

Regionális időjárás modellezés

Előadó: Szintai Balázs
Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ)
Modellezési Osztály



Alapítva: 1870



Tartalom

- Időjárás modellezésről általában
- OMSZ-nál futtatott regionális időjárás-előrejelző modellek
- OMSZ-nál folyó fejlesztő munka

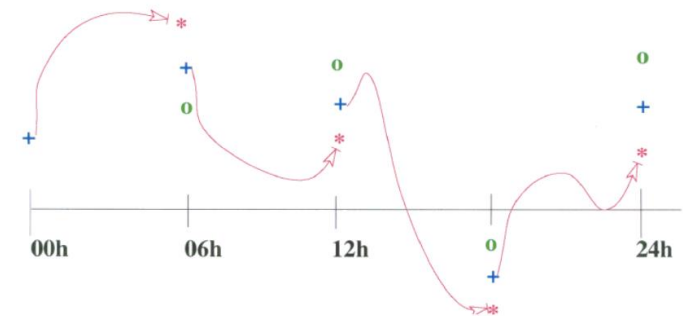
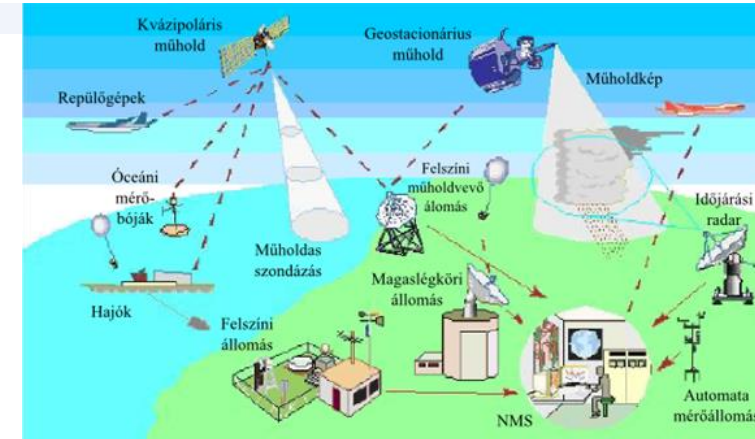


Az időjárás modellezésről általában

- **Négy fő téma:**
 - Adatasszimiláció
 - Dinamika
 - Fizikai parametrizációk
 - Valószínűségi előrejelzések

• Adatasszimiláció:

- Cél: objektív analízis készítése → jobb kezdeti feltételek → jobb előrejelzés
- A megfigyelések mellett korábbi modellfutás felhasználása háttérmezőként.
- Variációs technikák: veszteségfüggvény minimalizálása.



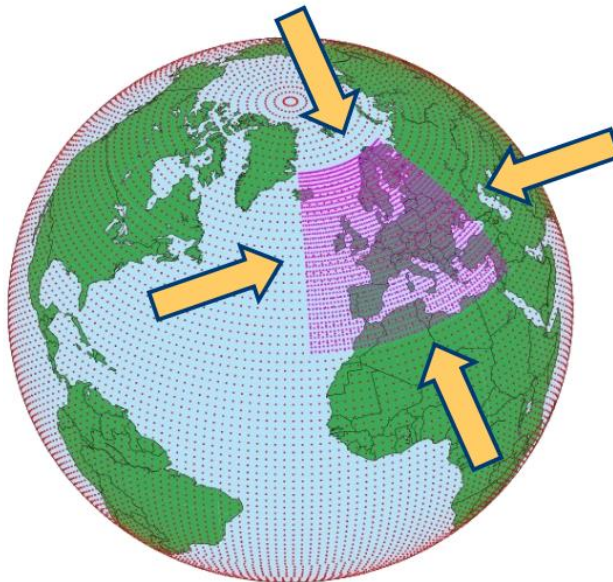
háttér mező + új megfigy. ----> kezdeti feltétel



$$J(x) = \underbrace{(x-x_b)^T \mathbf{B}^{-1} (x-x_b)}_{J_b} + \underbrace{(y-H[x])^T \mathbf{R}^{-1} (y-H[x])}_{J_o}$$

• Dinamika:

- Az egyenleteinket (HTER) térben és időben diszkretizáljuk → rács, időlépcső
- Korlátos tartományú modellek esetében oldalsó peremfeltételekre is szükségünk van, amelyeket globális modellekből nyerünk.



$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial u}{\partial \lambda} + w \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{v^2}{r} - fv = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r},$$

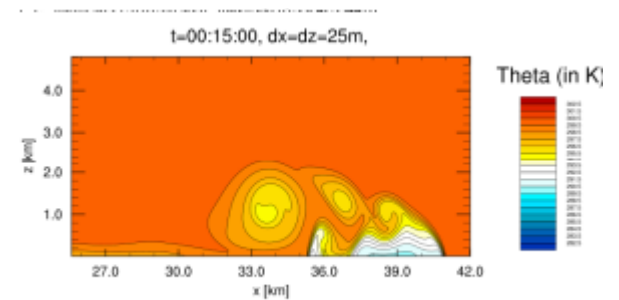
$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial v}{\partial \lambda} + w \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{uv}{r} + fu = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \lambda},$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial w}{\partial \lambda} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g,$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial \rho r u}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \rho v}{\partial \lambda} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0,$$

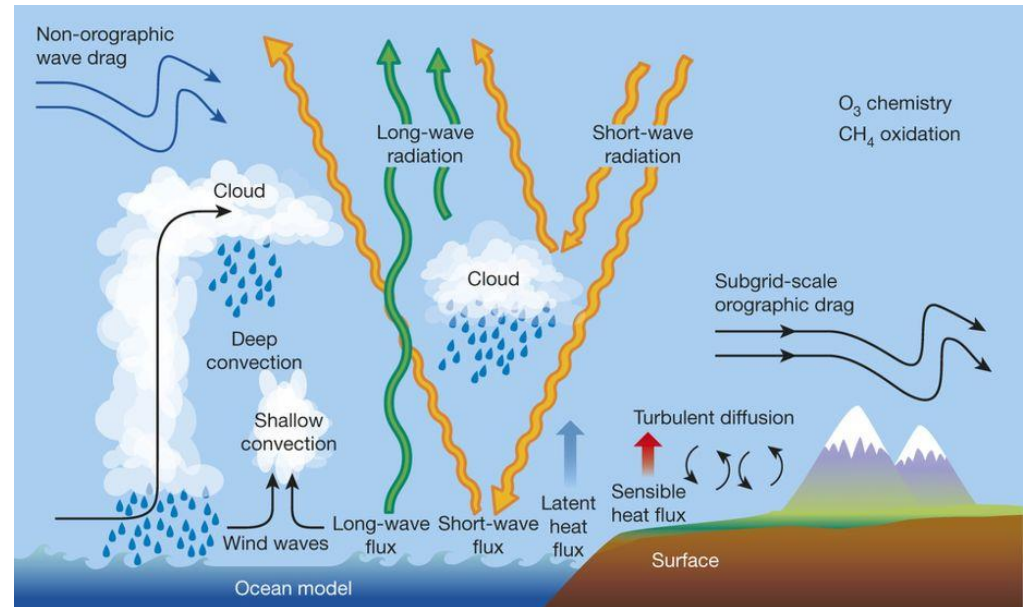
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial \theta}{\partial \lambda} + w \frac{\partial \theta}{\partial z} = \dot{\theta}$$

