

Regionális időjárási modellezés

Szépszó Gabriella

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:

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)

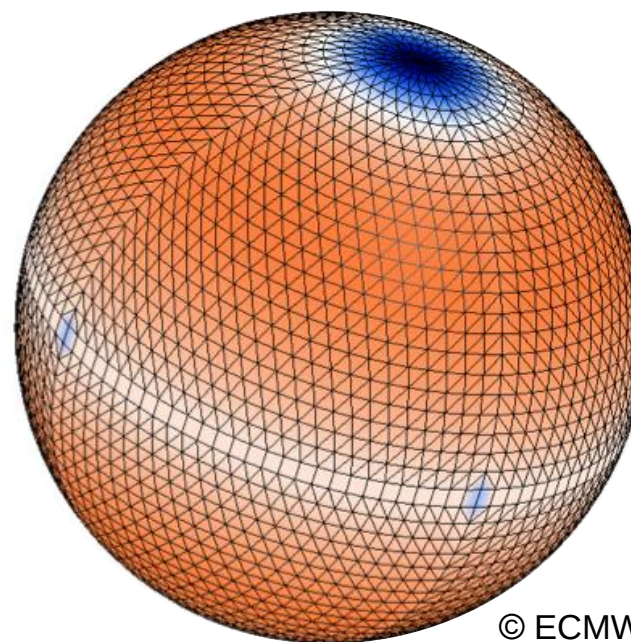
A hidro-termodinamikai egyenletrendszer

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	$p = \rho R T$

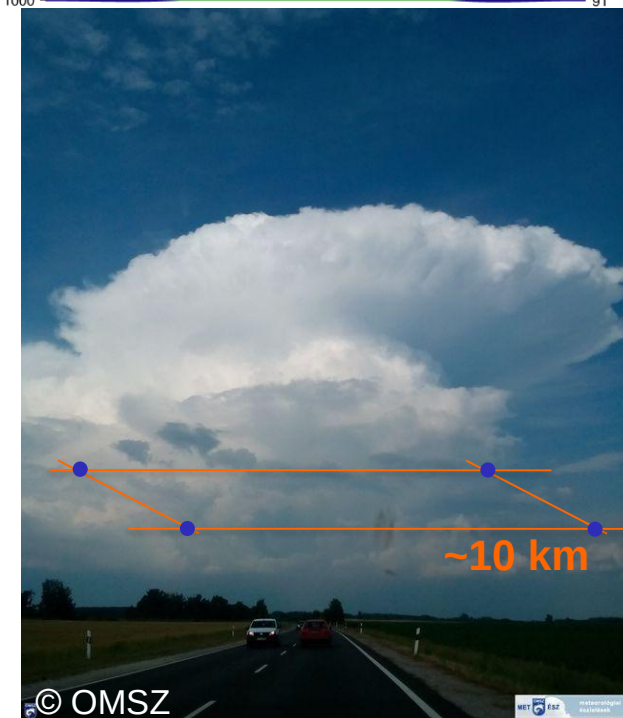
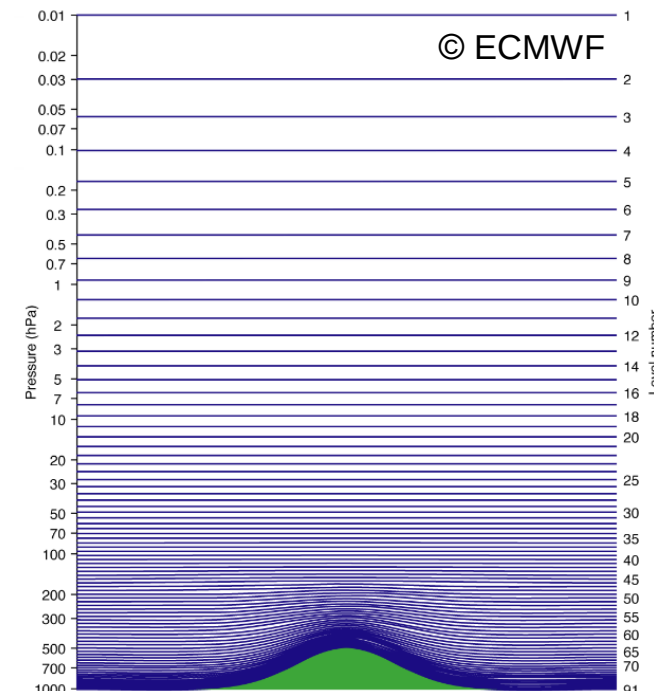
- Nem-lineáris parciális differenciálegyenlet-rendszer
- Csak numerikus módszerekkel oldható meg
- Kezdeti és peremfeltételeket igényel

Numerikus megoldás

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



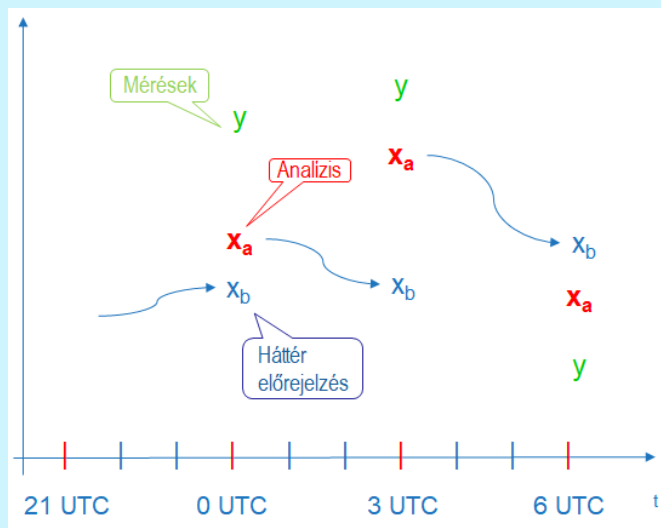
© ECMWF



A számszerű előrejelzés lépései

KEZDETI ÁLLAPOT MEGADÁSA

Mérések gyűjtése, ellenőrzése,
modellrácsra előállítása
(adatasszimiláció)



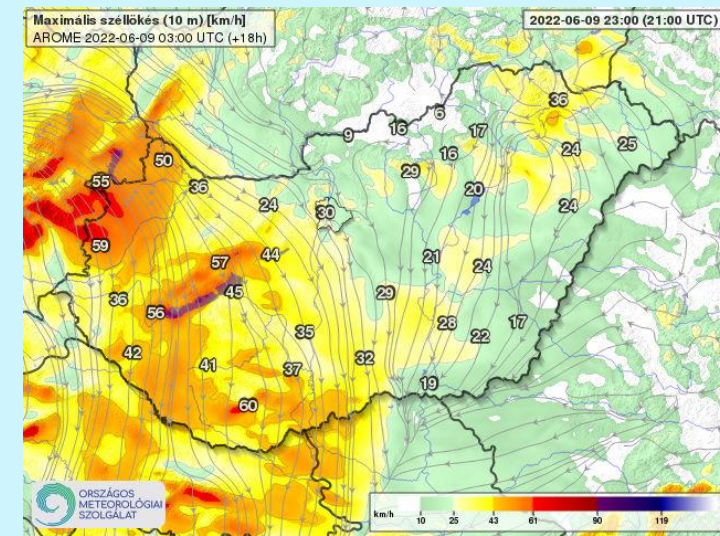
MODELL-INTEGRÁLÁS

Az egyenletrendszer
közelítő megoldása



UTÓ-FELDOLGOZÁS

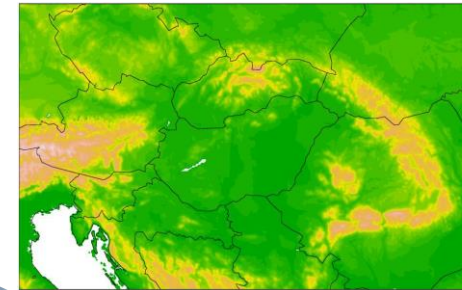
Speciális paraméterek számítása,
bizonytalanság meghatározása,
előrejelzés elkészítése **2-10 napra**,
verifikáció



Az OMSZ-ban készülő előrejelzések

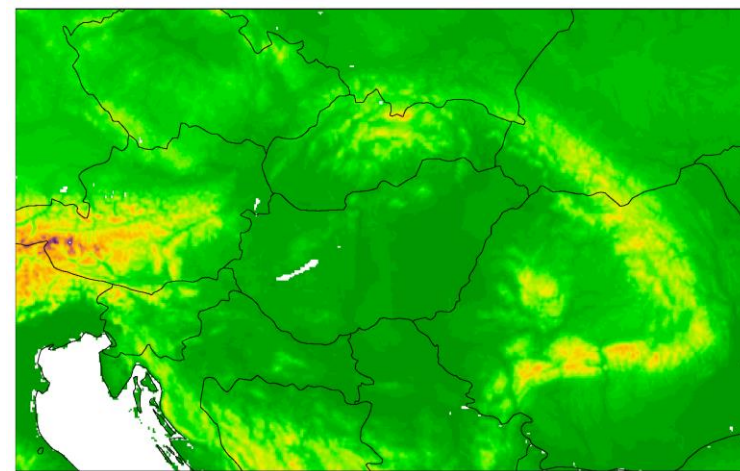
- ALADIN, ALARO, AROME modellek közös fejlesztése 1991-től az ACCORD (ALADIN) és LACE konzorciumokban, kutatási együttműködések, adatcsere
- Regionális előrejelzések a Kárpát-medencét lefedő területen
- A tartományon kívül zajló folyamatok figyelembevétele egy globális modellből, amit az Európai Középtávú Előrejelző Központ futtat → **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 függőleges szint
- 1-perces időlépcső → 48 órás előrejelzés 2880 lépésben



