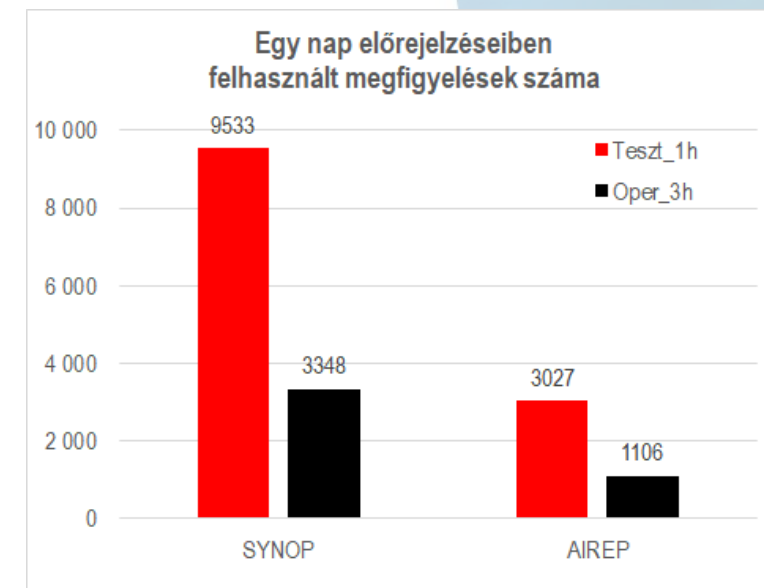
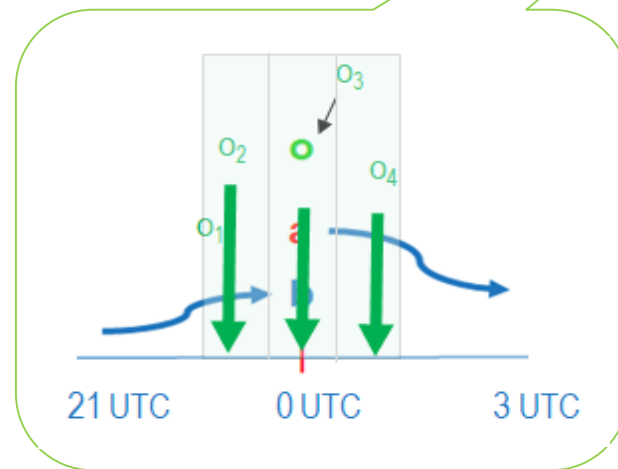
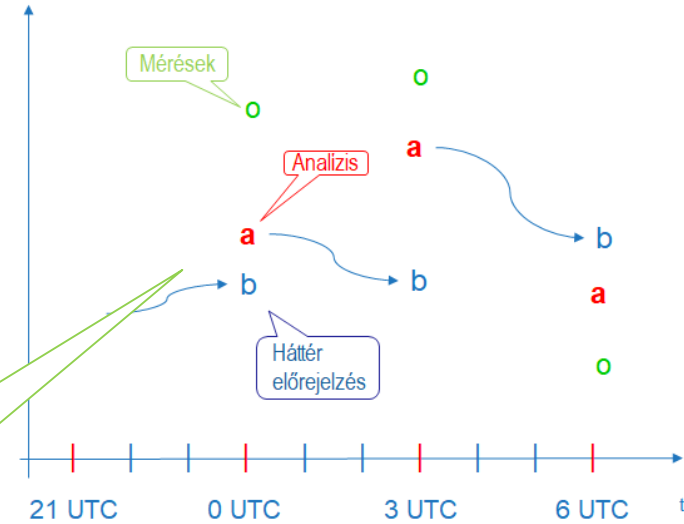
2021. július 8–28. 12 UTC



created by OVISY S with ploticus 2023.06.30 11:28:15

Óránkénti frissítés (rapid update cycle)