$$\rho = p_* \pi^{\frac{1}{\kappa} - 1} / (R_d \theta)$$



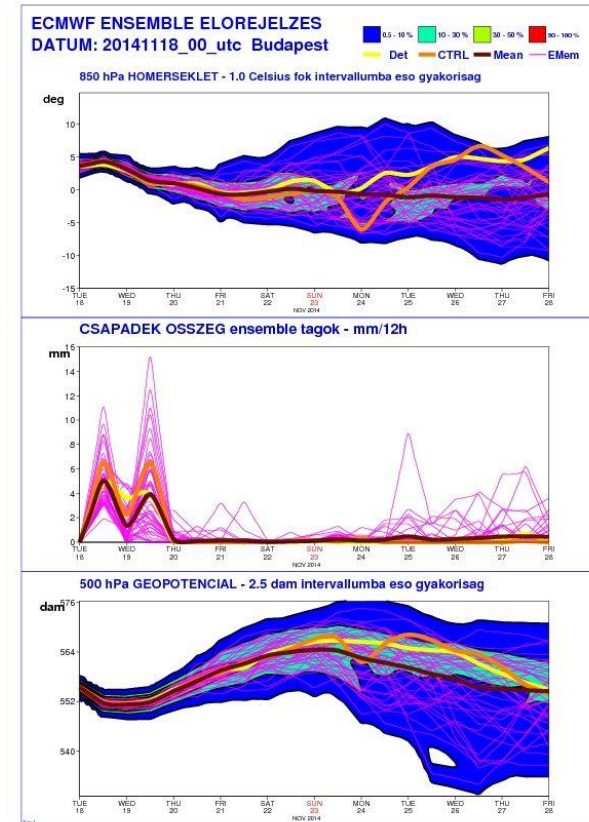
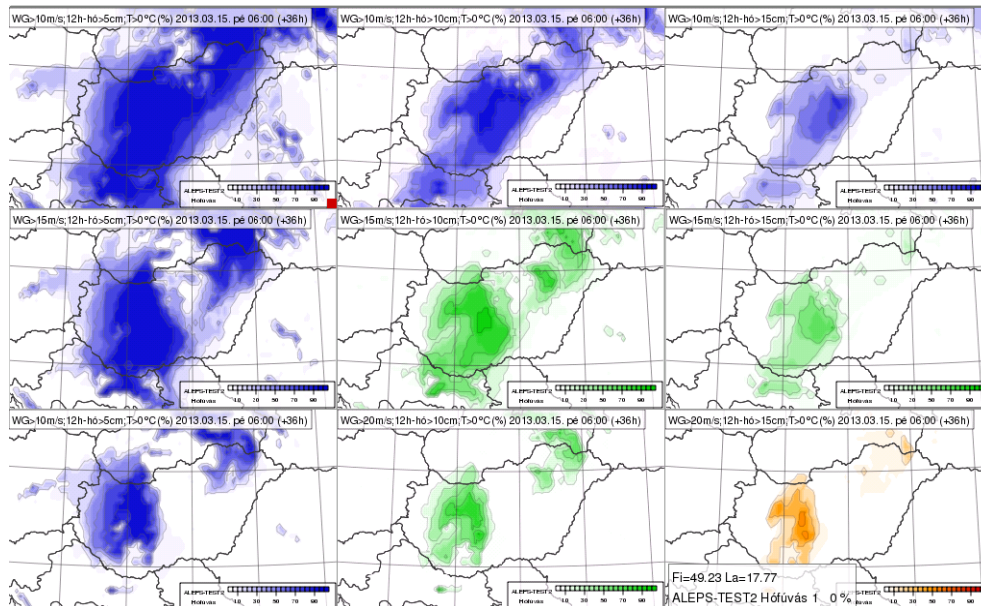
- **Fizikai parametrizációk:**

- Rácsfelbontás alatti folyamatok, amelyeknek a rácsponti változókra vonatkozó összegzett hatását akarjuk leírni
- Mélykonvekció – 3 km-es felbontás alatt feltesszük, hogy a modell explicit módon leírja (NH dinamika és részletes mikrofizika kell!)
- Turbulencia
- Mikrofizika
- Sugárzás
- Felszíni folyamatok



• Valószínűségi előrejelzések:

- A kezdeti feltételekből és a modell közelítéseiből eredő hibák az idő előrehaladtával növekednek a légkör kaotikus viselkedése miatt.
- A z előrejelzés bizonytalanságának jellemzésére **ensemble rendszert futtatunk, perturbált tagokkal.**
- Cél: valószínűségi információ szolgáltatása.





Rövidtávú, korlátos tartományú modellek



SRNWP Consortia in Europe



ALADIN

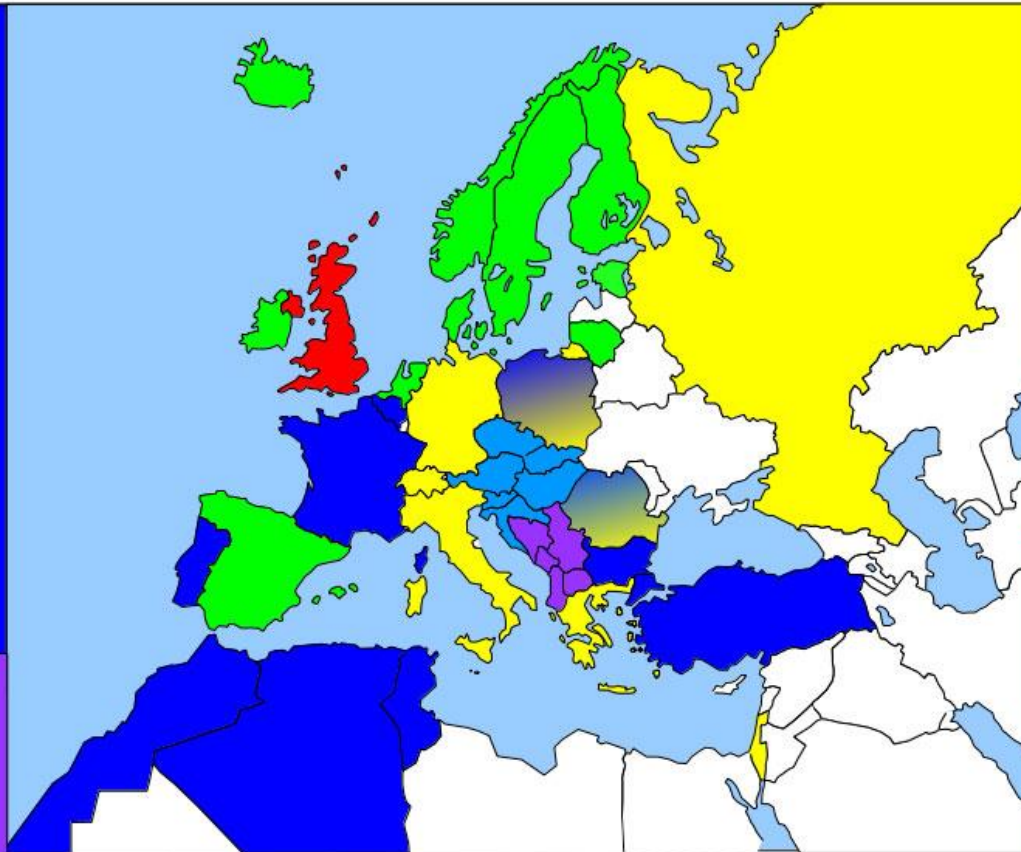
Algeria
Belgium
Bulgaria
France
Morocco
Poland
Portugal
Tunisia
Turkey

