

# Regionális időjárási modellezés

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

Modellezési Osztály



# Tartalom

- Alapfogalmak
- Kutatási és fejlesztési területek
- A „tipikus” modellező és a modellező egy „tipikus” napja

# A számszerű modellezés alapjai

- A numerikus prognosztika a kormányzó fizikai egyenletek megoldására alkotott matematikai modellek megoldása
- A légköri egyenletek:

# 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)

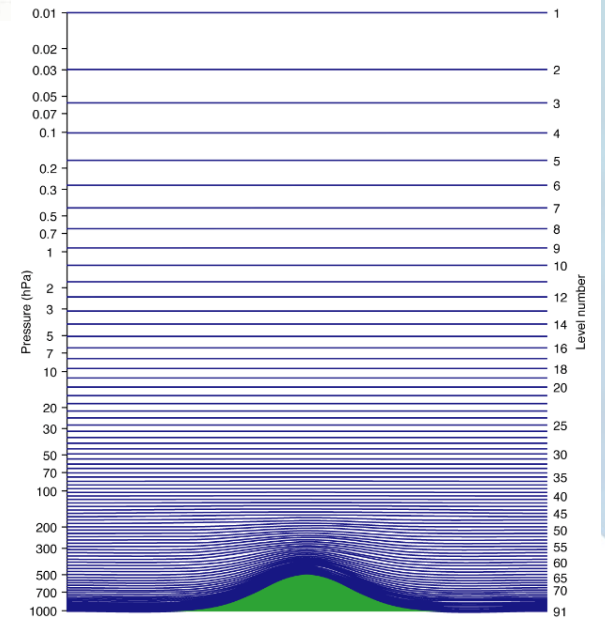
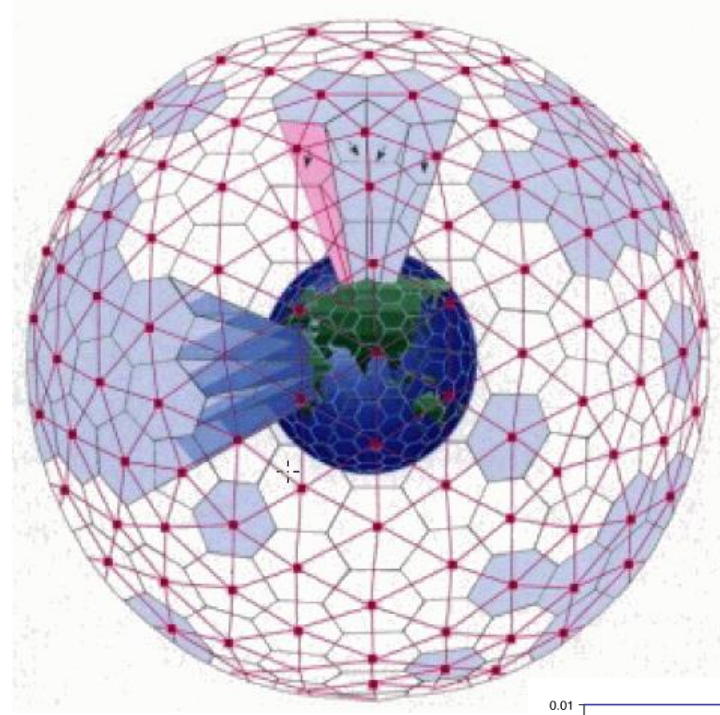
# A hidro-termodinamikai egyenletrendszer

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 megoldás
- Kezdeti és peremfeltételeket igényel

# Numerikus megoldás

- Térbeli rács és időlépések
- Derivált-operátorok közelítése
- Fizikai parametrizációk



# A számszerű előrejelzés lépései

## ELŐKÉSZÍTÉS

Határfeltételek összegyűjtése

## ADATASSZIMILÁCIÓ

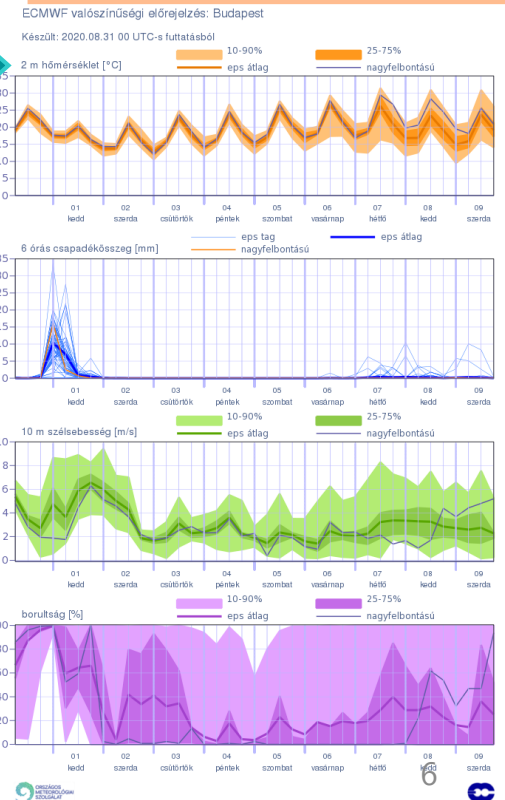
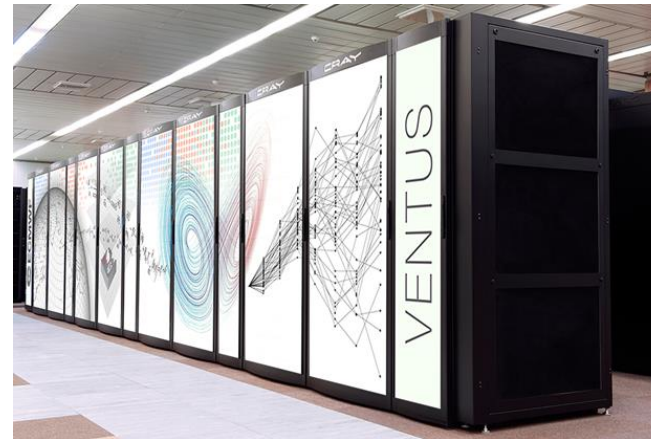
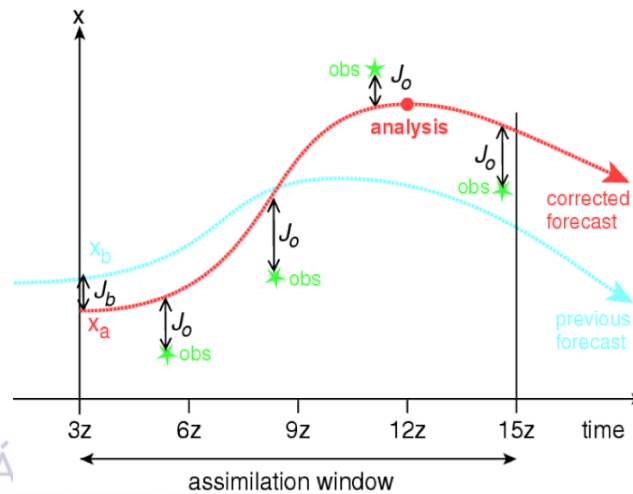
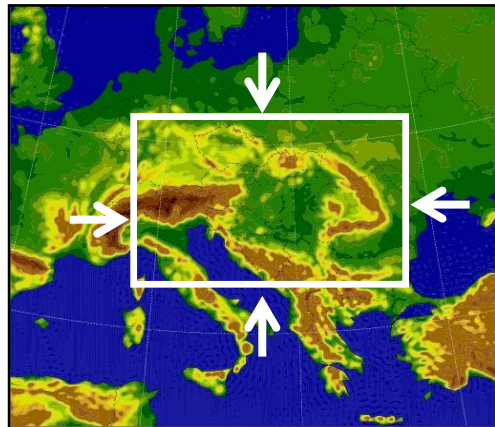
Kezdeti feltétel meghatározása

## MODELL-INTEGRÁLÁS

A hidro-termodinamikai egyenletrendszer közelítő megoldása

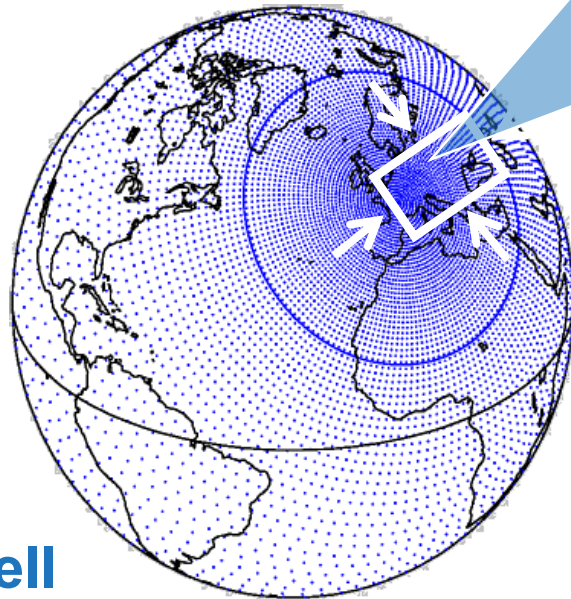
## UTÓFELDOLGOZÁS

Megjelenítés, speciális paraméterek származtatása

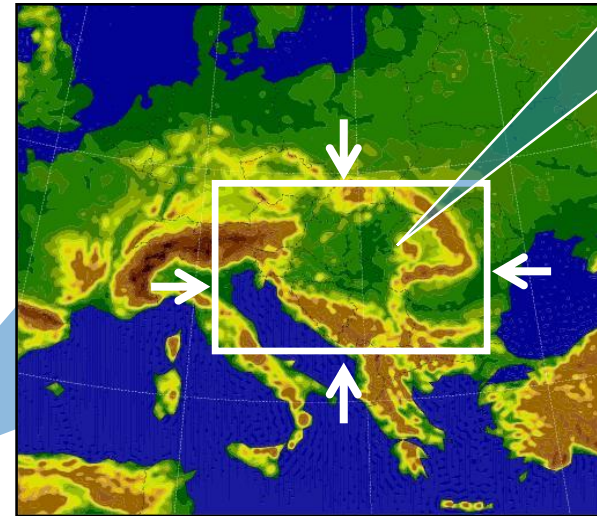


# Határfeltételek

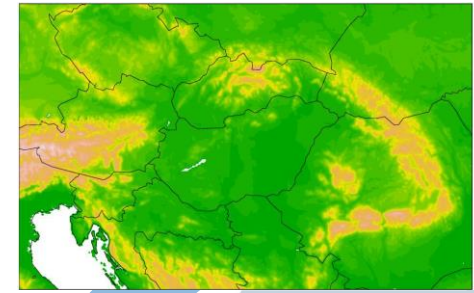
- Globális és regionális (korlátos tartományú) modellek
- A tartományon kívül zajló folyamatok figyelembevétele
- Egyenletrendszer matematikai megoldhatósága
- OMSZ regionális előrejelzései az ECMWF globális előrejelzéseiből



**Globális modell**



**Regionális modell**



**Lokális modell**



# Európai Középtávú Előrejelző Központ

- Nemzetközi együttműködés 1975 óta 34 ország részvételével – nemzeti meteorológiai szolgálat
- Legfontosabb cél: globális középtávú számszerű előrejelzési modell operatív futtatása, valamint fejlesztése és kutatása
- 10 napos előrejelzések (HRES): 9 km-es horizontális felbontás, 137 szint
- Ensemble Prediction System (EPS): 15 napig, 18 km-es felbontás

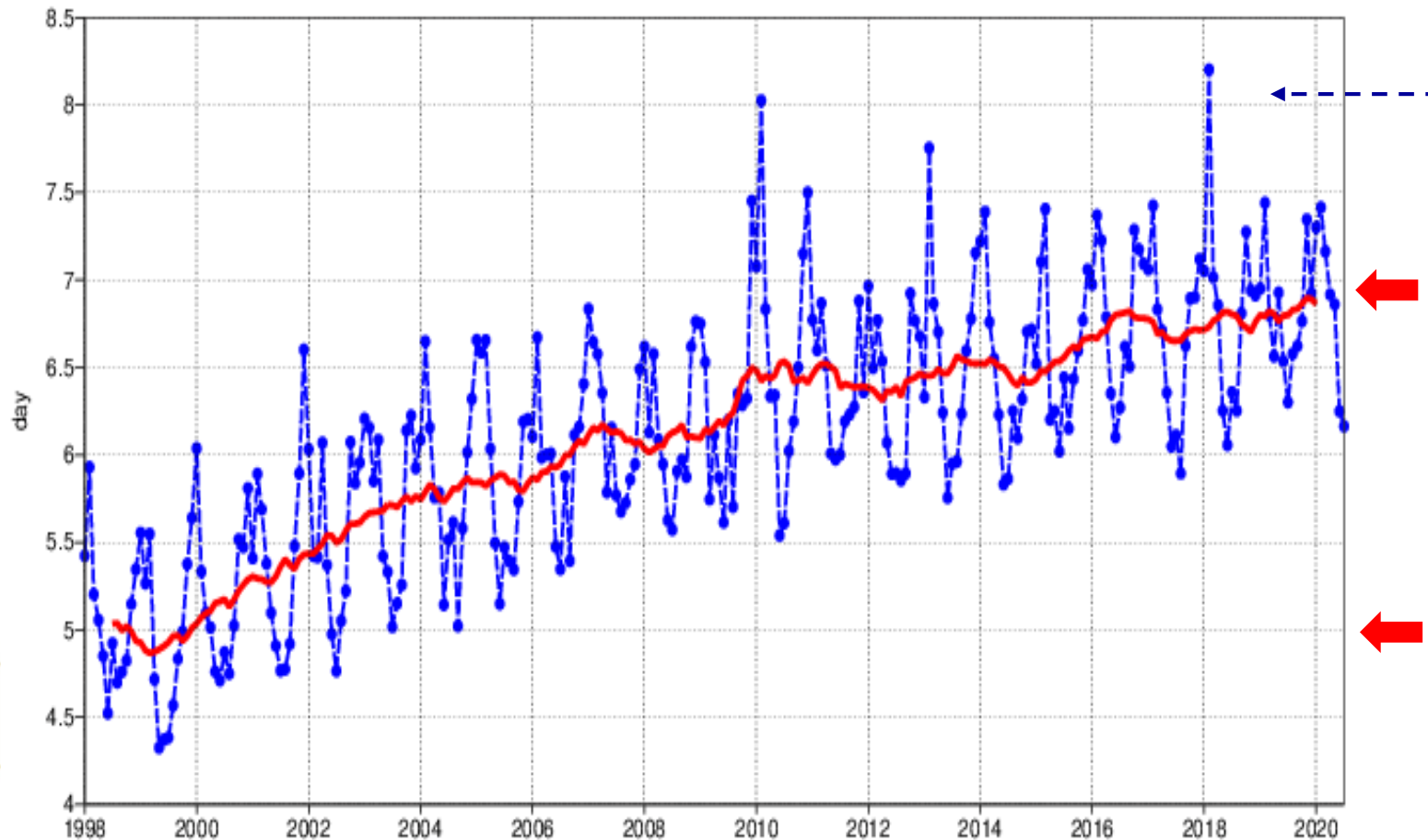
# Az előrejelzések minőségének változása

500hPa geopotential  
Lead time of Anomaly correlation reaching 80%  
NHem Extratropics (lat 20.0 to 90.0, lon -180.0 to 180.0)

Anomália korreláció:

előrejelzés és megfigyelés  
(referencia klímaátlagtól vett)  
anomáliájának térbeli korrelációja

— score 12mMA reaches 80%  
- - - score reaches 80%



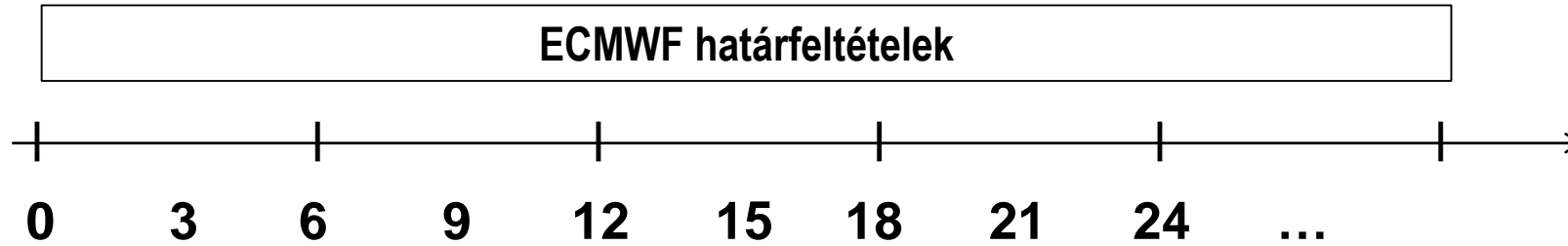
# Operatív regionális modellfuttatások

- ALADIN és AROME modellek helyi futtatása
- Fejlesztések az adatasszimiláció, a parametrizációk, az ensemble előrejelzések területén
- ALADIN és LACE konzorcium: 1991 óta, ALADIN, ALARO, AROME modellek fejlesztése konzorciumi keretek között, kutatási célú kiküldetések és kutatók fogadása, adatcsere
- 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

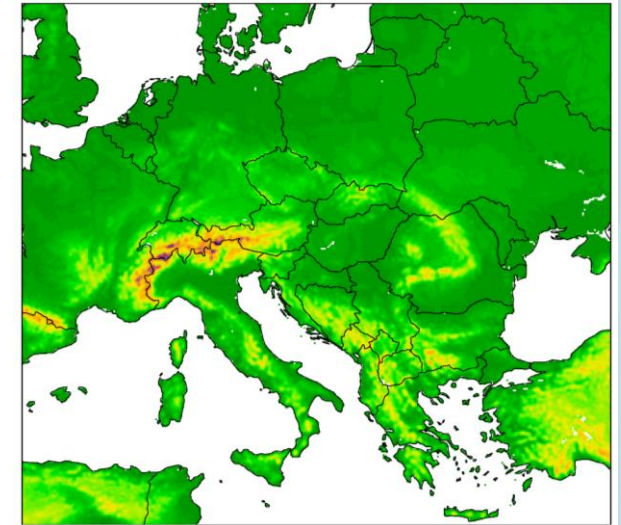
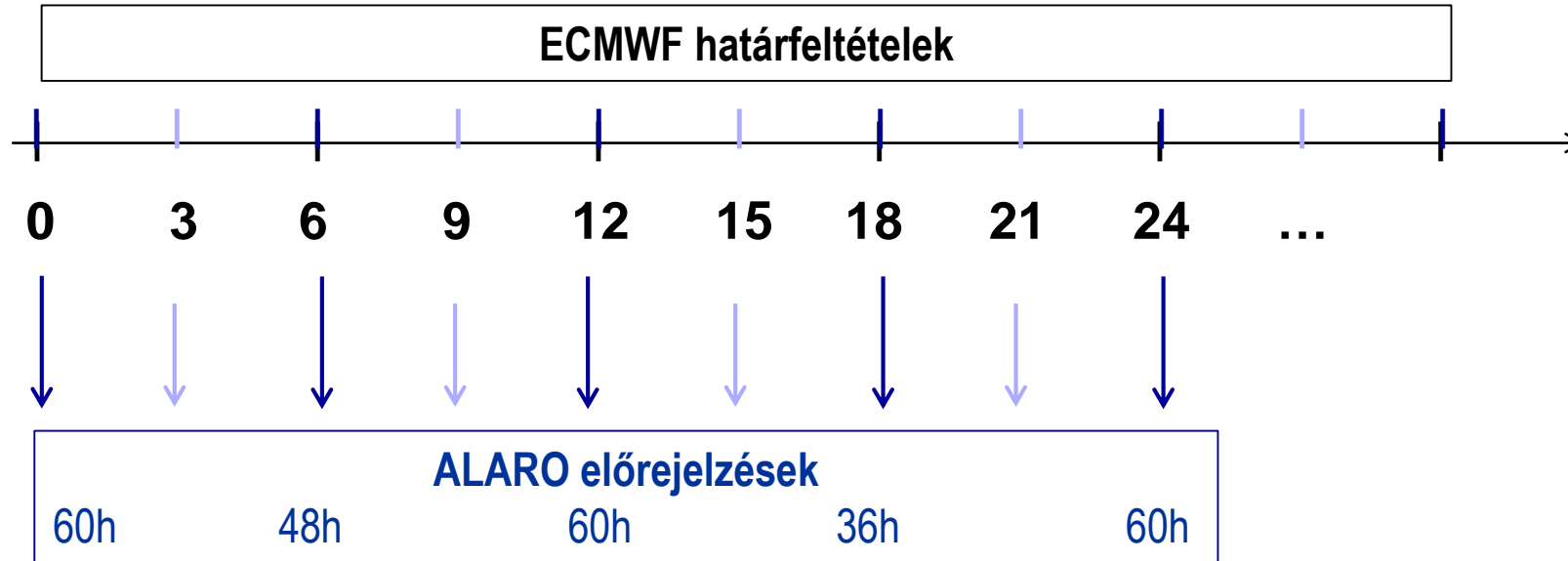


# Operatív modellfuttatások rendszere

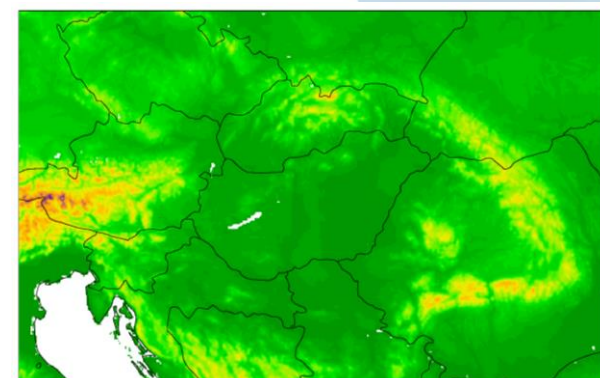
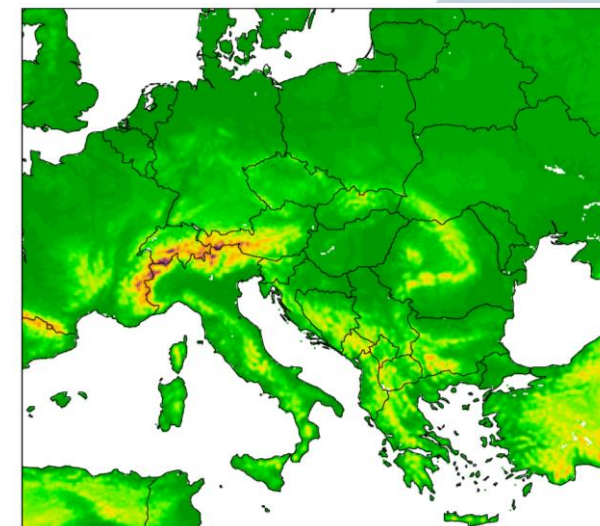
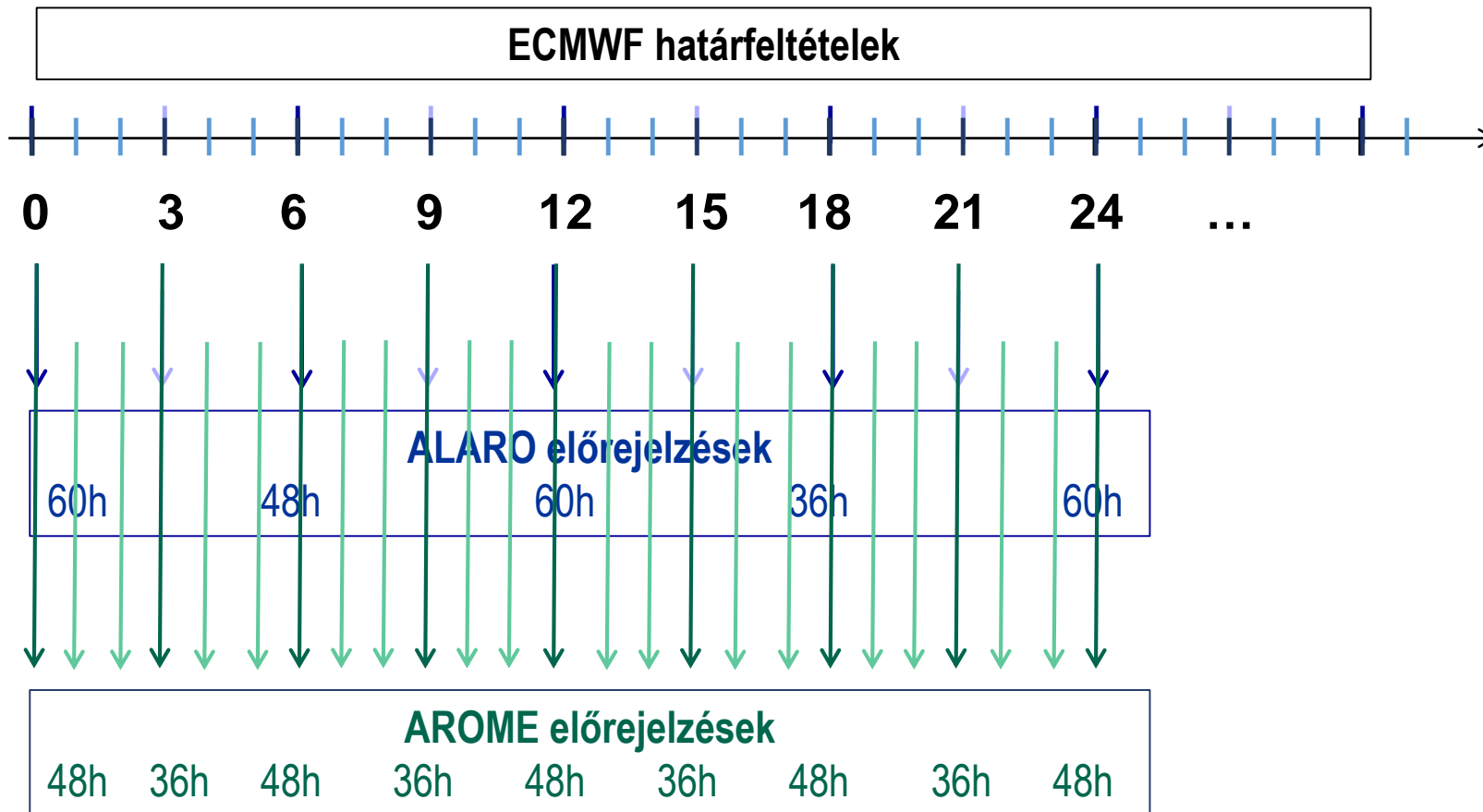
# Operatív modellfuttatások rendszere