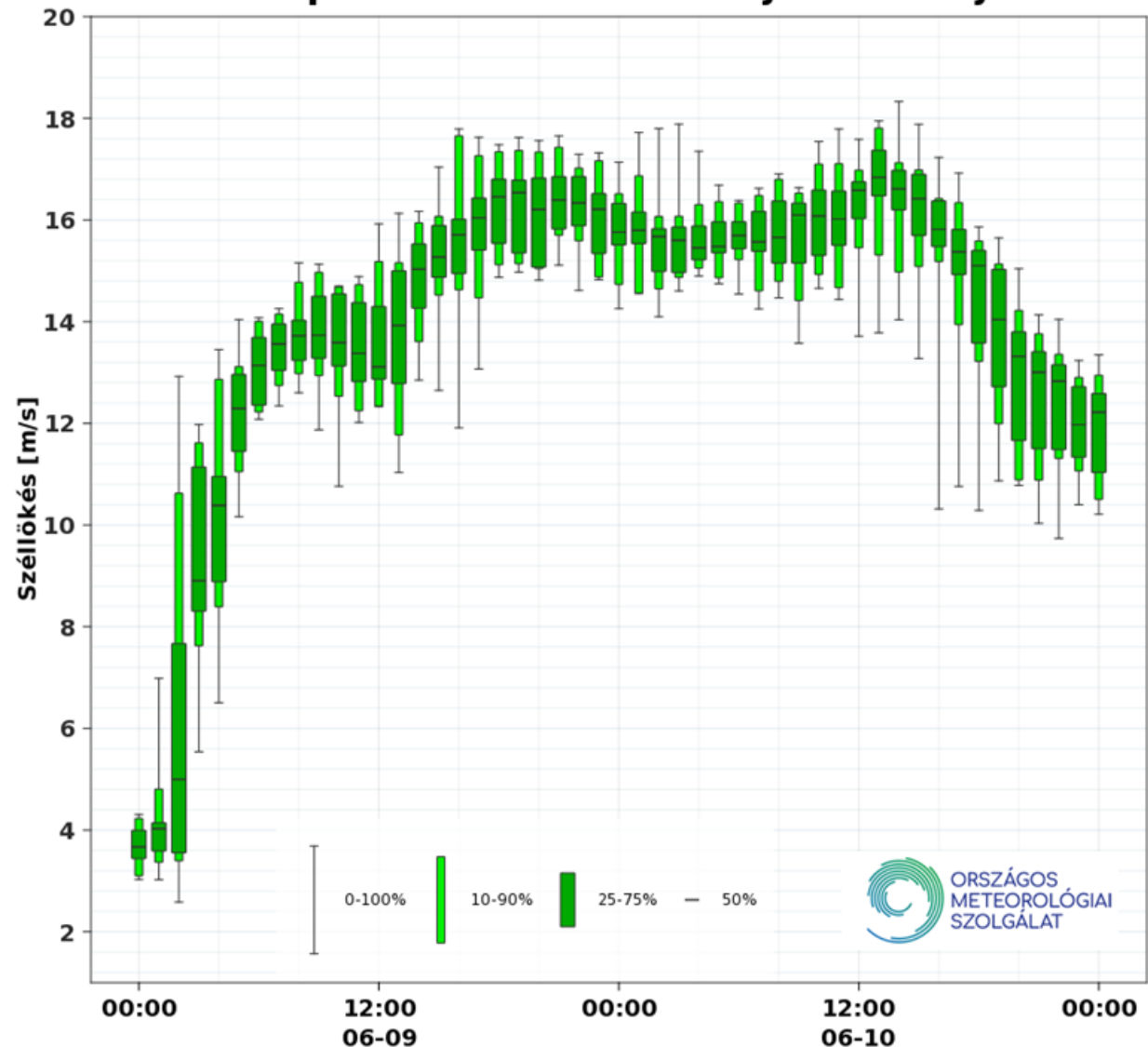
6 x 500 x 320 x 60 x 2880 =
~10¹¹ mennyiségű adat előrejelzésenként

Az előrejelzések bizonytalansága

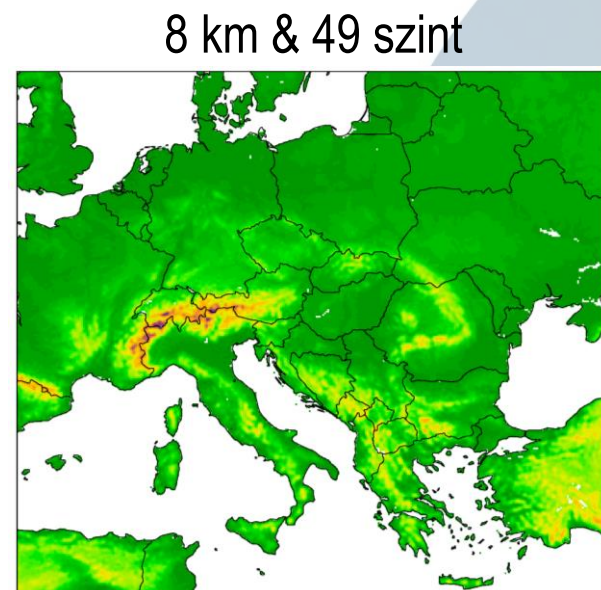
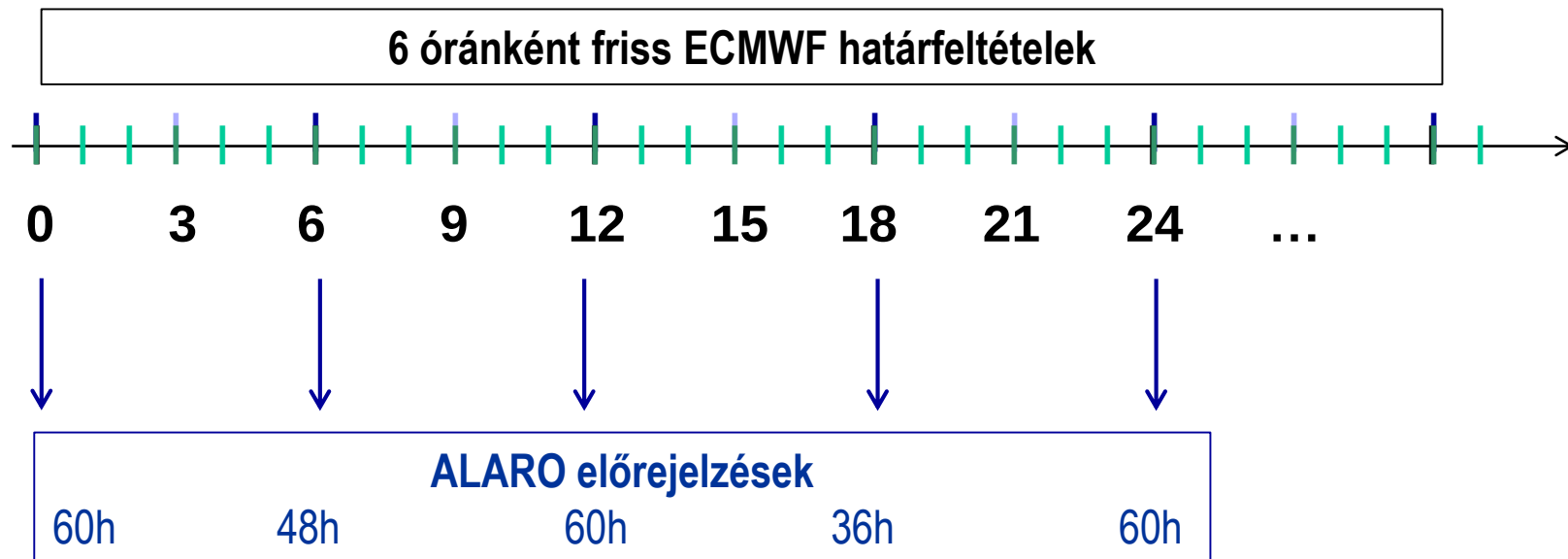
- Edward Lorenz (1972):
„Okozhat-e egy braziliai pillangó szárnycsapása tornádót Texasban?”
- A légkör bonyolult turbulens rendszer
- Kezdeti feltételek bizonytalansága, modellbizonytalanság
- Perturbáció →
egy helyett több előrejelzés: **ensemble**
- Valószínűségek → megjelenítés
meteogrammal, valószínűségi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