Austria
Croatia
Czech Rep.
Hungary
Romania
Slovakia
Slovenia



SEECOP

Albania
Bosnia-Herzegovina
The FYROM
Montenegro
Serbia



HIRLAM

Denmark
Estonia
Finland
Iceland
Ireland
Lithuania
Netherlands
Norway
Spain
Sweden



UKMO
United Kingdom

COSMO

Germany
Greece
Israel
Italy
Poland
Romania
Russia
Switzerland





Korlátos tartományú modellek az OMSZ-nál

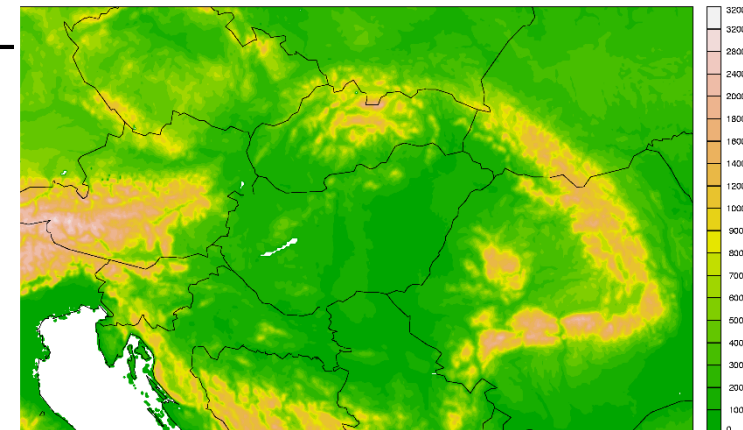
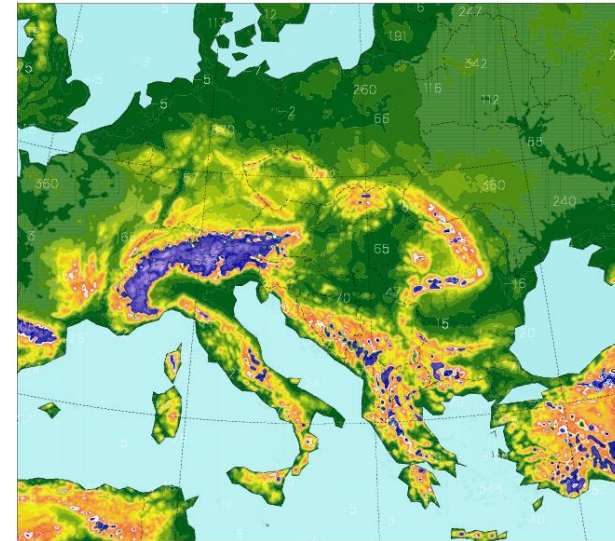
- **ALADIN** modell (napi 4 futtatás, 8 km-es felbontás)



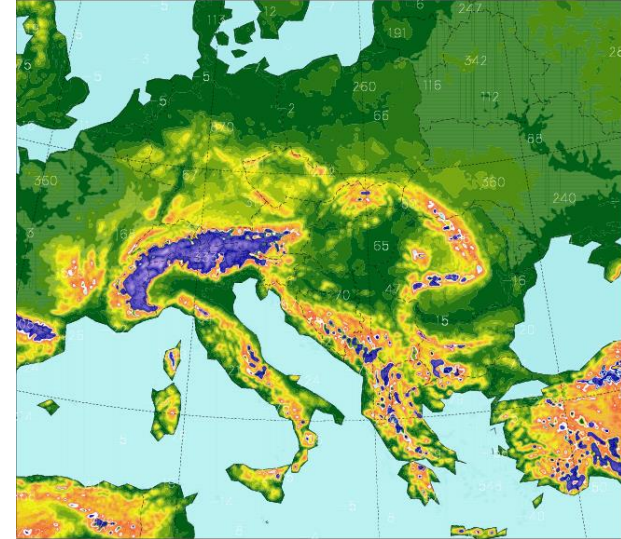
- **ALADIN-EPS** (napi 1 futtatás, 11 tag) – valószínűségi produktumok



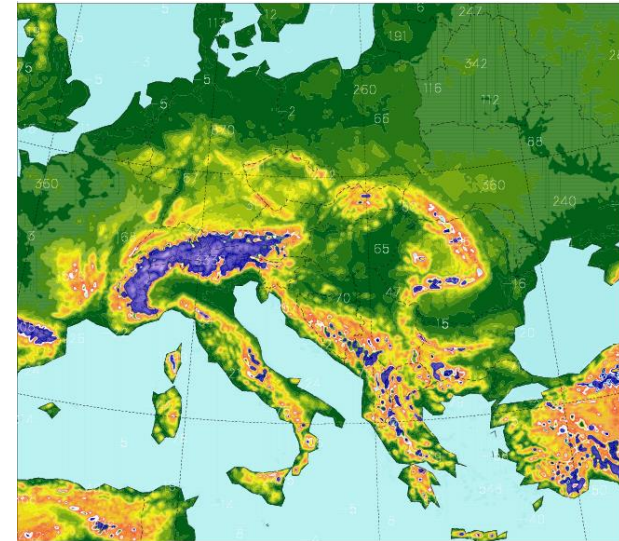
- **AROME** (napi 8 futtatás, 2,5 km-es felbontás) – nem-hidrosztatikus, konvekciót leíró modell



- **ALADIN** modell
 - Napi 4 futtatás
 - 8 km-es horizontális felbontás
 - 49 vertikális szint
 - 300 s-os időlépcső
 - Határfeltételek: ECMWF/IFS (3 órás)
 - 6 órás 3DVAR légköri adatasszimilációs ciklus
 - Konvencionális megfigyelések (SYNOP, TEMP, AMDAR)
 - Műholdas megfigyelések
 - Felszíni adatasszimiláció: Optimális Interpoláció – SYNOP mérések (T2m, RH2m) alapján)

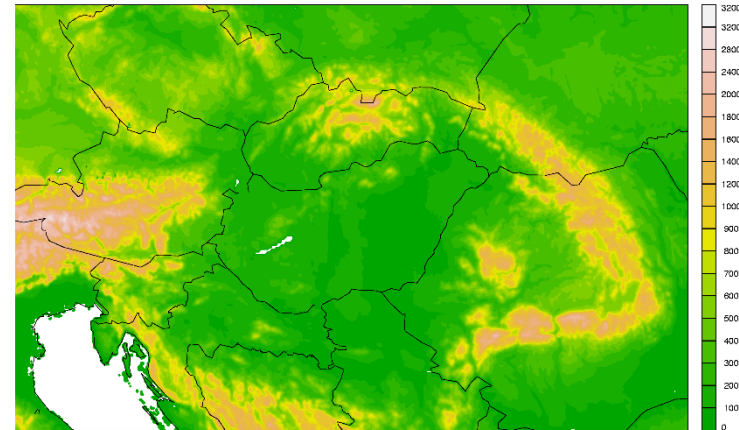


- **ALADIN** ensemble rendszer
 - Napi 1 futtatás (18 UTC-kor)
 - 8 km-es horizontális felbontás
 - 49 vertikális szint
 - 300 s-os időlépcső
 - ECMWF ENS határfeltételek
 - 11 tag
 - Egyelőre nincsenek lokális perturbációk



