

# Regionális időjárási modellezés

Szépszó Gabriella

[szepszo.g@met.hu](mailto:szepszo.g@met.hu)

Modellezési Osztály



# TARTALOM

1. Számszerű modellezés
2. Aktuális fejlesztések
3. Modellezési Osztály

# TARTALOM

- 1. Számszerű modellezés**
- 2. Aktuális fejlesztések**
- 3. Modellezési Osztály**

# 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)

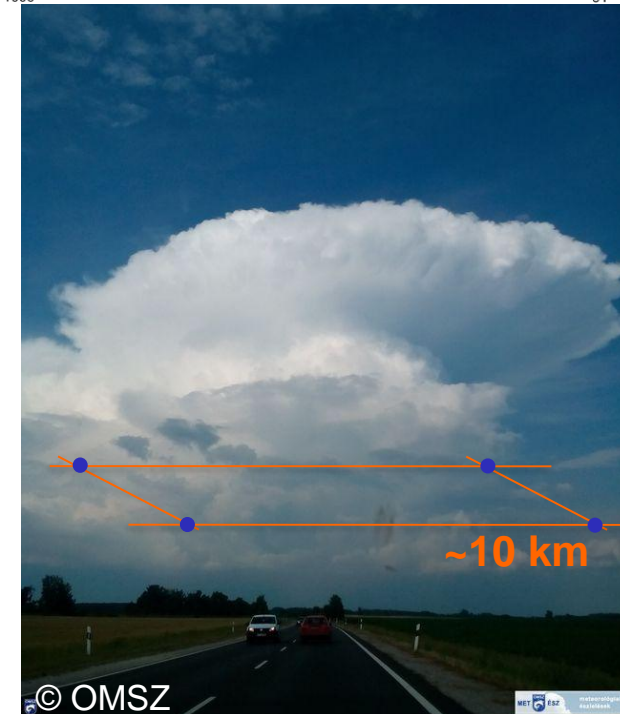
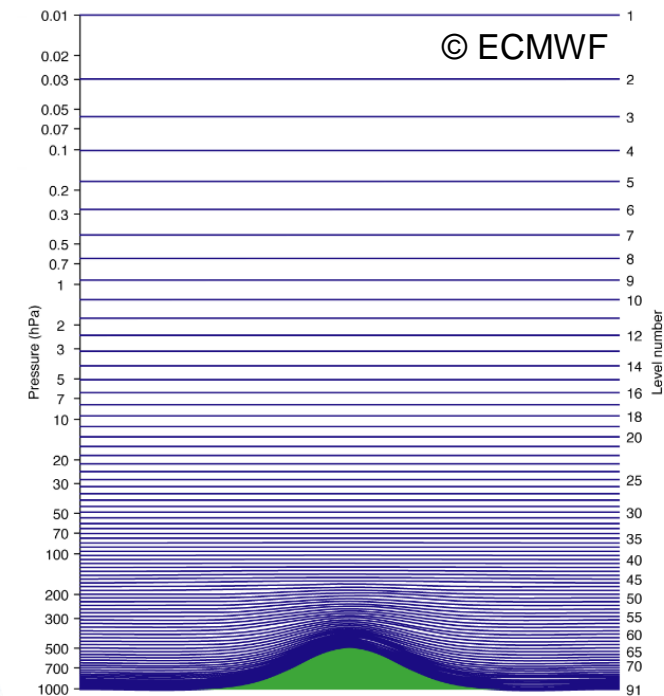
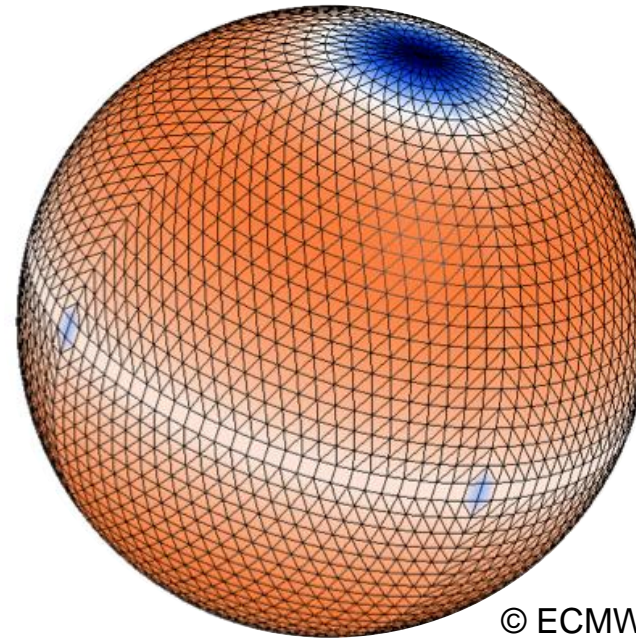
# A hidro-termodinamikai egyenletrendszer

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	$p = \rho R T$

- Nem-lineáris parciális differenciálegyenlet-rendszer
- Csak numerikus megoldás
- 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



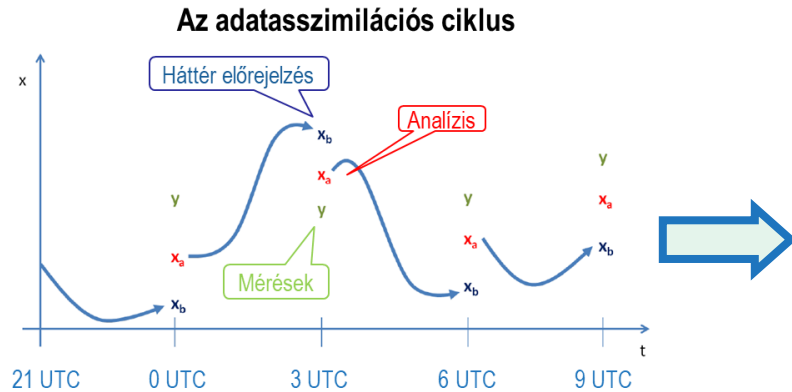


# A számszerű előrejelzés lépései

## ADATASSZIMILÁCIÓ

### Kezdeti feltétel meghatározása:

mérési információk gyűjtése,  
ellenőrzése, előállítása  
modellrácson



## MODELL-INTEGRÁLÁS

A hidro-termodinamikai  
egyenletrendszer közelítő  
megoldása

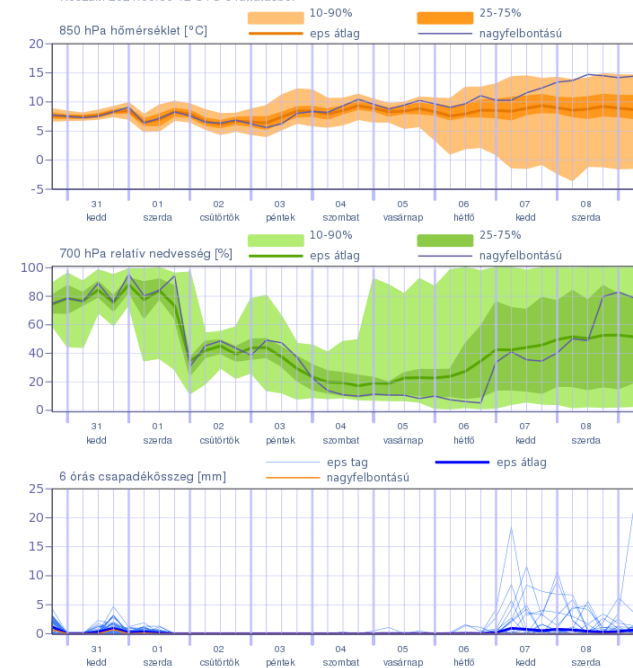


## UTÓ-FELDOLGOZÁS

Megjelenítés, speciális  
paraméterek származtatása

ECMWF valószínűségi előrejelzés: Budapest

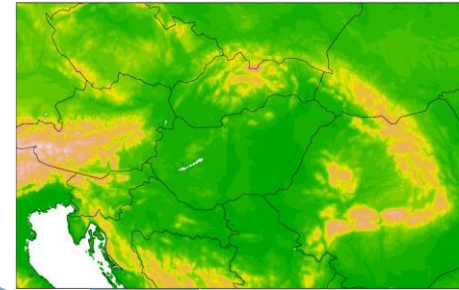
Készült: 2021.08.30 12 UTC-s futtatásból



# Határfeltételek

- Globális és regionális (korlátos tartományú) előrejelző modellek
- Regionális előrejelzések az ALADIN és az AROME modellel
- A tartományon kívül zajló folyamatok figyelembevétele + egyenletrendszer matematikai megoldhatósága
- Az oldalsó határfeltételeket az Európai Középtávú Előrejelző Központ (ECMWF) előrejelzései biztosítják

Regionális modell



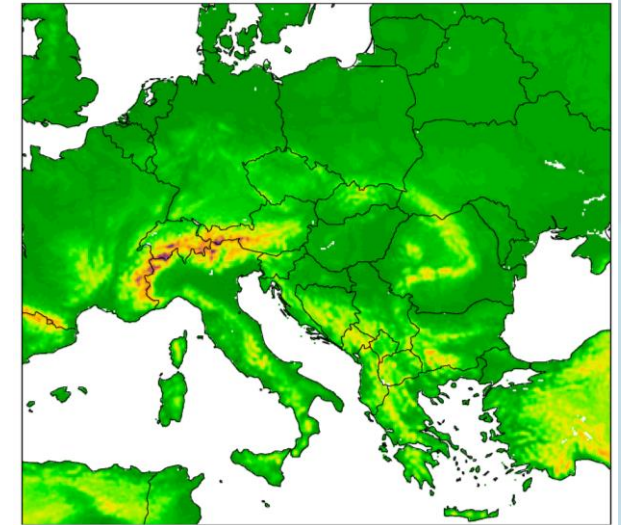
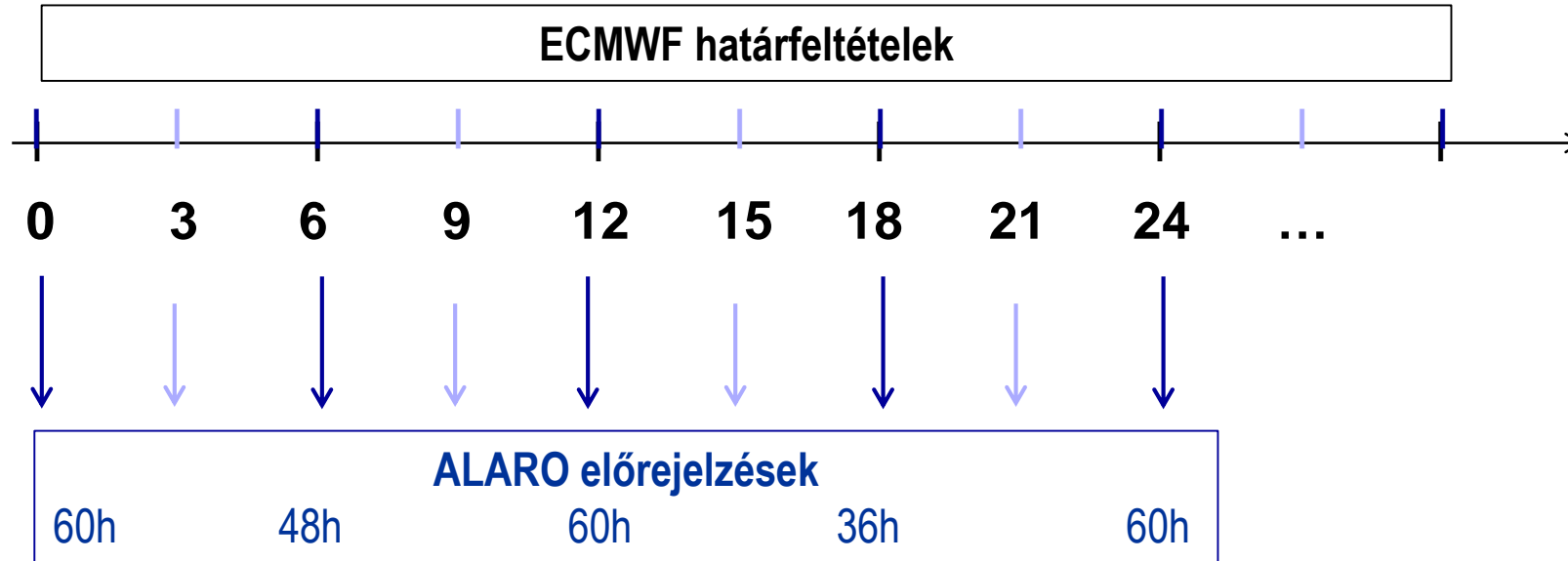