AROME-EPS Sopron

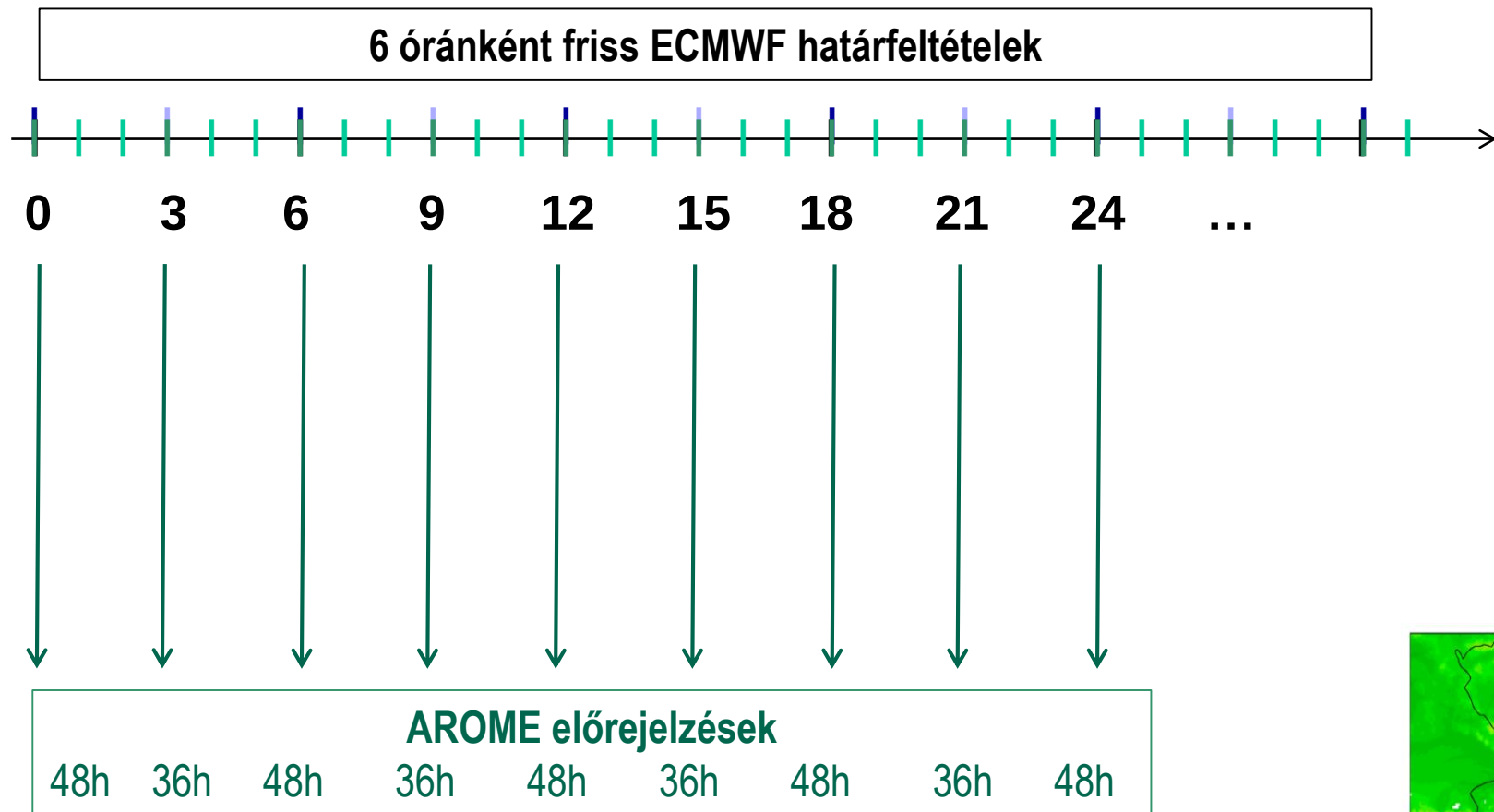
2022. június 9. - június 11.