- **AROME** modell

- Napi 8 futtatás
- 2,5 km-es horizontális felbontás
- 60 vertikális szint
- 60 s-os időlépcső
- Határfeltételek: ECMWF/IFS (1 órás)
- 3 órás 3DVAR légköri adatasszimilációs ciklus
 - Konvencionális megfigyelések (SYNOP, TEMP, AMDAR)
 - ***GNSS ZTD megfigyelések***
- Felszíni adatasszimiláció: Optimális Interpoláció – SYNOP mérések (T2m, RH2m) alapján



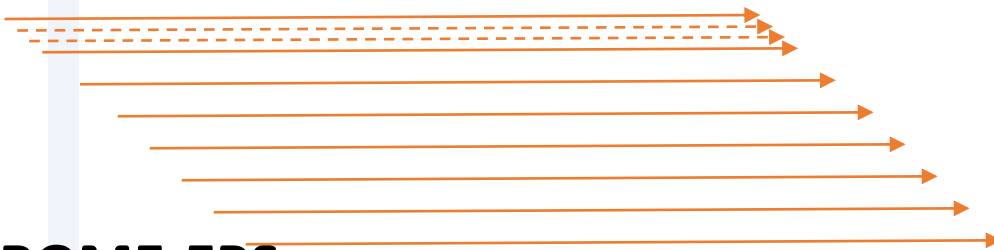


Tervek

Új szuperszámítógép (2019 tavasza óta)

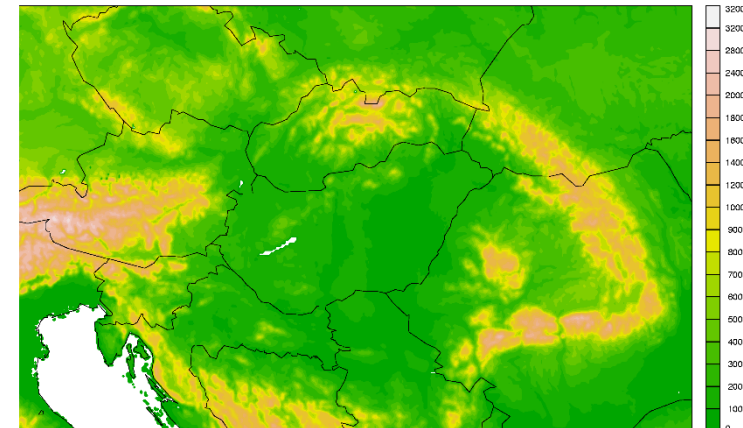
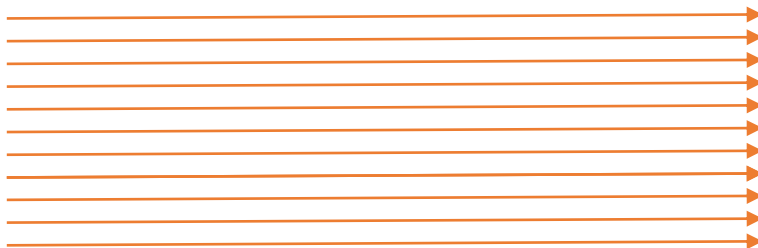
- **AROME-RUC (Rapid Update Cycle)**

- 1 órás adatasszimilációs ciklus
- Több megfigyelés asszimilálása (pl. Radar)



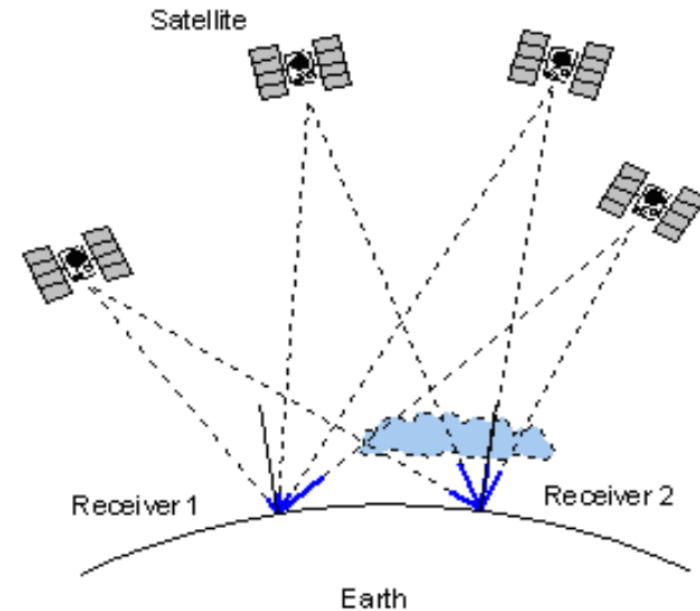
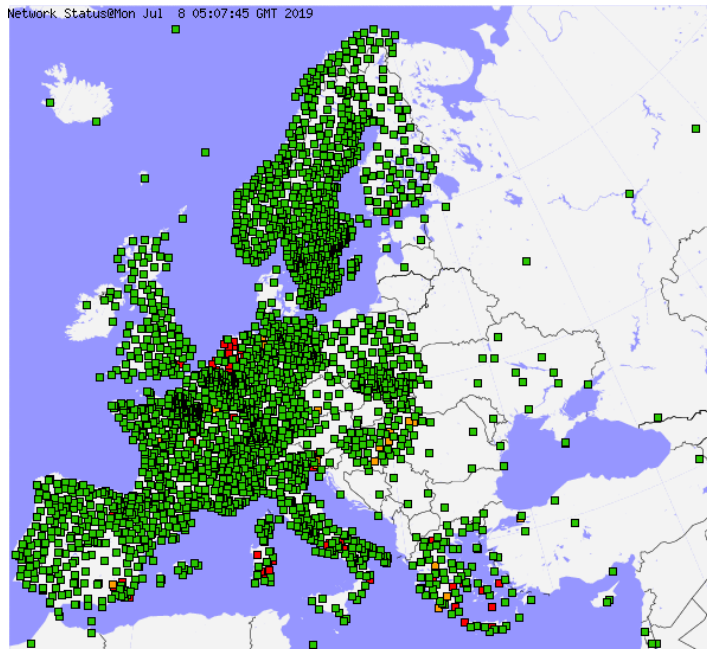
- **AROME-EPS**

- A bizonytalanság jobb becslése a konvektív skálán
- Lokális perturbációk: SPPT és EDA



- **GNSS ZTD – GPS alapú megfigyelések**

- Rögzített pontokon (GPS állomások) mérik a GPS jel késését.
- Ebből az információból következtethetünk a légkör adott pontbeli **összegzett víztartalmára**.
- Ezt asszimiláljuk a modellben.