- Mérések figyelembevétele a mérési időpontjukhoz közelebb
- Több kerül felhasználásra a gyakoribb mérésekből (pl. felszíni, repülőgépes, radar)

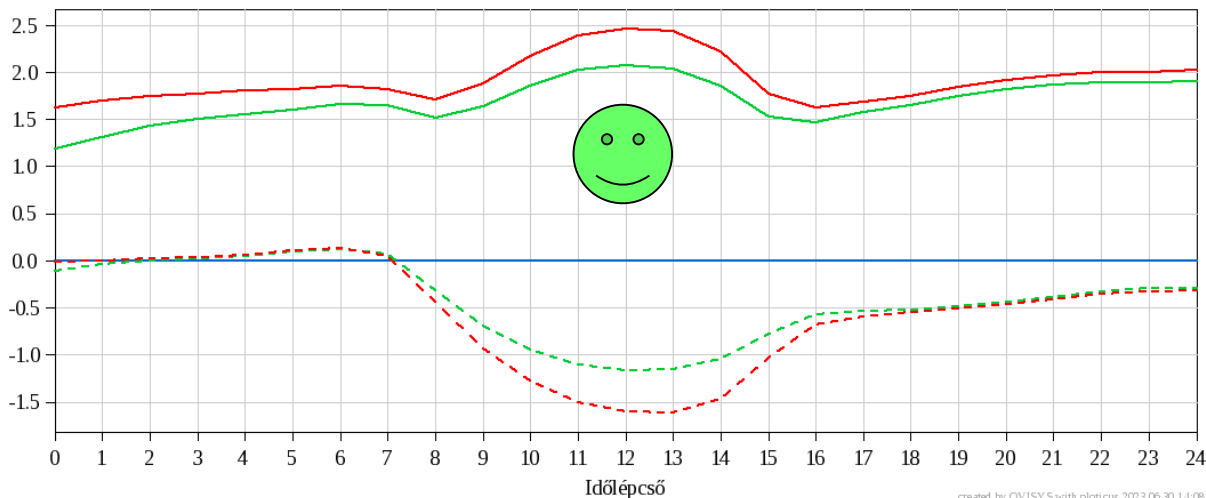


Óránkénti frissítés hatása

Hőmérséklet előrejelzés négyzetes (-) és átlagos (- -) hibája [°C]

AROME @ 1,3km x 3h és AROME @ 1,3km x 1h

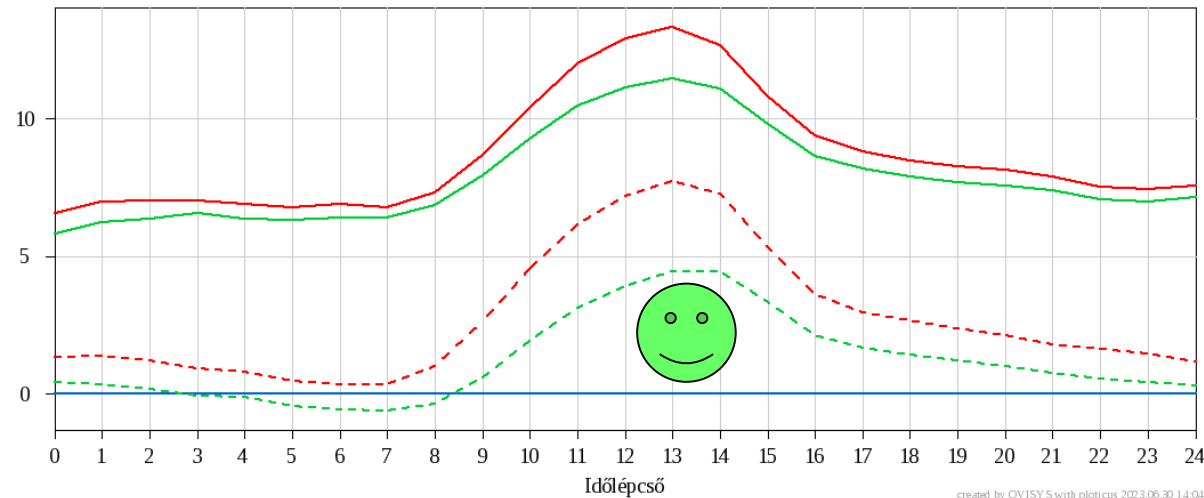
2022. december 14. – 2023. január 13. 0 UTC