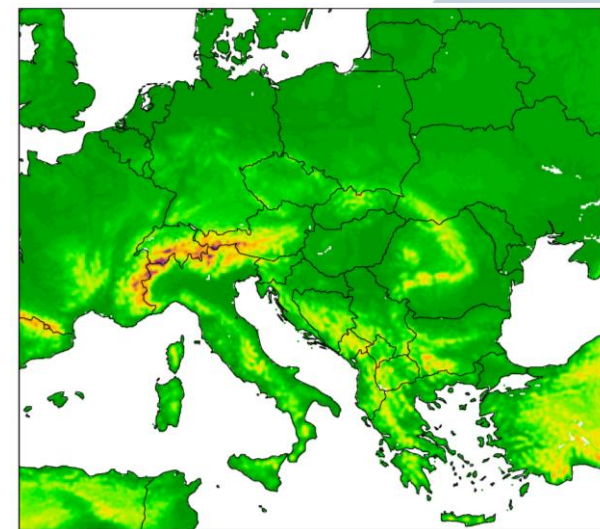
Operatív modellfuttatások – 2022



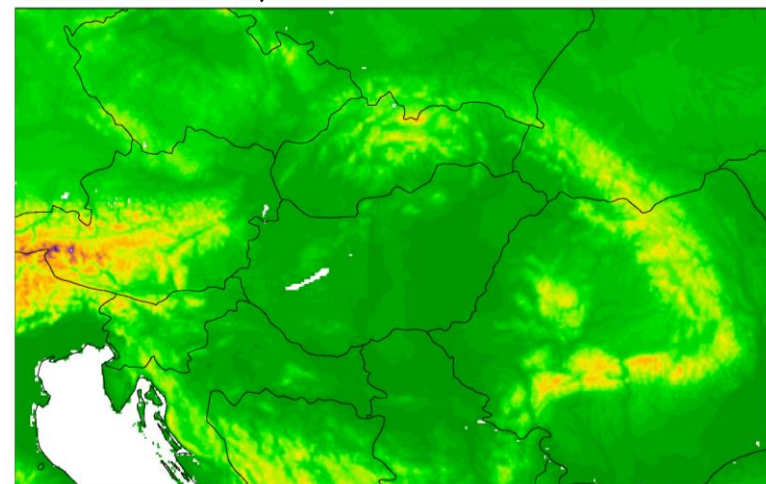
Operatív modellfuttatások – 2022



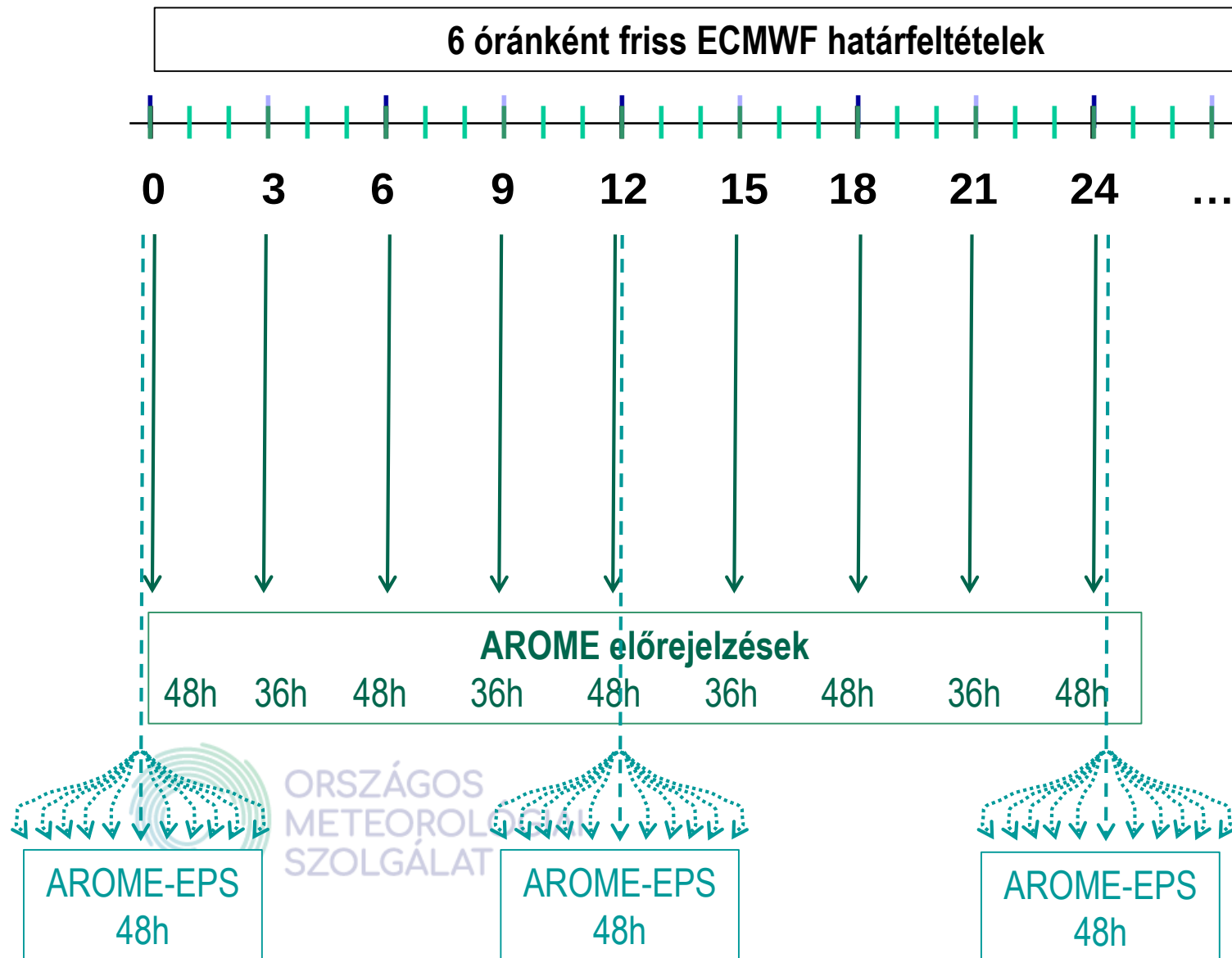
8 km & 49 szint



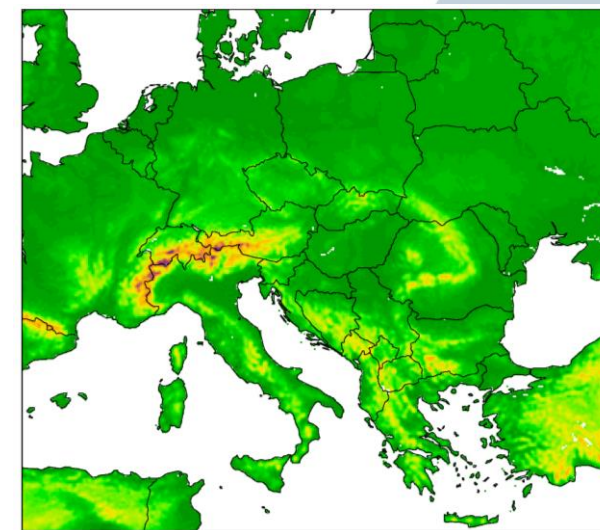
2,5 km & 60 szint



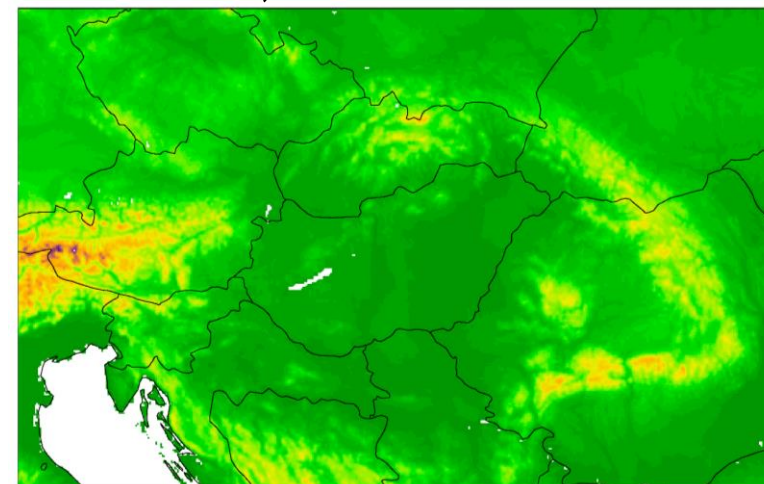
Operatív modellfuttatások – 2022



8 km & 49 szint

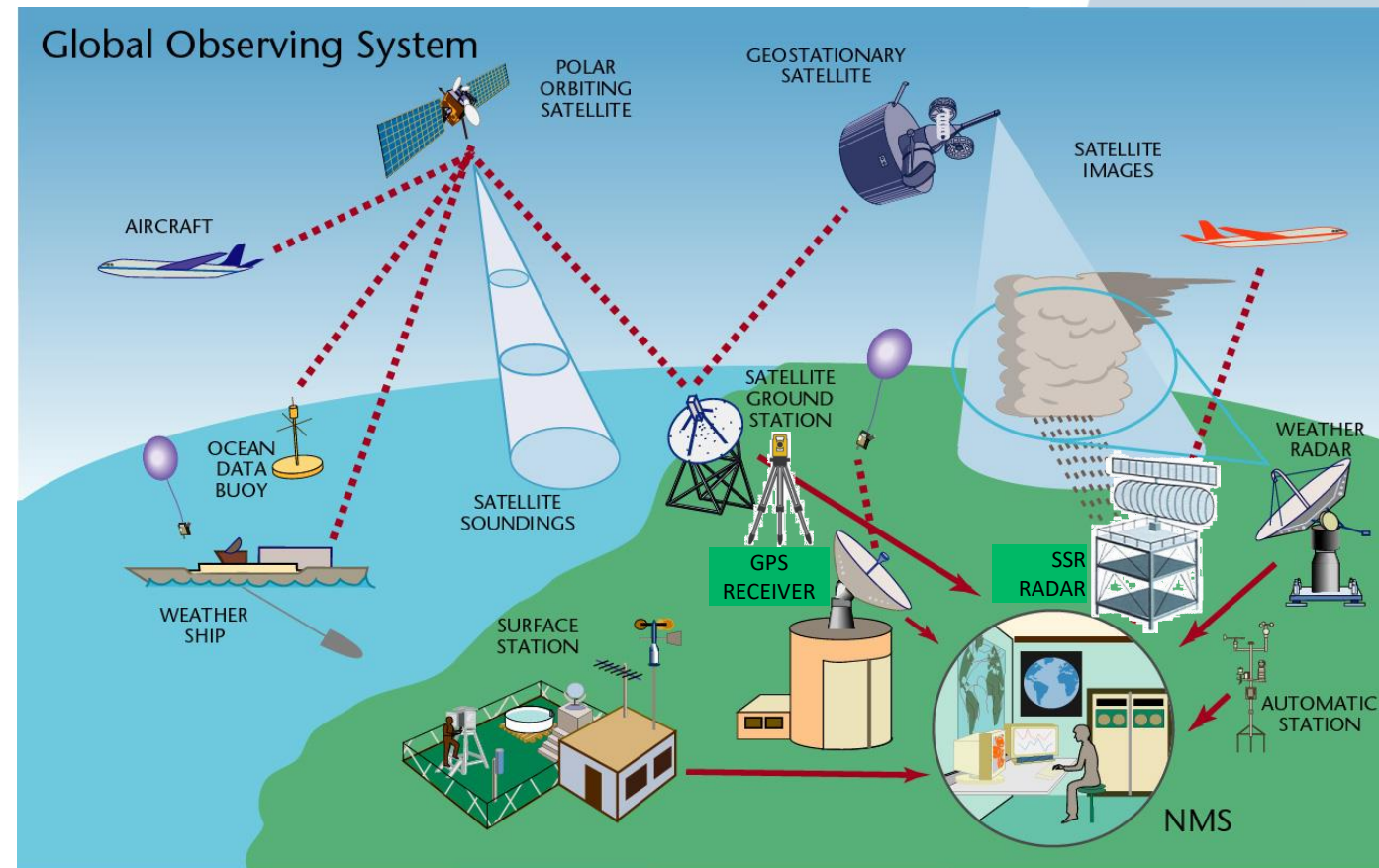


2,5 km & 60 szint



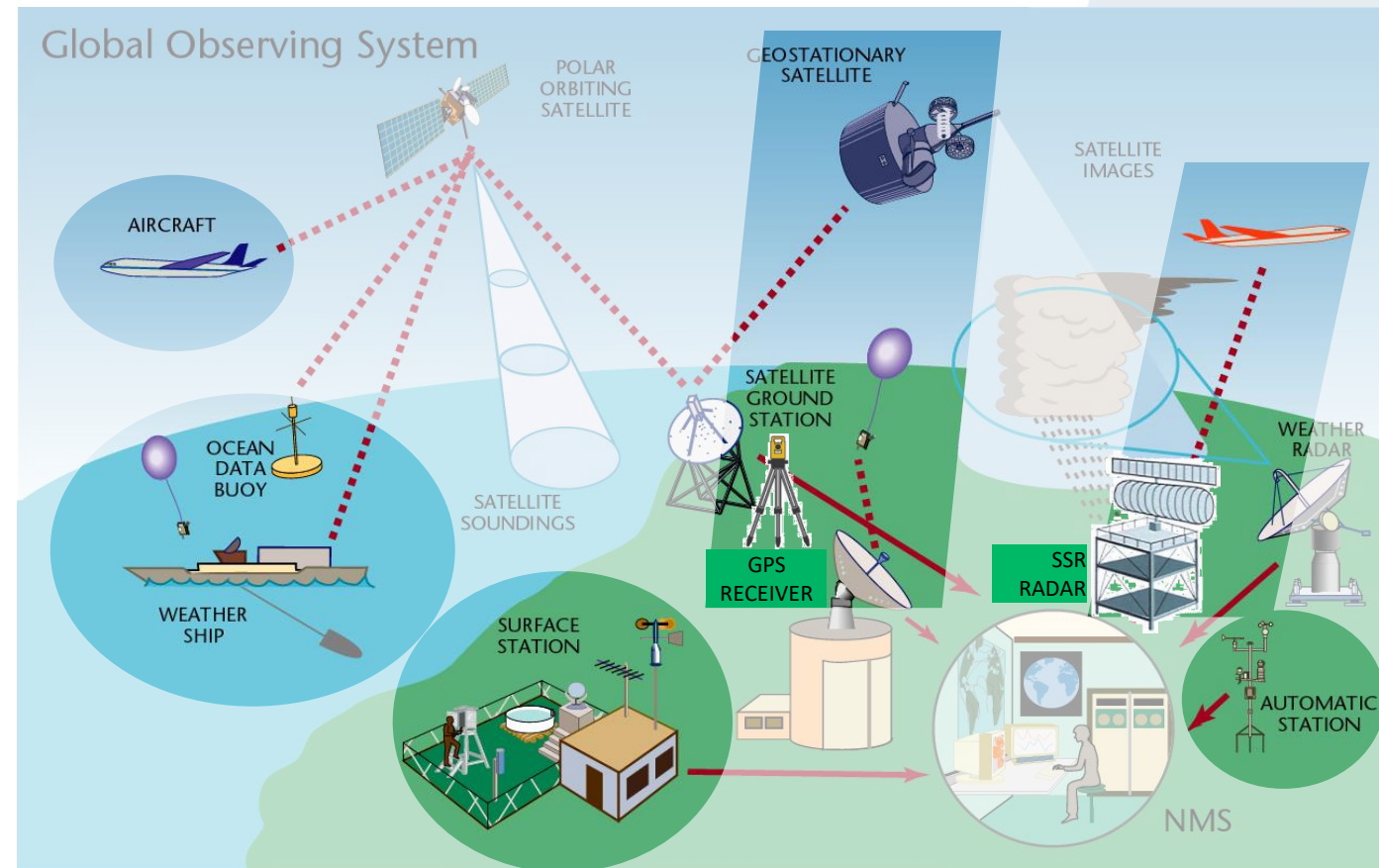
A kezdeti feltétel meghatározása

- 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
- (GNSS) GPS mérések: légoszlopban integrált nedvesség



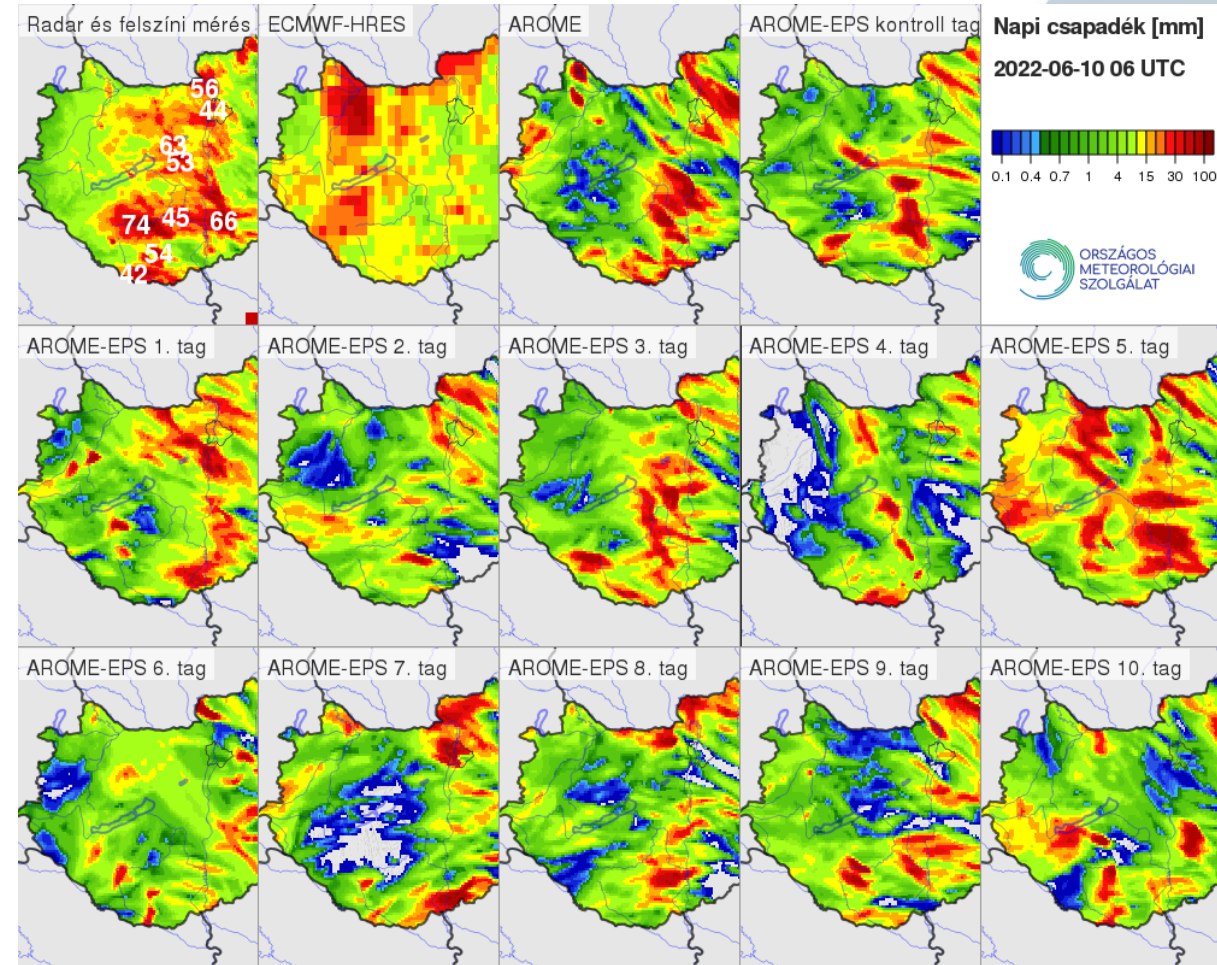
A kezdeti feltétel meghatározása

- 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
- (GNSS) GPS mérések: légoszlopban 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



TARTALOM

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

Aktuális fejlesztések

- Gyakoribb és új megfigyelések bevonása az adatasszimilációba: TEMP, 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
- Folyamatosan frissülő felszíni információk használata klimatológiai átlagok helyett: LAI