# Operatív modellfuttatások rendszere

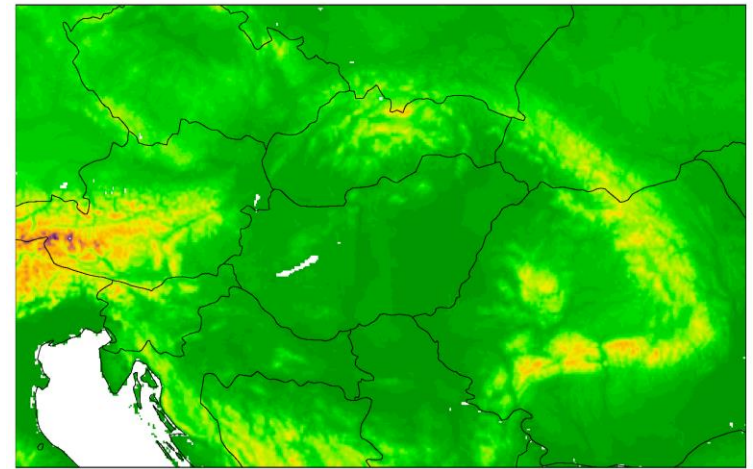


# Operatív modellfuttatások rendszere



# 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 nyomás)
- 1-perces időlépcső
- 48 órás előrejelzés (2880 lépés)

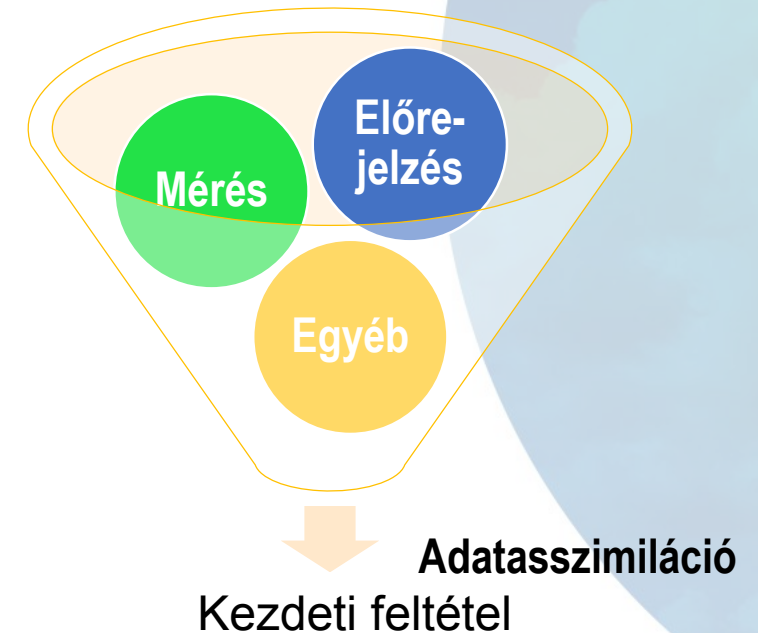


**$10^{11}$  mennyiségű adat előrejelzésenként**

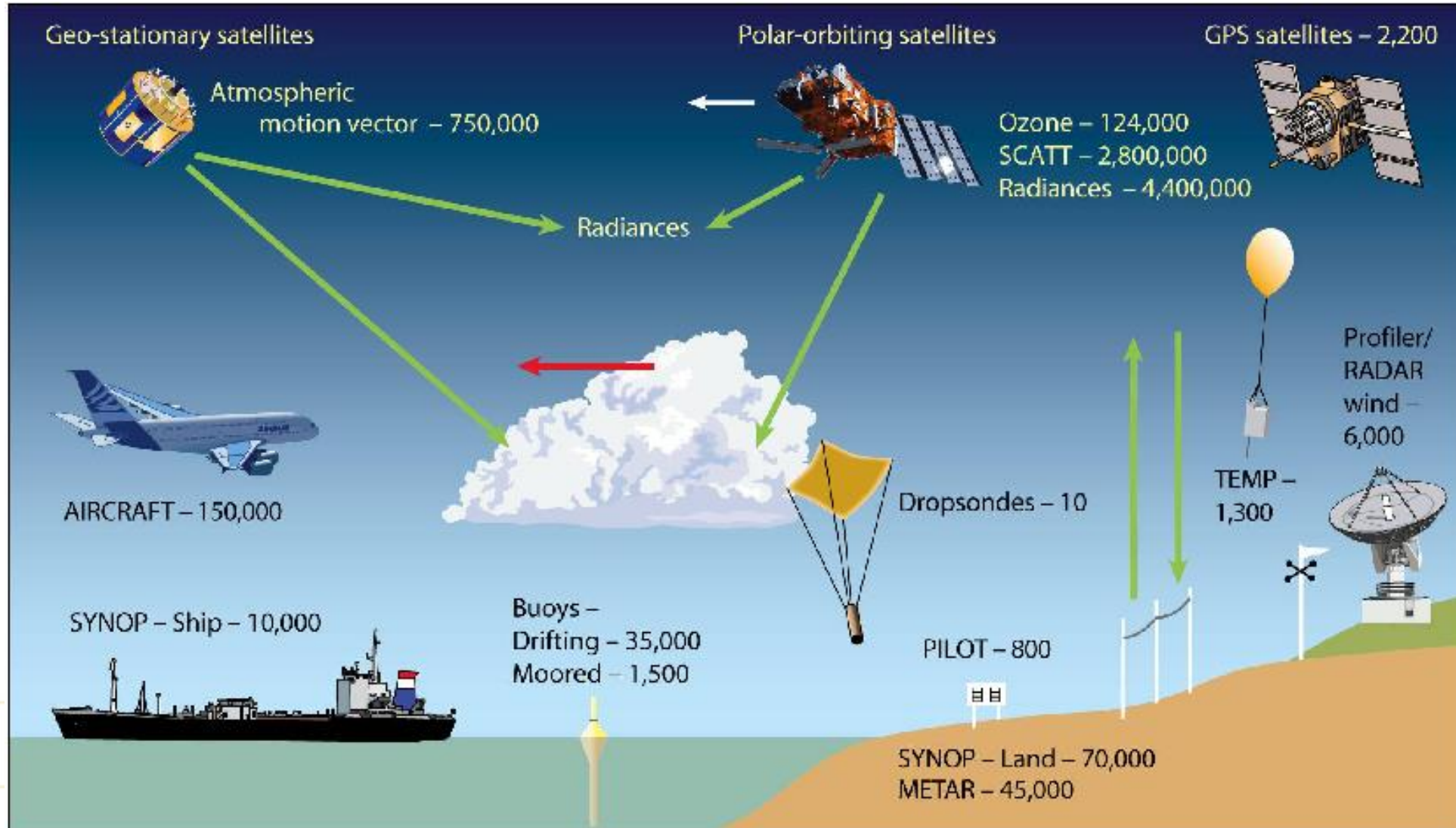


# Kezdeti feltételek meghatározása

- Az előrejelzés érzékeny a kezdeti feltételekre
- Cél: a numerikus modellek számára minél pontosabb kezdeti feltétel meghatározása
- Rendelkezésre álló információk:
  - Megfigyelések
  - A modell korábbi előrejelzései
- Adatasszimiláció: mérési információk gyűjtése, ellenőrzése, modellrácsra előállítás (objektív analízis)

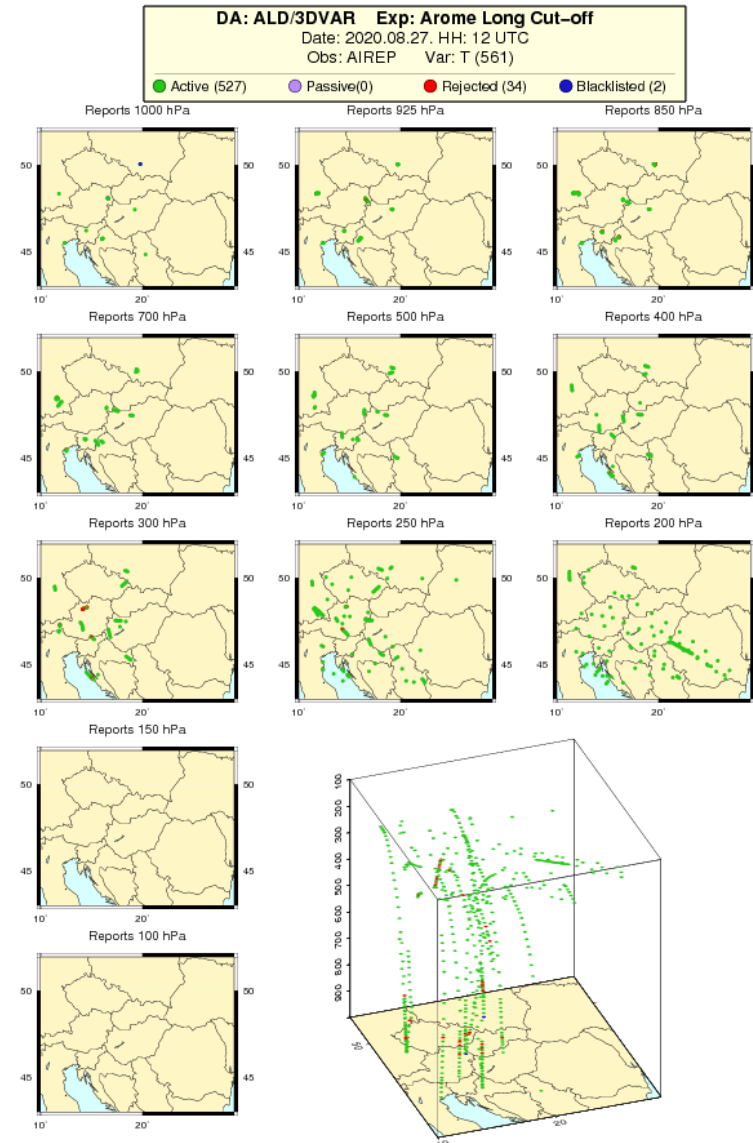


# Megfigyelések globális rendszere



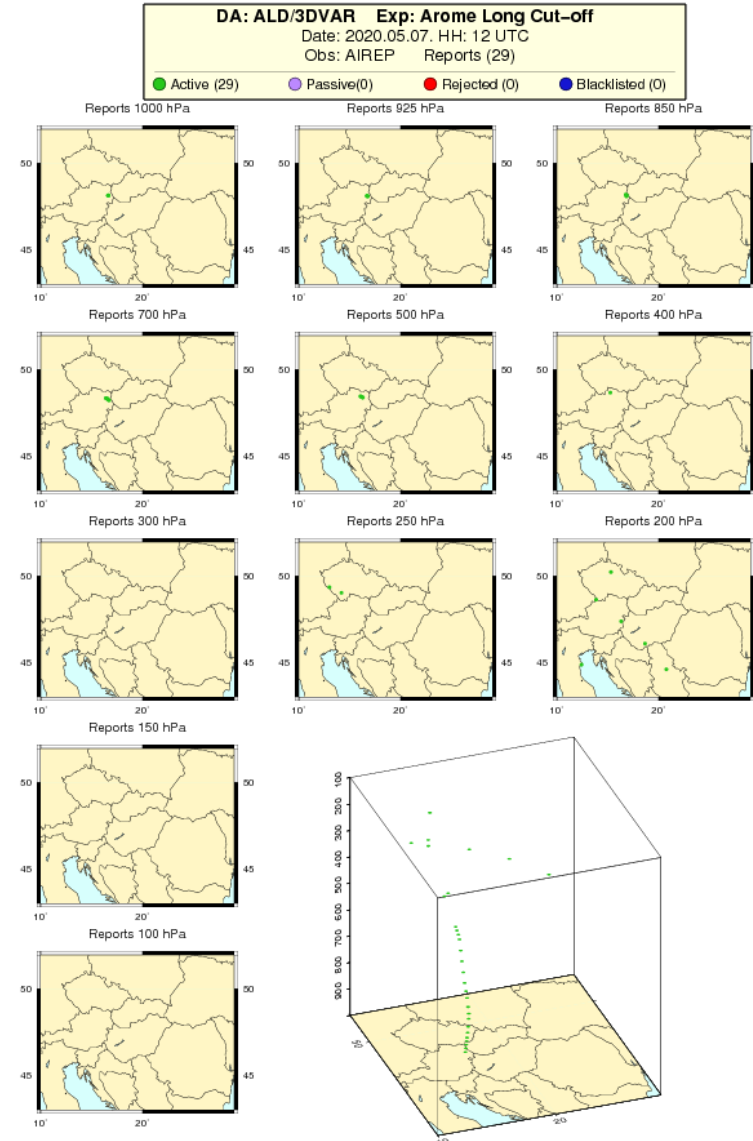
# Konvencionális / in situ megfigyelések

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



# Konvencionális / in situ megfigyelések

Eszköz	Paraméter	Szint
SYNOP SHIP METAR	hőmérséklet, harmatpont, szél	Felszín, 2m, 10m, 25m
Bóják	hőmérséklet, légnyomás, szél	2m
Rádiószondák TEMPSHIP Ejtőszondák	hőmérséklet, légnyomás, szél, nedvesség	Profil
Profilerek	szél	Profil
Repülőgépek	hőmérséklet, légnyomás, szél	Profil, repülési szint

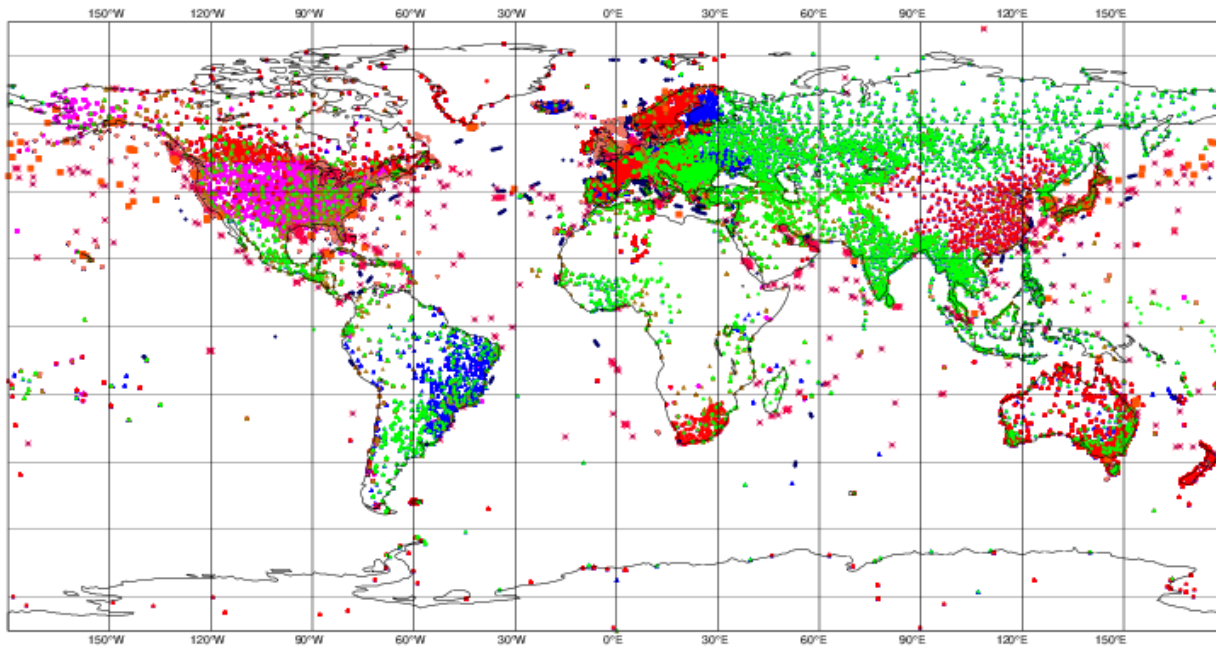


# In situ mérési lefedettség

<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/charts/monitoring/dcover>

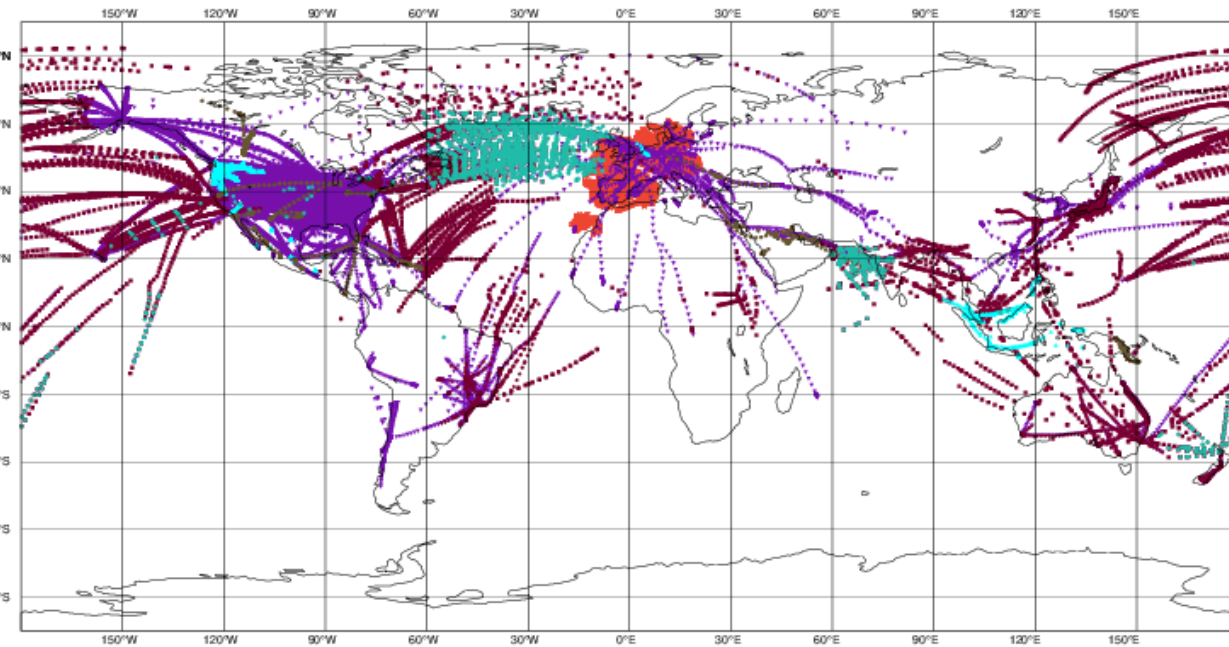
ECMWF data coverage (all observations) - SYNOPSIS-SHIP-METAR  
28/08/2020 00  
Total number of obs = 122485

- Automatic Land SYNOP (17060)
- Manual Land SYNOP (9137)
- ▲ METAR (16665)
- ▼ Automatic SHIP (3438)
- ✕ SHIP (645)
- Abbreviated SHIP (153)
- Automatic METAR (37109)
- ◆ BUFR SHIP SYNOP (5109)
- ▲ BUFR LAND SYNOP (33169)



ECMWF data coverage (all observations) - AIRCRAFT  
28/08/2020 00  
Total number of obs = 319672

- AIREP (2599)
- ◆ AMDAR (4441)
- ▲ TAMDAR (3701)
- ▼ WIGOS AMDAR (119581)
- ✕ Mode-S (178625)
- ADS-C (7326)
- AFIRS (3399)

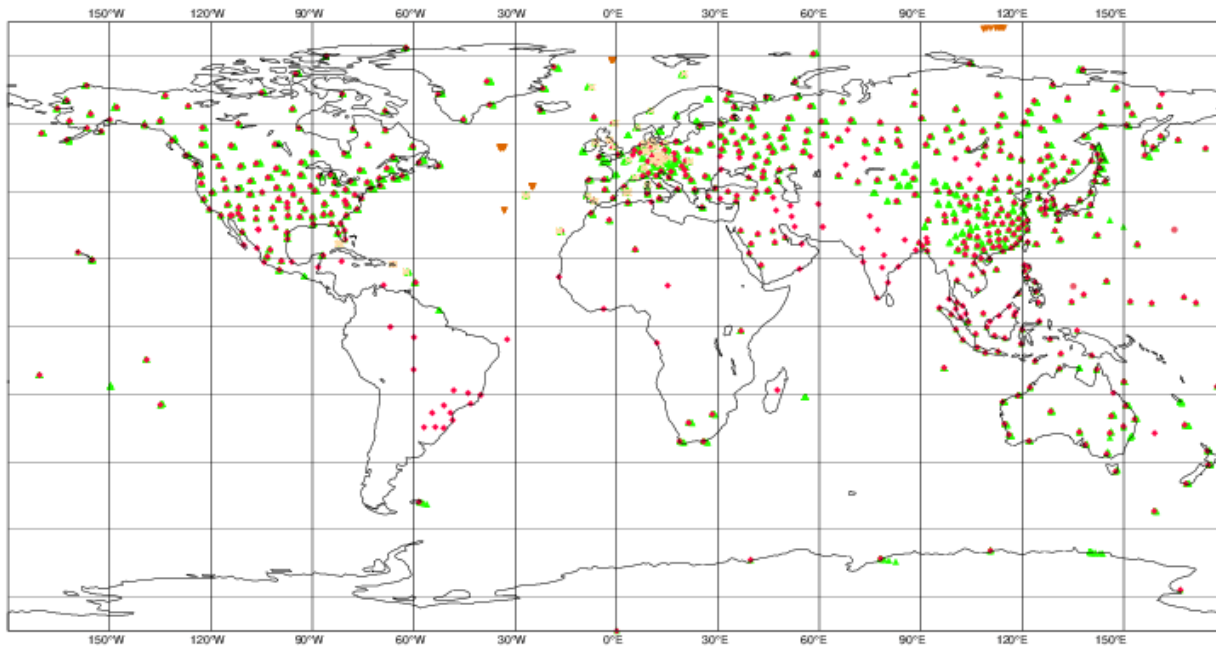


# In situ mérési lefedettség

<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/charts/monitoring/dcover>

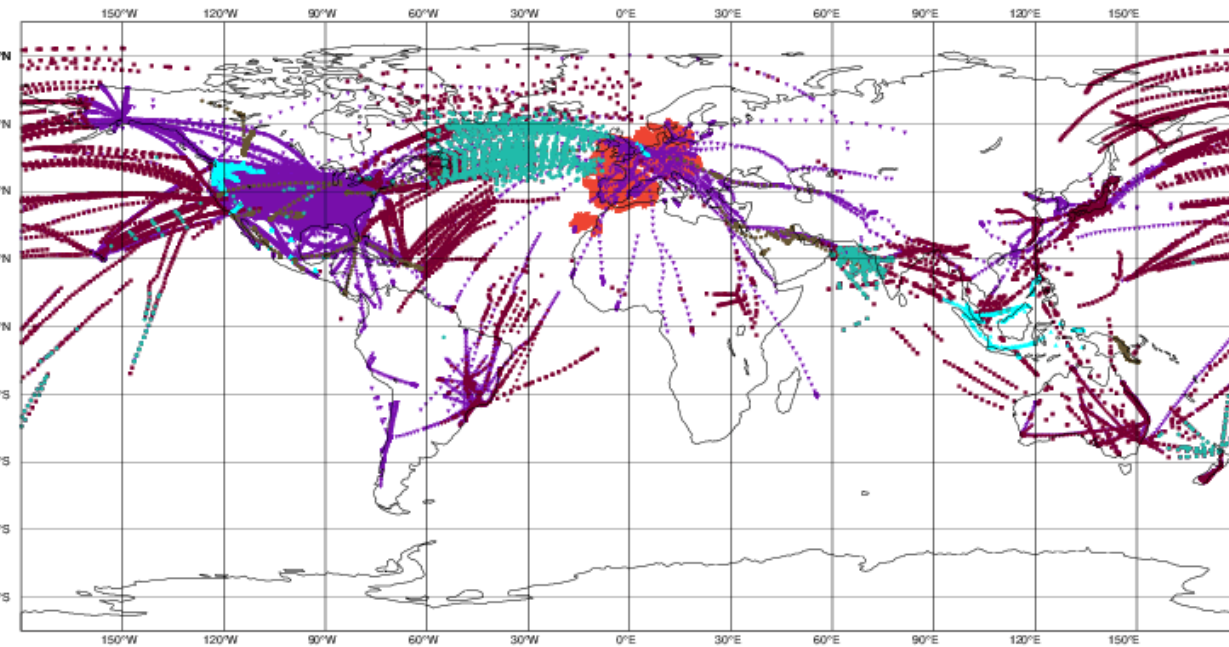
ECMWF data coverage (all observations) - RADIOSONDE  
28/08/2020 00  
Total number of obs = 1174