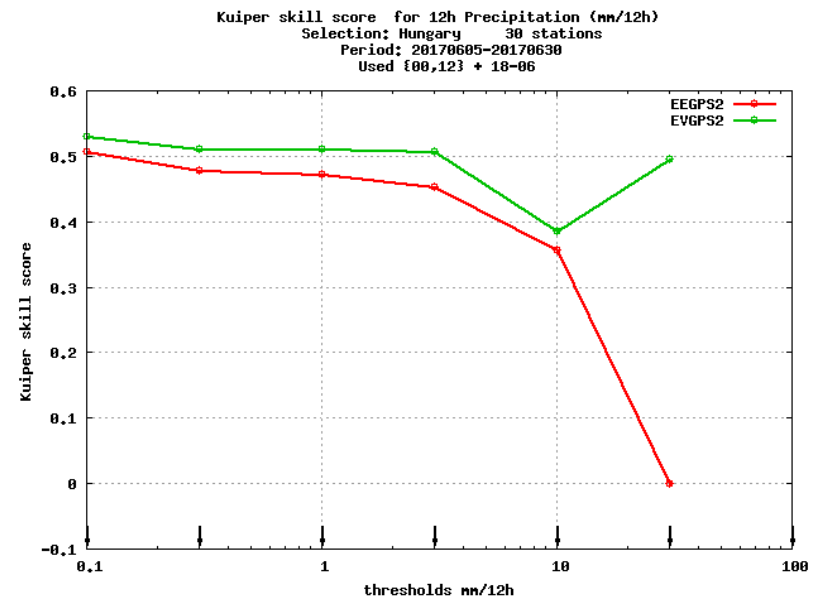
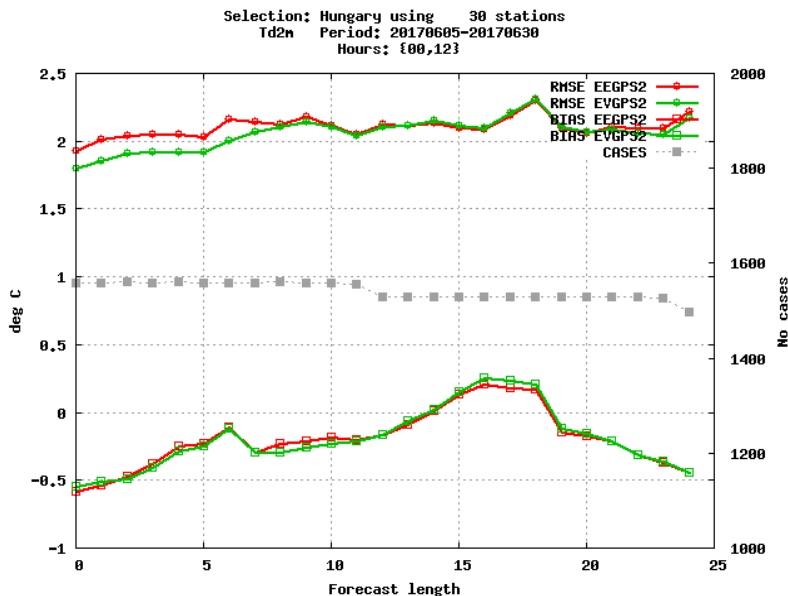
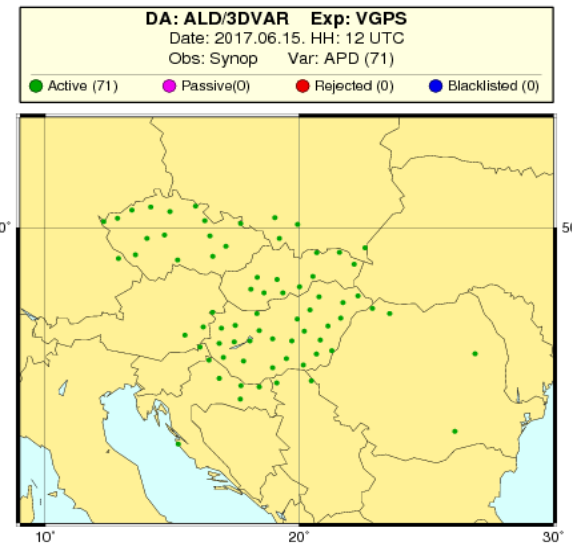


Adatasszimiláció

GNSS ZTD – GPS alapú megfigyelések

2018 szeptembere óta operatív AROME-ban

- Magyar, cseh, lengyel adatok (E-GVAP-on keresztül)
- Előválogatás és ritkítás meghatározása
- Enyhe javulás a modell-előrejelzésben, főleg az első 6-12 órában





Radaradatok asszimilációja

Cél: radarmérések (refl., radiális elmozdulás)
→ modellváltozók (rel. nedv., szél) →
asszimiláció

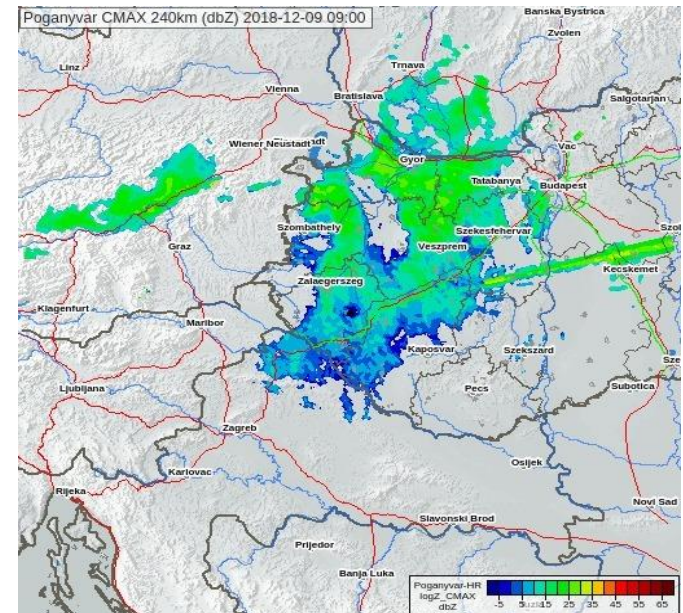
- Reflektivitás ~ cseppméret, intenzitás
- Radiális elmozdulás → szél
- Reflektivitás vertikális profilja → becslés a rel. nedv. vertikális profiljára adott helyen (*pszeudo-megfigyelés*)
- Radiális szél → szél u és v komponensei

Hatása:

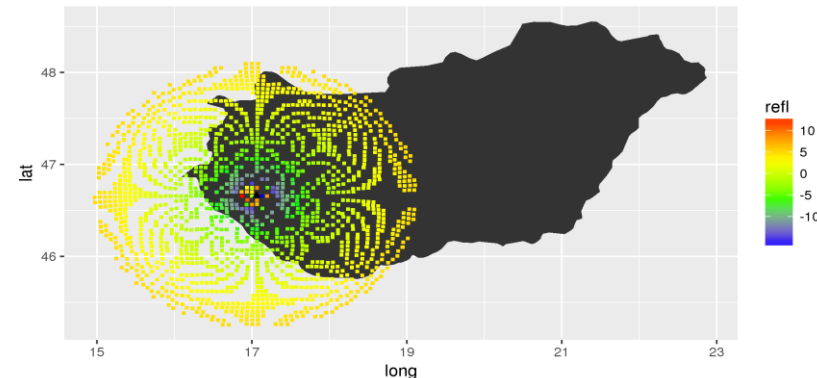
- Csapadékelőrejelzés térben és időben javulhat (akár a modell “szárítása” is)

Kihívások:

- Ahány ország, annyi mérési stratégia, fájlformátum, fájlstruktúra → egységesítés
- Óriási adatmennyiség térben és időben (akár 10x-100x több mérés, mint a felszíni állomásokról) → ritkítani kell ↔ minőségellenőrzés, mérések osztályozása