- Nyers előrejelzések utó-feldolgozása mérési adatokkal és gépi tanulós módszerekkel: globálsugárzás, 100-méteres szélesség

Aktuális fejlesztések

- Gyakoribb és új megfigyelések bevonása az adatasszimilációba: TEMP, 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
- Folyamatosan frissülő felszíni információk használata klimatológiai átlagok helyett: LAI
 - Nyers előrejelzések utó-feldolgozása mérési adatokkal és gépi tanulós módszerekkel: globálsugárzás, 100-méteres szélesség

Dinamikus LAI használata

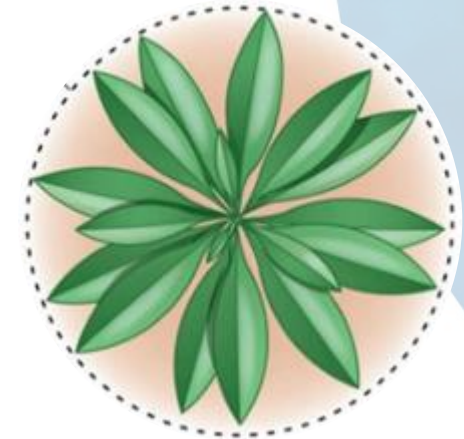
Szintai Balázs munkája

- A numerikus előrejelző modellek input információt igényelnek a felszínről (pl. felszínborítottság, domborzat, **levélfelületi index**)
- Leírásuk jelenleg: havonta változó klimatológiai érték alapján
- A klimatológiai átlag nem reprezentálja a növényzet időbeli változékonyságát, pl. csökkenését aszály hatására
- Cél: dinamikusan változó LAI információ használata az időjárás-előrejelzések során → jobb minőségű előrejelzés
- Lépések:
 1. Dinamikusan fejlődő LAI előállítása
 2. Szimulált LAI összehasonlítása mérésekkel
 3. Az időjárás-előrejelzés során az aktuális LAI használata
 4. Az előrejelzésre gyakorolt hatás vizsgálata