# Operatív regionális modellfuttatások

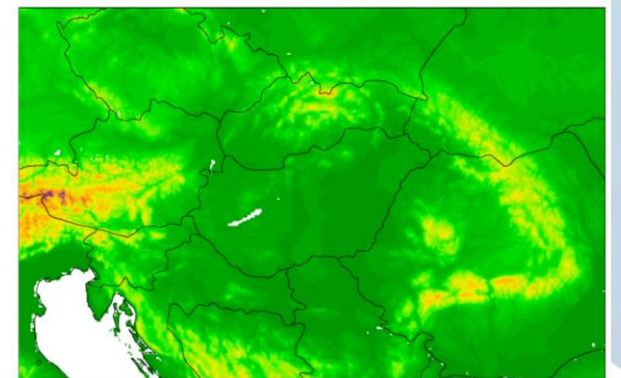
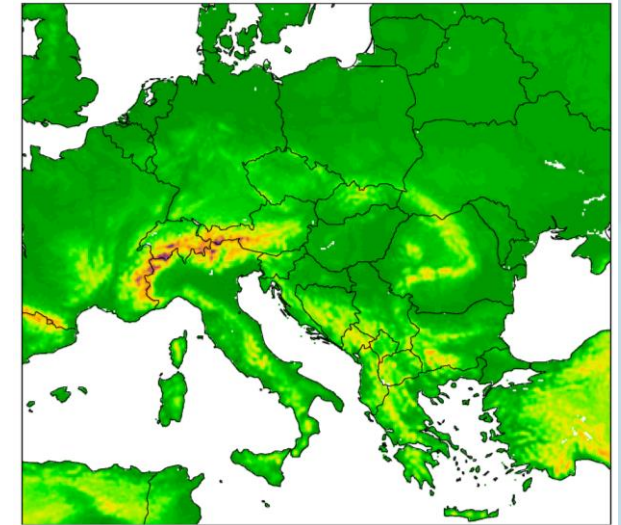
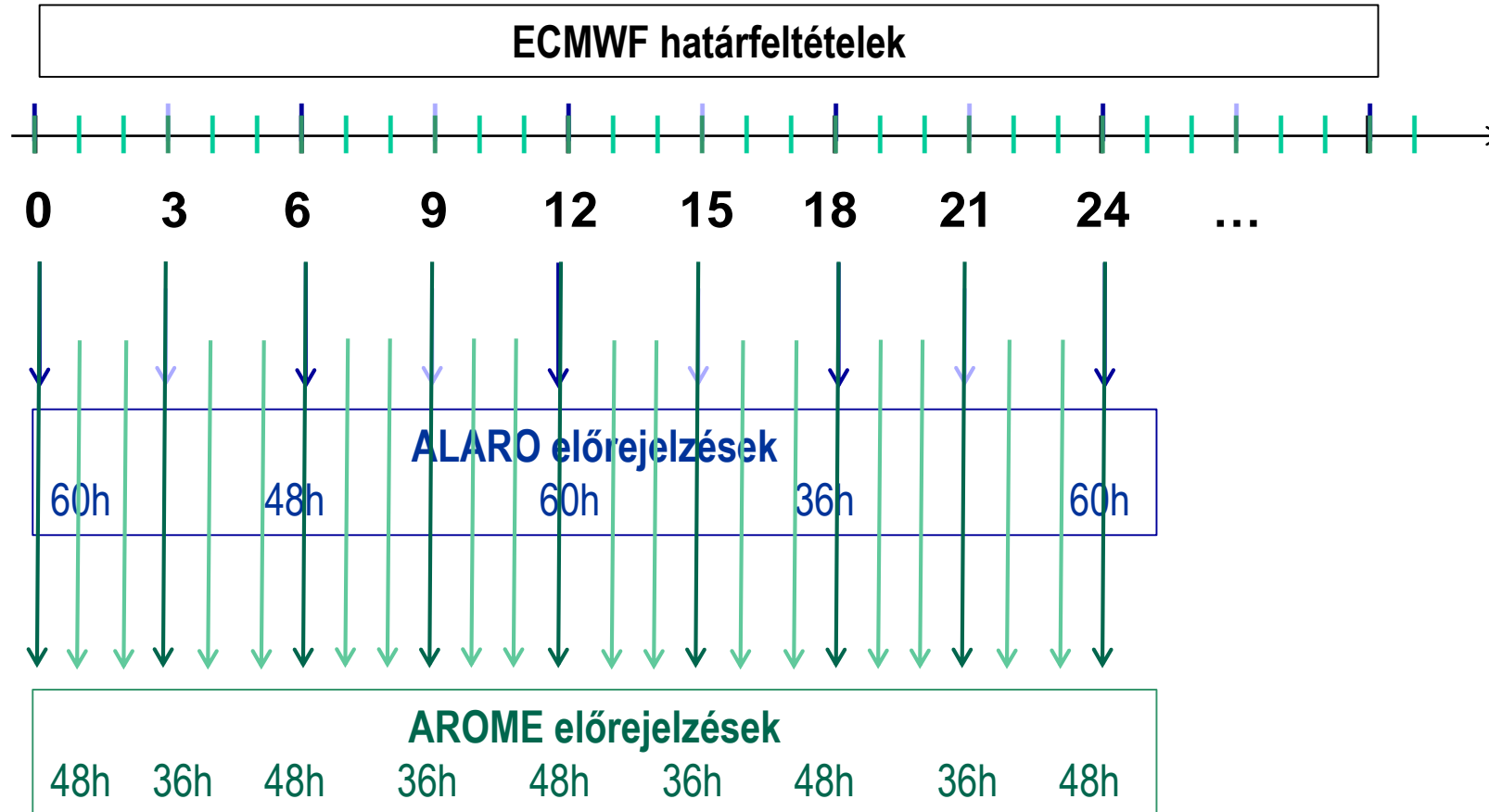
- ACCORD (ALADIN) és LACE konzorcium: 1991 óta, ALADIN, ALARO, AROME modellek fejlesztése konzorciumi keretek között, kutatási célú kiküldetések és kutatók fogadása, adatcsere
- ALADIN és AROME modellek helyi futtatása
- Fejlesztések az adatasszimiláció és az ensemble előrejelzések területén
- Modellfuttatások:
  - ALARO naponta 4-szer, 8 km, 49 szint
  - AROME naponta 8-szor, 2,5 km 60 szint
  - AROME-EPS 0 UTC-kor, 11 tag, 2,5 km
- Operatív monitoring rendszer
- A helyi modellfuttatás előnyei



# Operatív modellfuttatások rendszere

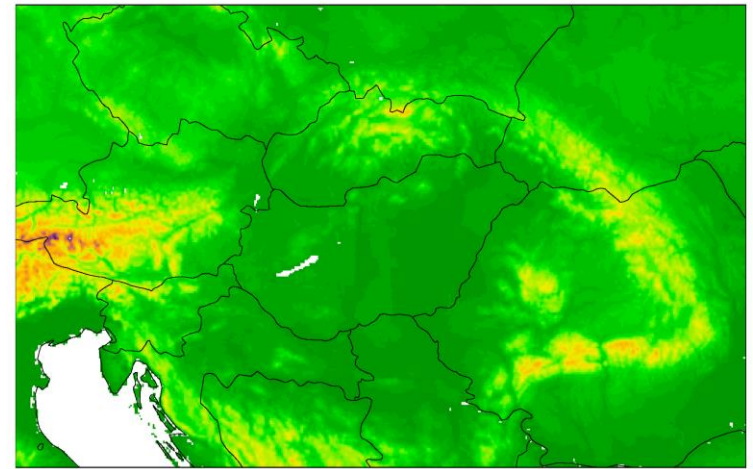


# Operatív modellfuttatások rendszere



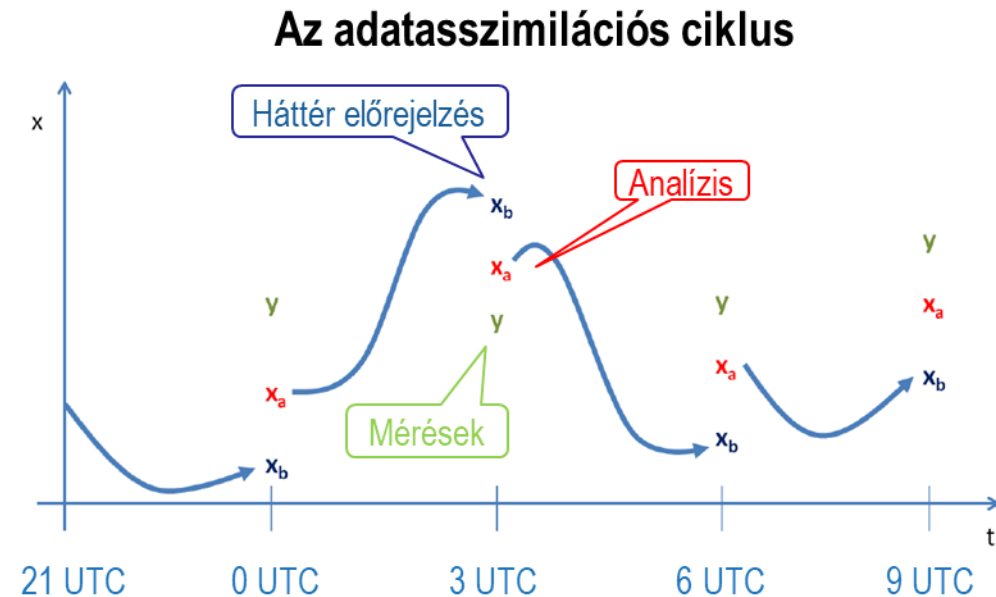
# Az előrejelzések számításigénye (példa)

- Kárpát-medencei tartomány
- 2,5 km-es felbontás (500x320 pont)
- 60 függőleges szint
- Legalább 6 prognosztikai változó (hőmérséklet, nedvesség, zonális, meridionális és vertikális szélkomponensek, felszíni légnyomás)
- 1-perces időlépcső
- 48 órás előrejelzés (2880 lépés)



# Lokális kezdeti feltétel előállítása

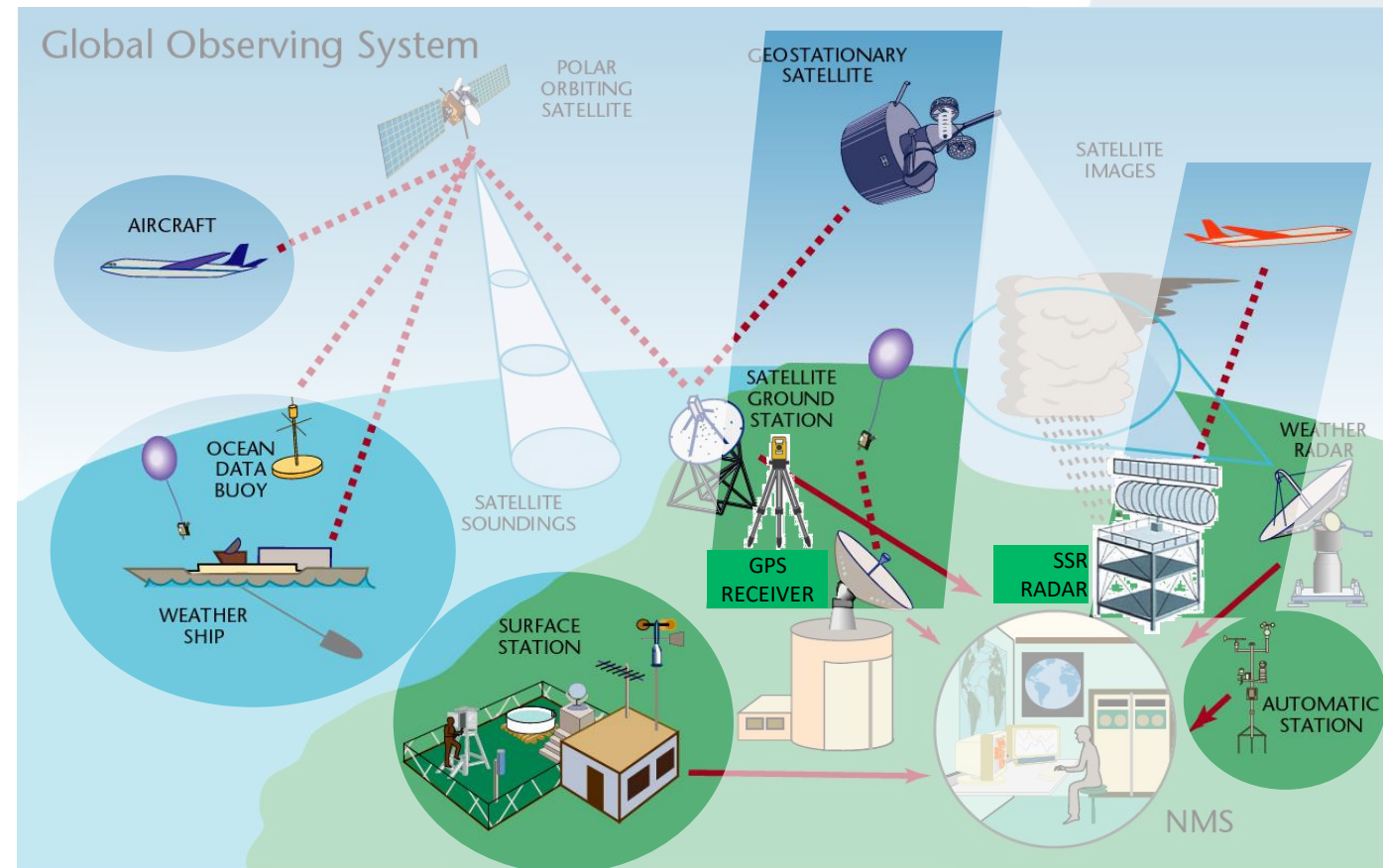
- Cél: a rendelkezésre álló információk felhasználásával a kezdeti állapot optimális becslése a modell rácshálózatán
- Felhasznált információk:
  - Mérések, megfigyelések
  - Néhány-órás előrejelzések (háttér)
  - A mérési és háttér hibák becslései
- Adatasszimilációs ciklus: az AROME esetében 3 óránként





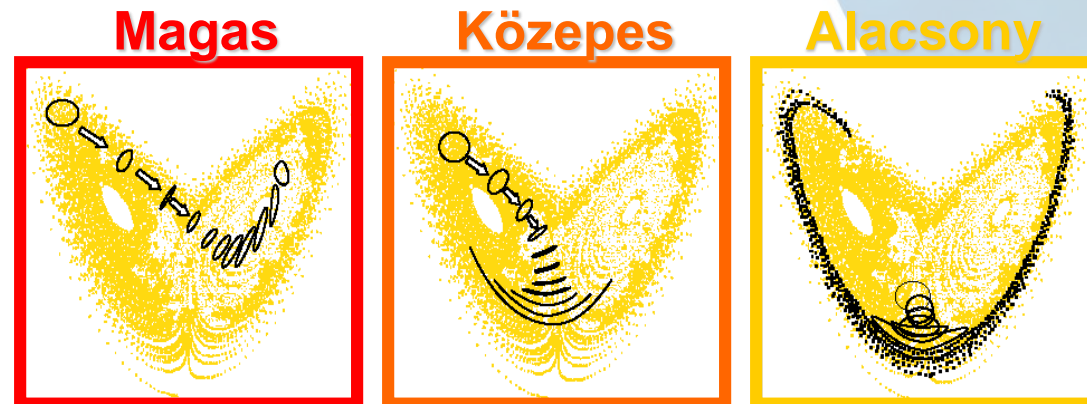
# Felhasznált megfigyelések

- Globális telekommunikációs rendszerben (GTS) elérhető adatok, LACE tagországok megfigyelései, lokális adatok
- Felszíni állomások mérései: szél, hőmérséklet, nedvesség, nyomás
- Rádiószondák adatai: szél, hőmérséklet, nedvesség
- (AMDAR) repülőgépes mérések: szél, hőmérséklet, nedvesség
- (GNSS) GPS mérések: nedvesség (légszlopban integrált)
- (Mode-S) felszíni radarral gyűjtött repülőgépes adatok: szél, hőmérséklet