- TEMP SHIP (2)
- ◆ Land TEMP (578)
- ▲ High Reso land (561)
- ▼ High Reso sea (5)
- ✕ BUFR TEMP DESCENT (28)



ECMWF data coverage (all observations) - AIRCRAFT  
28/08/2020 00  
Total number of obs = 319672

- AIREP (2599)
- ◆ AMDAR (4441)
- ▲ TAMDAR (3701)
- ▼ WIGOS AMDAR (119581)
- ✕ Mode-S (178625)
- ADS-C (7326)
- AFIRS (3399)



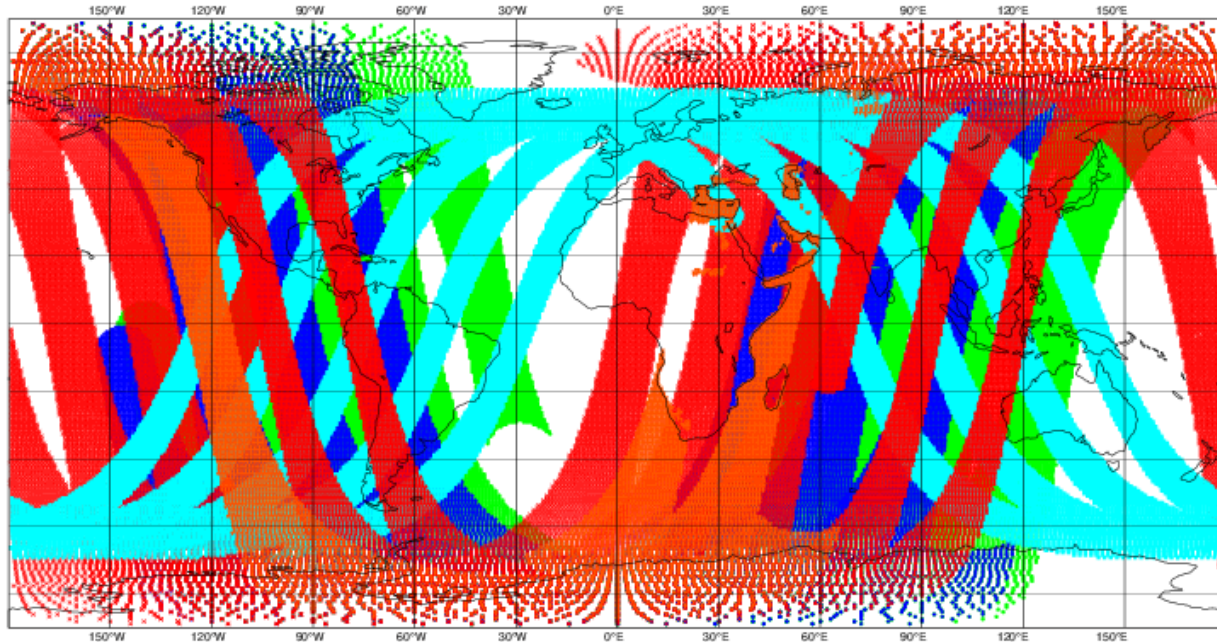
# Távérzékeléses megfigyelések

ECMWF data coverage (all observations) - MICROWAVE HUMIDITY IMAGERS

28/08/2020 00

Total number of obs = 193734

- DMS-17 (52659)
- ◆ DMS-18 (42763)
- ▲ CORIOLIS (16981)
- ▼ FY-3D (10704)
- × AMSR2 (39876)
- GPM (30751)



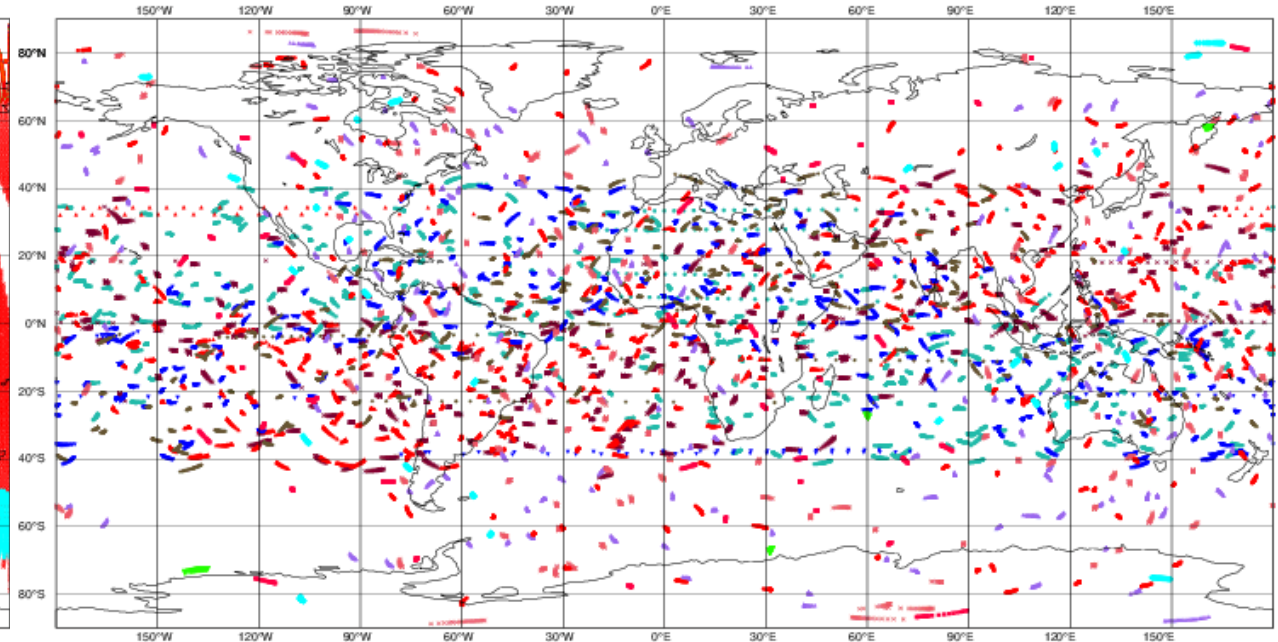
1870-2020

ECMWF data coverage (all observations) - GPSRO

28/08/2020 00

Total number of obs = 41245

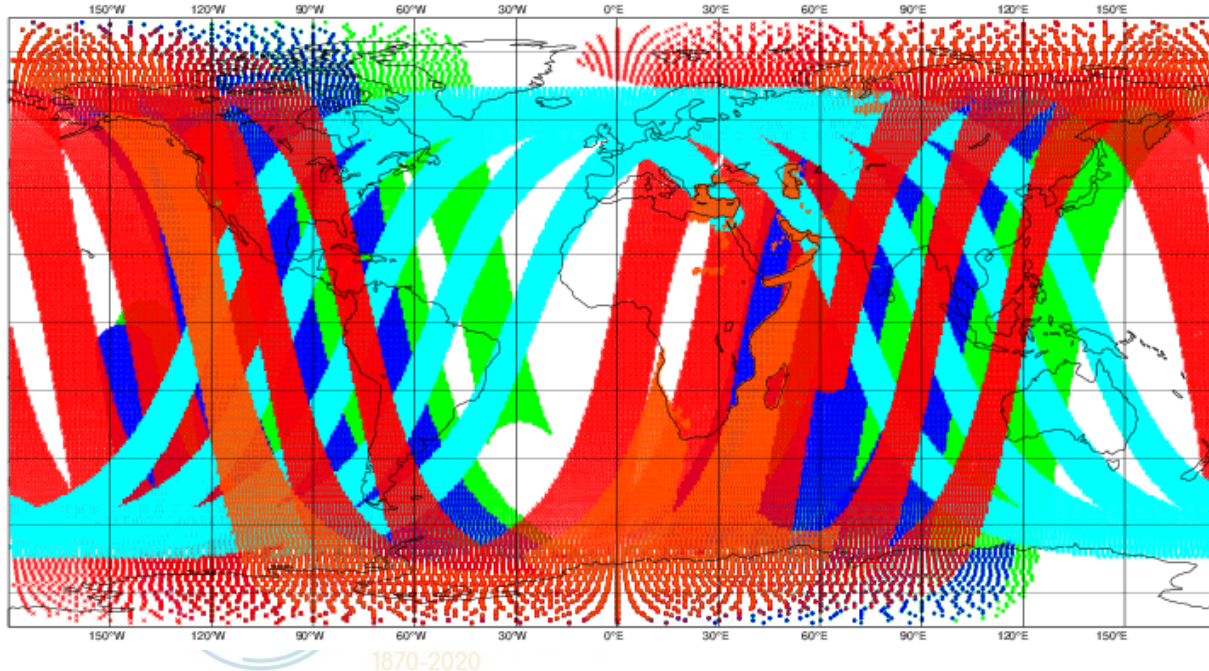
- METOP-A (3257)
- ◆ TerraSAR-X (555)
- ▲ METOP-B (3777)
- ▼ TanDEM-X (84)
- × METOP-C (3428)
- FY-3D (1016)
- COSMIC2-E1 (6502)
- ◆ COSMIC2-E2 (5040)
- ▲ COSMIC2-E3 (5834)
- ▼ COSMIC2-E4 (5796)
- × COSMIC2-E6 (5956)



# Távérzékeléses megfigyelések

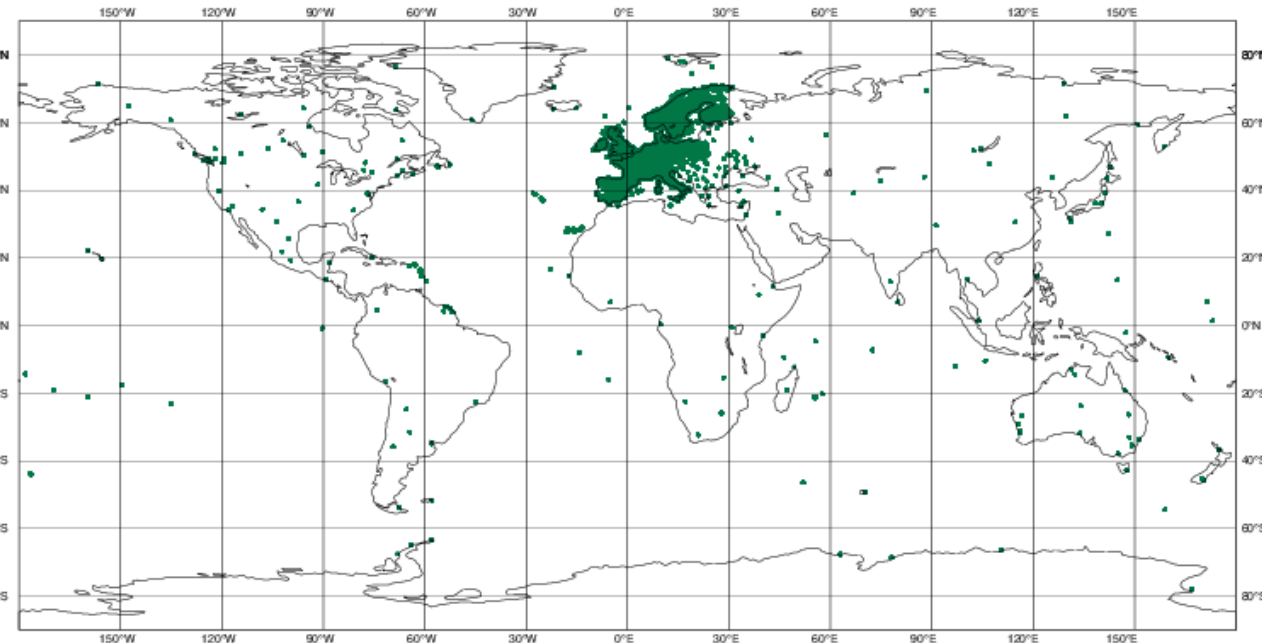
ECMWF data coverage (all observations) - MICROWAVE HUMIDITY IMAGERS  
28/08/2020 00  
Total number of obs = 193734

- DMS-17 (52659)
- ◆ DMS-18 (42763)
- ▲ CORIOLIS (16981)
- ▼ FY-3D (10704)
- × AMSR2 (39876)
- GPM (30751)



ECMWF data coverage (all observations) - GROUND-BASED GPS  
28/08/2020 00  
Total number of obs = 150843

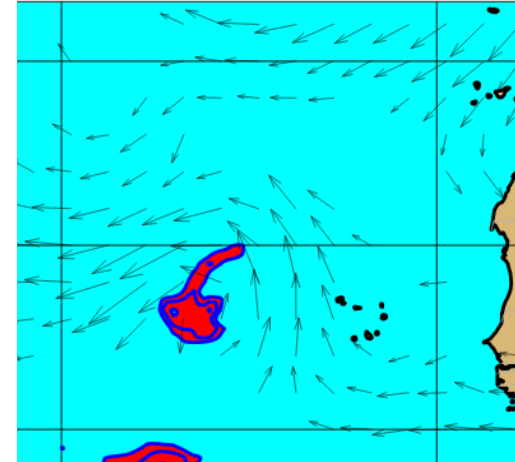
- Ground-Based GPS (150843)





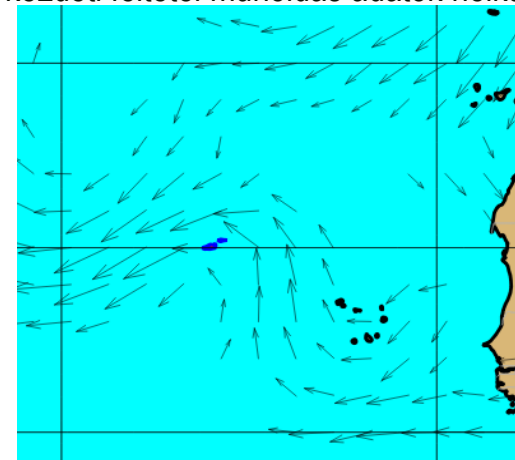
# A felhasznált információk jelentősége

700 hPa relatív nedvesség & szél  
kezdeti feltétel műholdas adatokkal



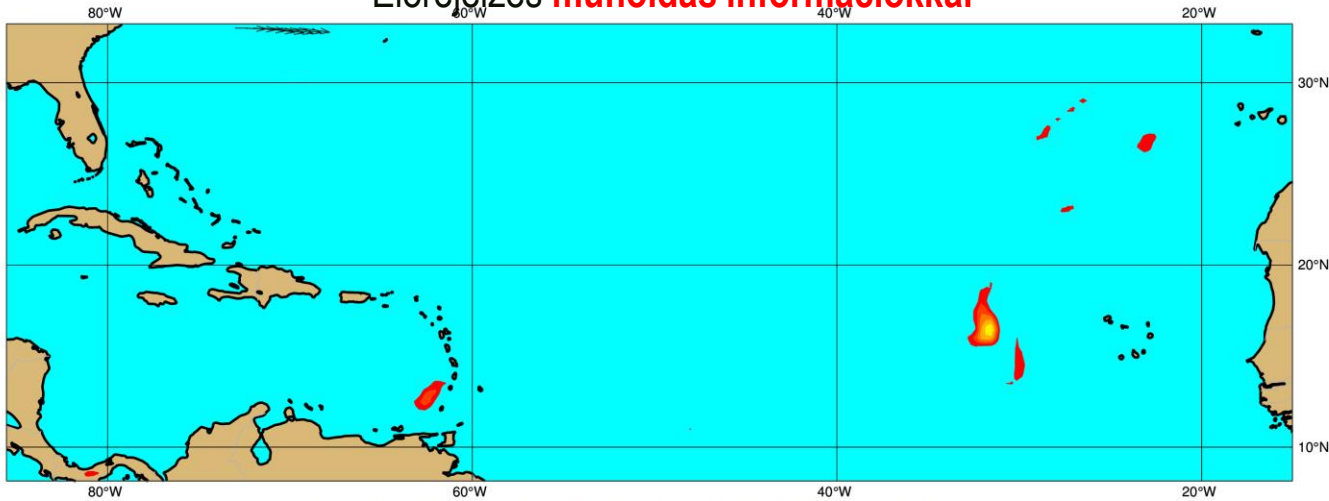
**Nedvesség > 95%**

700 hPa relatív nedvesség & szél  
kezdeti feltétel műholdas adatok nélkül



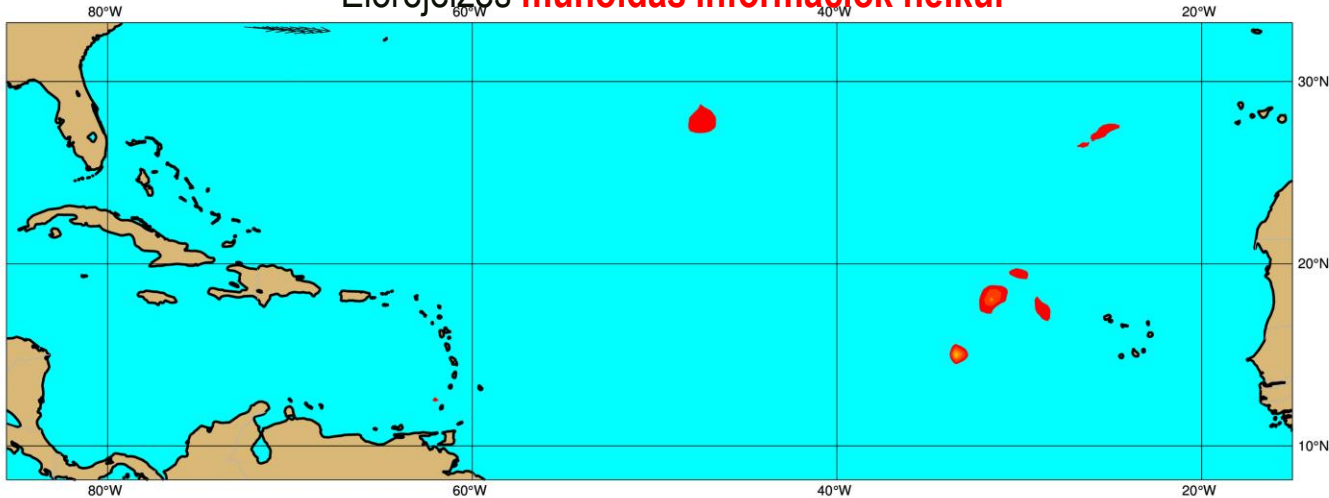
# A felhasznált információk jelentősége

Előrejelzés **műholdas információkkal**

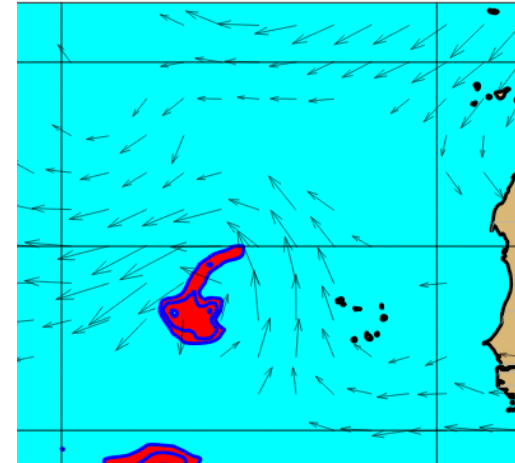


Thursday 31 August 2017 00 UTC ecmf 500 hPa Vorticity (relative)  
Thursday 31 August 2017 00 UTC ecmf 500 hPa U component of wind/V component of wind

Előrejelzés **műholdas információk nélkül**

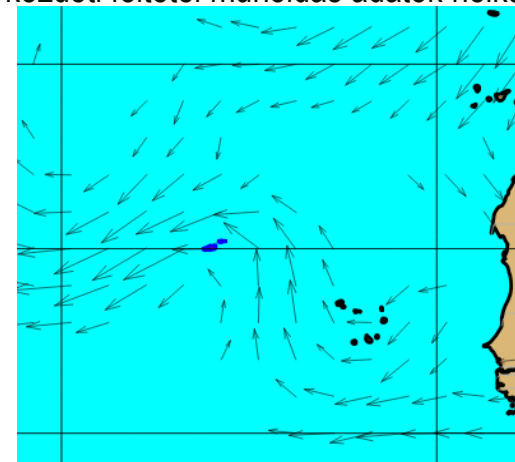


700 hPa relatív nedvesség & szél  
kezdeti feltétel műholdas adatokkal



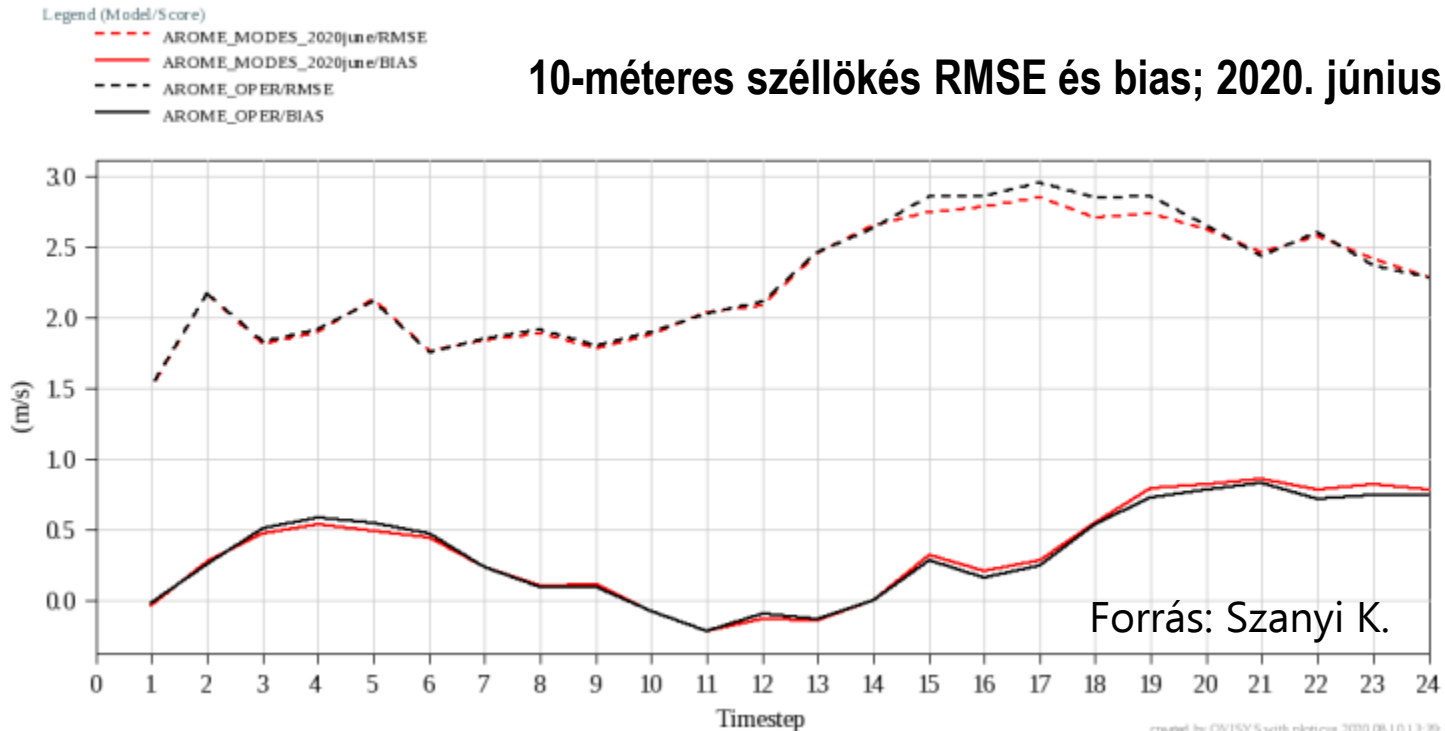
**Nedvesség > 95%**

700 hPa relatív nedvesség & szél  
kezdeti feltétel műholdas adatok nélkül



# Új megfigyelések figyelembevétele

- Minden újabb megfigyelés hozzájárul a kezdeti feltétel pontosabb becsléséhez



	AROME
Adatasszimiláció típusa és gyakorisága	3 óránként 3D-Var + felszíni adatasszimiláció
Felhasznált megfigyelések	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SYNOP (u, v, T, RH, z)</li> <li>• TEMP (u, v, T, q)</li> <li>• AMDAR (u, v, T, nedvesség)</li> <li>• Szlovén Mode-S MRAR</li> <li>• <b>Cseh Mode-S MRAR</b></li> <li>• GNSS ZTD</li> </ul>