LAI ~ 40%



LAI ~ 80%



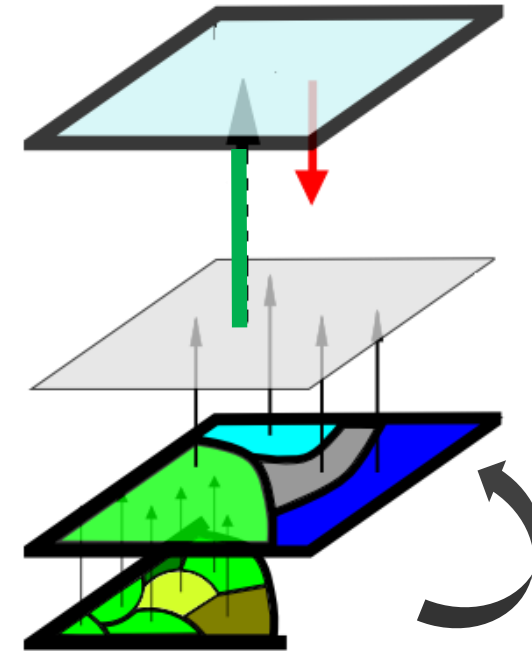
Dinamikusan fejlődő LAI előállítás

Szintai Balázs munkája

- A felszíni folyamatok leírása a SURFEX modellel
- 4 felszíntípus: tenger, tó, város, **természet**
→ a talaj, a légkör és a növényzet közötti kölcsönhatást az **ISBA almodell** írja le
- Tartalmaz egy fotoszintézis modult (**ISBA-A-gs**), ami leírja a növényzet fejlődését



Légköri jellemzők
légköri modellből,
pl. AROME-ból:
 T, q, u, v, p_s, P, rad



Felszíni jellemzők egy **felszíni adatbázisból** (ECOCLIMAP)

LAI értékek átadása az
AROME-nak



SURFEX:
cellára átlagolt hő, nedvesség
és momentum fluxus



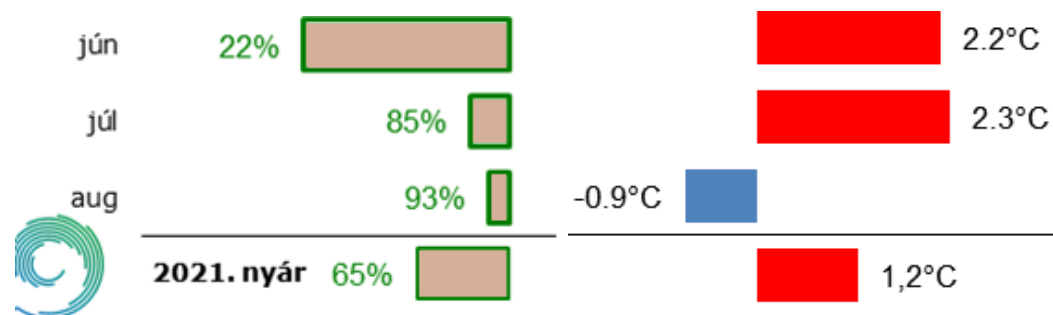
SURFEX:
a cellán belüli felszíntípusok
arányában a **turbulens
fluxusok** kiszámítása

ISBA-A-gs:
LAI prognosztikus számítása

Szimulált LAI összehasonlítása mérésekkel

Szintai Balázs munkája

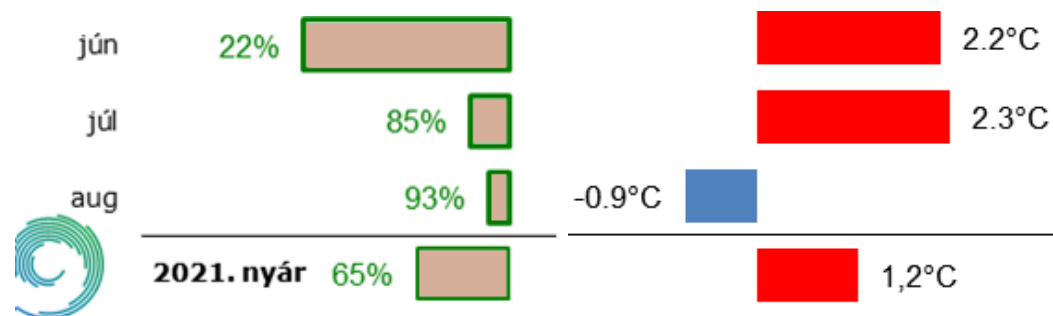
Magyarországi
csapadékösszeg és
átlaghőmérséklet
1991–2020-hoz képest



Szimulált LAI összehasonlítása mérésekkel

Szintai Balázs munkája

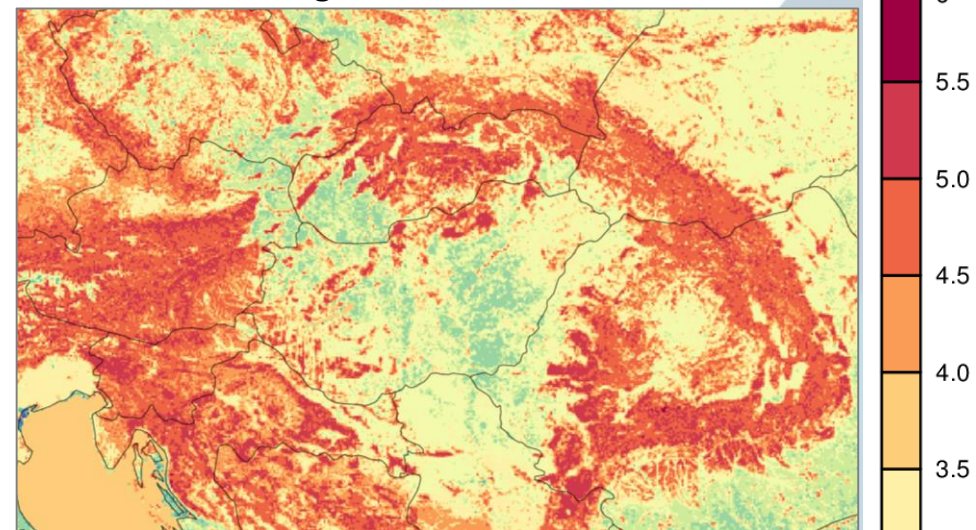
Magyarországi
csapadékösszeg és
átlaghőmérséklet
1991–2020-hoz képest



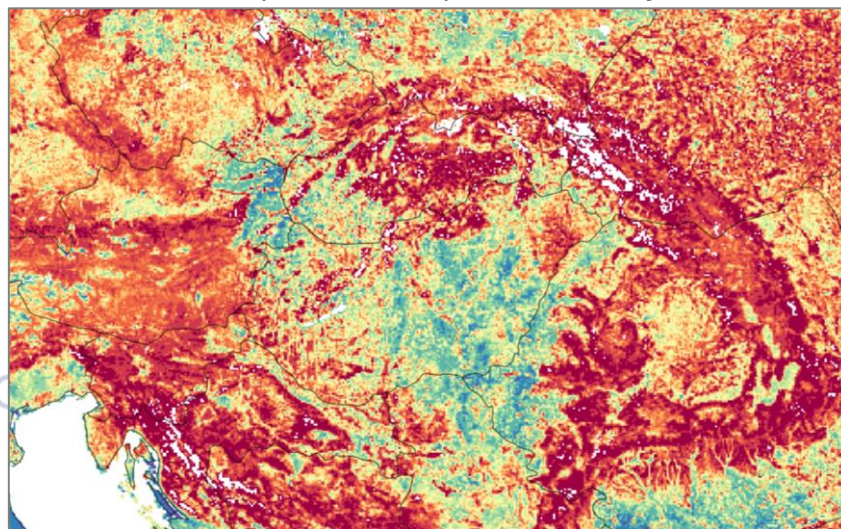
Sentinel-3

- ESA + EUMETSAT
- Kvázi-poláris iker műholdak: A – 2016, B – 2018
- Cél: óceáni és környezeti jellemzők, felszínhőmérséklet megfigyelése
- Térbeli felbontás: 300 m – 1 km
- Időbeli felbontás: napi
- Élettartam: 7-12 év