Elevation angle:
20.000610351562

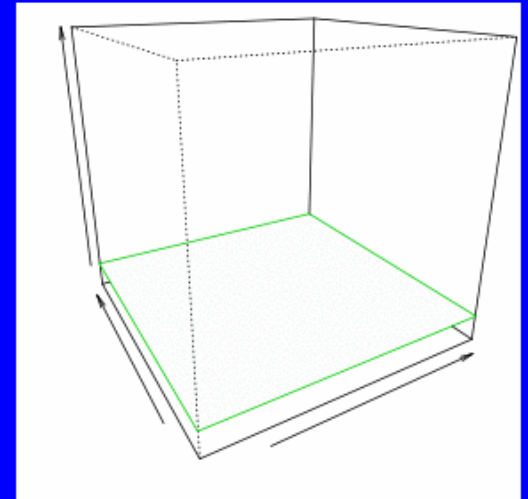


A sekély konvekció parametrizálása

(kutatás az AROME modellel)

A PBL turbulens fluxusainak számolása:

- alacsony felbontáson: parametrizációval
- nagy felbontáson: már a dinamika kezeli, nincs szükség parametrizációra
- a kettő között (a “szürke zónában”):
dinamika + parametrizáció



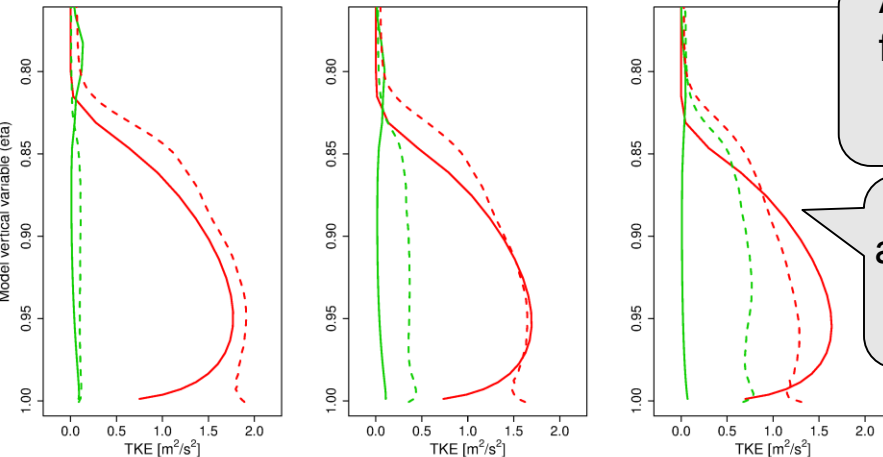
— subgrid TKE – AROME
— resolved TKE – AROME

- - - subgrid TKE – LES
- - - resolved TKE – LES

dx = 2000 m

dx = 1000 m

dx = 500 m

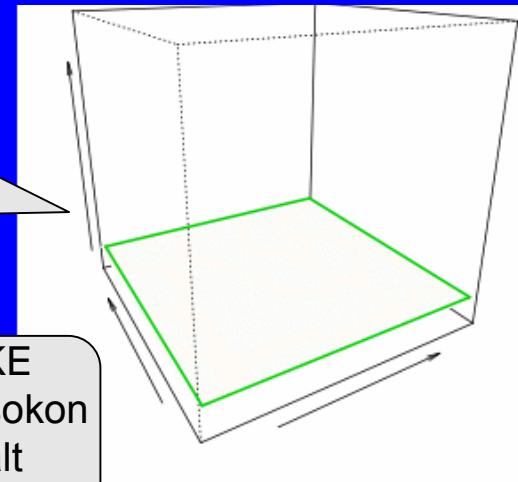


Az 62,5m-es horizontális felbontású MesoNH (LES) vertikális sebességének szerkezete a PBL-ben

Az 500m-es horizontális felbontású EDKF nélküli AROME vertikális seb. szerkezete a PBL-ben

A subgrid és resolved TKE átlagok különböző felbontásokon LES és AROME idealizált kísérletekből a PBL-ben

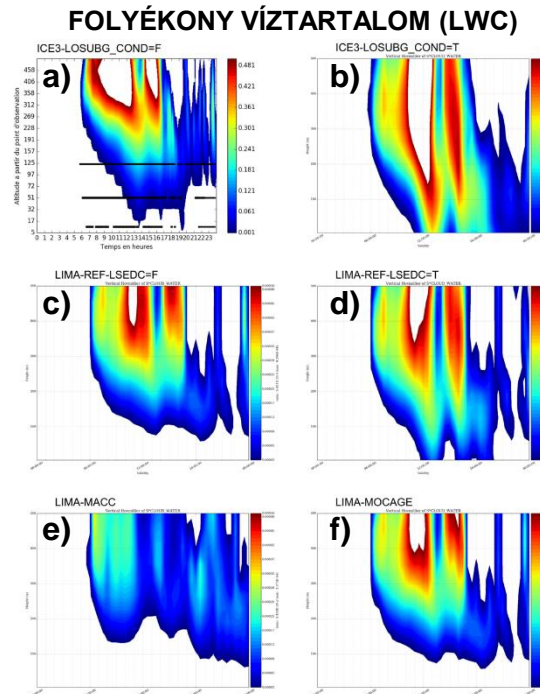
LES adatok forrása: Rachel Honnert (CNRM/GAME, Toulouse, France)



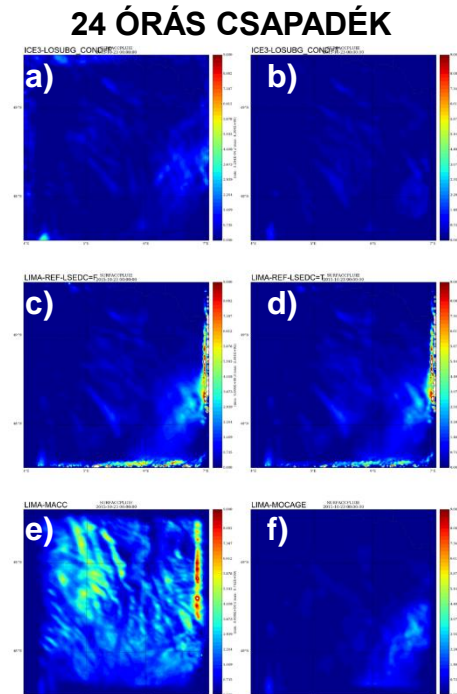
2015. október 22.