Nedvesség előrejelzés négyzetes (-) és átlagos (- -) hibája [%]

AROME @ 1,3km x 3h és AROME @ 1,3km x 1h

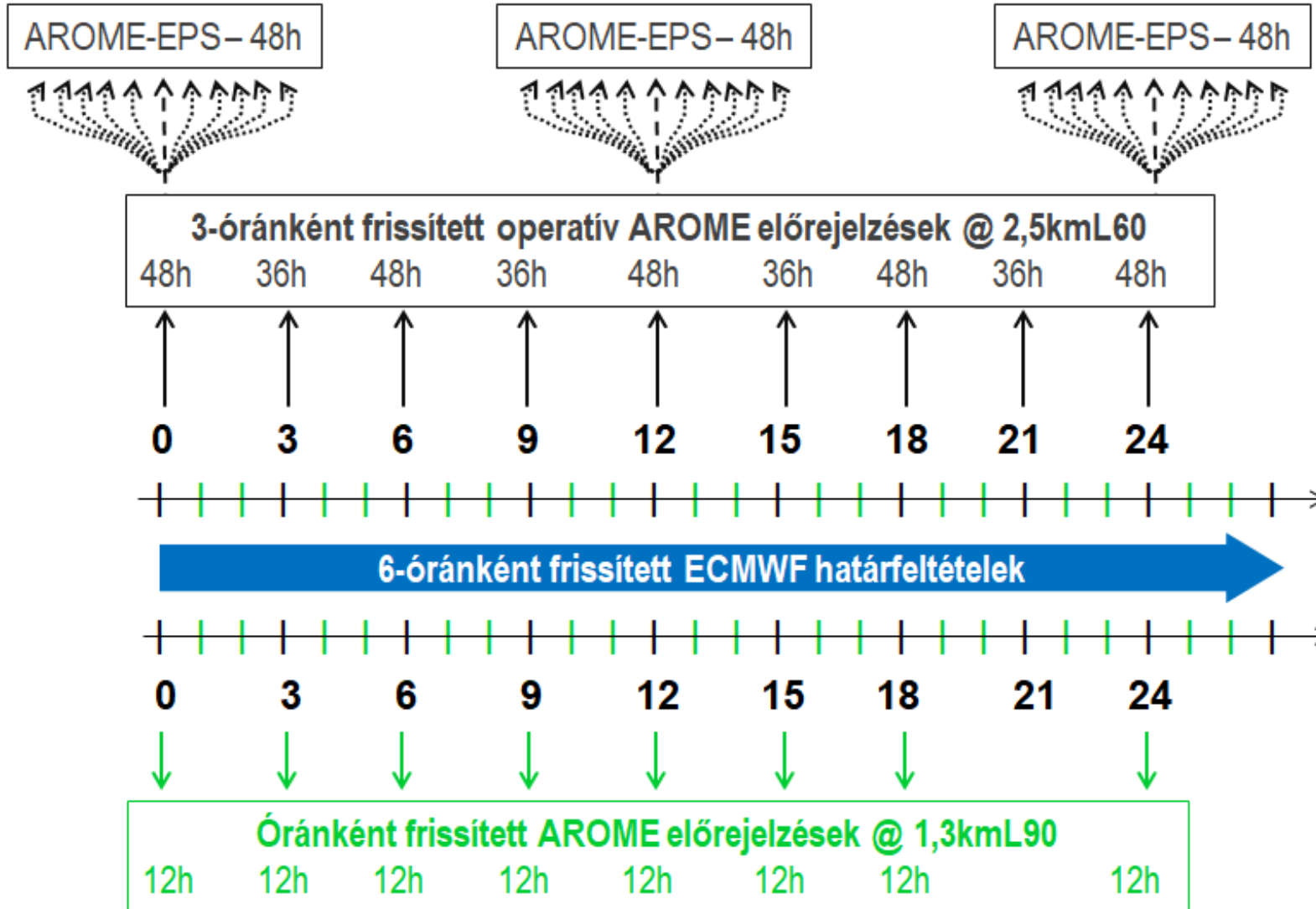
2022. december 14. – 2023. január 13. 0 UTC