# Ensemble előrejelzések

- Edward Lorenz (1972): „Okozhat-e egy brazíliai pillangó szárnycsapása tornádót Texasban?”
- A légkör bonyolult turbulens rendszer, nagyfokú érzékenységet mutat a kiindulási állapotára (akárcsak a kaotikus rendszerek)
- Lorenz egy egyszerűsített modellel igazolta, hogy egy meteorológiai folyamat előrejelezhetősége nagyban függ annak kiindulási feltételeitől
- Egy előrejelzés csak akkor teljes, ha hozzá tudunk rendelni megbízhatósági mutatókat (a beválás valószínűségét)

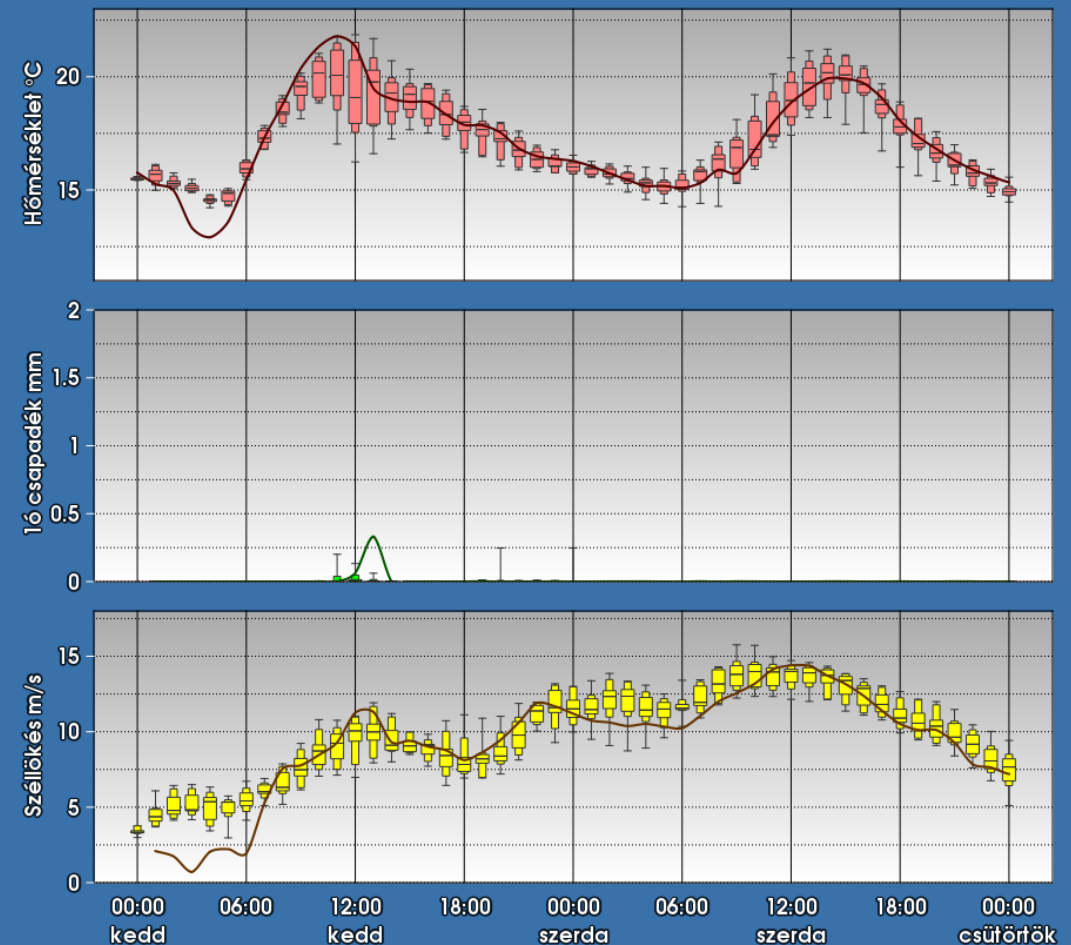


# A bizonytalanság forrása és számszerűsítése

- Kezdeti feltételek bizonytalansága, modellbizonytalanság, határfeltételek bizonytalansága, légkör kaotikus jellege
- Perturbáció, modellhiba reprezentáció
- Egy helyett több előrejelzés: ensemble előrejelzés + valószínűségi információ
- Megjelenítés pl. fáklya diagrammal, meteogrammal, valószínűségi térképpel
- 11-tagú AROME-EPS

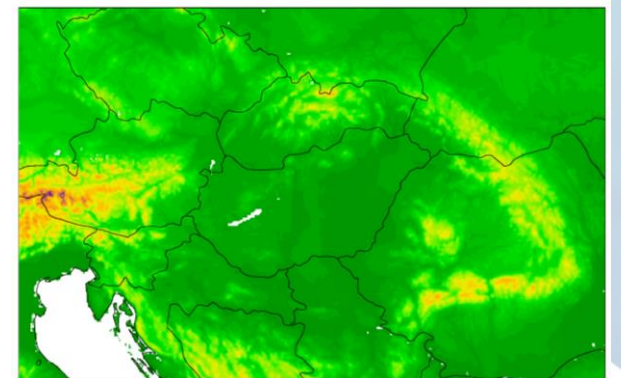
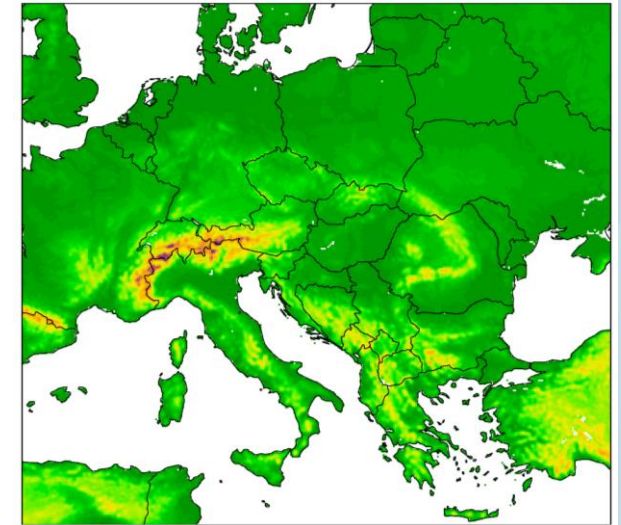
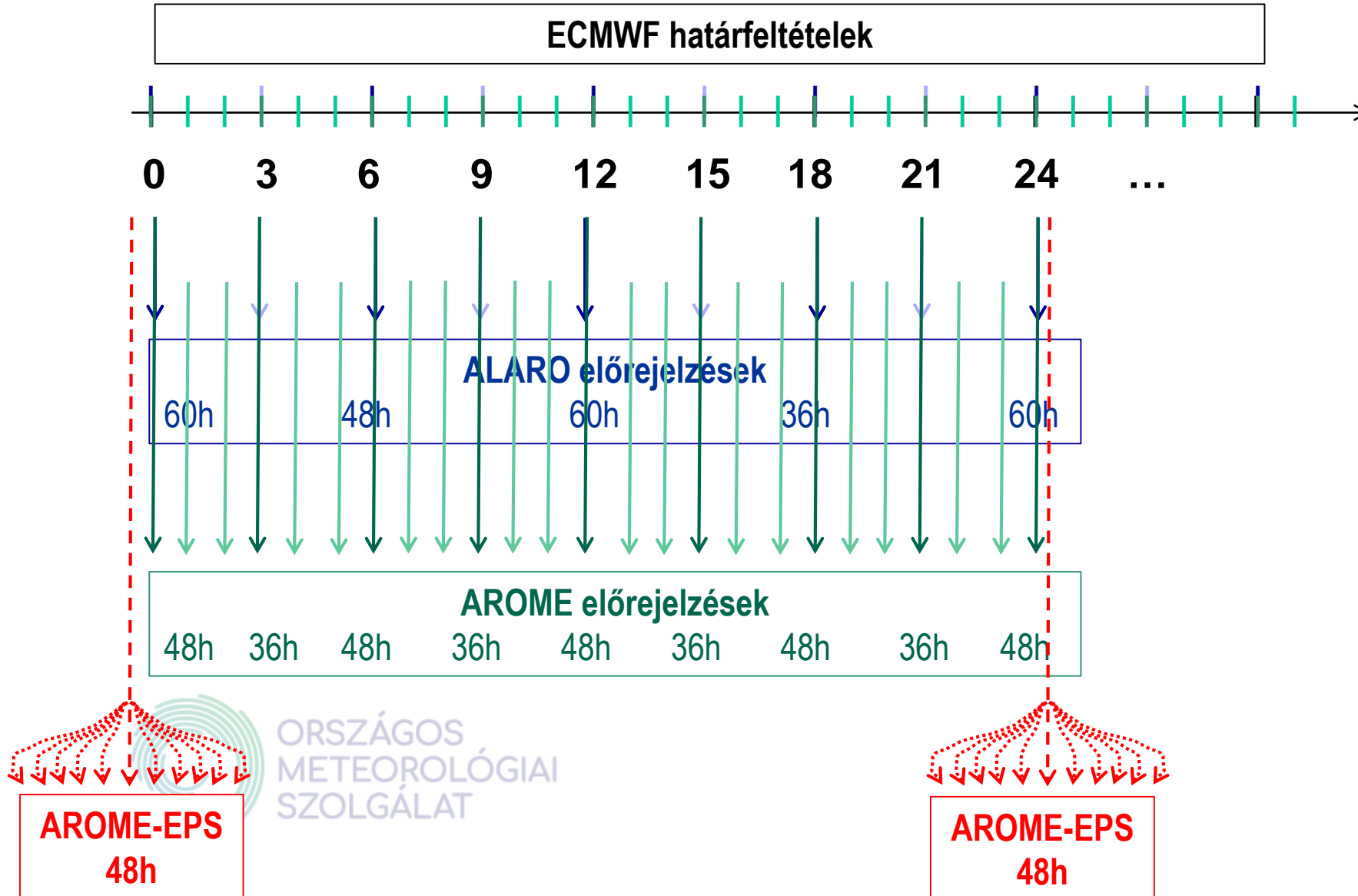


AROME-EPS Budapest 2021. augusztus 31. 00:00 - szeptember 2. 00:00



0-100% 10-90% 25-75% 50% Det.

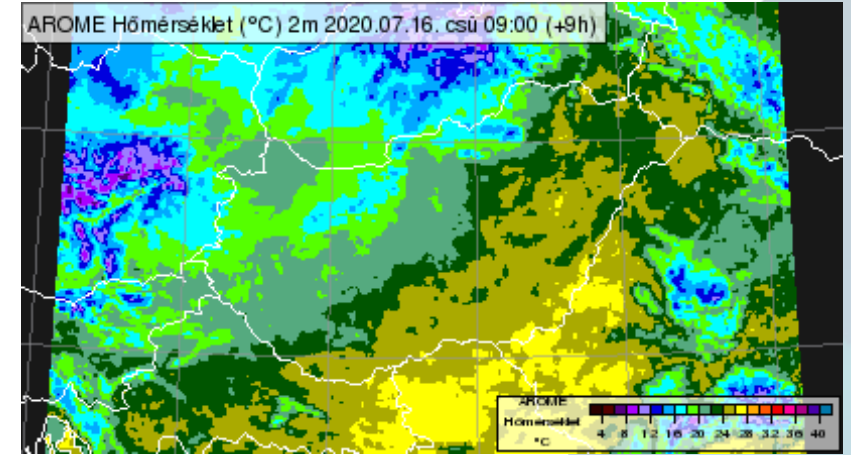
# Operatív modellfuttatások rendszere





# Megjelenítés és verifikáció

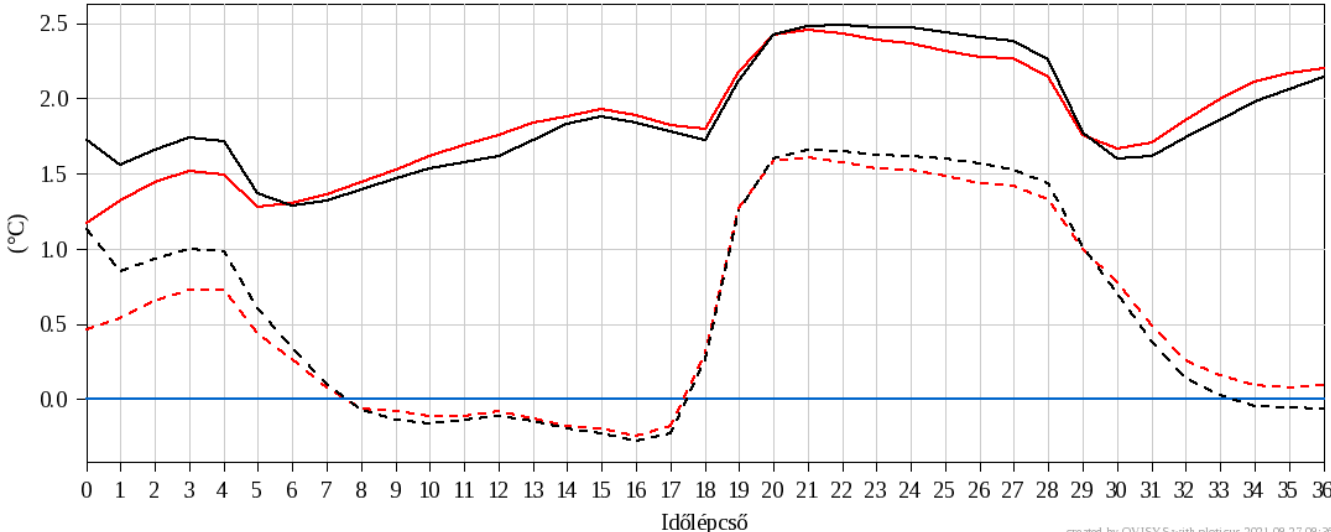
- Az előrejelzések eredményei és a mérések sokféle formátumban, rácshálózaton, vertikális felbontásban, időbeli részletességgel állnak rendelkezésre
- Az előrejelzések megjelenítésénél fontos szempont a hatékonyság, az interaktivitás, az összehasonlíthatóság  
→ HAWK