- Légiforgalom irányító radar által vett repülőgépes pozíció- és mérési adatok (Mode-S) asszimilációjának hatása

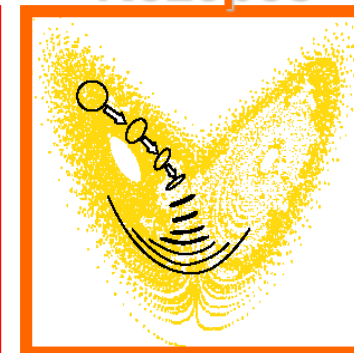
# Ensemble előrejelzések

- 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)

**Magas**



**Közepes**



**Alacsony**

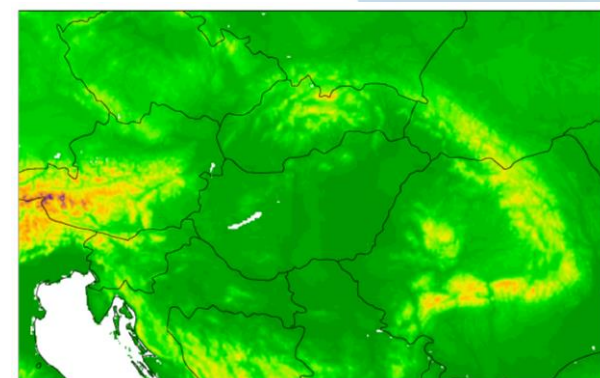
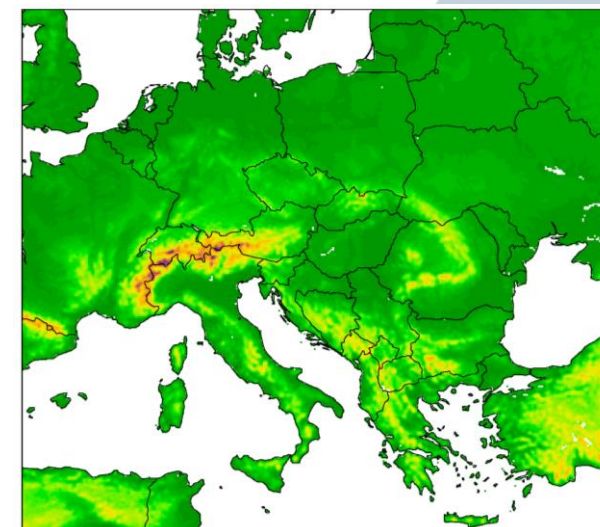
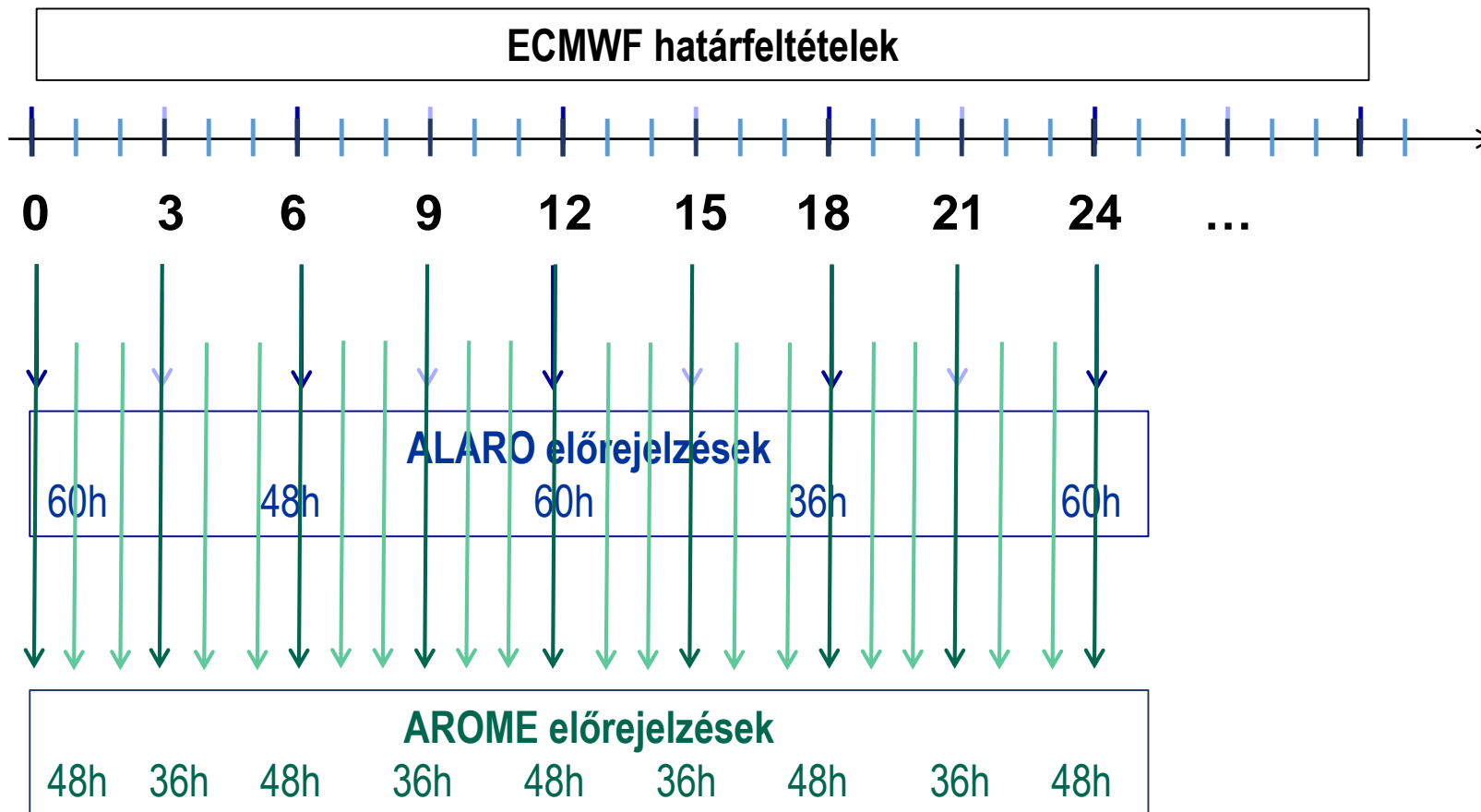


# A bizonytalanság forrása és számszerűsítése

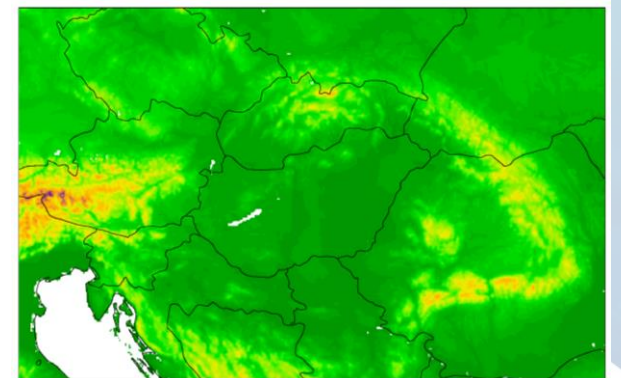
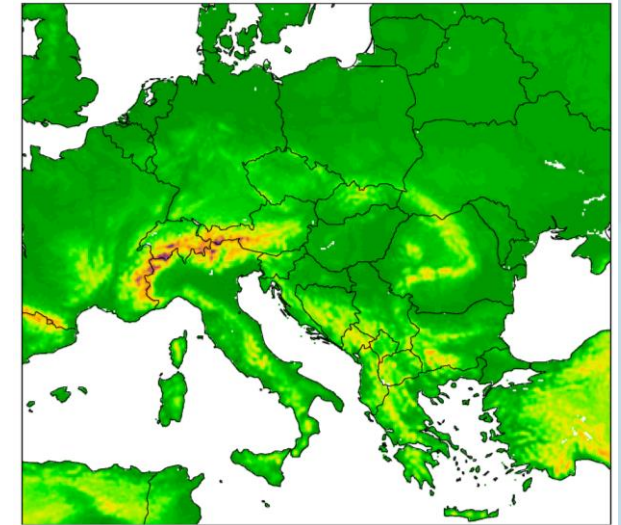
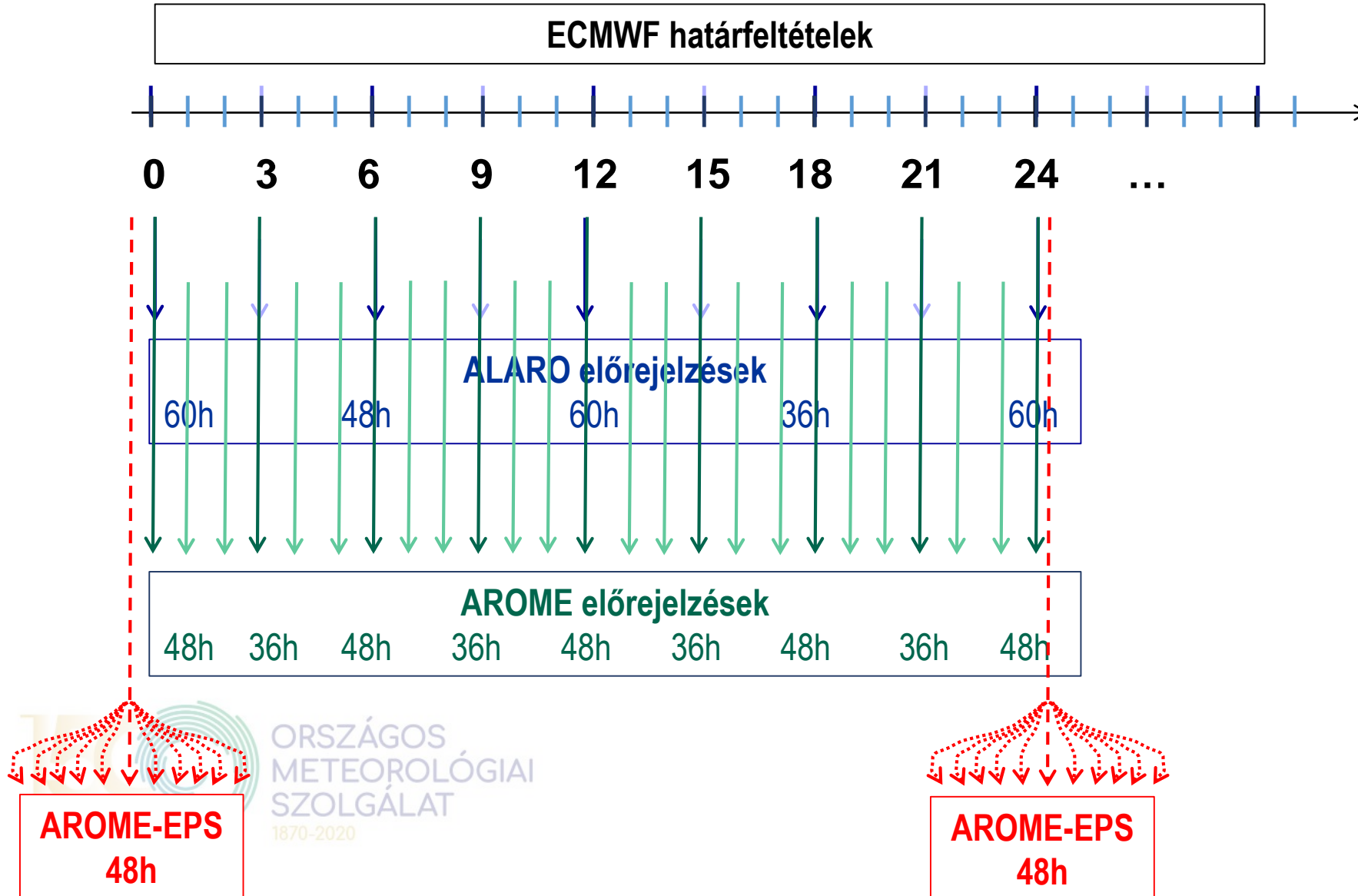
- Kezdeti feltételek bizonytalansága, modellbizonytalanság, határfeltételek bizonytalansága, légkör kaotikus jellege
- Perturbáció, modellhiba reprezentáció
- Egy helyett több előrejelzés – ensemble előrejelzés + valószínűségi információ
- Megjelenítés pl. fáklya diagrammal, meteogrammal, valószínűségi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