• Érzékenységvizsgálat a LIMA sémával

- LIMA= Liquid Ice Multiple Aerosols kétmomentumos mikrofizikai séma
- Meso-NH modellben lett kifejlesztve, majd onnan került át az AROME modellbe
- Az aeroszolok inicializációja fontos kérdés az új sémában, erre több megoldást is vizsgáltunk:
 - konstans érték
 - MOCAGE adatok (Meteo France saját kémiai transzport modellje)
 - C-IFS MACC projekt (Monitoring Atmospheric Composition and Climate)



Vertikális időbeli LWC keresztmetszet 6 különböző esetben: ICE3 séma subgrid kondenzációval (b) és anélkül (a), LIMA-REF (konstans inicializálás) felhő szedimentációval (d) és anélkül (c), LIMA MACC (e) és LIMA MOCAGE (f) adatokkal inicializálva. Az (a) ábrán fekete vízszintes vonal jelöli a megfigyeléseket: kód időtartama (3 szinten: 10m, 50m, 120m)



24 órás csapadékmezők 6 különböző esetben: ICE3 séma subgrid kondenzációval (b) és anélkül (a), LIMA-REF (konstans inicializálás) felhő szedimentációval (d) és anélkül (c), LIMA MACC (e) és LIMA MOCAGE (f) adatokkal inicializálva

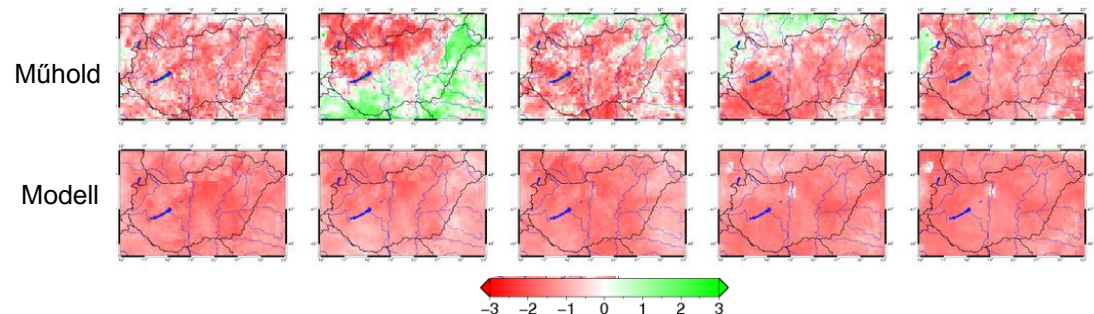
• Biomassza és talajnedvesség asszimilációja és modellezése

- ImagineS Projekt: 2012-2016 (EU-FP7)
- Felszíni adatasszimilációs rendszer implementálása az OMSZ-nál
- Monitoring rendszer:
 - Vegetáció
 - Talajnedvesség
 - Felszíni fluxusok (nedvesség, CO₂)

Felszíni adatasszimilációs rendszer:

- SURFEX modell (prognosztikus vegetáció: ISBA-Ags)
- Extended Kalman Filter (műholdas asszim.):
 - **LAI**: SPOT-VEG (2014-ig) and PROBA-V (2014-től) 1 km-es felbontás, 10 napos átlagok
 - **SWI** (Soil Water Index) [0,1]: MetOp. ASCAT 10 km-es felbontás, 1 napos átlag

LAI havi anomáliák- 2012

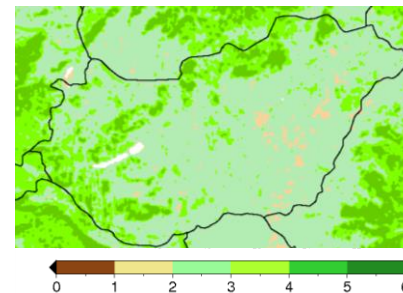
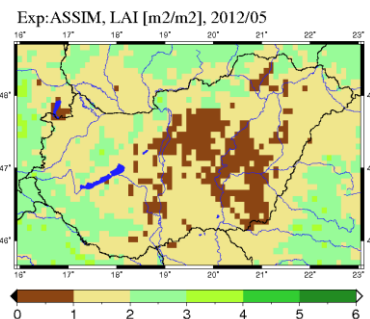
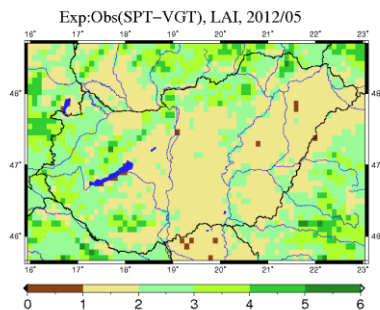


- **Biomassza és talajnedvesség asszimilációja és modellezése**

Terv 1

Naponta frissülő LAI az AROME modellben

- Jelenlegi modellek LAI klimatológiát használnak
- Cél: naponta frissülő, realiztikus LAI az AROME modellben



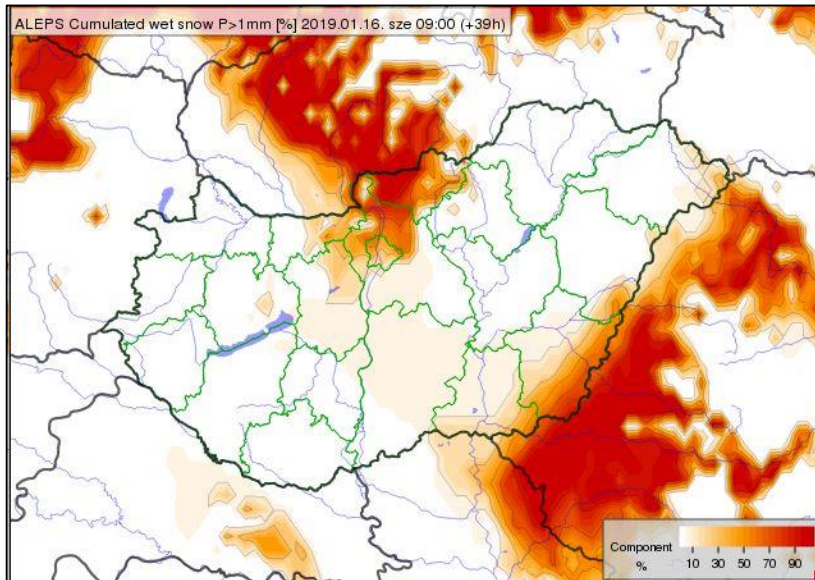
Terv 2

Talaj és vegetáció hosszútávú előrejelzése

- ISBA-Ags séma használatával
- A felszíni adatasszimilációs rendszer analíziséből kiindulva
- **Légköri meghajtás: ECMWF szezonális előrejelzések**

Ensemble előrejelzés

- **Cél: az előrejelzés hibáinak figyelembevétele**
 - Valószínűségi információ (fáklya diagram + valószínűségi térkép)



Annak a valószínűsége,
hogy legalább 1 mm
tapadó hó hullik
(ALADIN EPS 2019. jan.
15. 18 UTC- 16. 9UTC)

- Cél: konzisztencia: pl. az előrejelzés legyen olyan, hogy a valóságban azon esetek 20%-ában essen az eső, amikor az előrejelzés erre 20% esélyt adott

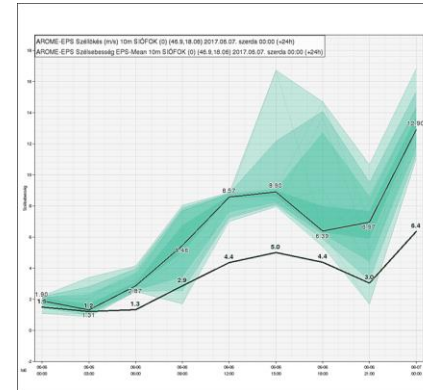
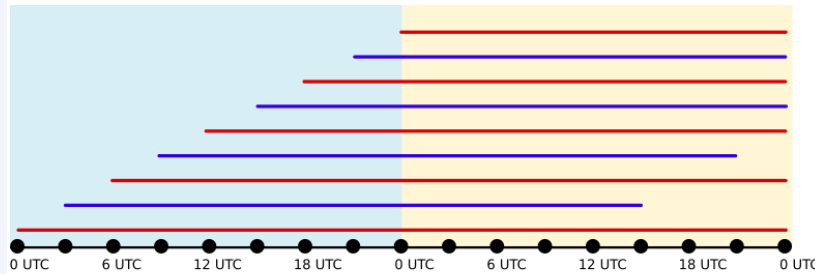
• Modellhibák: „God given” + „man made”