Jelmagyarázat (Modell/Mérőszám)

- AROME\_DA43\_1h/RMSE
- - - AROME\_DA43\_1h/BIAS
- AROME\_OPER/RMSE
- - - AROME\_OPER/BIAS

Időszak: 2020-07-01 - 2020-07-22  
Terület: AROME\_max\_400m\_2021  
Változó: Hőmérséklet (2m)  
Futtatás: 00 órás



- Verifikáció: az előrejelzések összevetése megfigyelésekkel és mérésekkel
- Fontos a mérések megbízhatósága, rendszeressége
- Objektív és szubjektív verifikáció



# TARTALOM

1. Számszerű modellezés
2. Aktuális fejlesztések
3. Modellezési Osztály

# Aktuális fejlesztések

- Új megfigyelések bevonása az adatasszimilációba: Mode-S, AMV, radar
- Adatasszimiláció gyakoriságának növelése: 3 óra → 1 óra
- Térbeli felbontás növelése: 2,5 km + 60 szint → 1,3 km + 90 szint
- Adatasszimilációs módszer fejlesztése: Kálmán-filter a felszíni asszimilációban
- Adatasszimiláció az ensemble előrejelzésekben: ensemble adatasszimiláció
- Nyers szél- és sugárzás-előrejelzések utó-feldolgozása mérési adatokkal és gépi tanulási módszerekkel

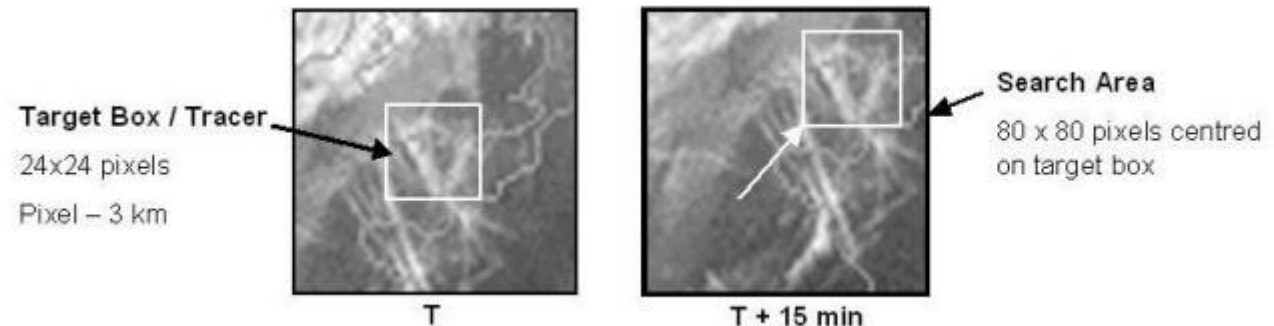
# Új megfigyelési típusok bevonása

Eszköz	Paraméter	Szint
SYNOP SHIP METAR	hőmérséklet, harmatpont, szél	felszín, 2 m, 10 m, 25 m
Bóják	hőmérséklet, légnomás, szél	2 m
Rádiószondák TEMPSHIP Ejtőszondák	hőmérséklet, légnomás, szél, nedvesség	profil
Profilerek	szél	profil
Repülőgépek	hőmérséklet, légnomás, szél, nedvesség	profil, repülési szint

- A konvencionális mérések információt adnak:
  - A felszín közelében
  - Egy adott magassági szinten
  - A légoszlopról egy adott pontban
- A részletes magaslégköri információkhoz szükséges a távérzékelési mérések bevonása

# Műholdas széladatok asszimilációja

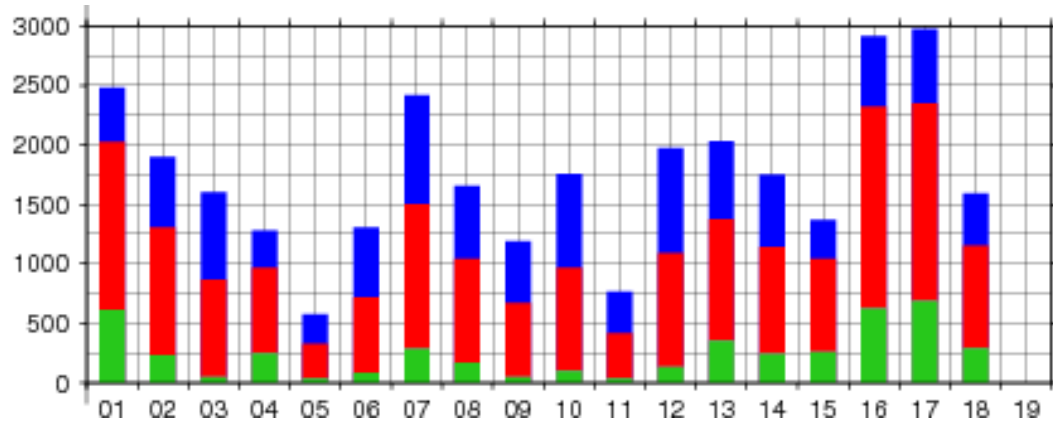
- Meteosat SEVIRI műholdképeiből szélvektor számítása a felhőzet és egyéb követhető légköri alakzatok mozgásából: légköri elmozdulás vektorok (AMV)
- 5 csatorna: VIS0.8, IR10.8, WV6.2, WV7.3, HRVIS
- Minőség-ellenőrzés: időbeli, térbeli, előrejelzési konzisztencia, vízgőz és infravörös képek közötti korreláció → minőség index ( $0 \leq QI \leq 1$ )
- Kísérletek nyári és téli időszakokra, itt: **2019. december 1–18.**  
(többnyire anticiklonális, néhány frontális csapadék epizóddal)



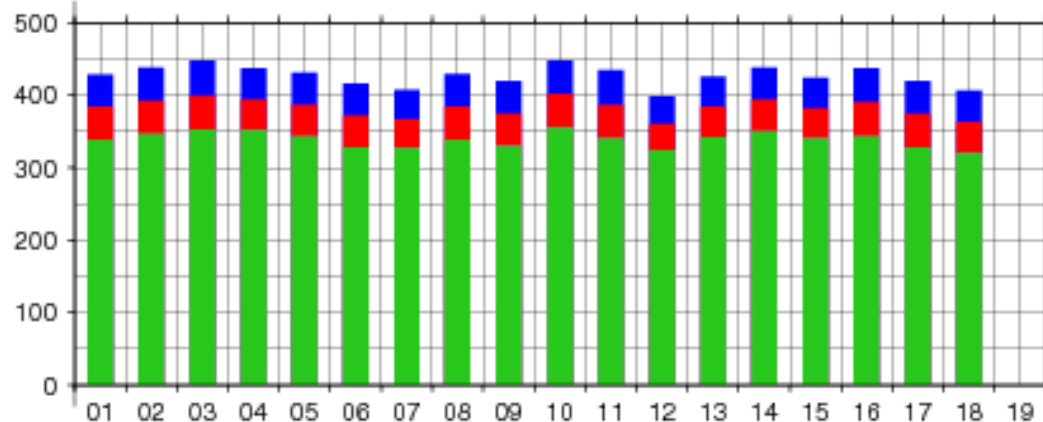
# AMV adatok asszimilációja

A kiszűrt, elvetett és a felhasznált széladatok száma az AROME/HU modelltartományon