- Pozitív hatás télen

Párhuzamos tesztfuttatás (felbontásnöveléssel): 2023. novembertől

AROME modellfuttatások rendszere



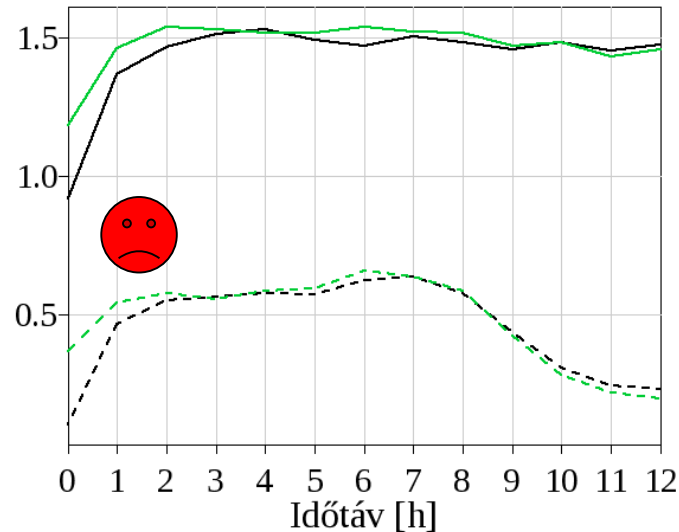
Cél: valós időben használható modell-előrejelzések már a korai (2-3 órás) időtávokon

Felhasználás: energia szektor, hidrológia

Párhuzamos futtatás: első eredmények

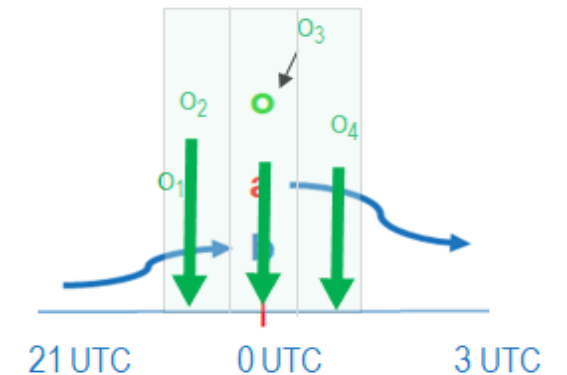
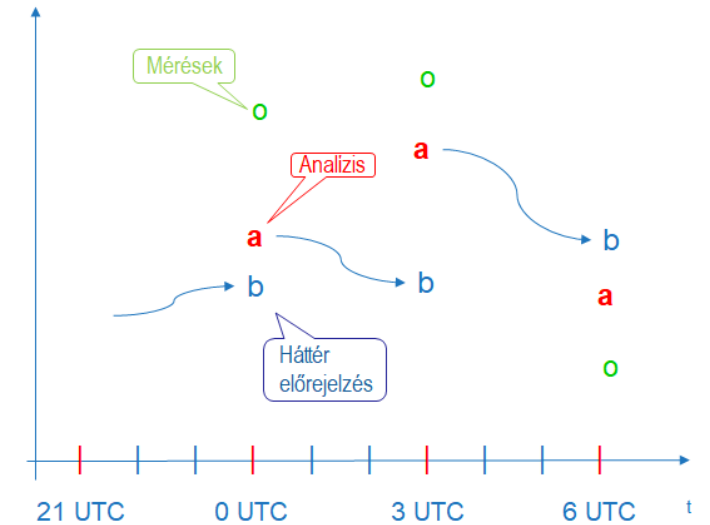
- Valós idejű futtatás esetén kevesebb mérés kerülhet a kezdeti feltételbe, mint 3-óránkénti frissítéssel