# Operatív modellfuttatások rendszere



# Operatív modellfuttatások rendszere



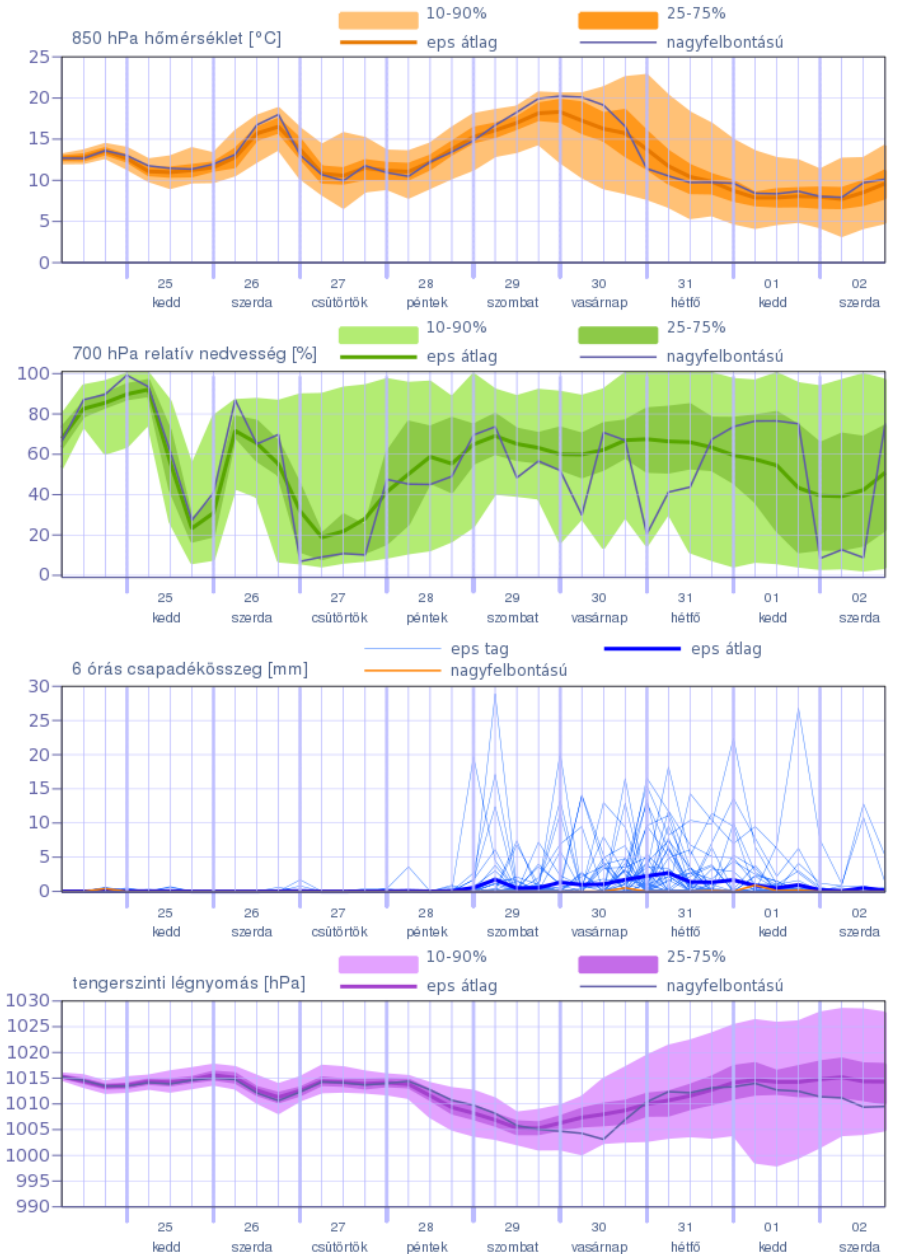
# Ensemble előrejelzések



# Ensemble előrejelzések

ECMWF valószínűségi előrejelzés: Budapest

Készült: 2020.08.24 00 UTC-s futtatásból

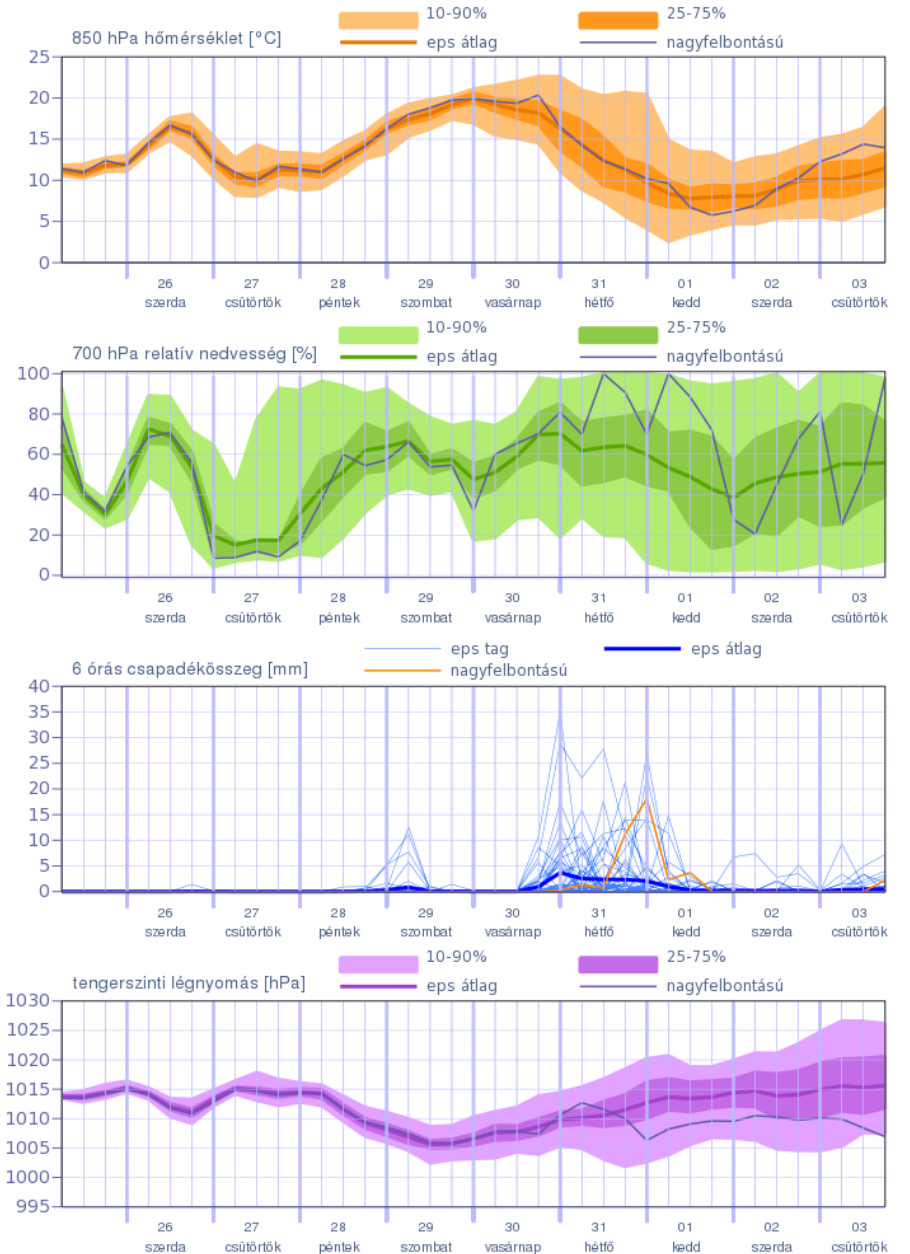


ORSZÁGOS  
METEOROLÓGIAI  
SZOLGÁLAT  
1870-2020

# Ensemble előrejelzések

ECMWF valószínűségi előrejelzés: Budapest

Készült: 2020.08.25 00 UTC-s futtatásból

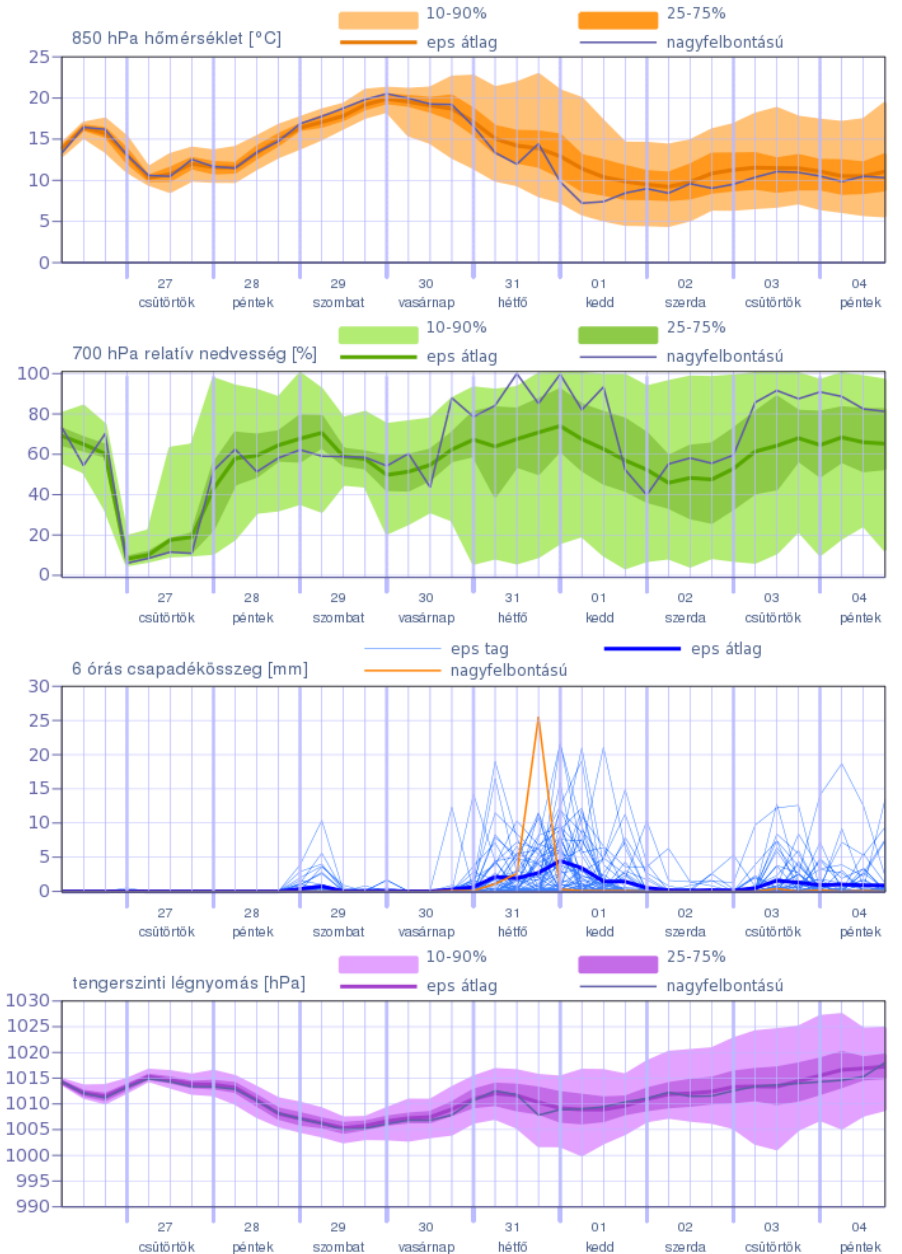


ORSZÁGOS  
METEOROLÓGIAI  
SZOLGÁLAT  
1870-2020

# Ensemble előrejelzések

ECMWF valószínűségi előrejelzés: Budapest

Készült: 2020.08.26 00 UTC-s futtatásból

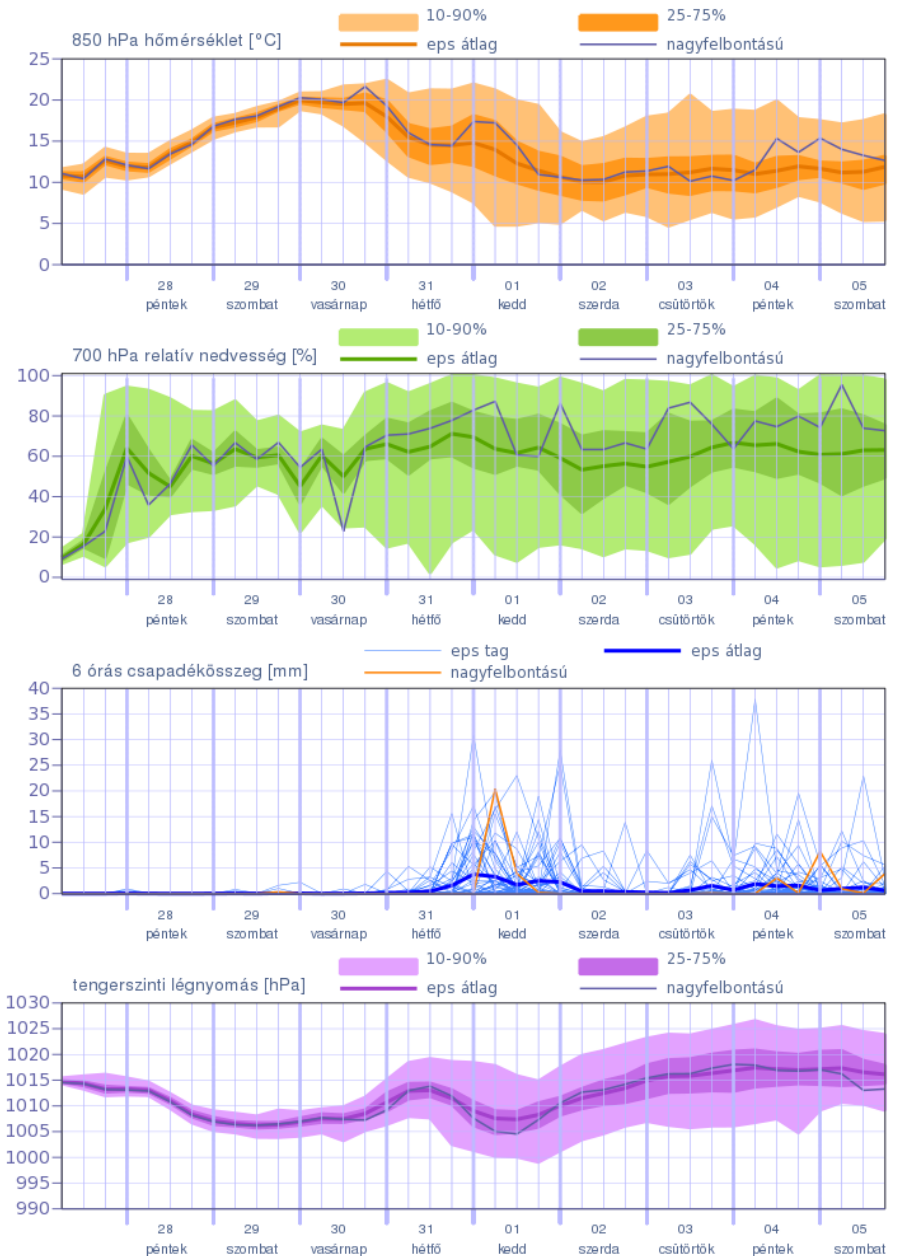


ORSZÁGOS  
METEOROLÓGIAI  
SZOLGÁLAT  
1870-2020

# Ensemble előrejelzések

ECMWF valószínűségi előrejelzés: Budapest

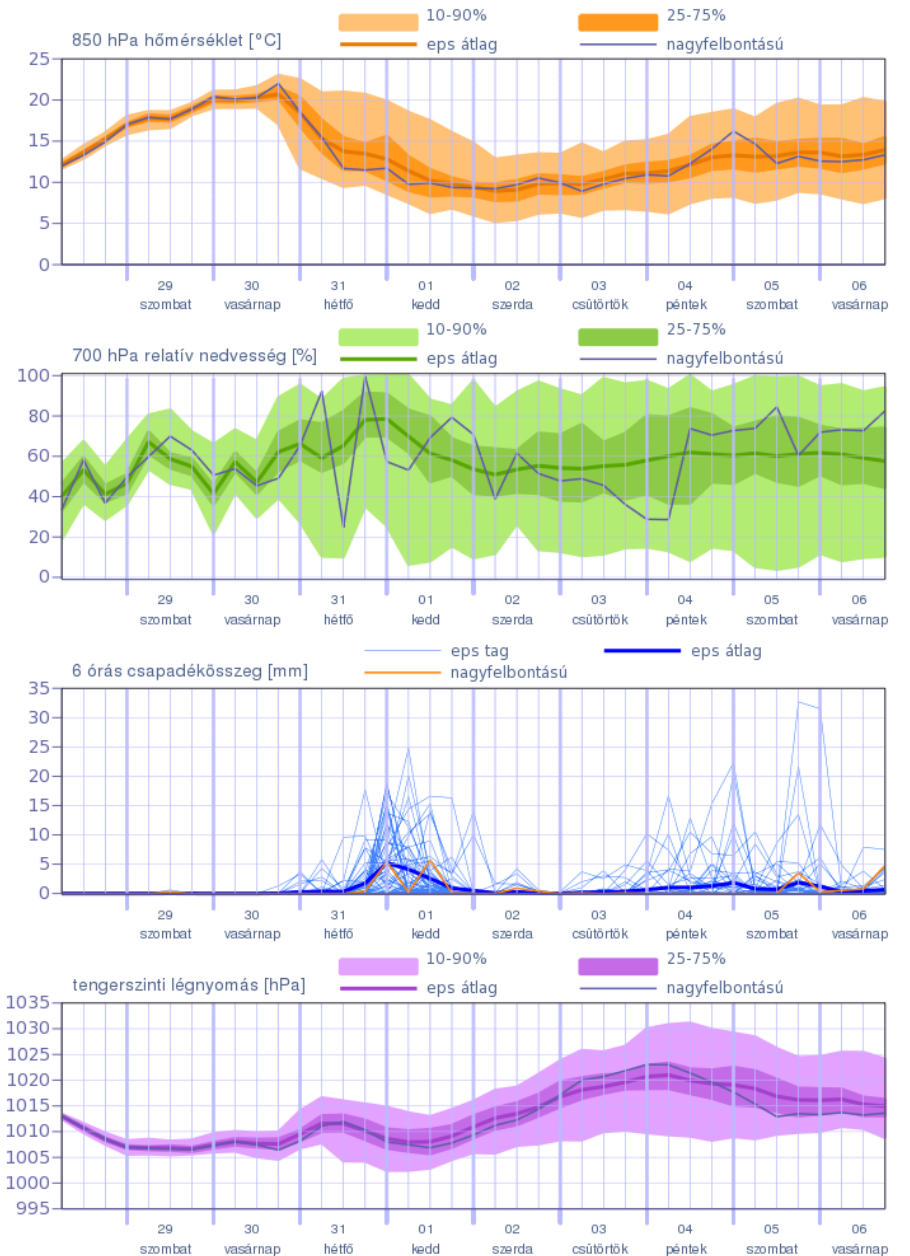
Készült: 2020.08.27 00 UTC-s futtatásból