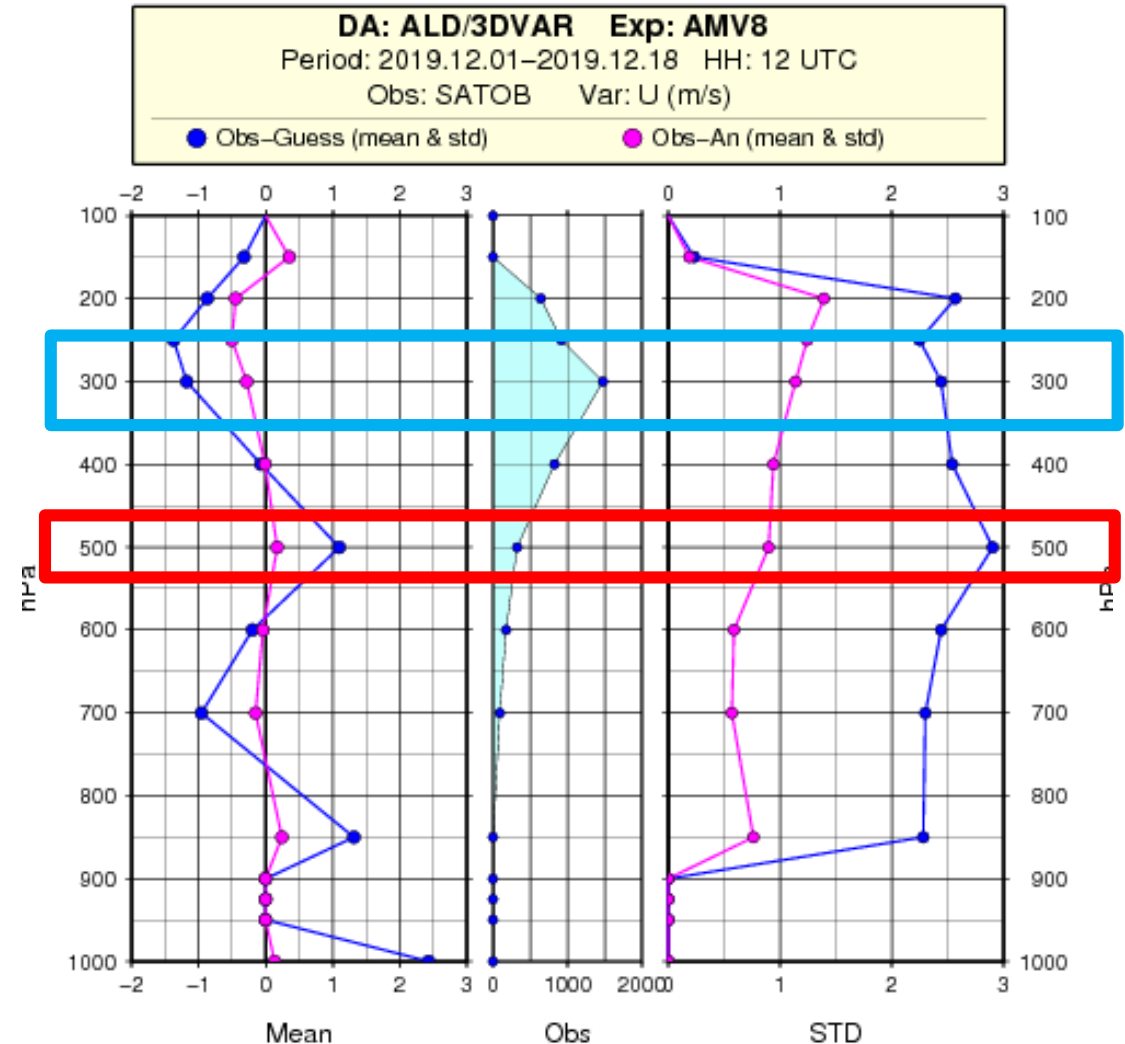
AMV adatokból



SYNOP adatokból



A felhasznált AMV adatok vertikális eloszlása

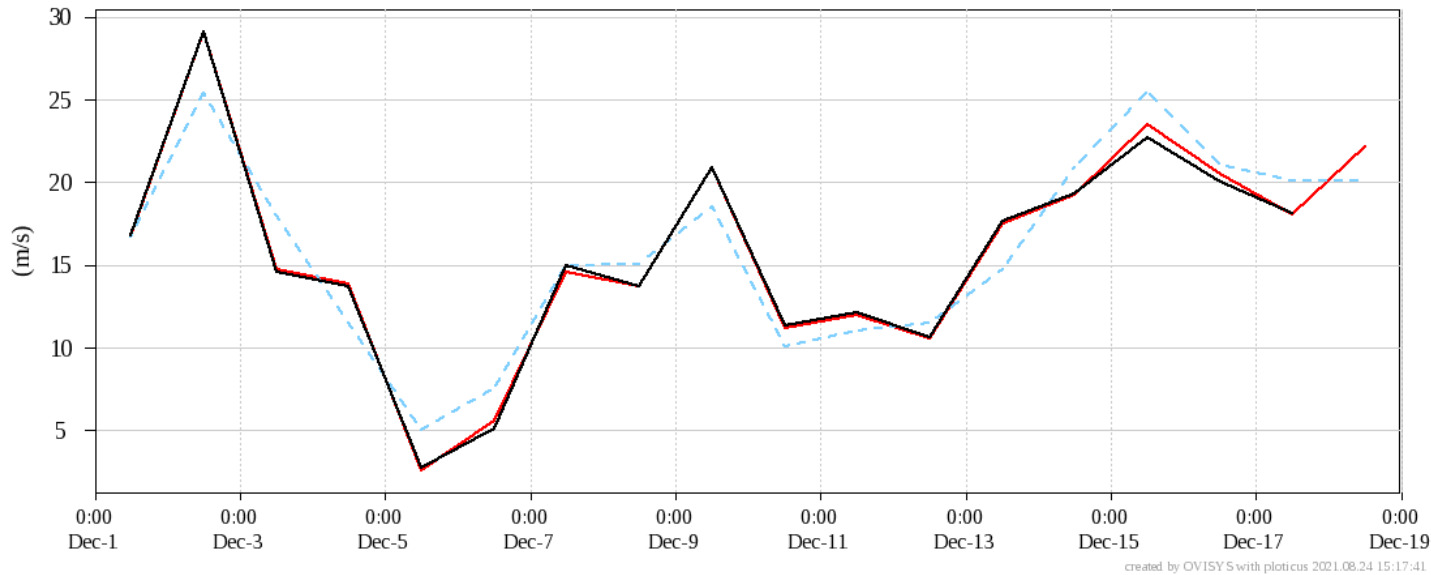




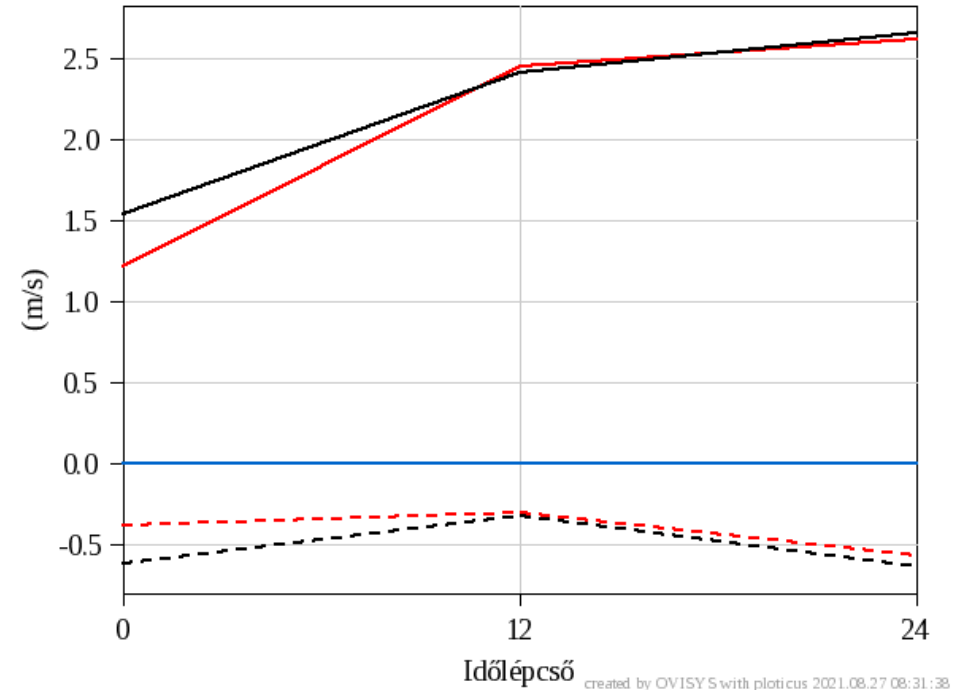
# AMV adatok asszimilációja

500 hPa-os szélesség 12 UTC-kor

AMV adatokkal és anélkül készült kezdeti feltétel, TEMP megfigyelések



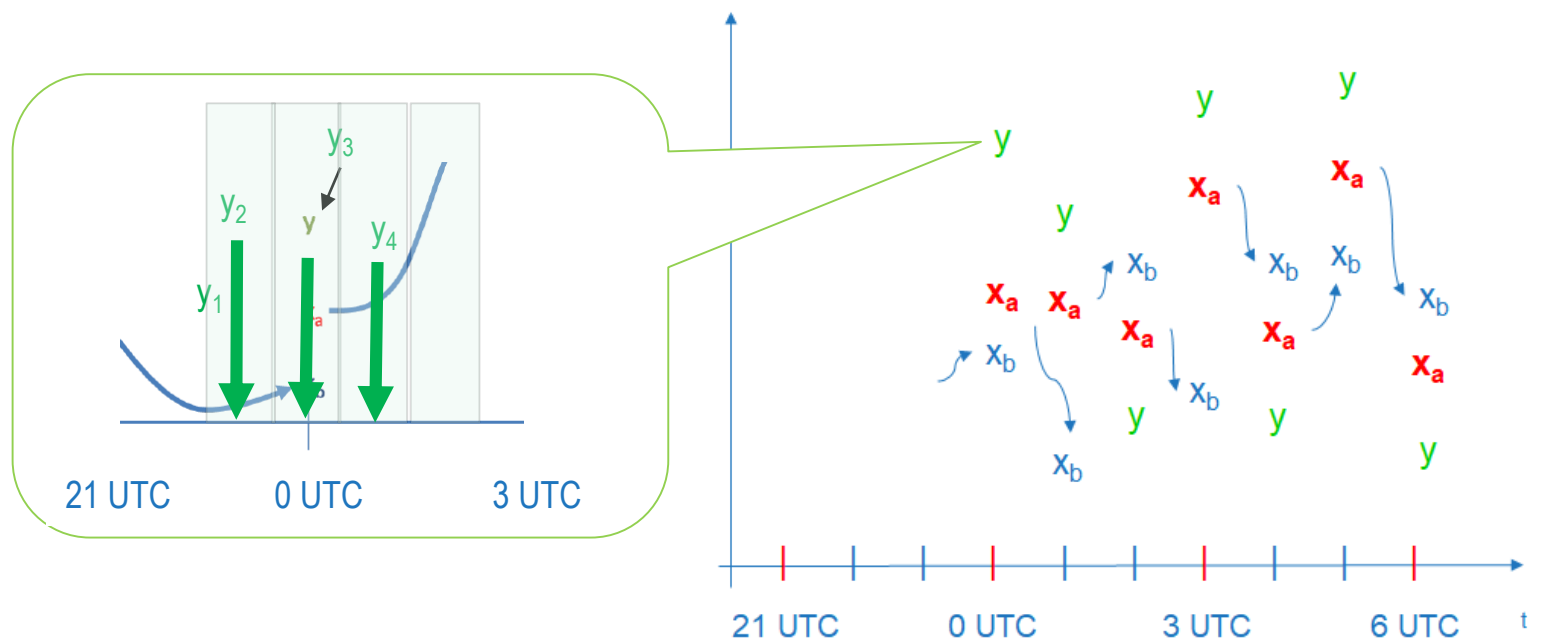
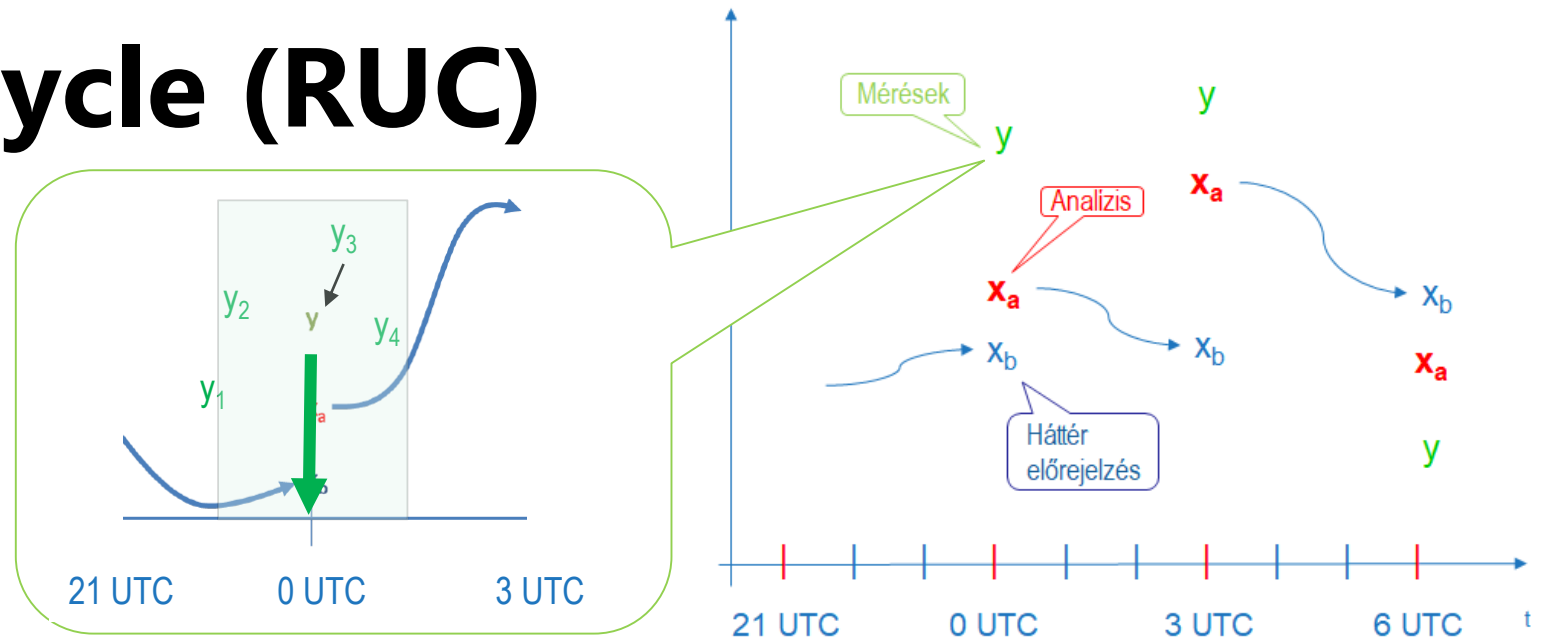
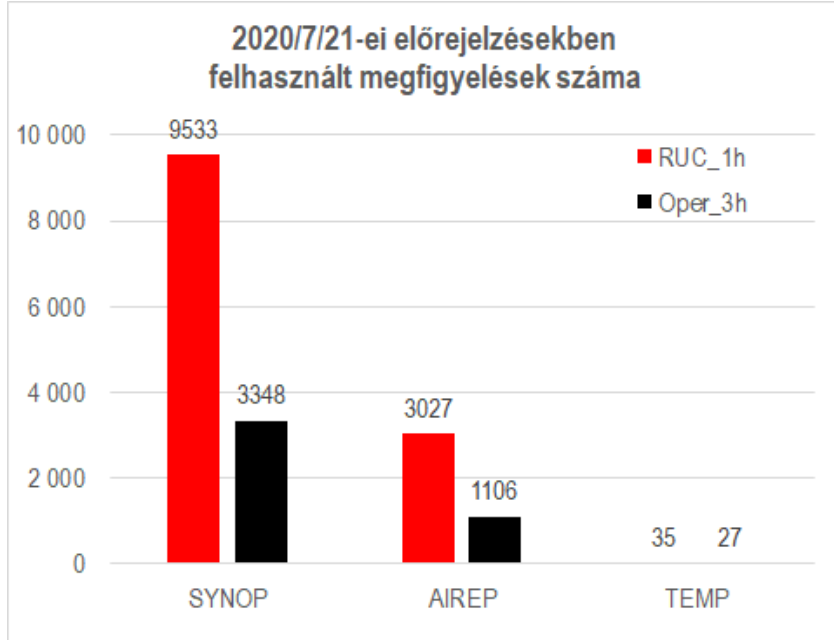
500 hPa-os szélesség RMSE (--) és bias (- -) AMV adatokkal és anélkül készült előrejelzés



- A kiindulási feltétel (analízis) kismértékben javul → az előrejelzés is pontosabb lesz

# Rapid Update Cycle (RUC)

- Óránkénti adatasszimiláció
- Több megfigyelést tudunk felhasználni
- Hozzáadott érték: gyakori, megbízható mérések

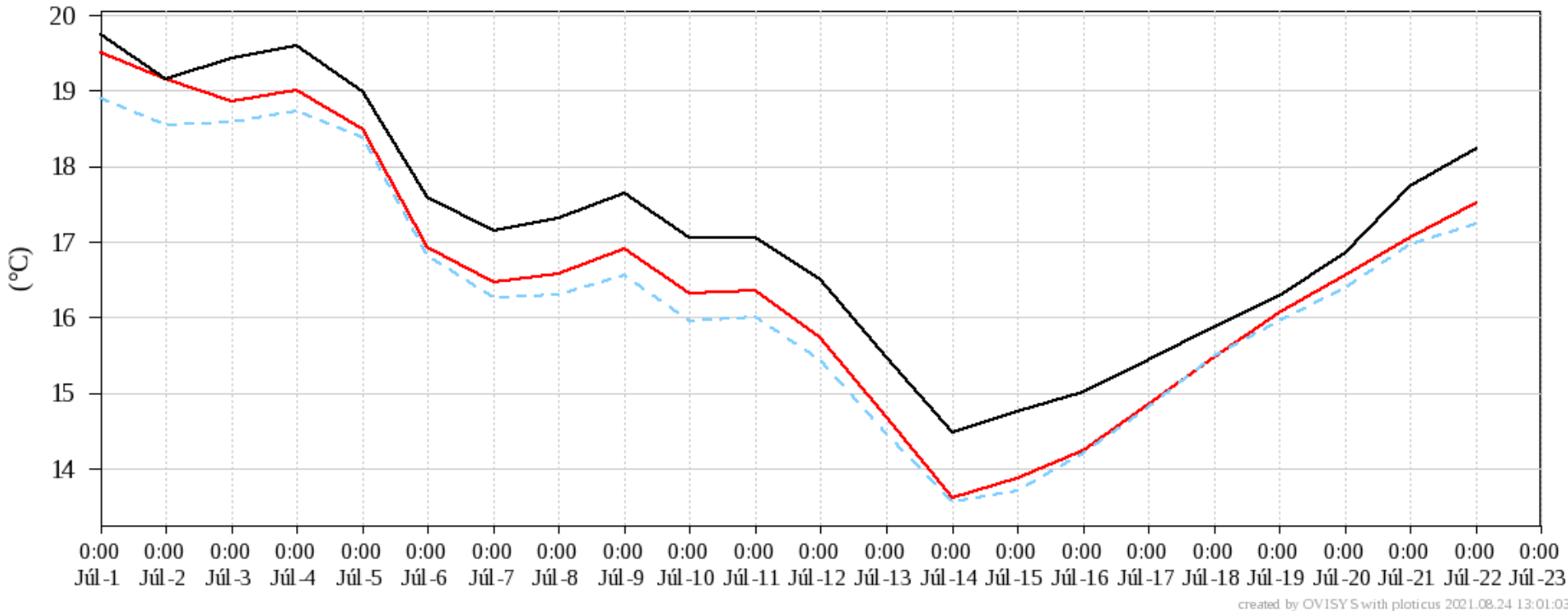


# Rapid Update Cycle (RUC)

2-méteres hőmérséklet 0 UTC-kor

Óránkénti és 3-óránkénti asszimilációval készült kezdeti feltételek és megfigyelések