Négyzetes (-) és átlagos (- -) hiba [m/s]
10-méteres szélesség
AROME @ 2,5km_3h, 1,3km_1h
2023/12/14–2024/1/13 0 UTC



- Fontos a mérési adatok korai beérkezése (rövid várakozás)
- Lehetséges új mérések: radar (reflektivitás, szél) adatok, **Mode-S EHS repülőgépes (szél, hőmérséklet) adatok**

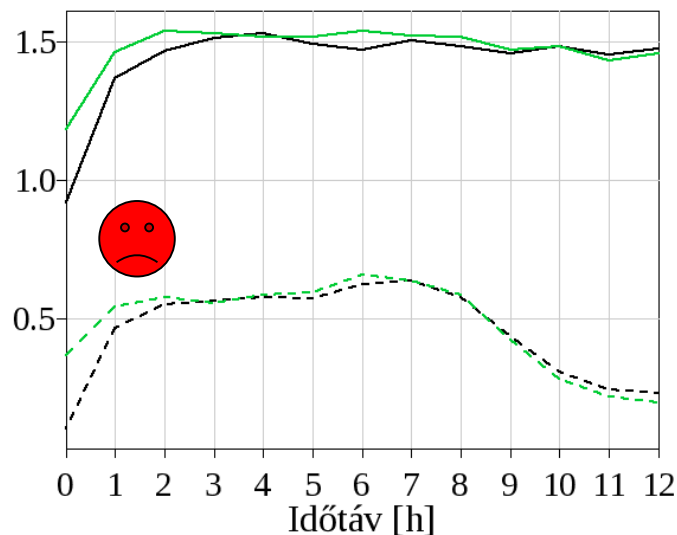
Adatasszimilációs ciklus



Párhuzamos futtatás: első eredmények

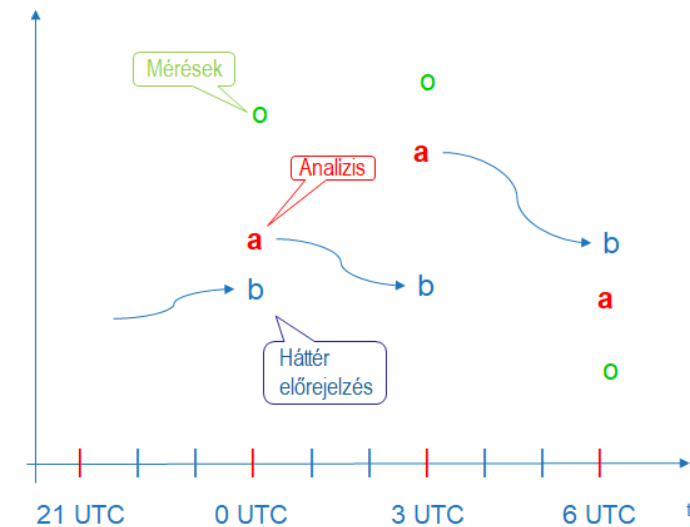
- Valós idejű futtatás esetén kevesebb mérés kerülhet a kezdeti feltételbe, mint 3-óránkénti frissítéssel

Négyzetes (-) és átlagos (- -) hiba [m/s]
10-méteres szélesség
AROME @ 2,5km_3h, 1,3km_1h
2023/12/14–2024/1/13 0 UTC