# Ensemble előrejelzések

ECMWF valószínűségi előrejelzés: Budapest

Készült: 2020.08.28 00 UTC-s futtatásból

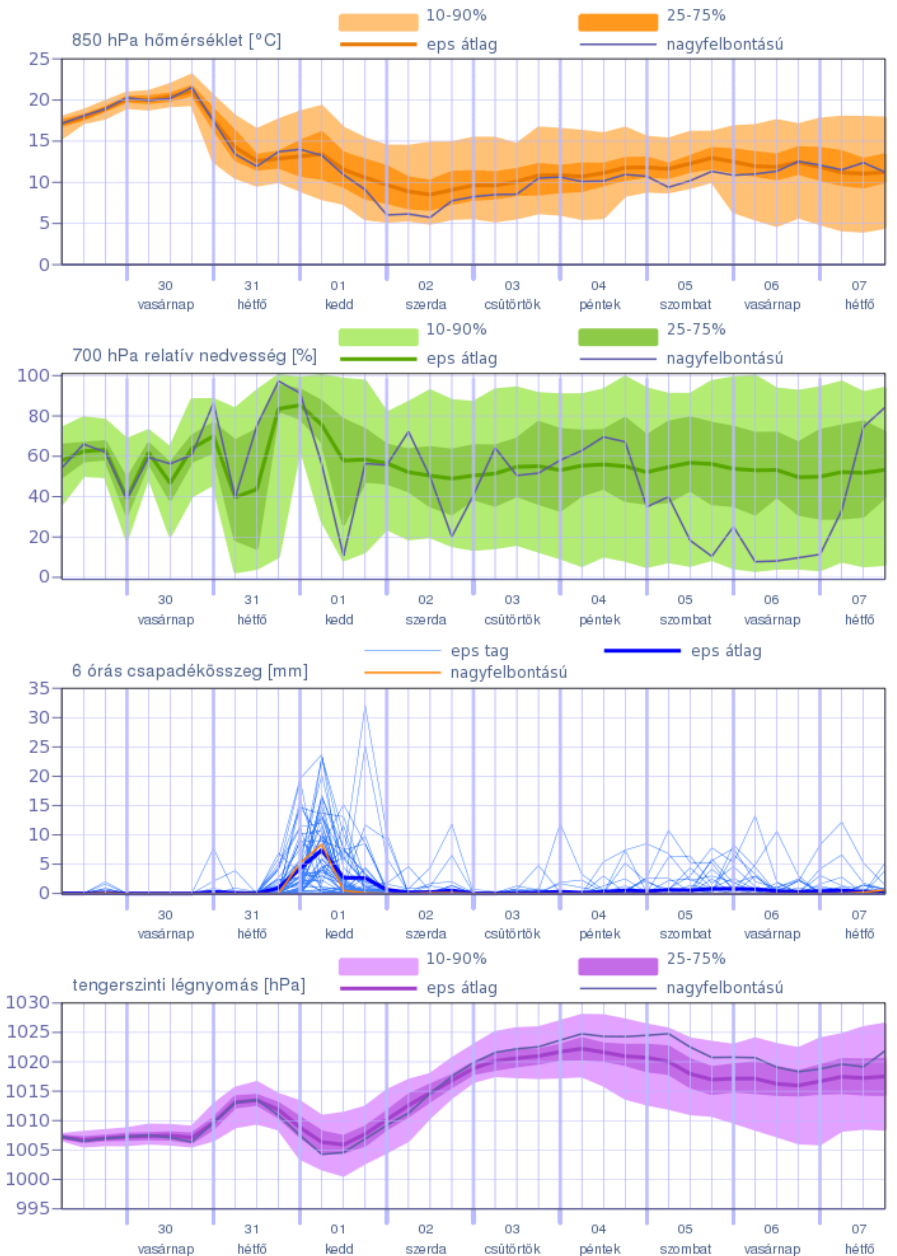


ORSZÁGOS  
METEOROLÓGIAI  
SZOLGÁLAT  
1870-2020

# Ensemble előrejelzések

ECMWF valószínűségi előrejelzés: Budapest

Készült: 2020.08.29 00 UTC-s futtatásból

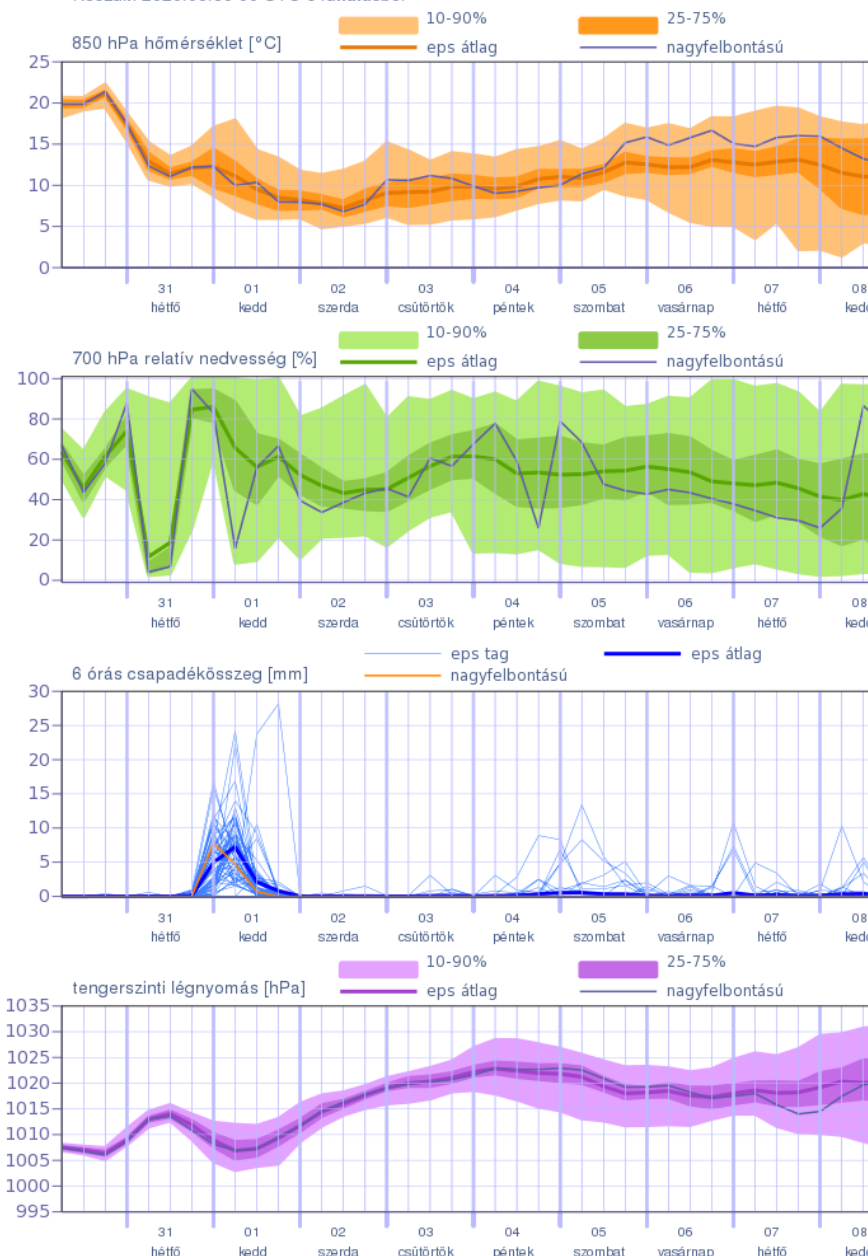


ORSZÁGOS  
METEOROLÓGIAI  
SZOLGÁLAT  
1870-2020

# Ensemble előrejelzések

ECMWF valószínűségi előrejelzés: Budapest

Készült: 2020.08.30 00 UTC-s futtatásból

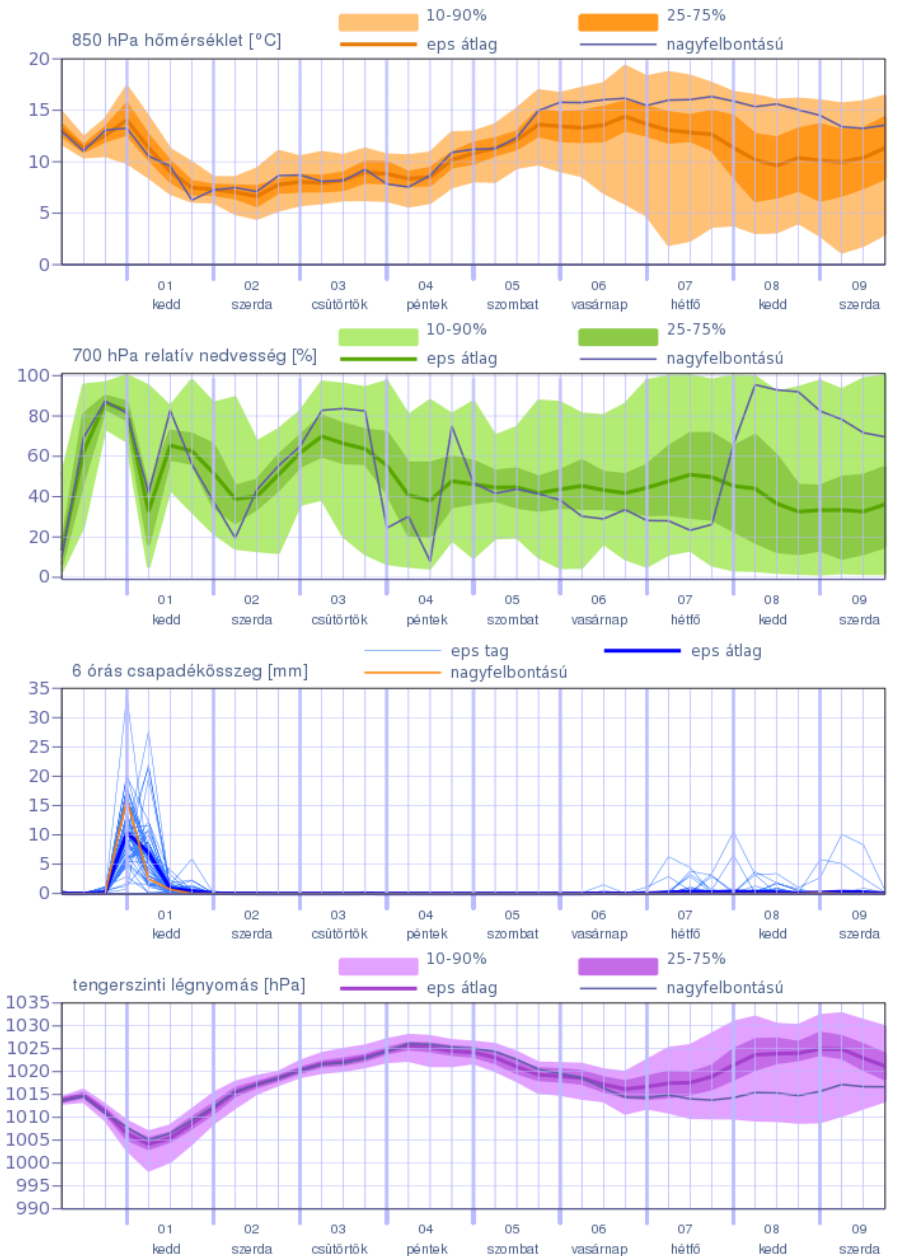


ORSZÁGOS  
METEOROLÓGIAI  
SZOLGÁLAT  
1870-2020

# Ensemble előrejelzések

ECMWF valószínűségi előrejelzés: Budapest

Készült: 2020.08.31 00 UTC-s futtatásból

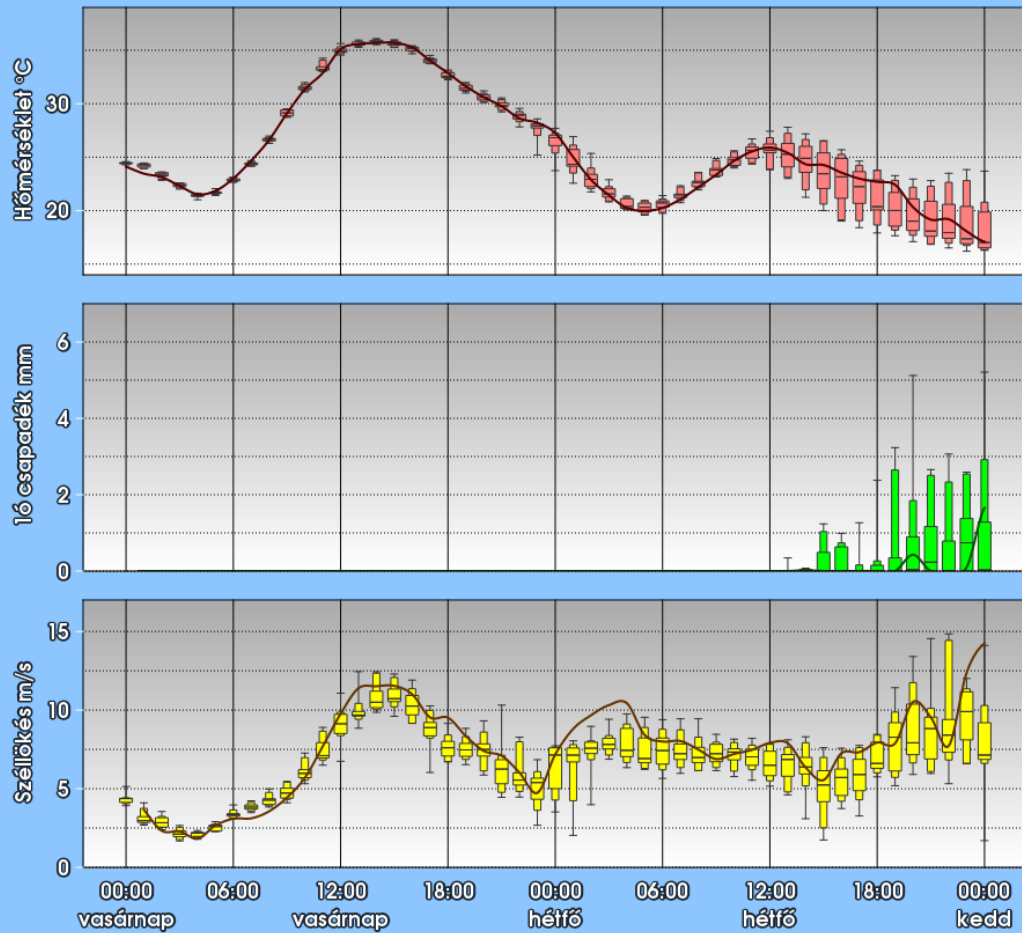


ORSZÁGOS  
METEOROLÓGIAI  
SZOLGÁLAT  
1870-2020



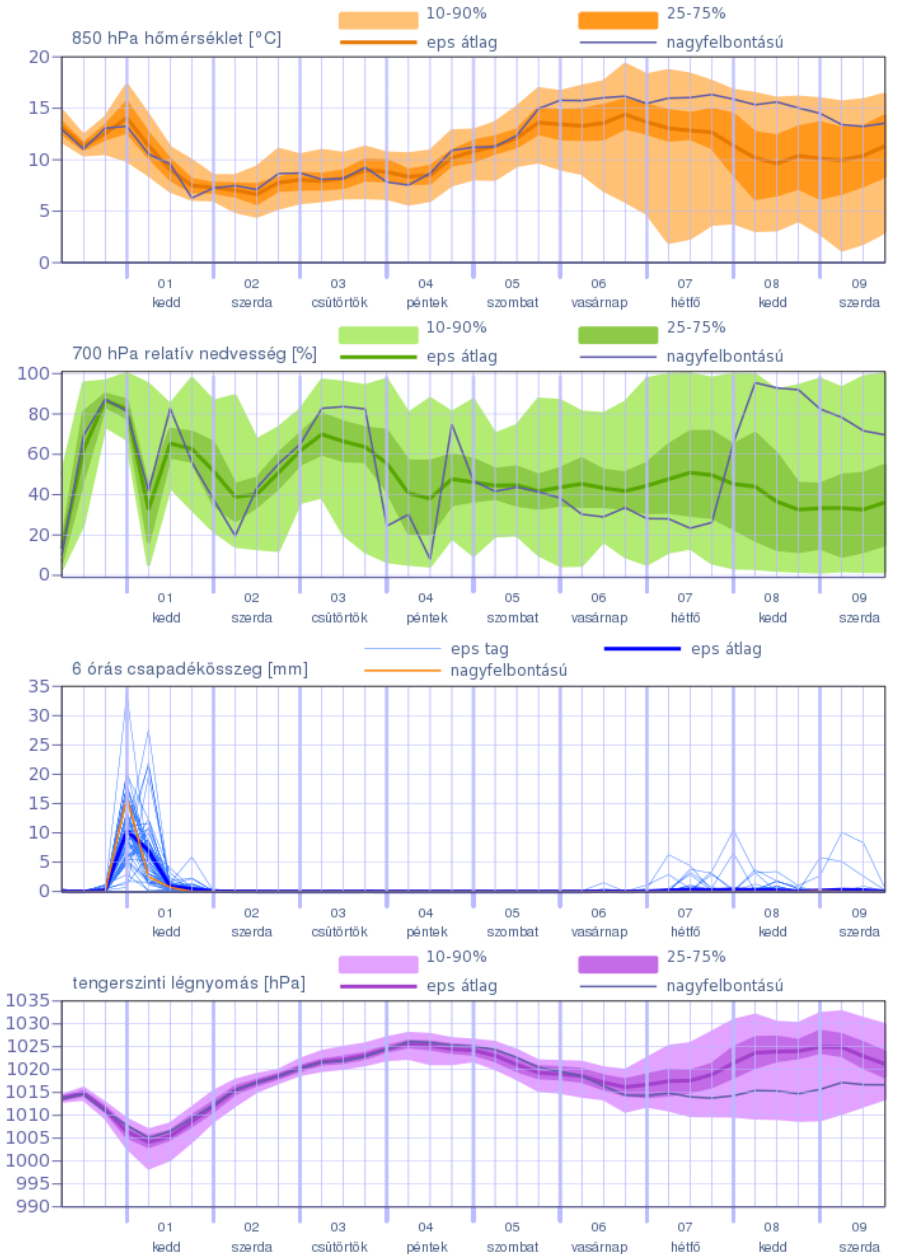
# Ensemble előrejelzések

AROME-EPS Budapest 2020. augusztus 30. 00:00 - szeptember 1. 00:00



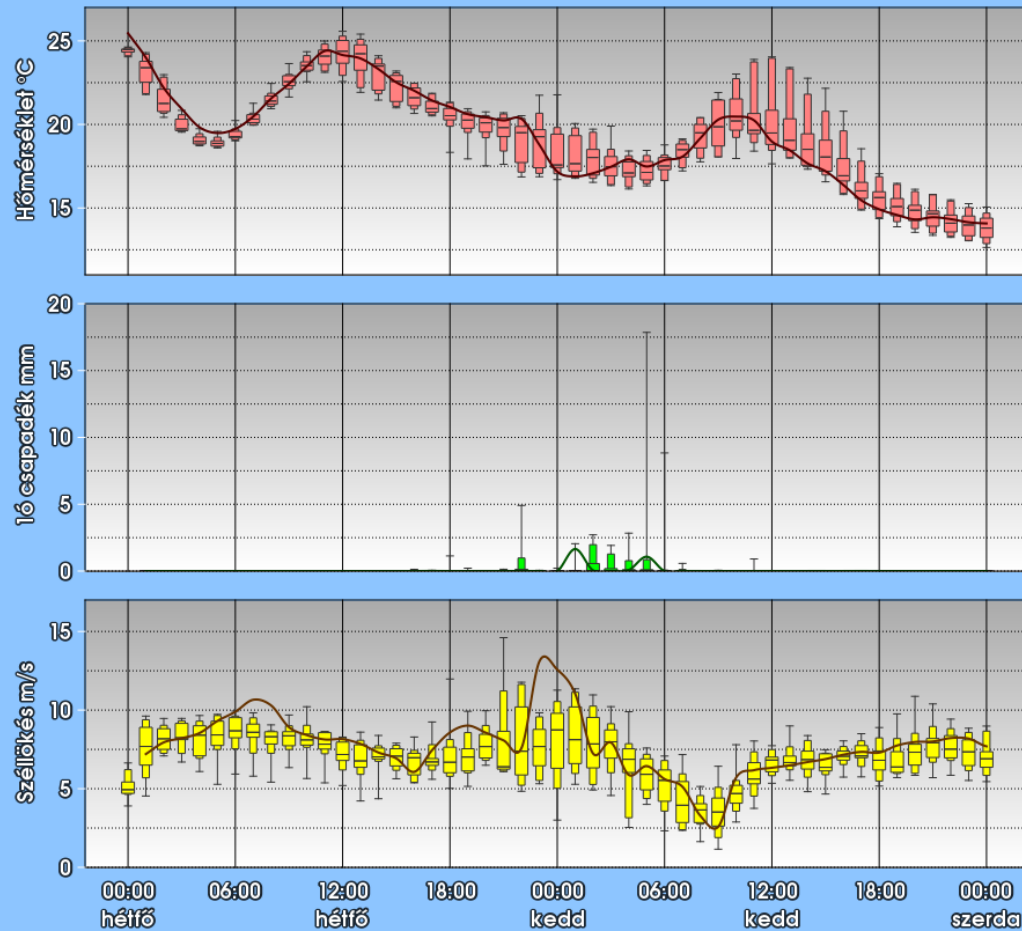
ECMWF valószínűségi előrejelzés: Budapest

Készült: 2020.08.31 00 UTC-s futtatásból



# Ensemble előrejelzések

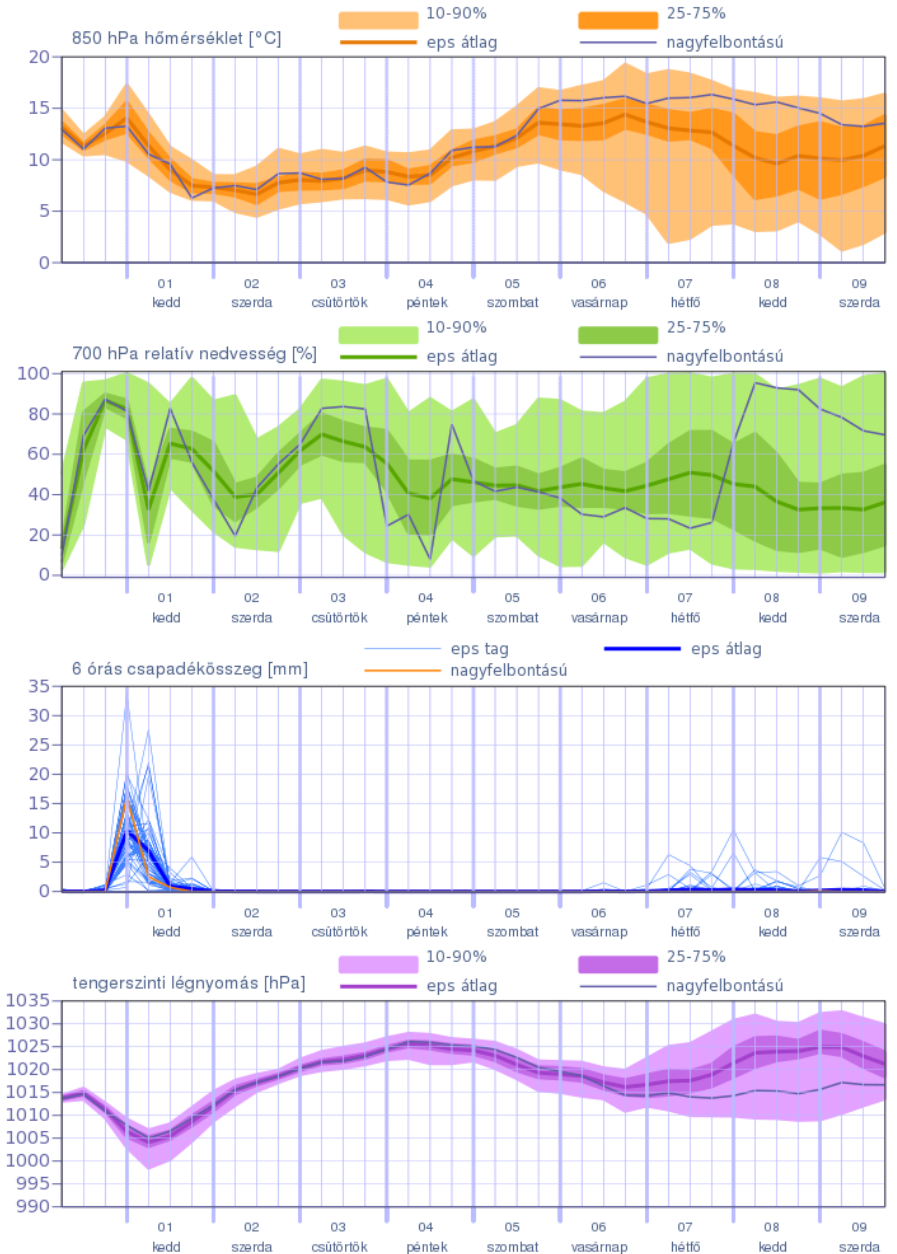
AROME-EPS Budapest 2020. augusztus 31. 00:00 - szeptember 2. 00:00



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

ECMWF valószínűségi előrejelzés: Budapest

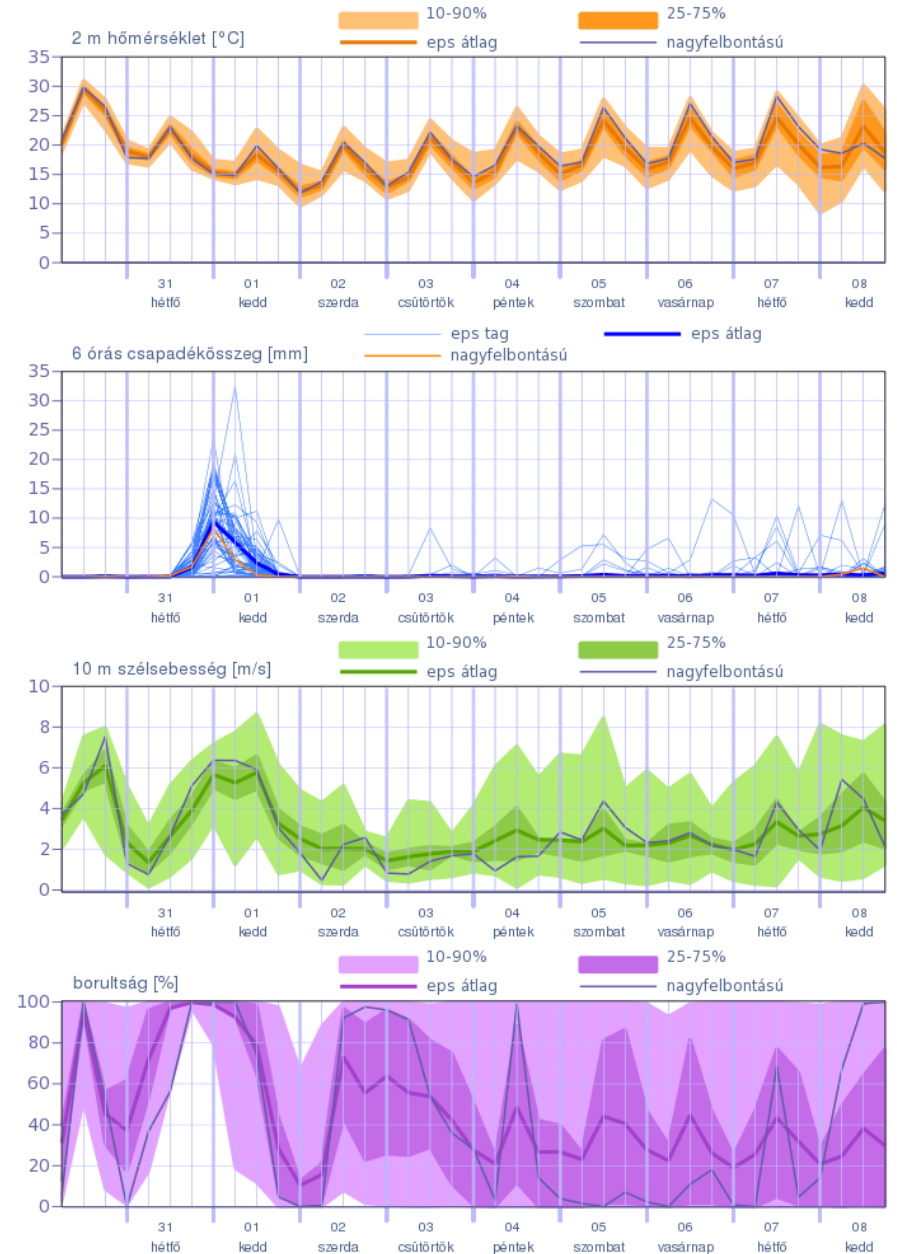
Készült: 2020.08.31 00 UTC-s futtatásból



# Ensemble előrejelzések

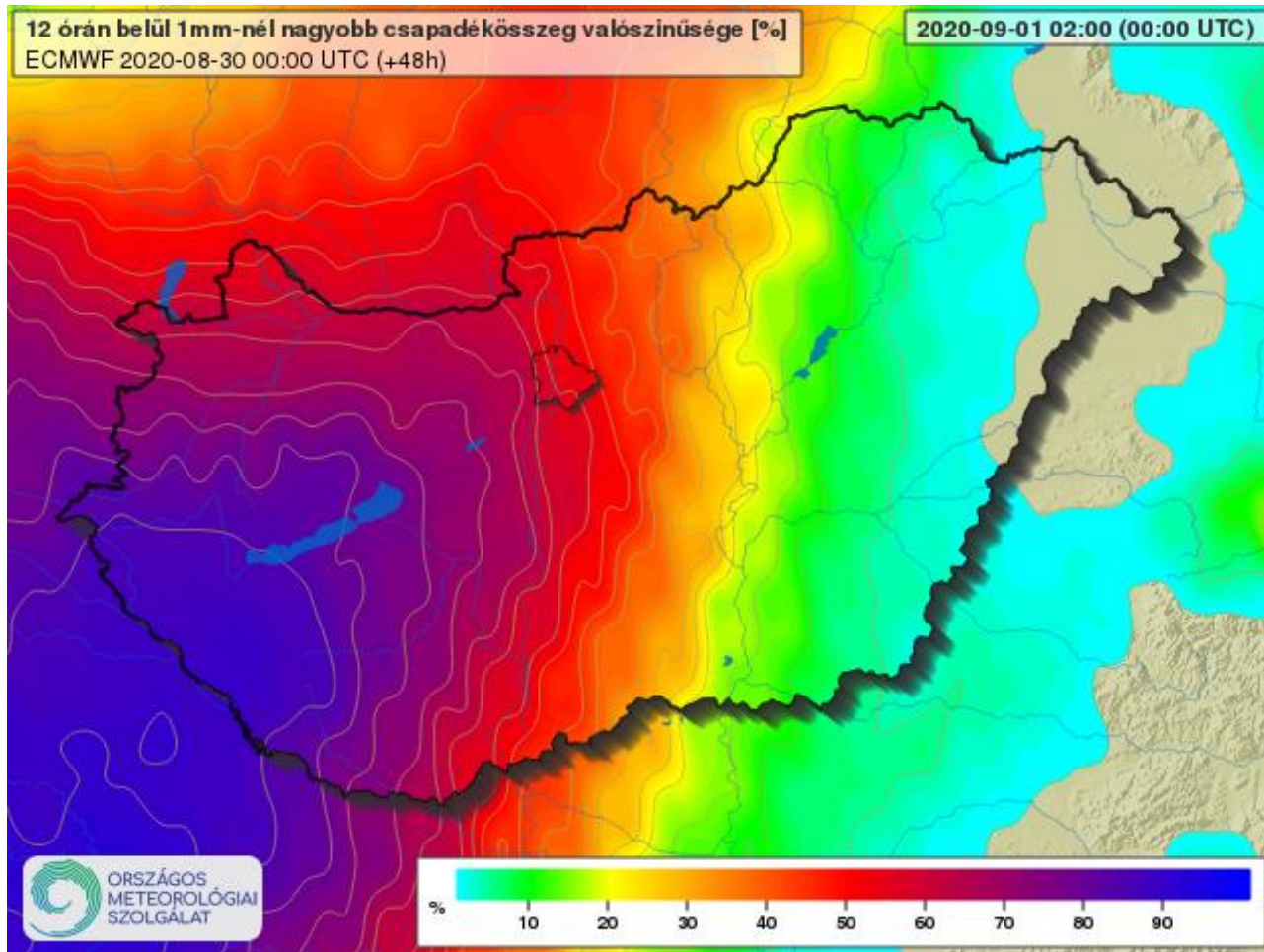
ECMWF valószínűségi előrejelzés: Szombathely

Készült: 2020.08.30 00 UTC-s futtatásból



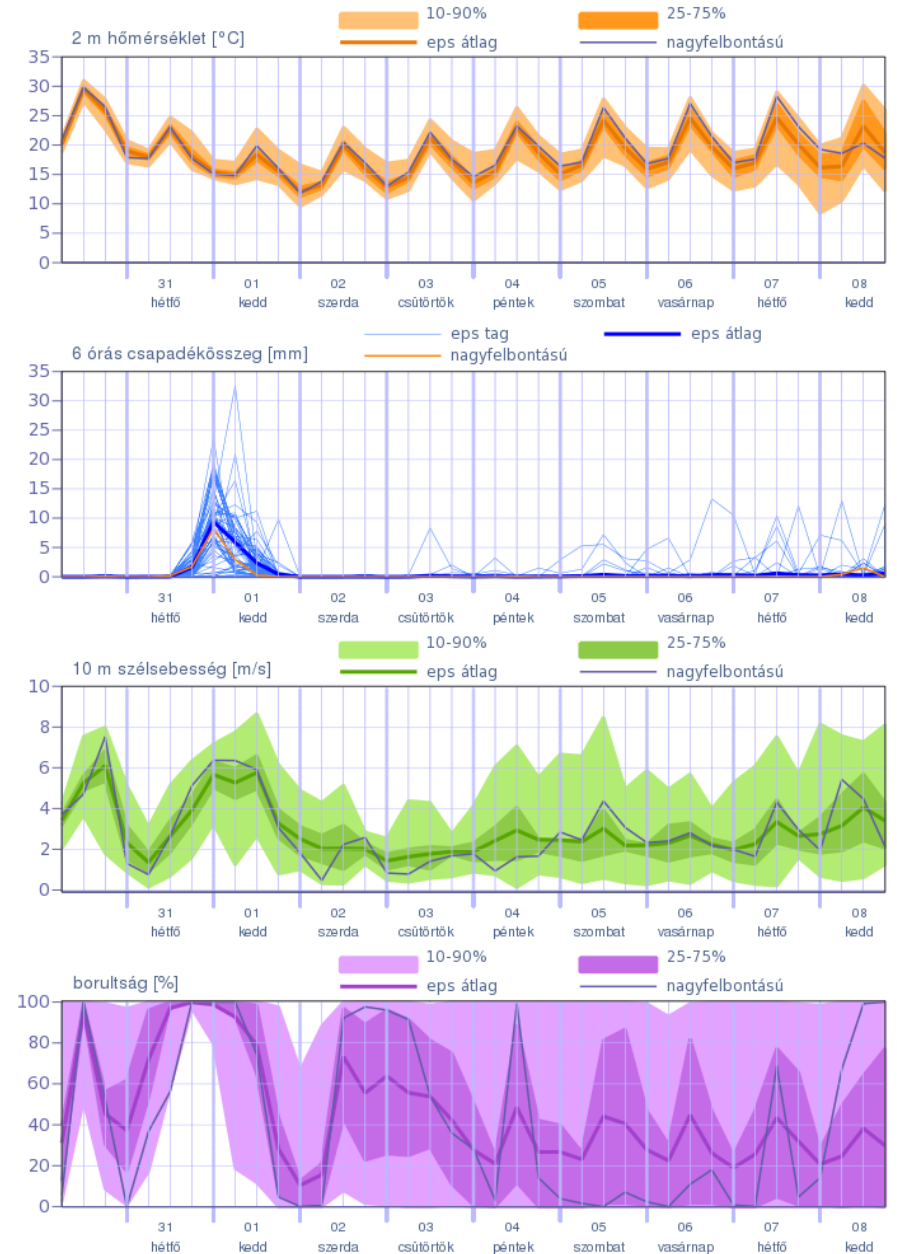
ORSZÁGOS  
METEOROLÓGIAI  
SZOLGÁLAT  
1870-2020