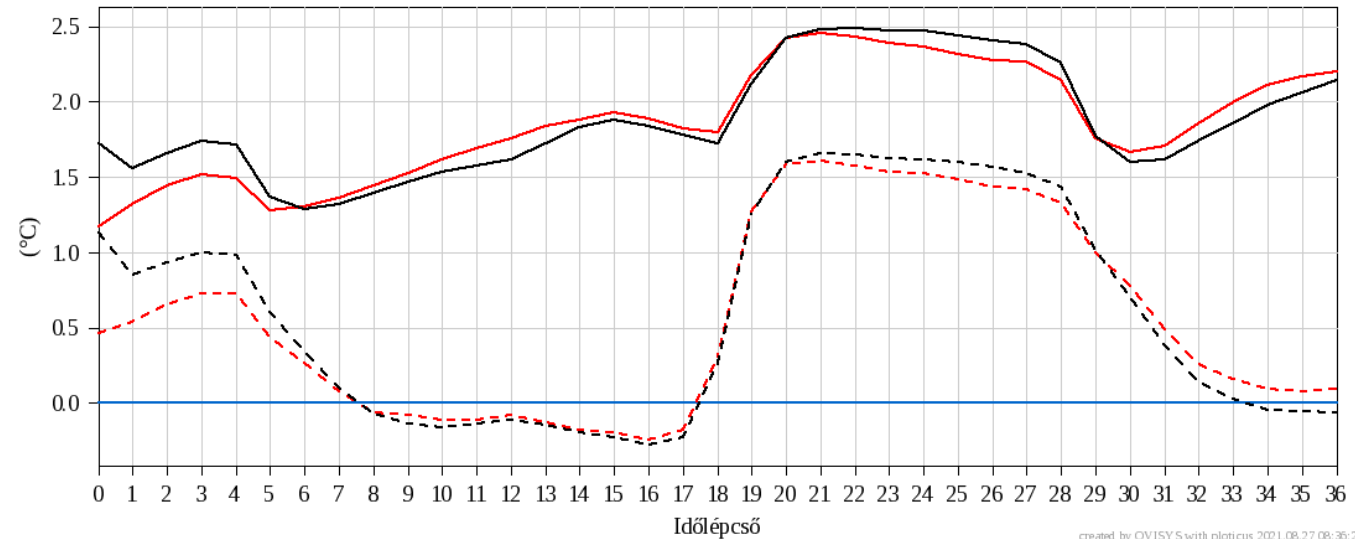
- Kísérletek: **2020. július 1–22.**  
(fronthoz kapcsolódó csapadékesemények)



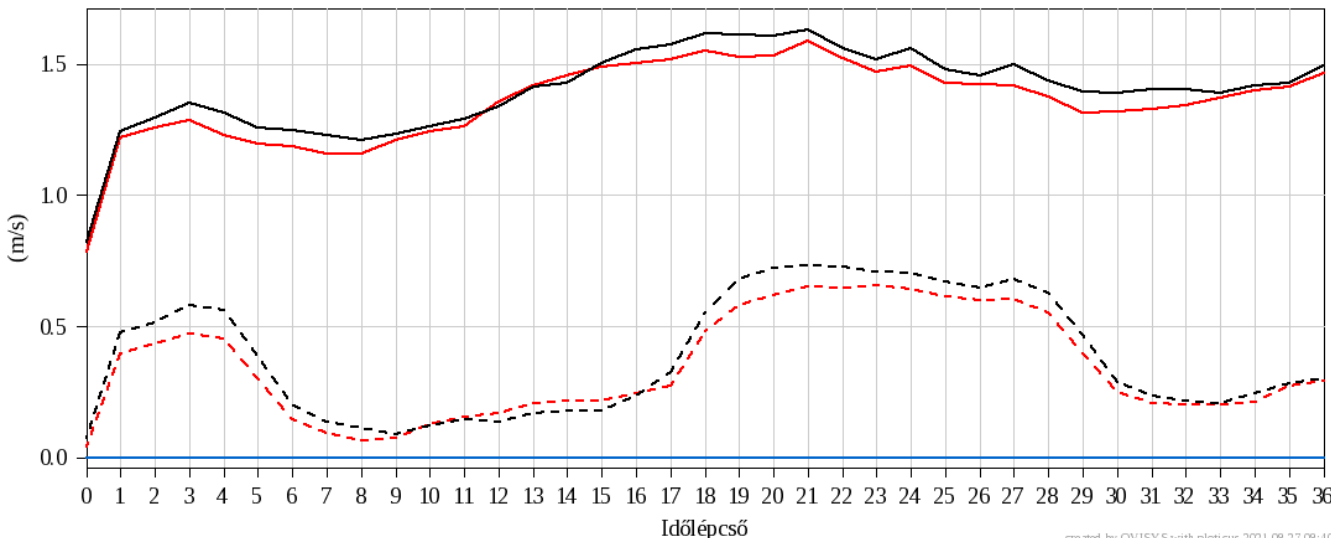
- A kezdeti feltétel pontosabb lesz

# Rapid Update Cycle (RUC)

2-méteres hőmérséklet RMSE (--) és bias (- -)  
Óránkénti és 3-óránkénti asszimilációval készült előrejelzés



10-méteres szélesség RMSE (--) és bias (- -)  
Óránkénti és 3-óránkénti asszimilációval készült előrejelzés



- Az első néhány órában javul az előrejelzés
- Később is van hatása
- Hibák napi menete

# Rapid Update Cycle (RUC)

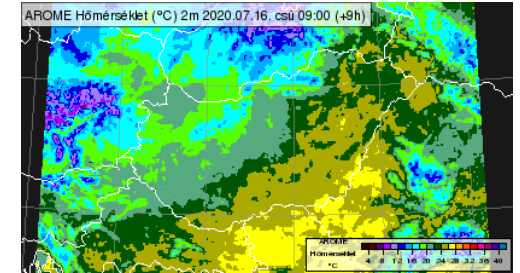
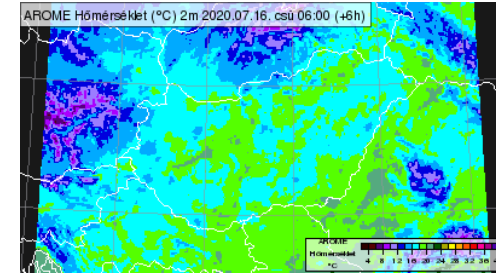
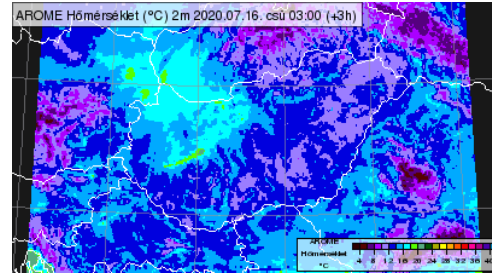
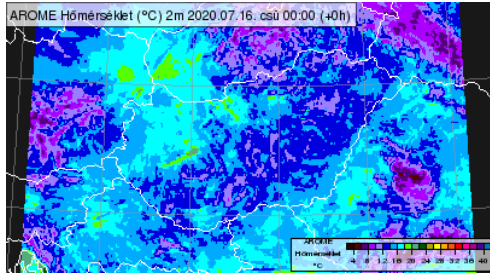
2020. július 16. 0 UTC

3 UTC

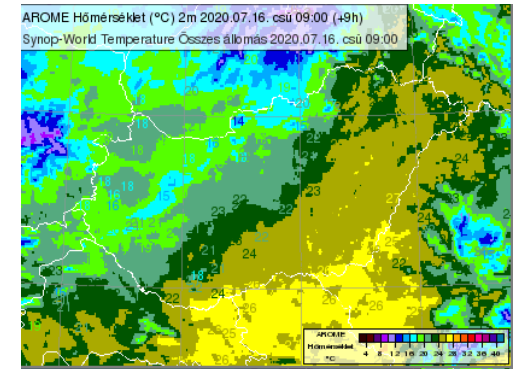
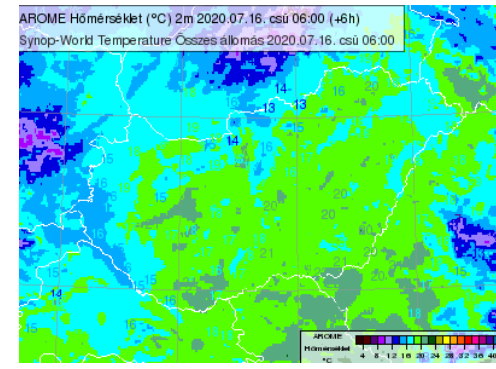
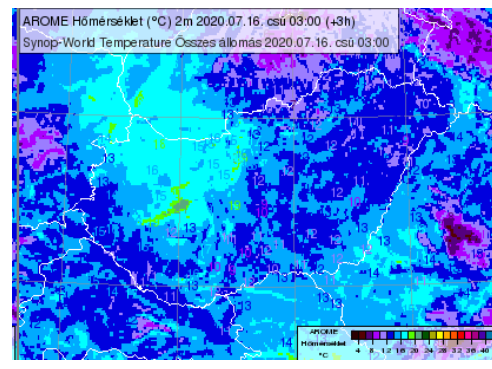
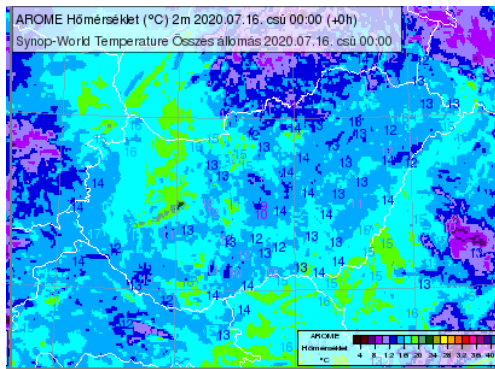
6 UTC

9 UTC

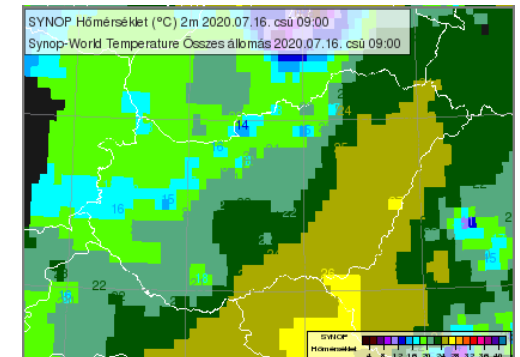
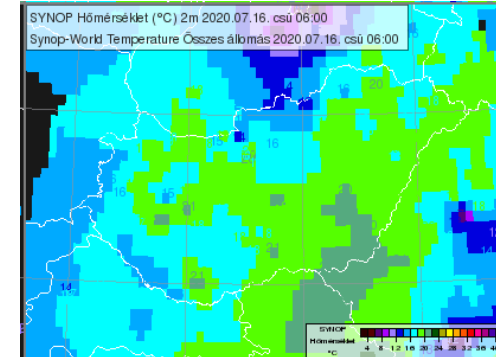
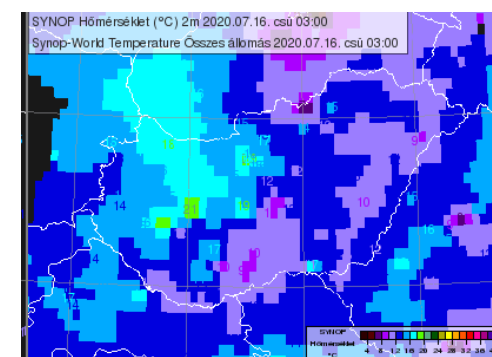
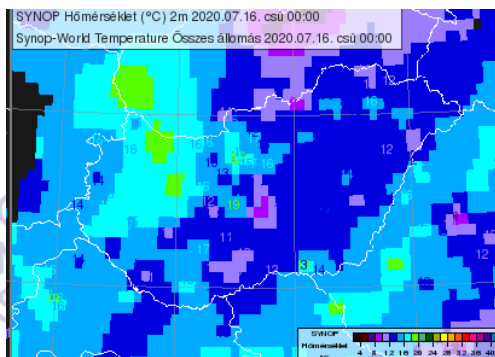
Óránkénti  
asszimiláció