- Légkör belső tulajdonságaiból származó kaotikus viselkedés

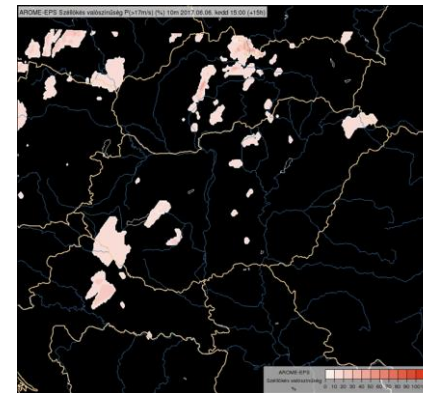
- kezdeti feltétel sem pontos → *EDA*
- peremfeltételek → *ENS LBC*
- parametrizáció → *multi-modell, SPPT*
- diszkretizáció

• Time-lagged EPS az operatív AROME futásokból (Kvazi-AROME-EPS)

- 24 órás előrejelzés, ami megmutatja a különböző futások változékonyságát kis skálájú folyamatok esetén (pl. villámárvíz, viharos szellőkés)
- A különböző futásokból származó előrejelzések használata egy adott időpontra:

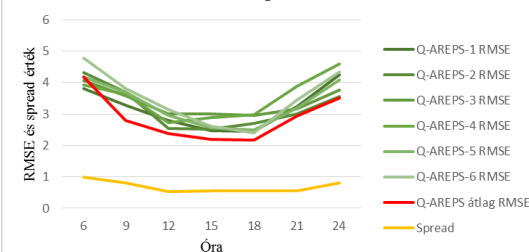


00 UTC-s kvázi-AROME-EPS futásból számított síófoki meteorogram 10 méteres szellőkésre [m/s] és átlagos szélességre [m/s], 2017. június 6-án.



00 UTC-s kvázi-AROME-EPS futásból számított 10 méteres szellőkés valószínűség [%], 17 m/s-os küszöbértékkel, 2017. június 6-án 15 UTC-re.

Q-AREPS tagok 6 órás csapadékösszegre vonatkozó RMSE és spread értékei

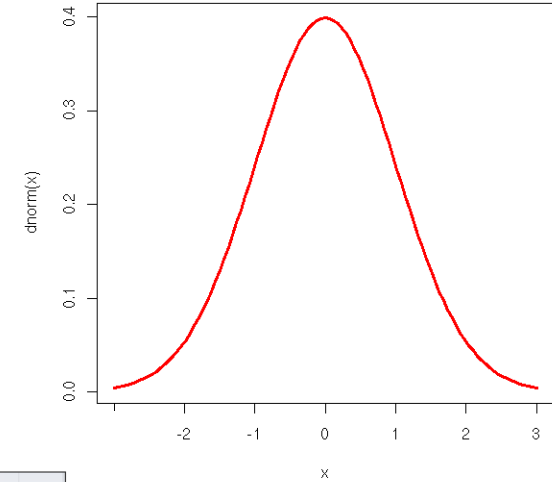


A kvázi-AROME-EPS Spread-Skill ábrája 6 órás csapadékösszeg esetén.



Ensemble előrejelzés

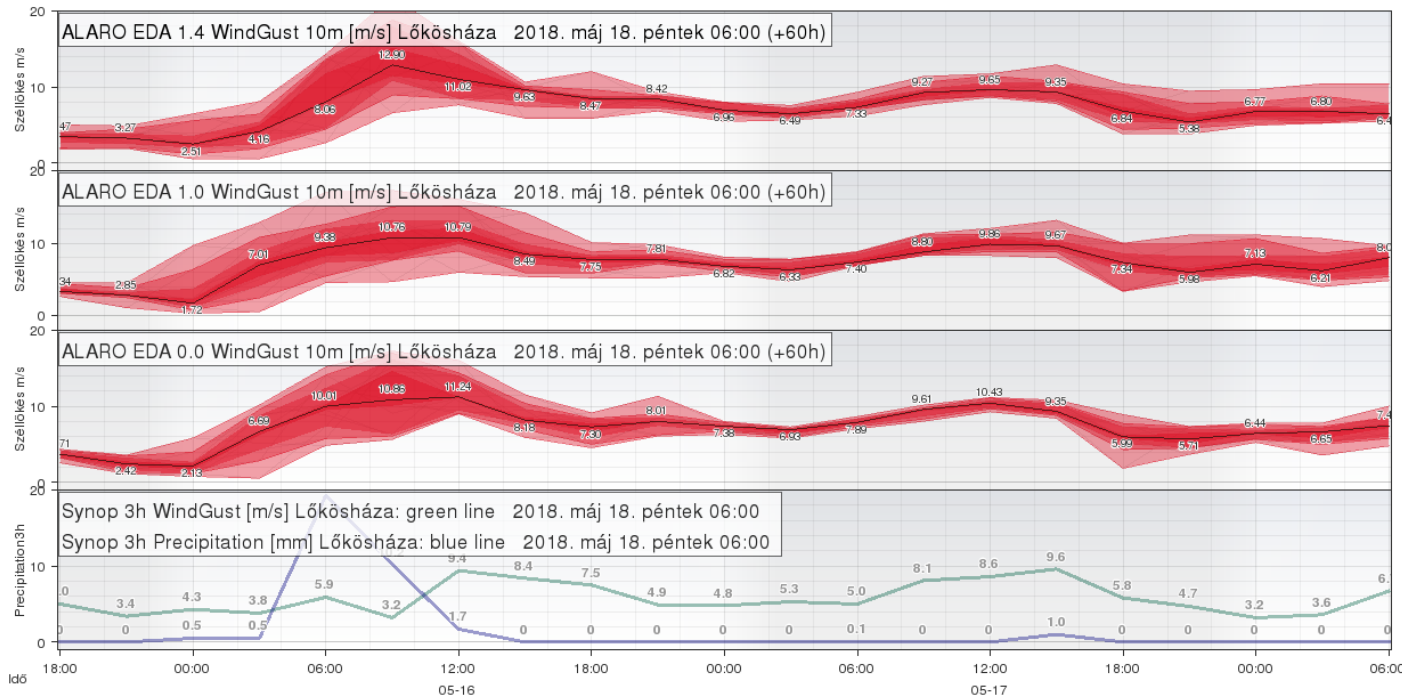
Gaussian Probability Distribution Function



• Ensemble adatasszimiláció (EDA): megfigyelési hibákon keresztül az asszimilációs rendszer hibáit fedi le

- Minden méréshez a mérési hibával arányos Gauss eloszlású random számot adunk -> 10+1 különböző asszim. ciklus fut
- A perturbációk tovább fejlődnek az előrejelzéssel

↑
A perturbáció
növelésével az
ensemble
szórás
szabályozható



Köszönöm a figyelmet!

Emlékeztető

Bölöni Gergely előadása a gravitációs hullámokról ma 13:30-kor itt.



Alapítva: 1870