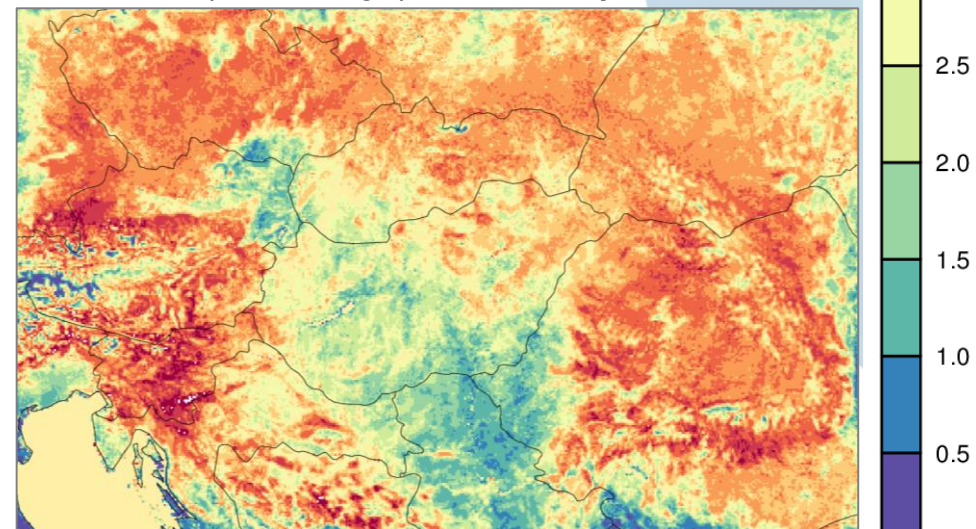
Júliusi klimatológiai LAI



Mért (Sentinel-3) LAI 2021. július 15-én



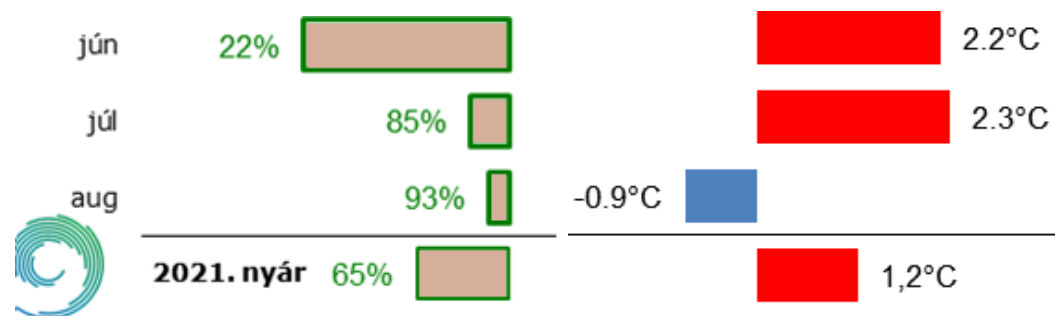
Szimulált (ISBA-A-gs) LAI 2021. július 15-én



Szimulált LAI összehasonlítása mérésekkel

Szintai Balázs munkája

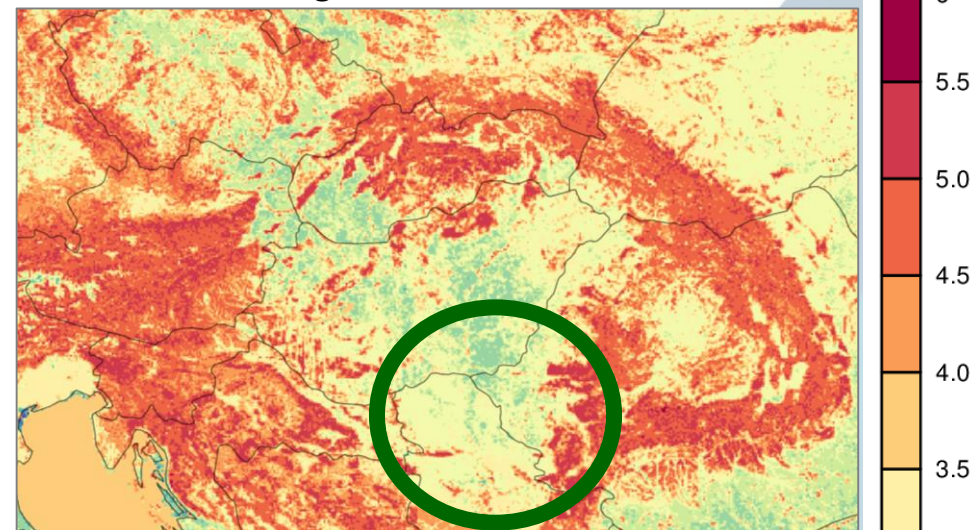
Magyarországi
csapadékösszeg és
átlaghőmérséklet
1991–2020-hoz képest



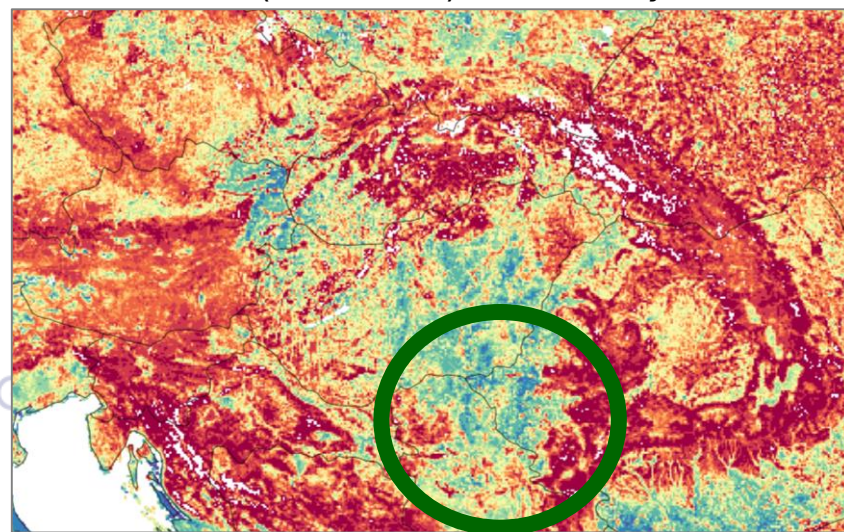
Sentinel-3

- ESA + EUMETSAT
- Kvázi-poláris iker műholdak: A – 2016, B – 2018
- Cél: óceáni és környezeti jellemzők, felszínhőmérséklet megfigyelése
- Térbeli felbontás: 300 m – 1 km
- Időbeli felbontás: napi
- Élettartam: 7-12 év