3-óránkénti  
asszimiláció



SYNOP mérések



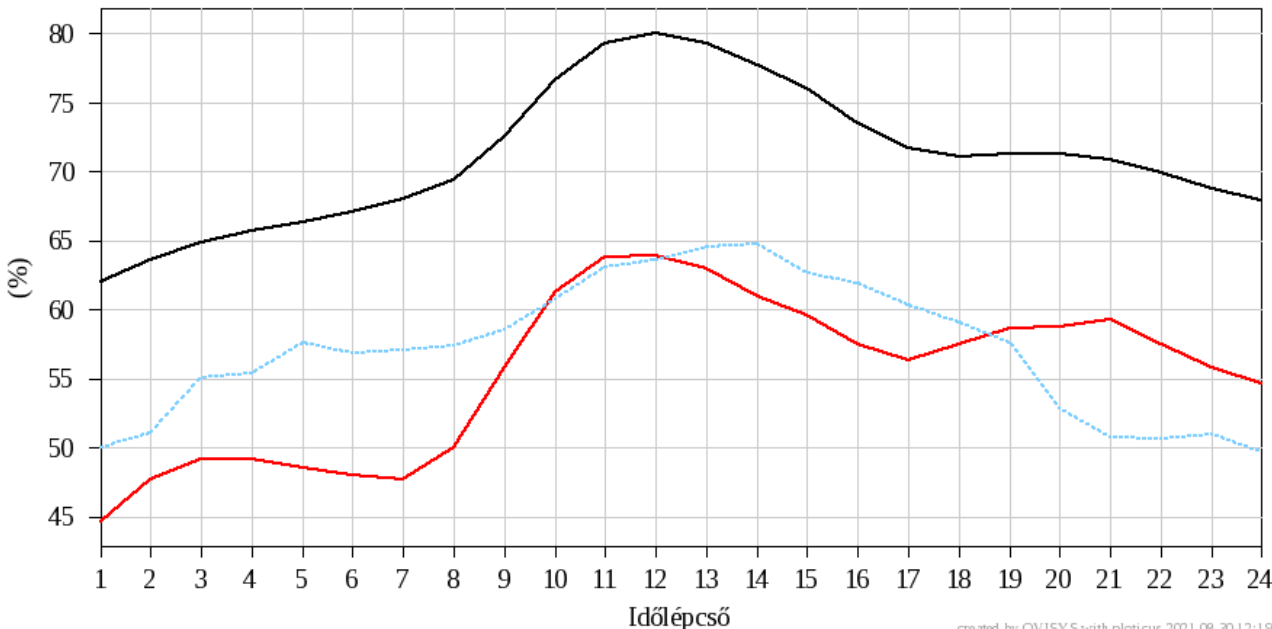


# Felbontás növelése

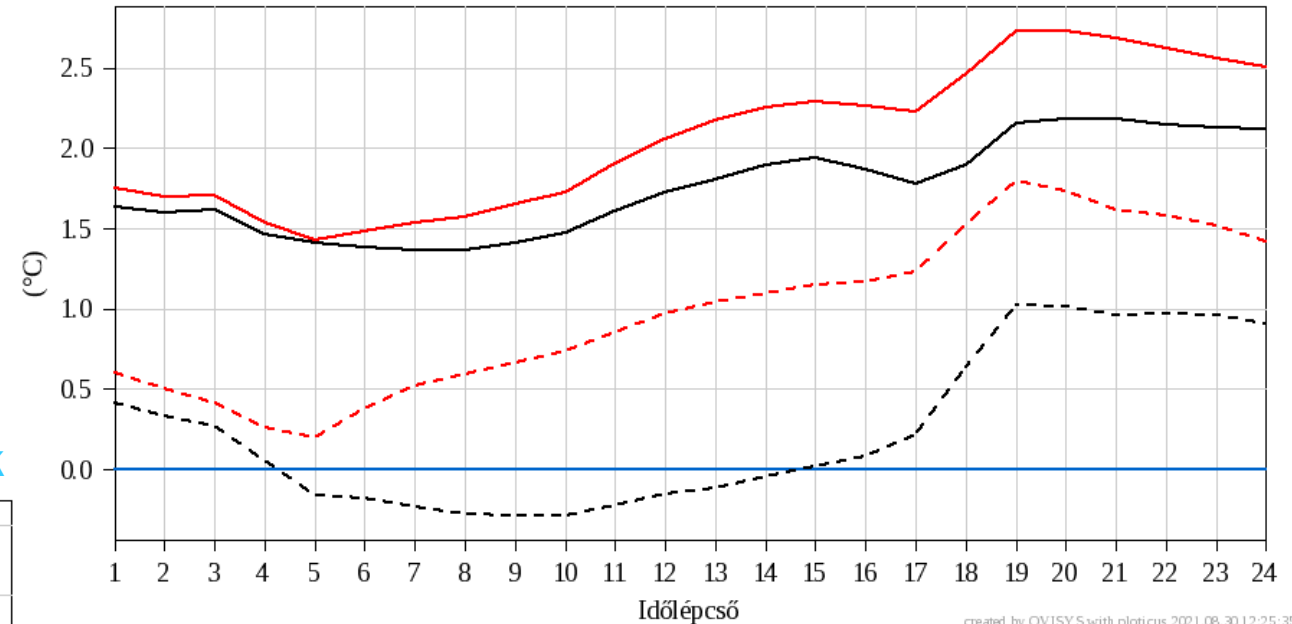
- Kísérletek: **2021. május 12 – június 13.**  
(átlagosnál hűvösebb, csapadékos időjárás)
- Felbontáshoz igazított beállítások + új parametrizációk (felhőzet)

## Felhőzet

1,3 és 2,5 km-es felbontással készült előrejelzés és megfigyelések



2-méteres hőmérséklet RMSE (--) és bias (--)  
1,3 és 2,5 km-es felbontással készült előrejelzés

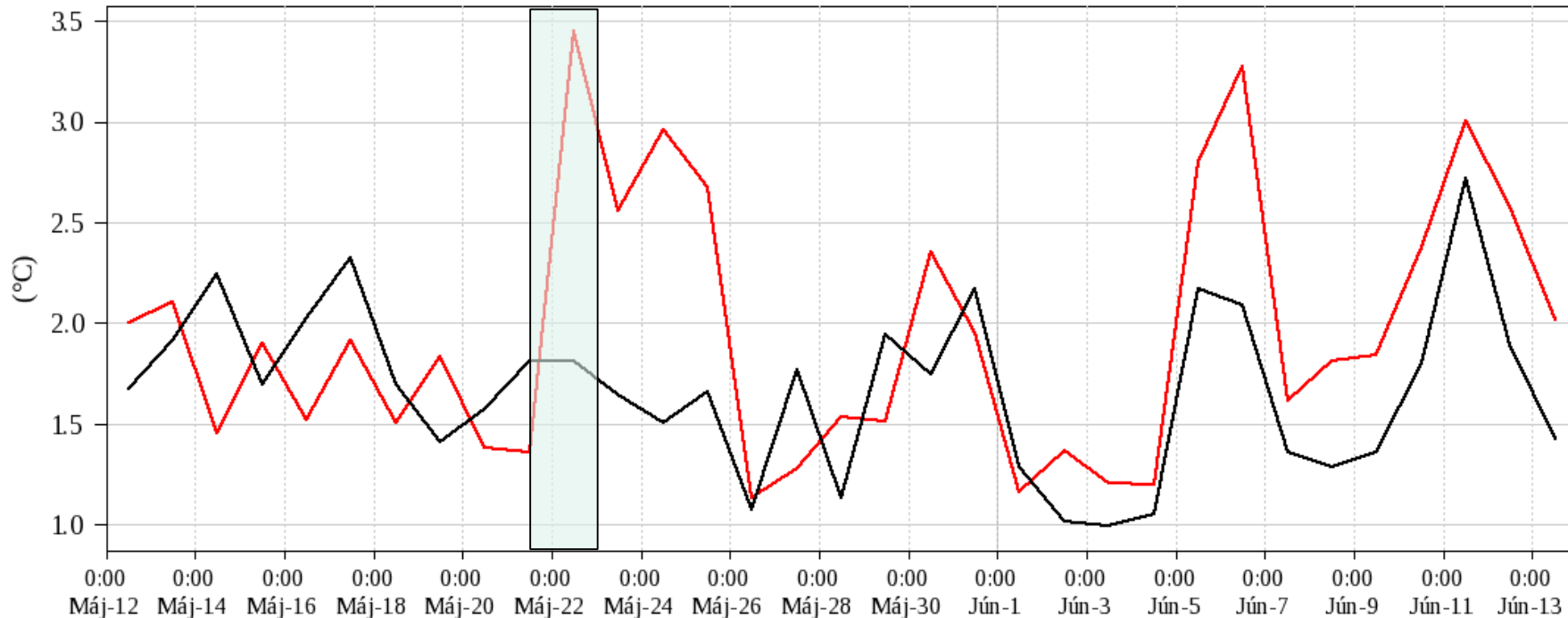


- Gyengébb hőmérséklet előrejelzés
- Szisztematikusan kevesebb felhőzet

# Felbontás növelése

- Egyes időpontokban kiugró eltérés a két előrejelzés között

12-órás 2-méteres hőmérséklet előrejelzések négyzetes hibája (12 UTC-kor)  
1,3 és 2,5 km-es felbontással készült előrejelzések

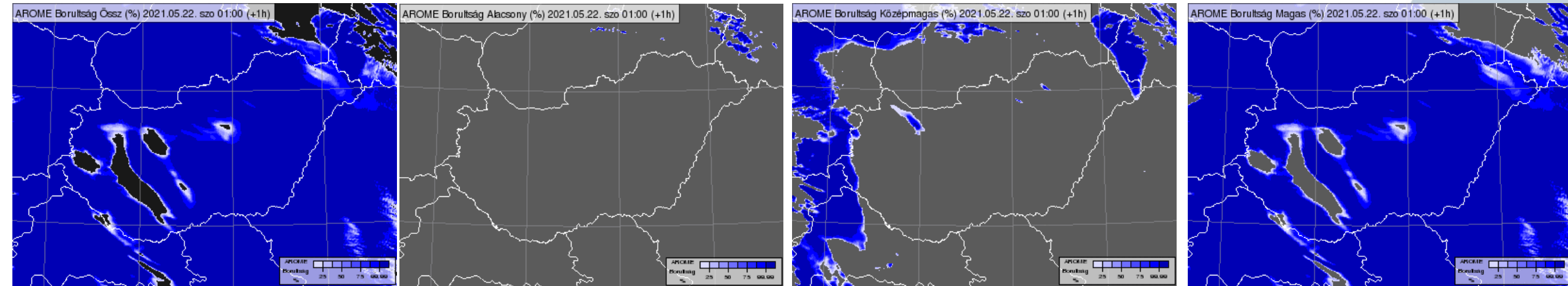


created by OVISYS with ploticus 2021.08.30 11:11:40

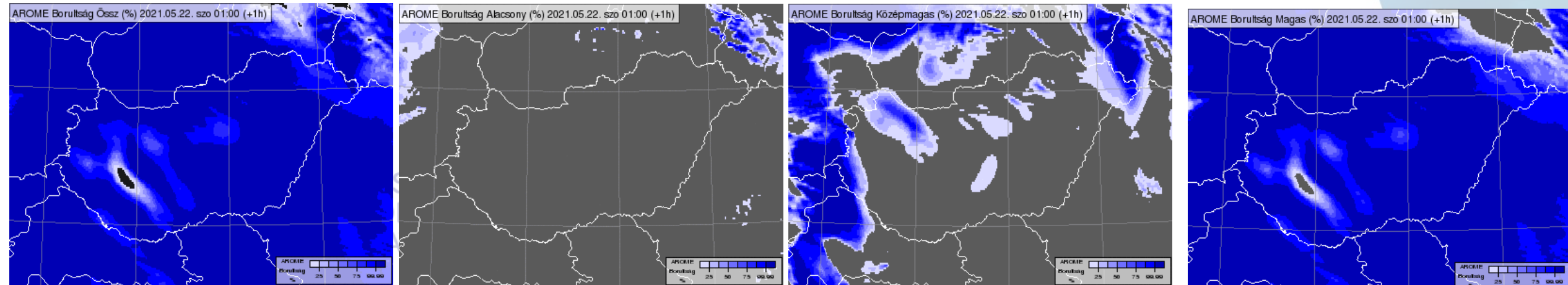
# Felbontás növelése

- Az új kísérletben a felhőzeti mező diszkrét (kevésbé folytonos)