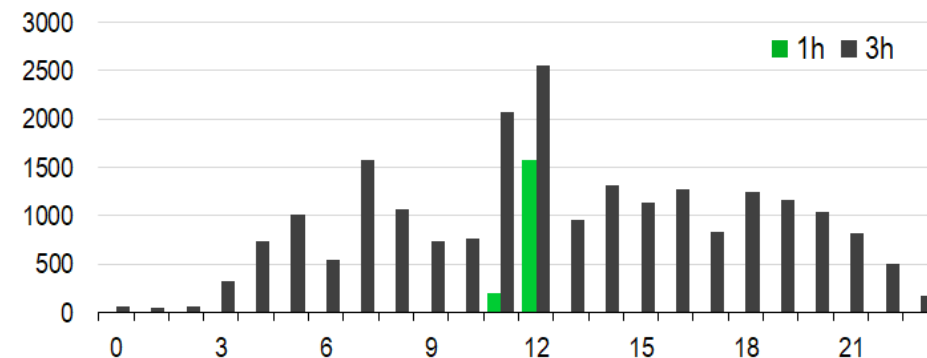


- Fontos a mérési adatok korai beérkezése (rövid várakozás)
- Lehetséges új mérések: radar (reflektivitás, szél) adatok, **Mode-S EHS repülőgépes (szél, hőmérséklet) adatok**