# Ensemble előrejelzések

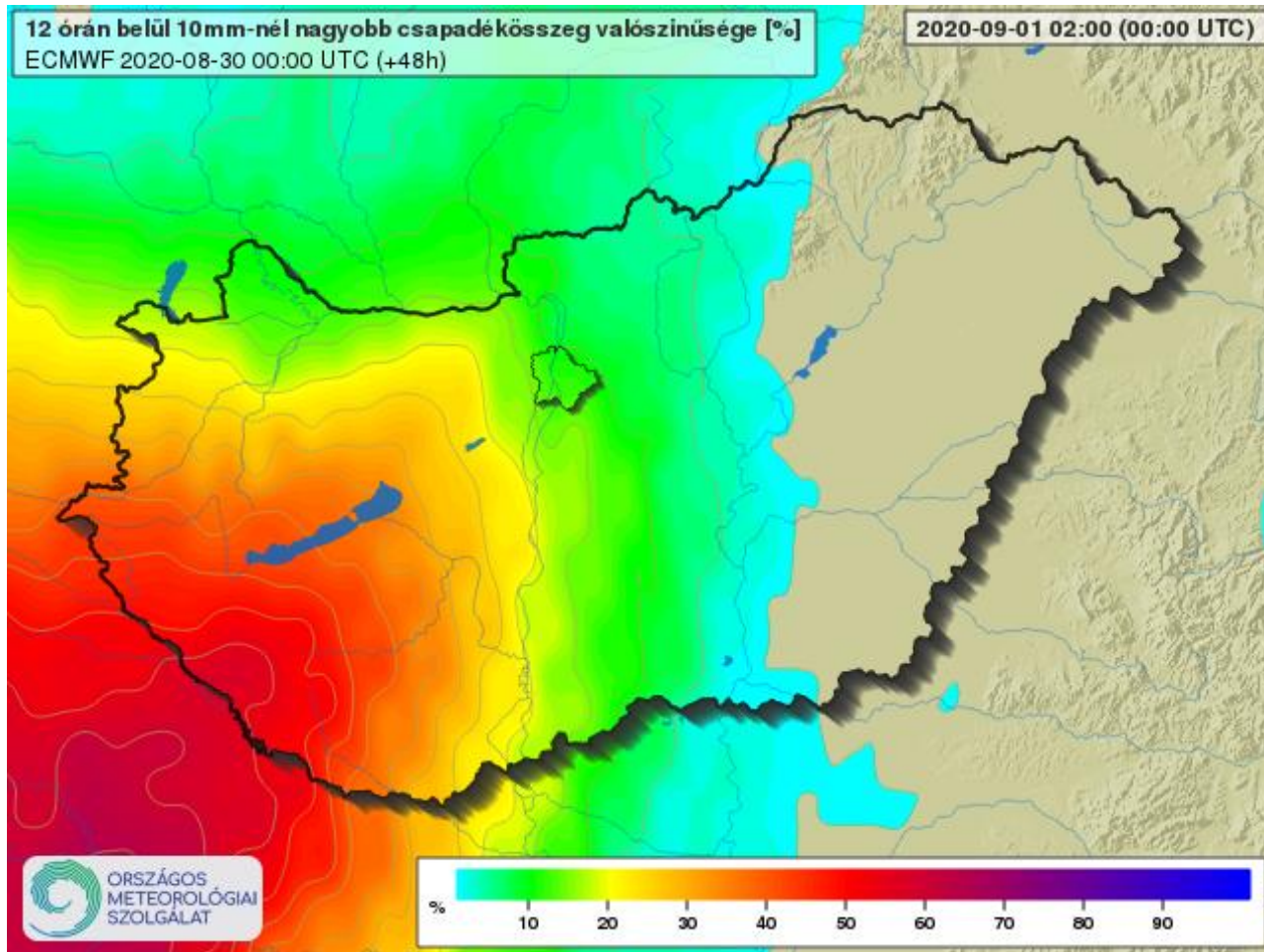


ECMWF valószínűségi előrejelzés: Szombathely

Készült: 2020.08.30 00 UTC-s futtatásból

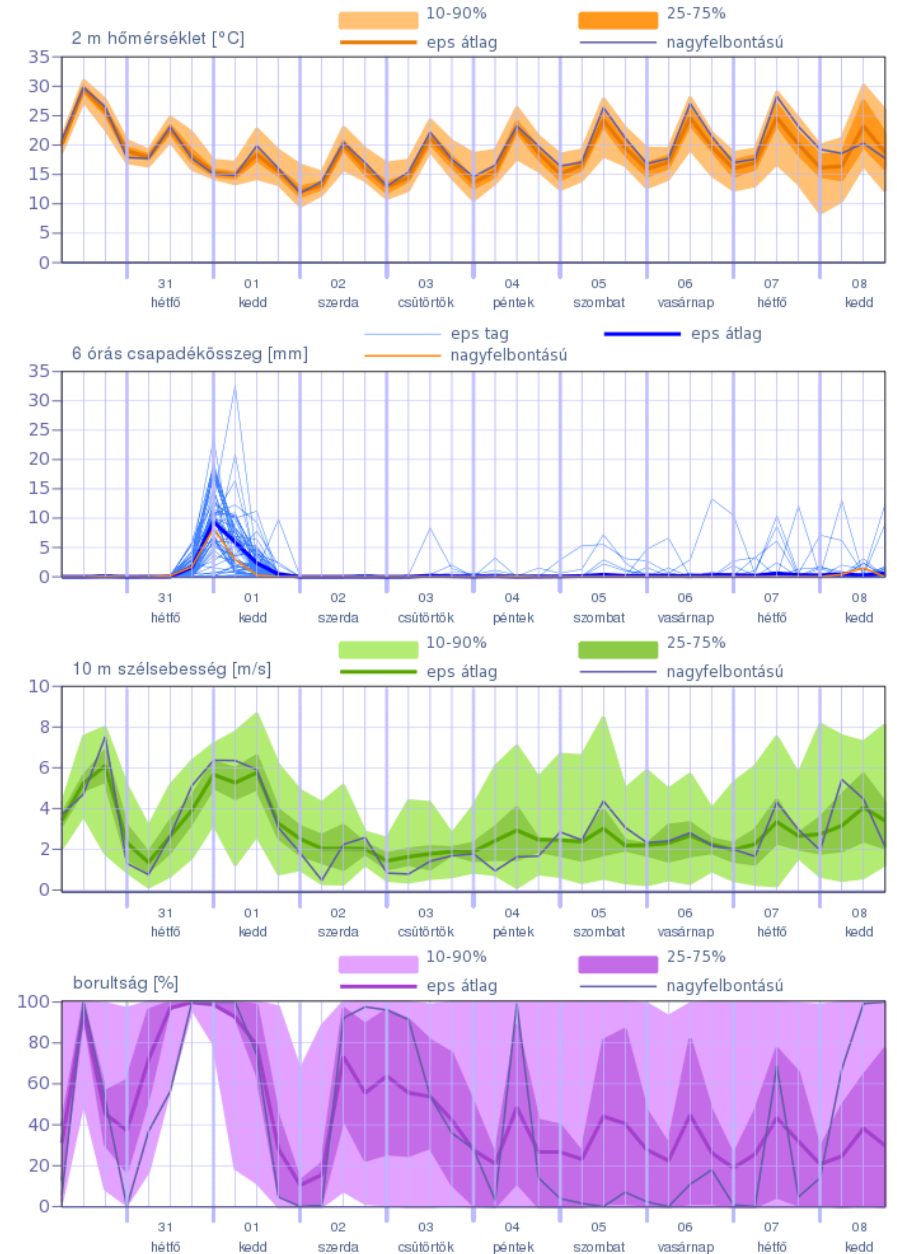


# Ensemble előrejelzések

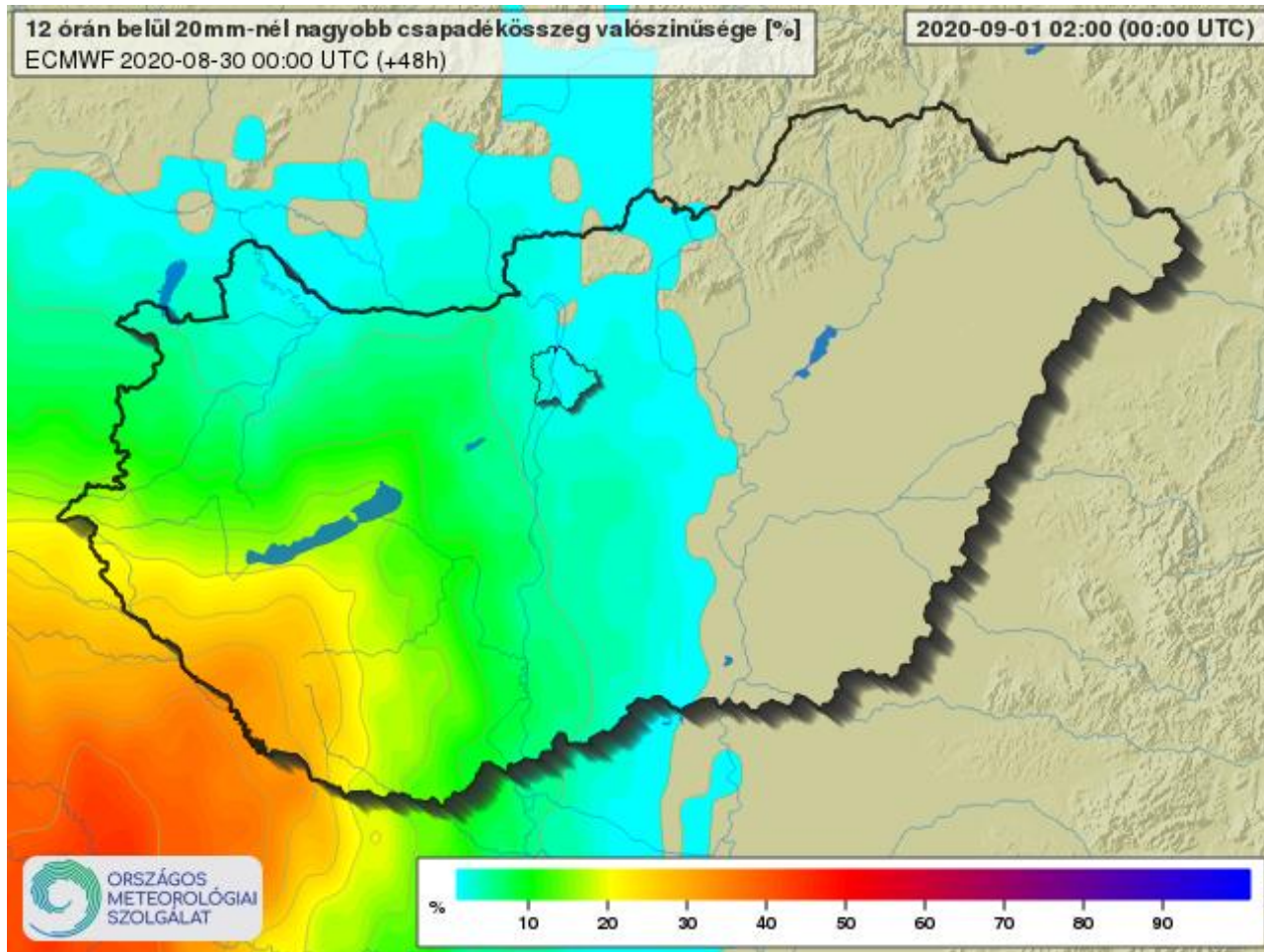


ECMWF valószínűségi előrejelzés: Szombathely

Készült: 2020.08.30 00 UTC-s futtatásból

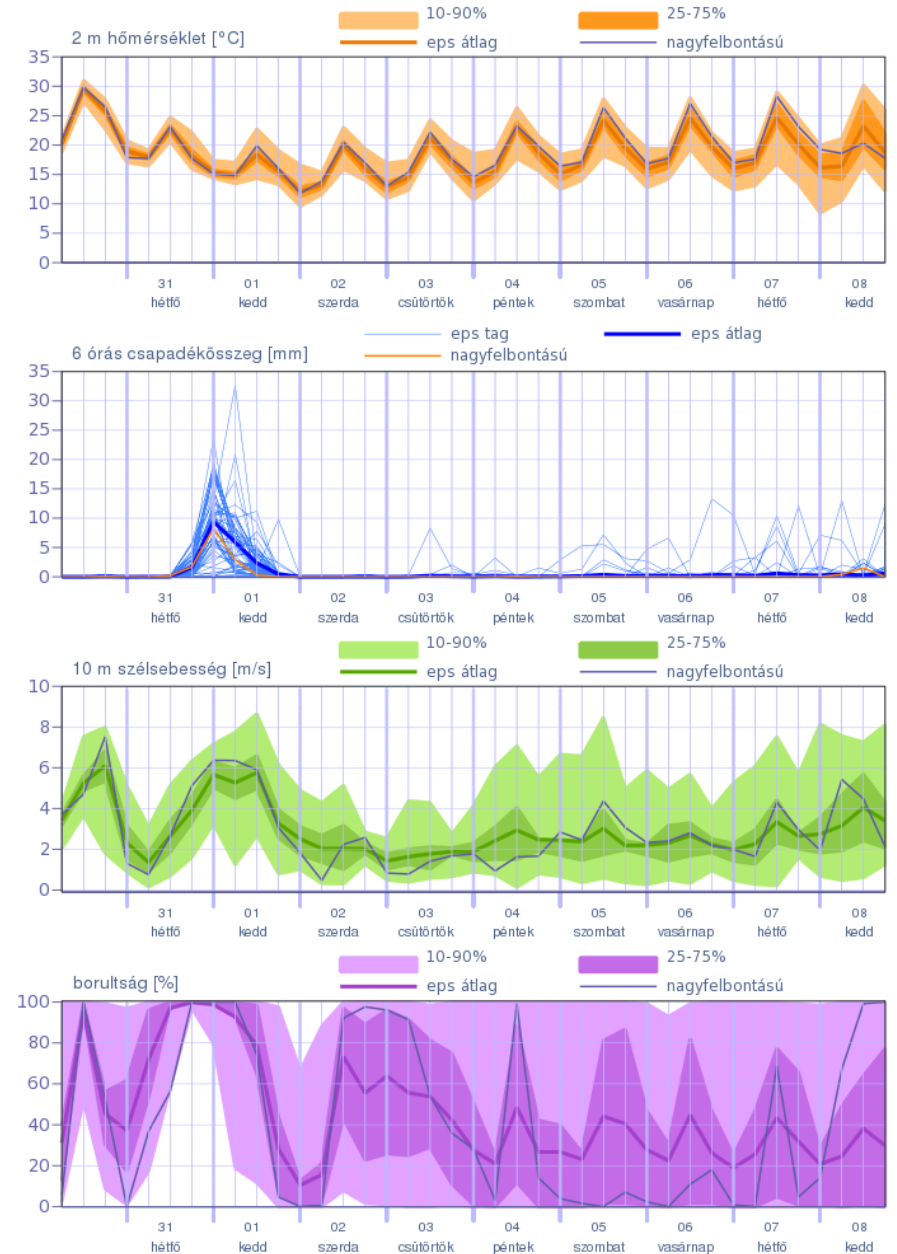


# Ensemble előrejelzések

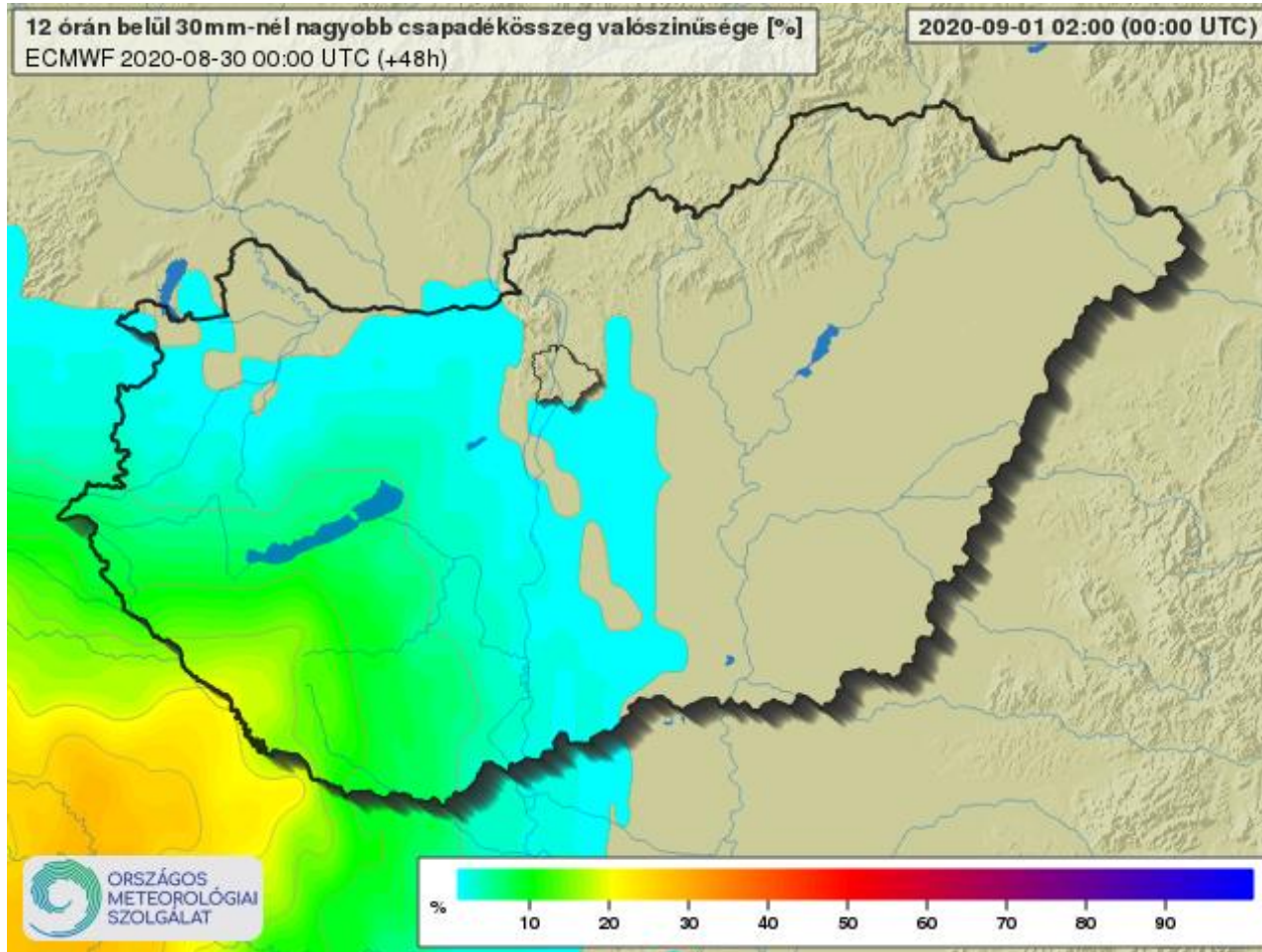


ECMWF valószínűségi előrejelzés: Szombathely

Készült: 2020.08.30 00 UTC-s futtatásból

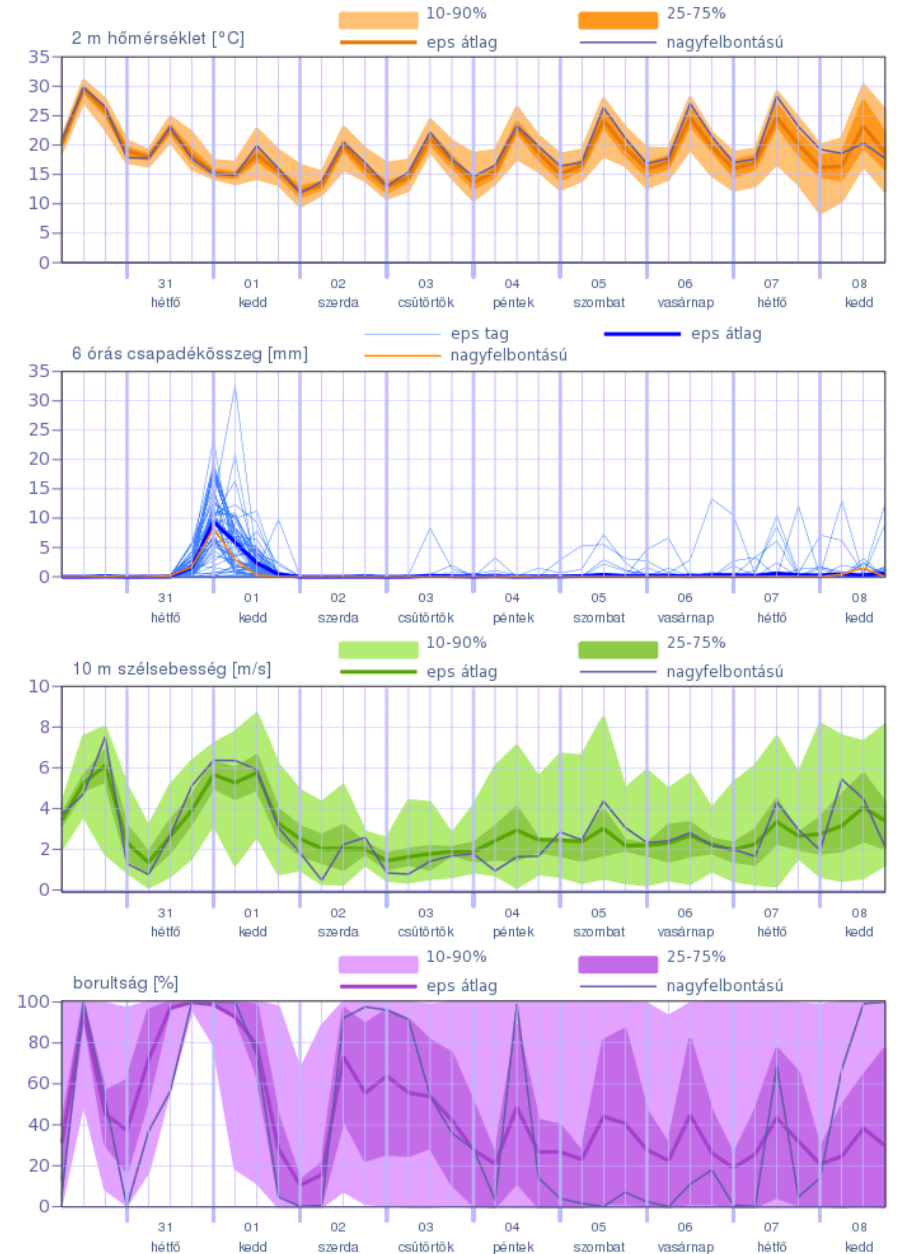


# Ensemble előrejelzések

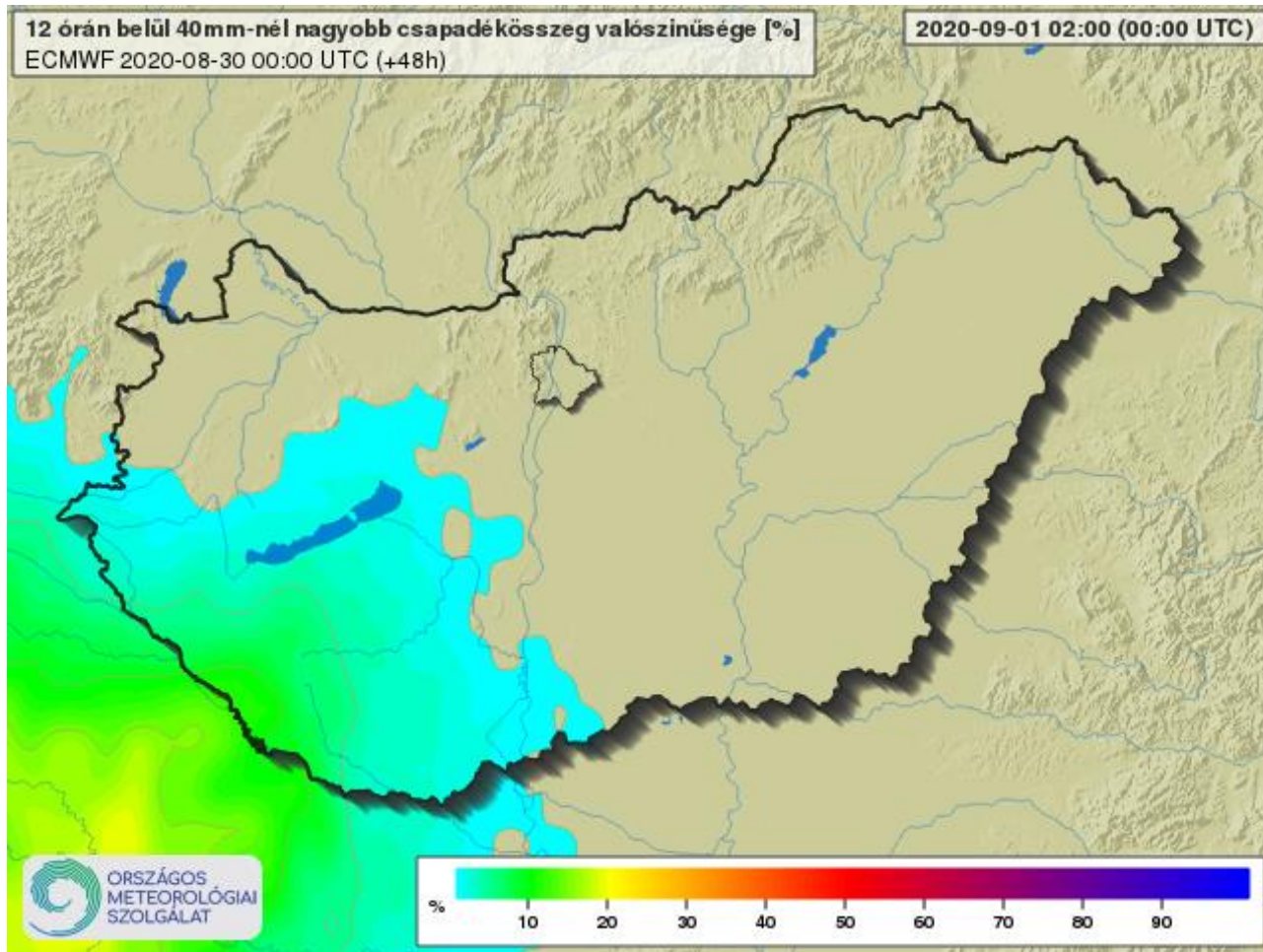


ECMWF valószínűségi előrejelzés: Szombathely

Készült: 2020.08.30 00 UTC-s futtatásból

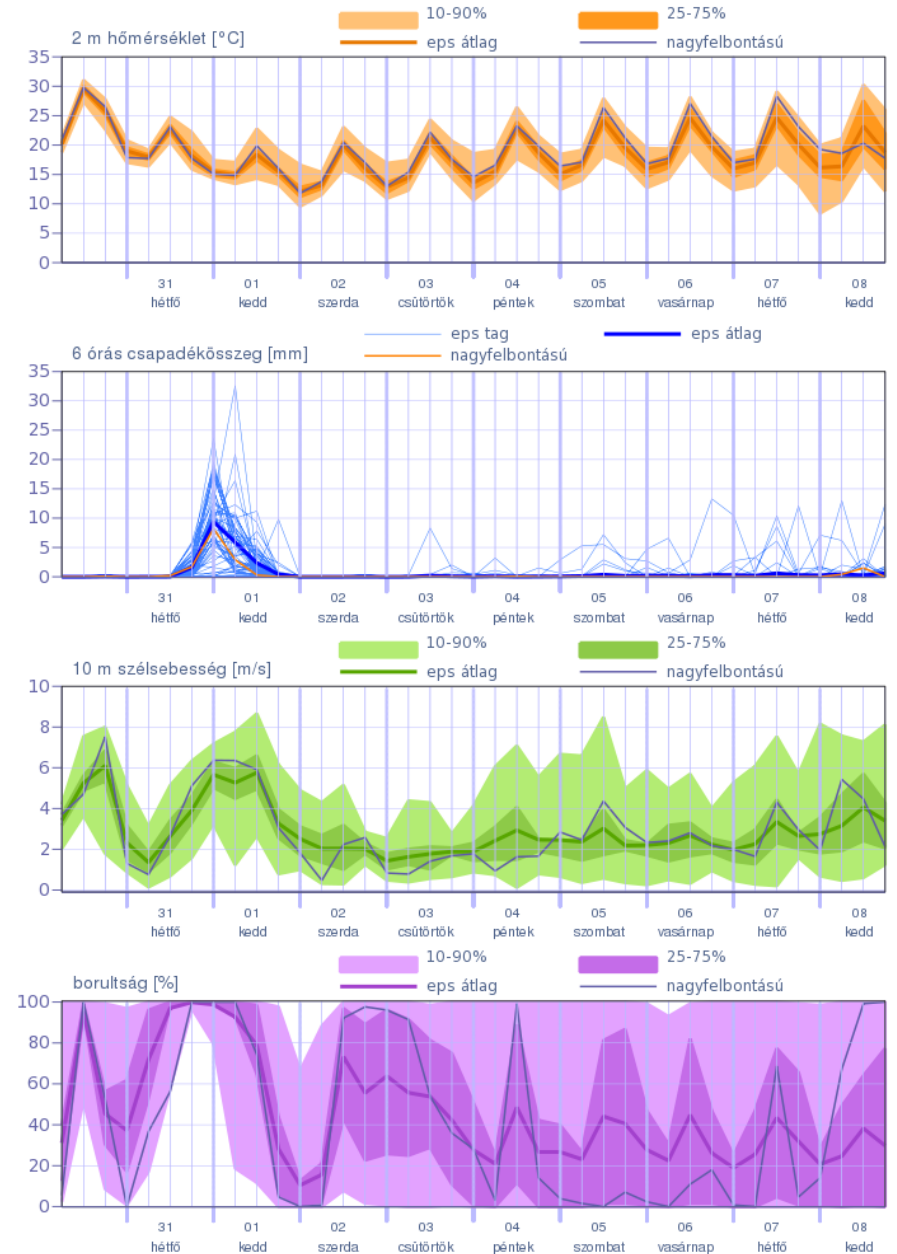


# Ensemble előrejelzések



ECMWF valószínűségi előrejelzés: Szombathely

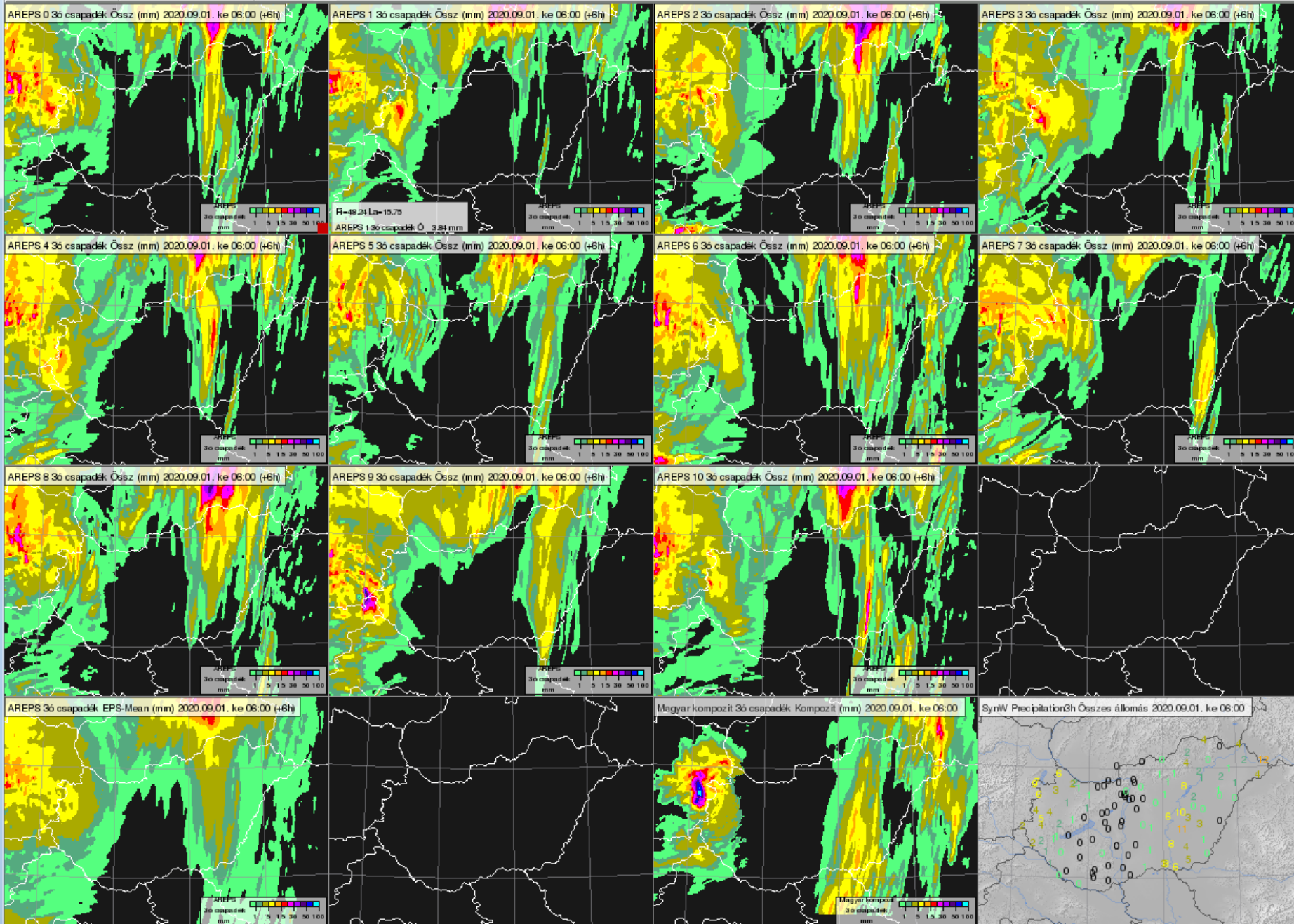
Készült: 2020.08.30 00 UTC-s futtatásból





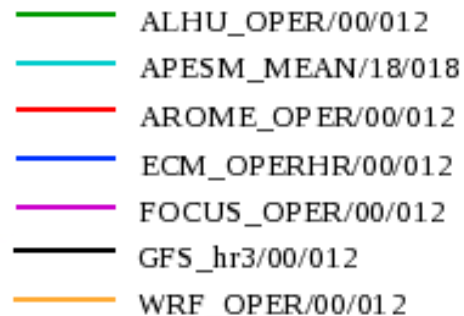
# Megjelenítés

- Az előrejelzések eredményei és a mérési információk sokféle formátumban, rácshálózaton, vertikális felbontásban, időbeli részletességgel állnak rendelkezésre
- Fontos szempont a megjelenítésnél a hatékonyság, az interaktivitás, összehasonlíthatóság
- HAWK: speciálisan az előrejelzés céljaira kifejlesztett interaktív megjelenítő rendszer

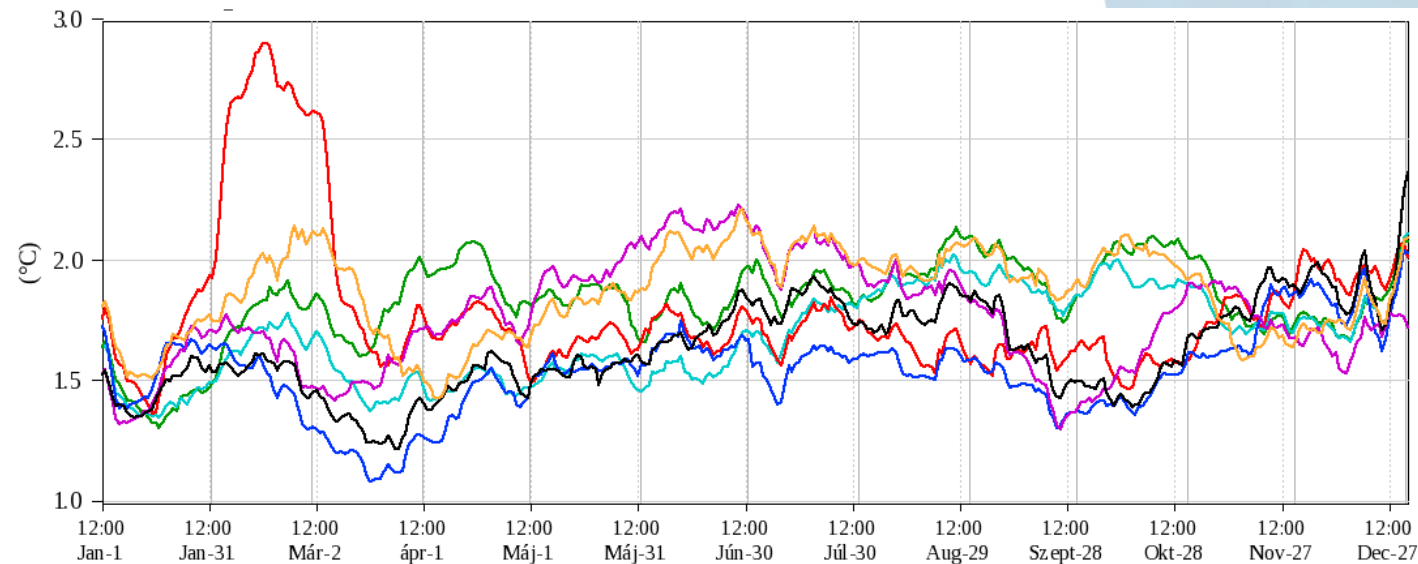


# Verifikáció

- Az előrejelzések összevetése megfigyelési és mérési információkkal
- Fontos a mérések megbízhatósága, rendszeressége
- Objektív verifikáció és szubjektív verifikáció
- Partnerek méréseinek felhasználása verifikációhoz (pl. szélerőművek, naperőművek környezetében)



2-méteres hőmérséklet RMSE; 2019



# A Modellezési Osztály

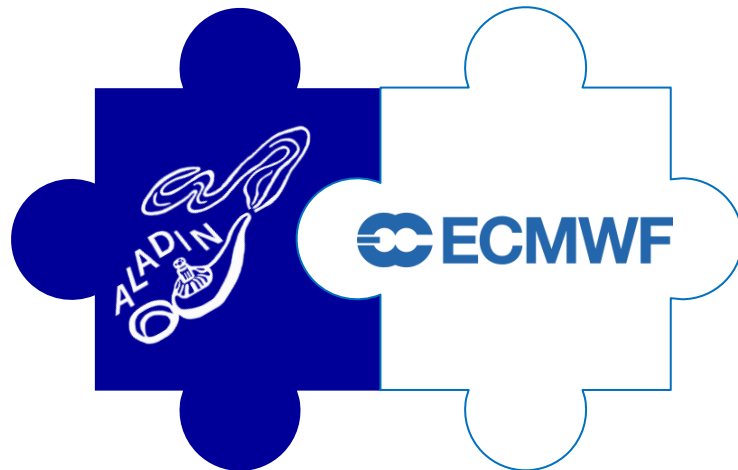
# A Modellezési Osztály

Középtávú előrejelzés: I. rész I.



# A Modellezési Osztály

Középtávú előrejelzés: Ihász I.



## Rövidtávú előrejelzés

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



# A Modellezési Osztály

Középtávú előrejelzés: Ihász I.

## 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.



# A Modellezési Osztály

Középtávú előrejelzés: Ihász I.

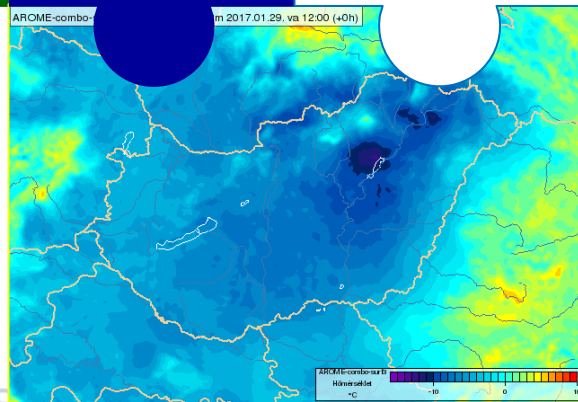
## Levegőminőség modellezés

P. Ferenczi Z.  
Lázár K.,  
Tóth A.



## Rövidtávú előrejelzés

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

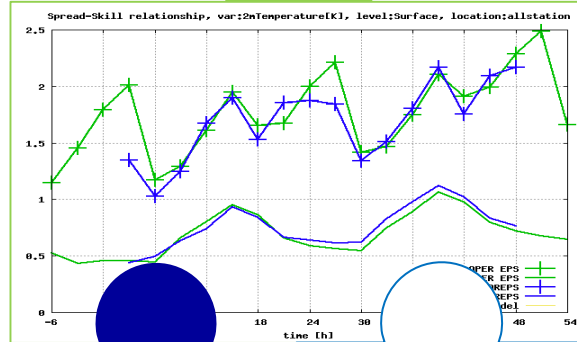


Interaktív előrejelző és megjelenítő rendszer (HAWK): Rajnai M., Tajti D.