Felhőzet előrejelzés – 1,3 km-es felbontás



Felhőzet előrejelzés – 2,5 km-es felbontás



Teljes

Alacsonyszintű

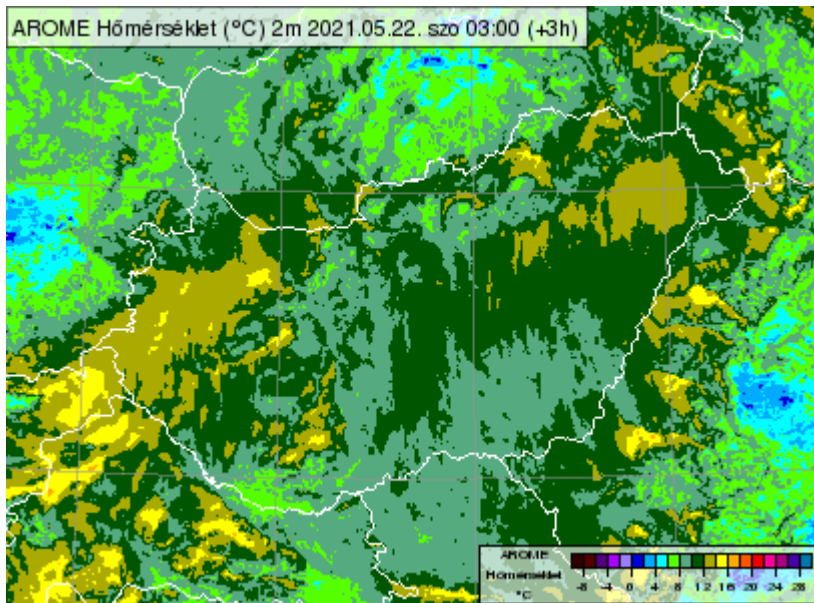
Középszintű

Magasszintű

Szintai Balázs munkája

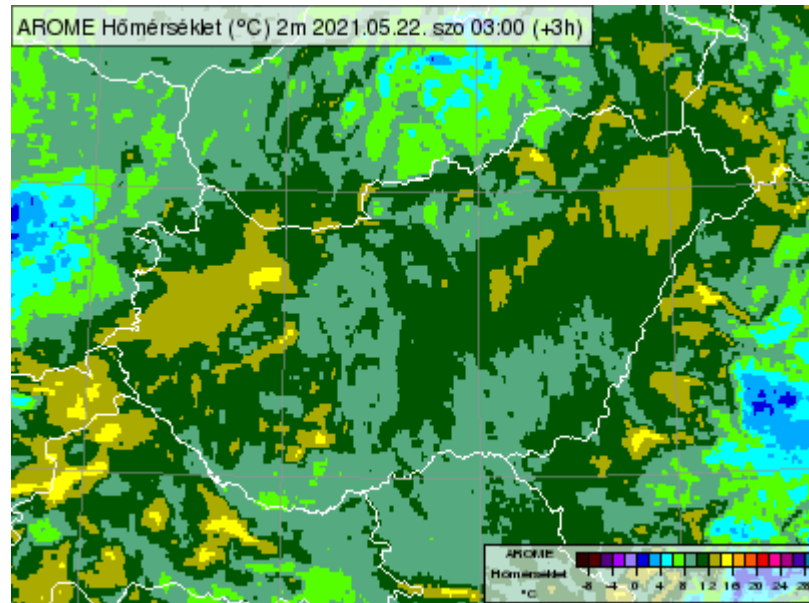
# Felbontás növelése

1,3 km-es felbontás

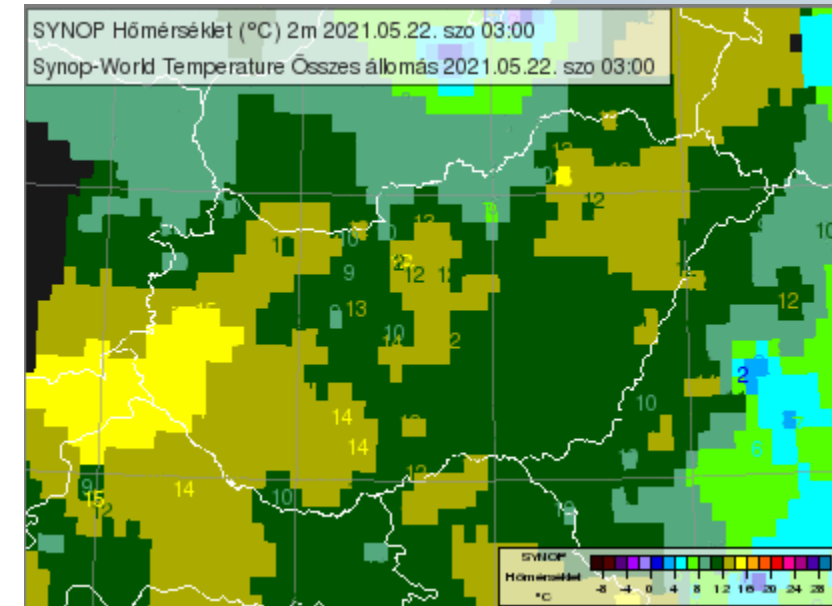


2-méteres hőmérséklet

2,5 km-es felbontás



SYNOP mérések



- A kevésbé kiterjedt felhőzet miatt melegebb hőmérséklet

# Felbontás növelése

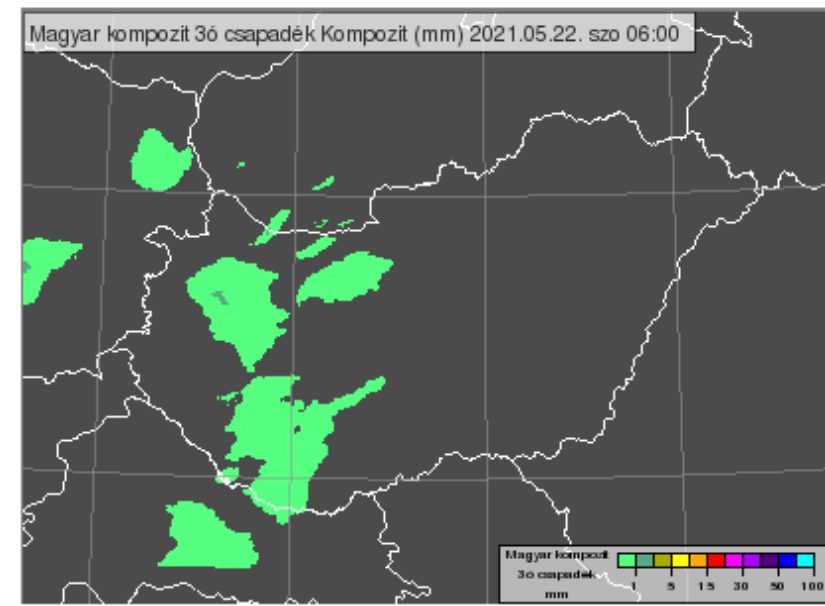
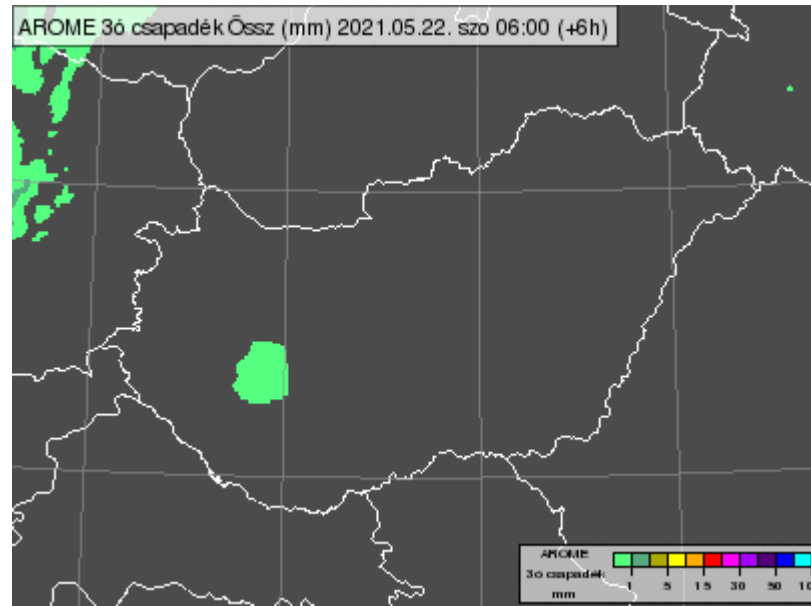
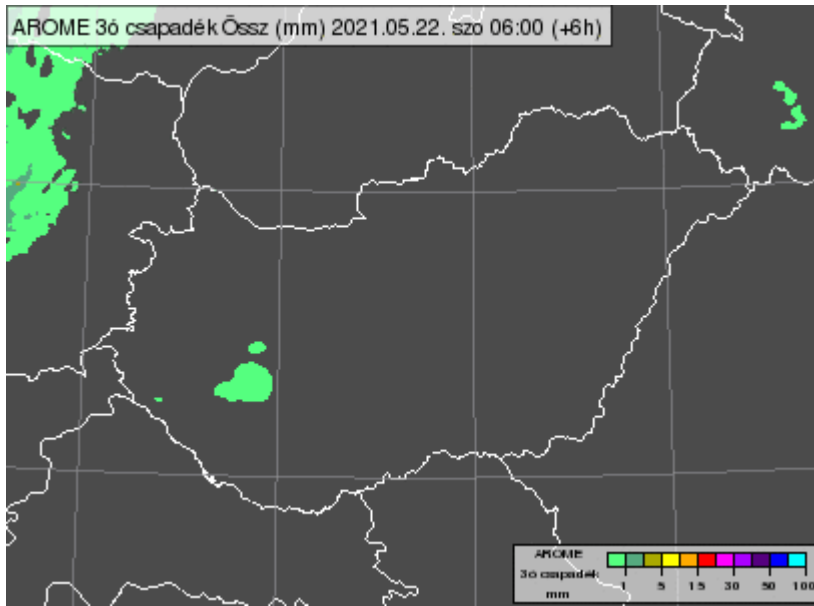
- A felhőzet a csapadék térbeli eloszlását és mennyiségét is befolyásolja

1,3 km-es felbontás

3-órás csapadékösszeg

2,5 km-es felbontás

Radar

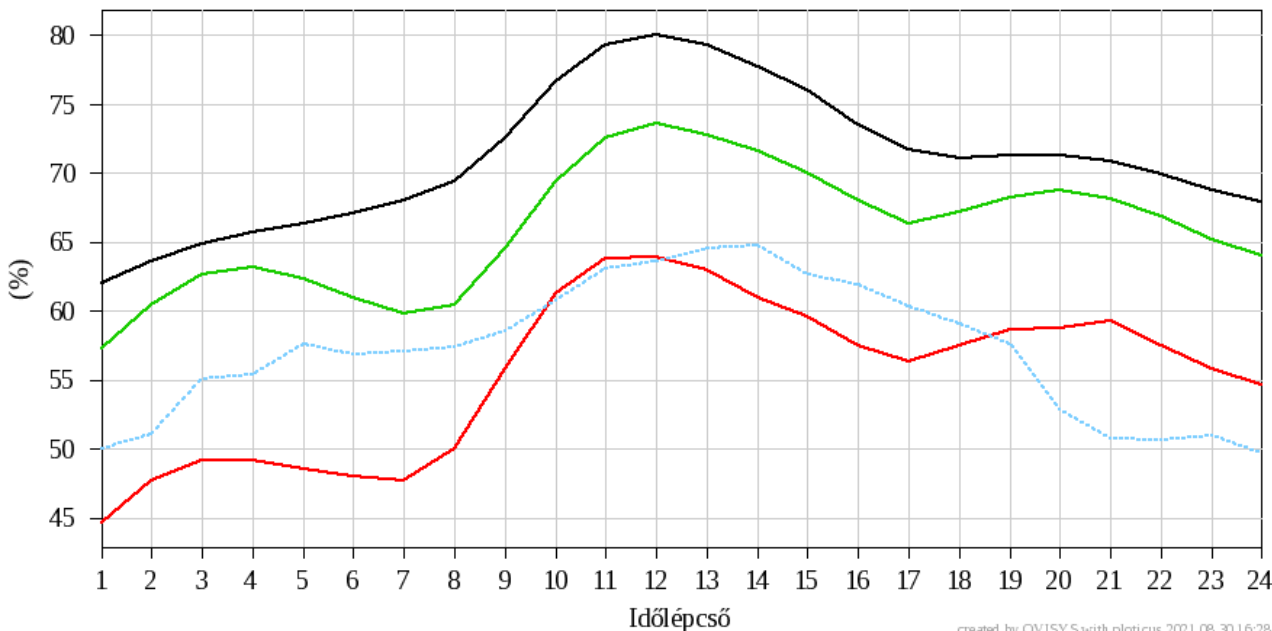


# Felbontás növelése

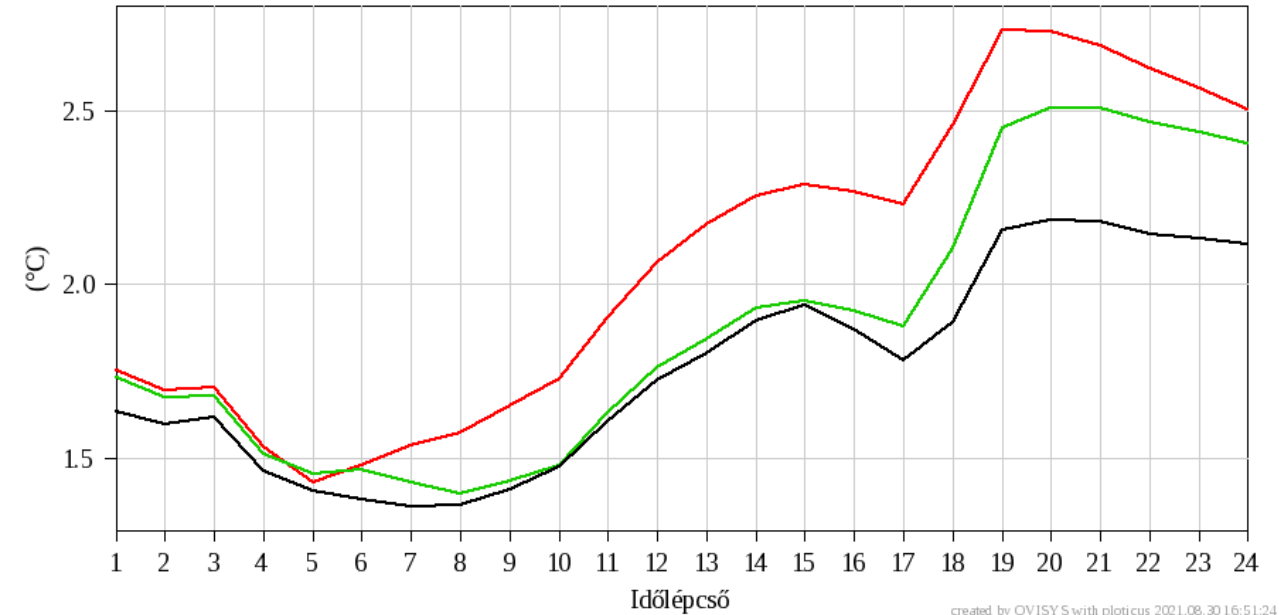
- A felhőzet „diszkréttségéért” felelős paraméter hangolása

Felhőzet

1,3 km-es felbontással (és hangolással) és 2,5 km-es felbontással készült előrejelzések és megfigyelések



2-méteres hőmérséklet előrejelzések négyzetes hibája  
1,3 km-es felbontással (és hangolással)  
és 2,5 km-es felbontással készült előrejelzések



- A jobb felhőzet-előrejelzés hatására a hőmérséklet-előrejelzés is javul



# TARTALOM

1. Számszerű modellezés
2. Aktuális fejlesztések
3. Modellezési Osztály

## Verifikáció és utó-feldolgozás

Tajti D., Tóth B.

## C-SRNWP koordináció

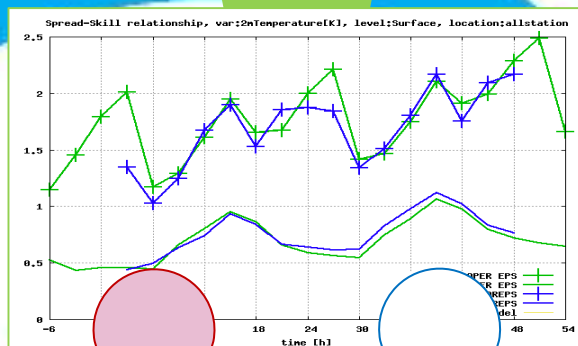
Szintai B.

## Levegőminőség modellezés

P. Ferenczi Z.,  
Lázár K.,  
Tóth A.

## Rövidtávú előrejelzés

Homonnai V.,  
J. Radnóczy K.,  
K. Tóth H.,  
Szanyi K.,  
Szintai B.,  
Tóth G.



## Középtávú előrejelzés: Ihasz I.

## Klímamodellezés

Bán B.,  
Megyeri O.,  
Suga R.,  
Zsebeházi G.

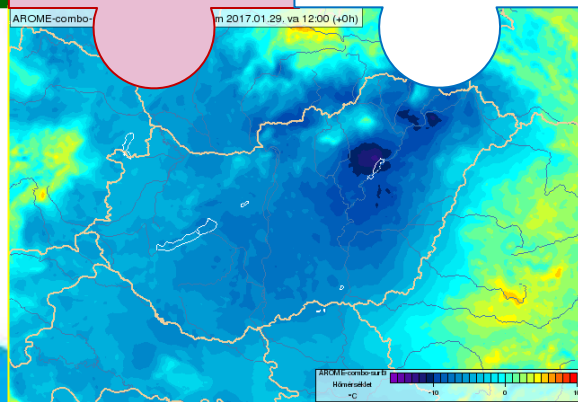
## Egyetemi oktatás

Szépszó G., Szintai B., Zsebeházi G., J. Radnóczy K.

## Interaktív előrejelző és megjelenítő rendszer (HAWK): Rajnai M., Tajti D.

ACC RD  
A Consortium for Convection-scale modelling  
Research and Development

ECMWF



# 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)

# Hogyan lehet felvételt nyerni az osztályra?

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

*Köszönöm szépen a figyelmet!*