Adatasszimilációs ciklus



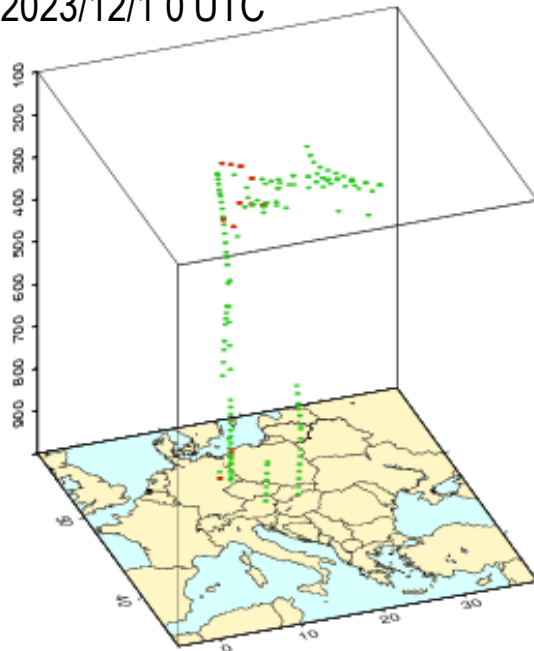
Asszimilált repülőgépes adatok száma



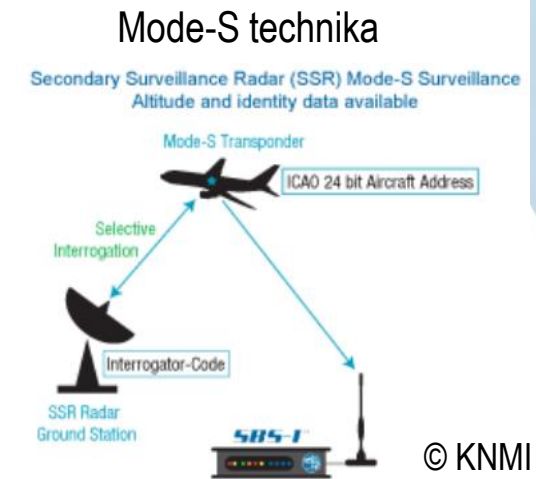
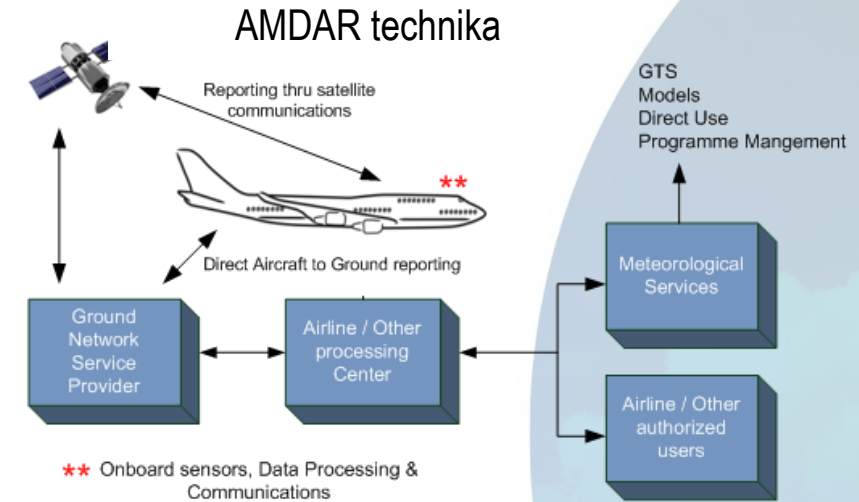
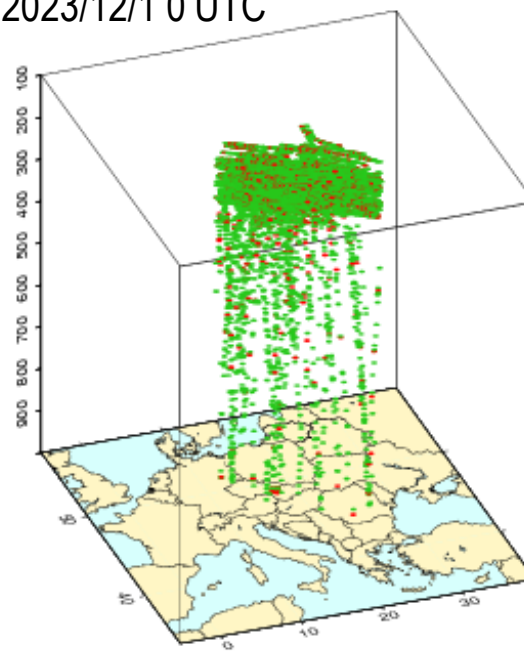
Új repülőgépes adatok bevonása

- Repülőgépes információk több forrásból:
 - (AMDAR) műszeres mérések műholdas kapcsolaton át (u, v, T, q)
 - (Mode-S MRAR) műszeres mérések felszíni radaron keresztül
 - **(Mode-S EHS) pozíció adatok felszíni radaron át** → u, v, T

AMDAR és MRAR adatok (~150)
2023/12/1 0 UTC



EHS adatok (~8 000)
2023/12/1 0 UTC



© WMO

© KNMI

TARTALOM

- 1. Számszerű modellezés**
- 2. Aktuális fejlesztések**
- 3. Bekapcsolódás a munkába**

Milyen tudás/érdeklődés szükséges?

- Meteorológus, mérnökfizikus, fizikus, (alkalmazott) matematikus
- Írás-olvasás (számolás)
- Meteorológiai ismeretek (vagy azok elsajátítására való hajlandóság)
- Angol nyelvtudás
- Némi programozási ismeret, erős programozási készség
- Csapatmunka, önálló munka és ezek megfelelő kombinációja (pályakezdők és tapasztaltak)

Fontos: az egyetemen nem modellfejlesztő szakemberek végeznek – a tapasztalatot a munka során szerzi meg, aki erre vállalkozik

Hogyan lehet felvételt nyerni az osztályra?

- Modellezési diplomamunka téma választásával
- Személyes megkereséssel
- A numerikus előrejelzés órákon (MSc 2) az oktatók figyelmének felkeltésével
- Álláshirdetésre jelentkezéssel

Köszönöm a figyelmet!
e-mail: szepszo.g@met.hu