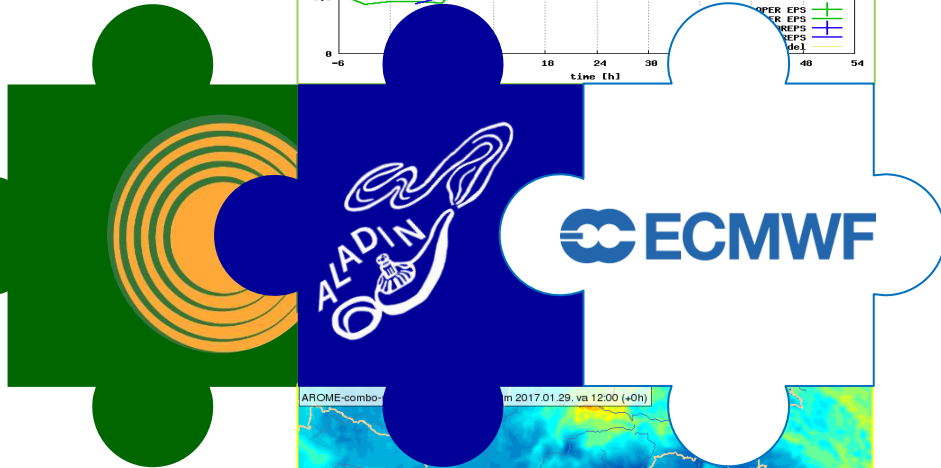
# A Modellezési Osztály

Középtávú előrejelzés: Ihász I.



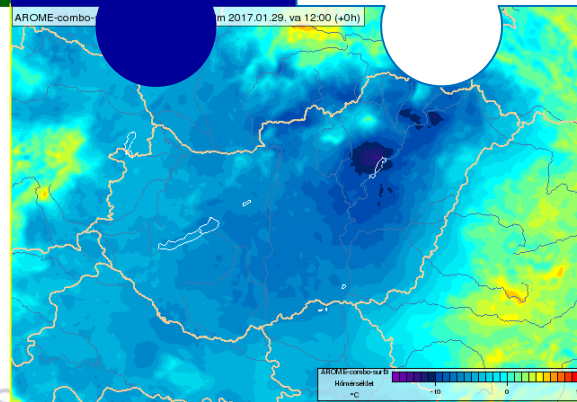
Levegőminőség  
modellezés

P. Ferenczi Z.,  
Lázár K.,  
Tóth A.



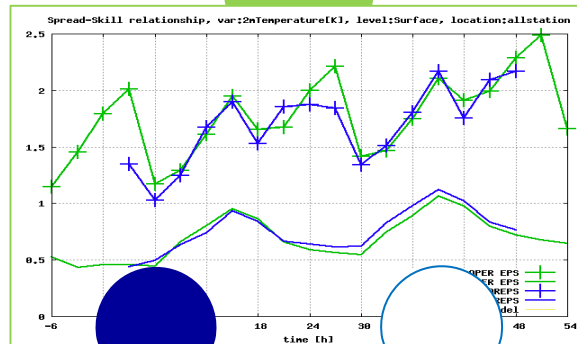
Rövidtávú előrejelzés

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



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

# A Modellezési Osztály



Középtávú előrejelzés: Ihasz I.

Klíma modellezés

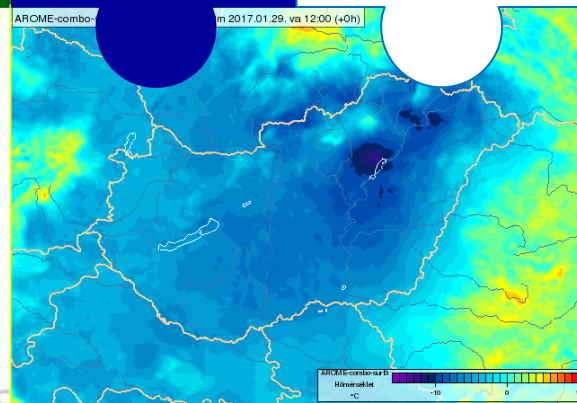
Bán B.,  
Király A.,  
Megyeri O.,  
Suga R.,  
Tajti D.,  
Zsebeházi G.

Levegőminőség  
modellezés

P. Ferenczi Z.,  
Lázár K.,  
Tóth A.

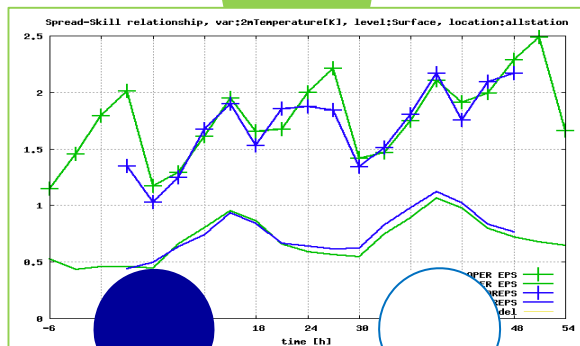
Rövidtávú előrejelzés

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



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

# A Modellezési Osztály



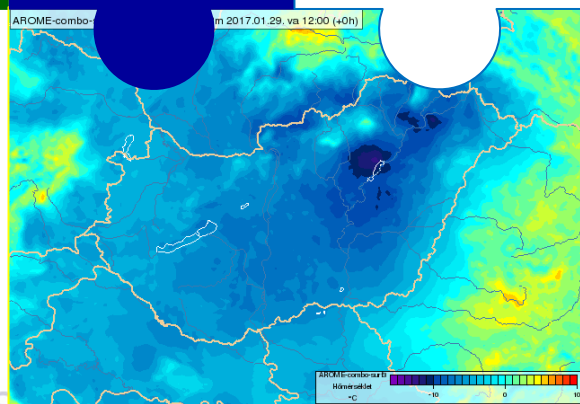
Középtávú előrejelzés: Ihasz I.

Klímamodellezés

Bán B.,  
Király A.,  
Megyeri O.,  
Suga R.,  
Tajti D.,  
Zsebeházi G.

Egyetemi oktatás

Szépszó G., Szintai B., Zsebeházi G.



Rövidtávú előrejelzés

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

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

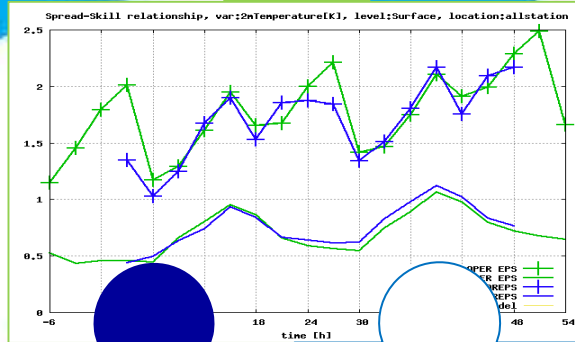
Levegőminőség modellezés

P. Ferenczi Z.,  
Lázár K.,  
Tóth A.

# A Modellezési Osztály

C-SRNWP koordináció

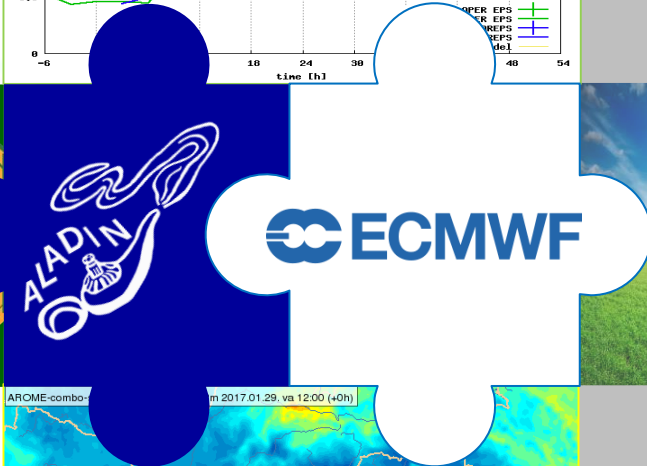
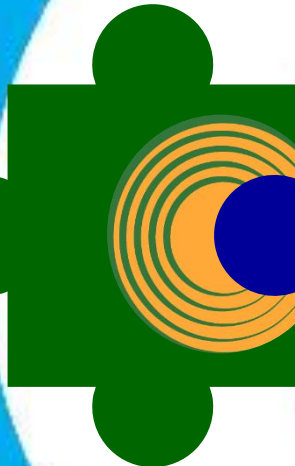
Szintai B.



Középtávú előrejelzés: I. ház I.

Levegőminőség modellezés

P. Ferenczi Z.,  
Lázár K.,  
Tóth A.

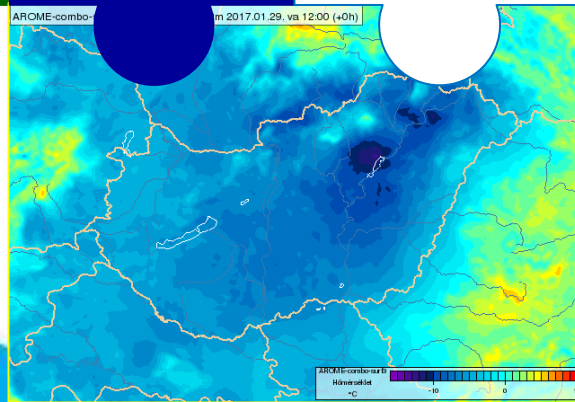


Klímamodellezés

Bán B.,  
Király A.,  
Megyeri O.,  
Suga R.,  
Tajti D.,  
Zsebeházi G.

Rövidtávú előrejelzés

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



Egyetemi oktatás

Szépszó G., Szintai B., Zsebeházi G.

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

# Kik dolgoznak az osztályon?

- Meteorológus, mérnökfizikus, fizikus (alkalmazott matematikus)
- Pályakezdők és tapasztaltak
- Férfiak > nők → nők > férfiak

# Milyen a „tipikus” modellezési fejlesztő?



A nyüzsgő  
mindentudó



A magányosan  
dolgozó



A kapcsolatokat  
élénken ápoló



# Milyen tudás/érdeklődés szükséges?

- 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

# Hogyan lehet felvételt nyerni az osztályra?

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



# Hogyan lehet felvételt nyerni az osztályra?

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

*Köszönöm szépen a figyelmet!*