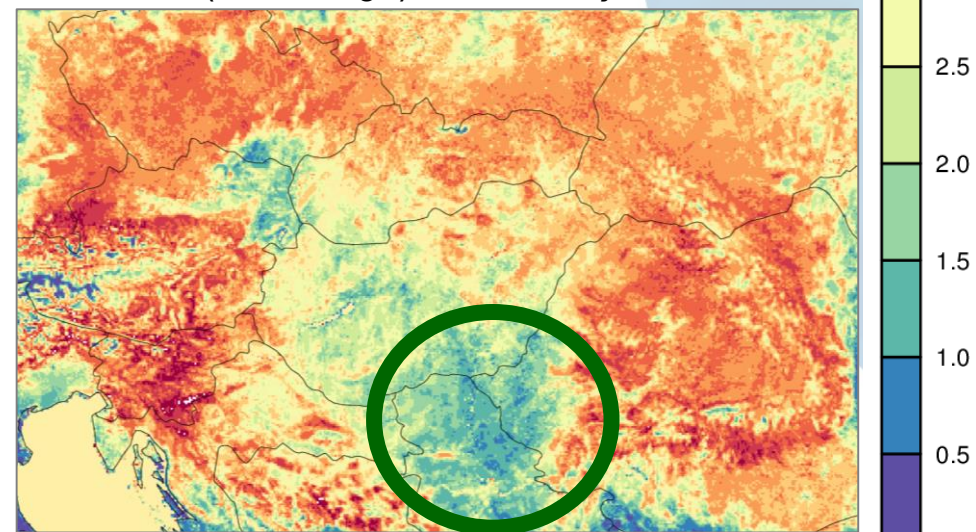
Júliusi klimatológiai LAI



Mért (Sentinel-3) LAI 2021. július 15-én



Szimulált (ISBA-A-gs) LAI 2021. július 15-én

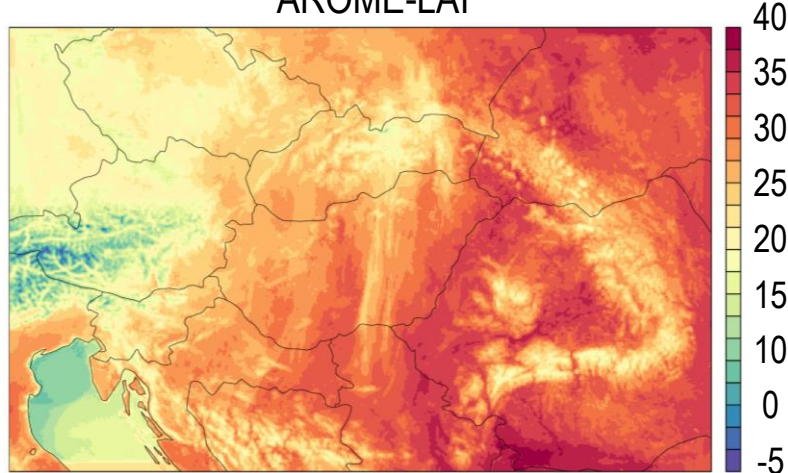


LAI hatása az előrejelzésre

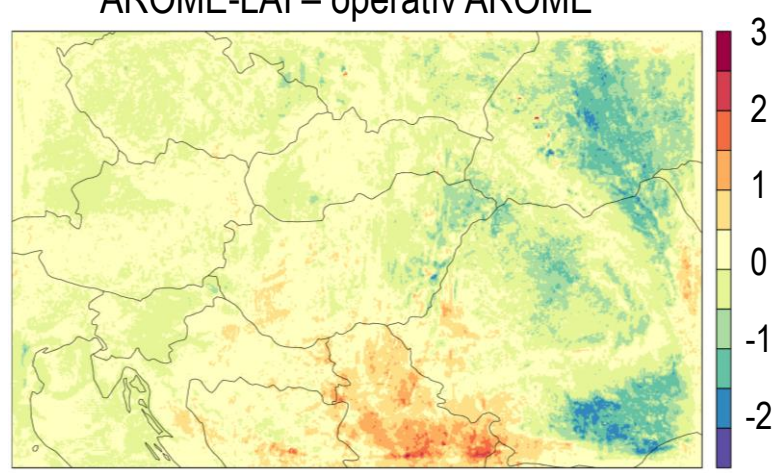
Szintai Balázs munkája

12-órás hőmérséklet-előrejelzés [°C] 2021. július 15-én 12 UTC-kor

AROME-LAI



AROME-LAI – operatív AROME



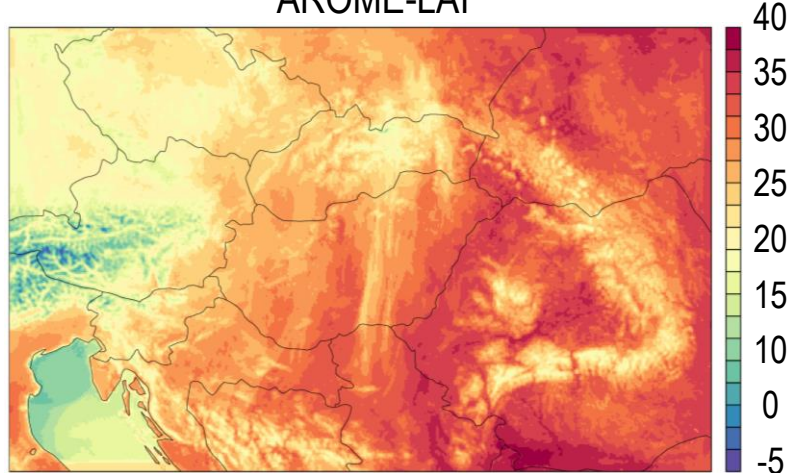
Kísérletek	LAI
Operatív AROME	Klimatológiai
AROME-LAI	ISBA-A-gs

LAI hatása az előrejelzésre

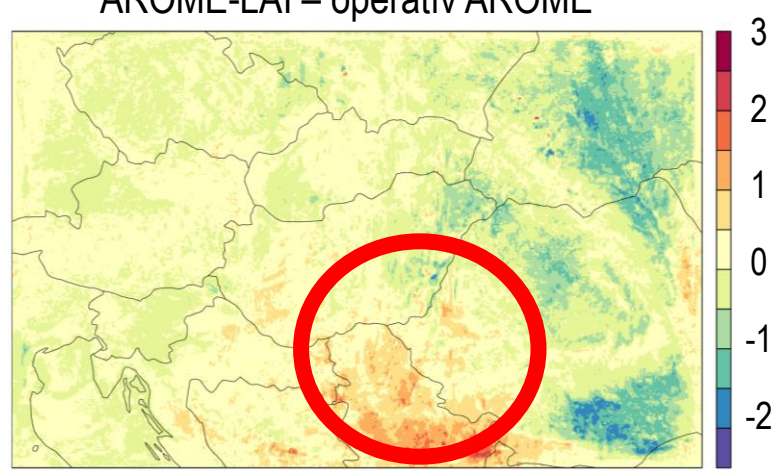
Szintai Balázs munkája

12-órás hőmérséklet-előrejelzés [°C] 2021. július 15-én 12 UTC-kor

AROME-LAI



AROME-LAI – operatív AROME



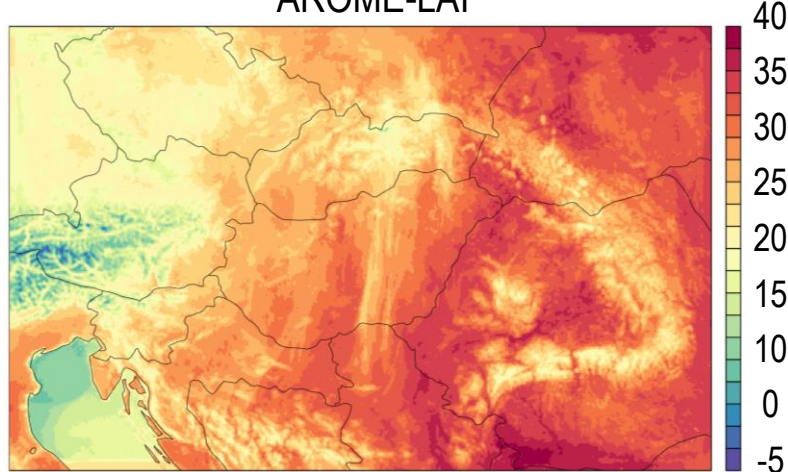
Kísérletek	LAI
Operatív AROME	Klimatológiai
AROME-LAI	ISBA-A-gs

LAI hatása az előrejelzésre

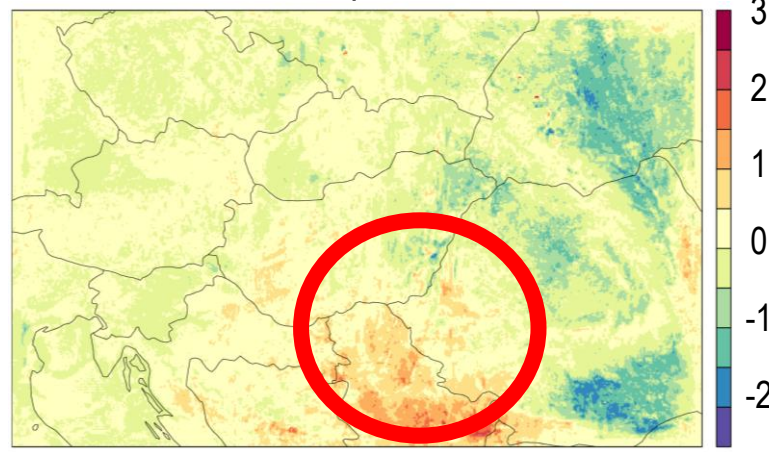
Szintai Balázs munkája

12-órás hőmérséklet-előrejelzés [°C] 2021. július 15-én 12 UTC-kor

AROME-LAI

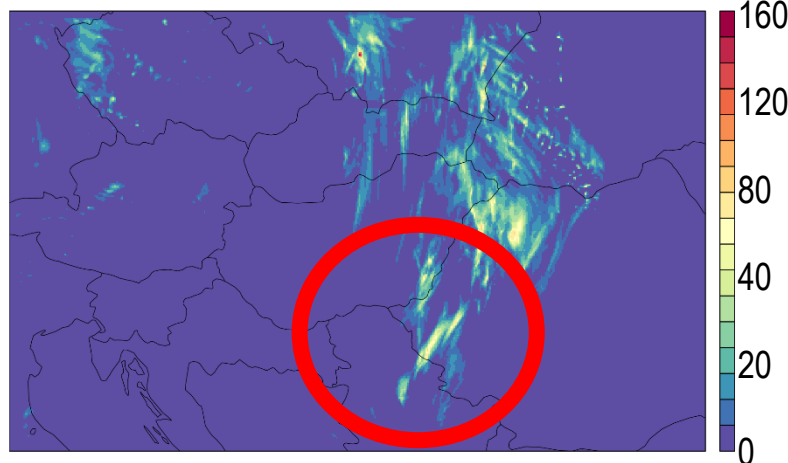


AROME-LAI – operatív AROME

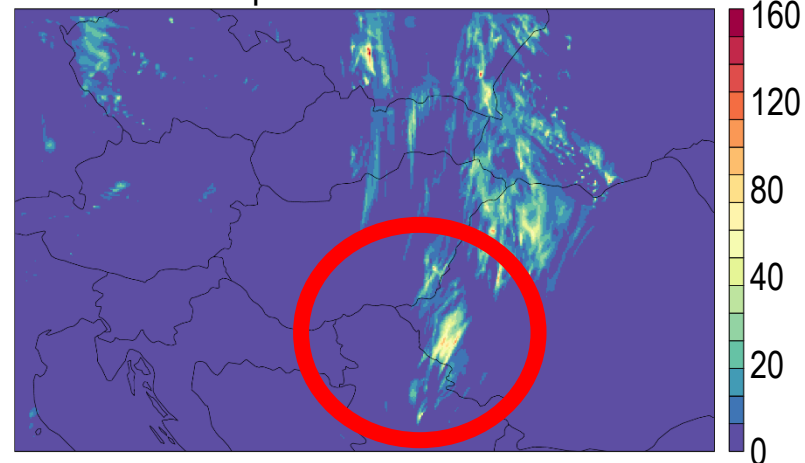


30-órás csapadék-előrejelzés [mm/30h] 2021. július 16-án 6 UTC-kor

AROME-LAI



Operatív AROME



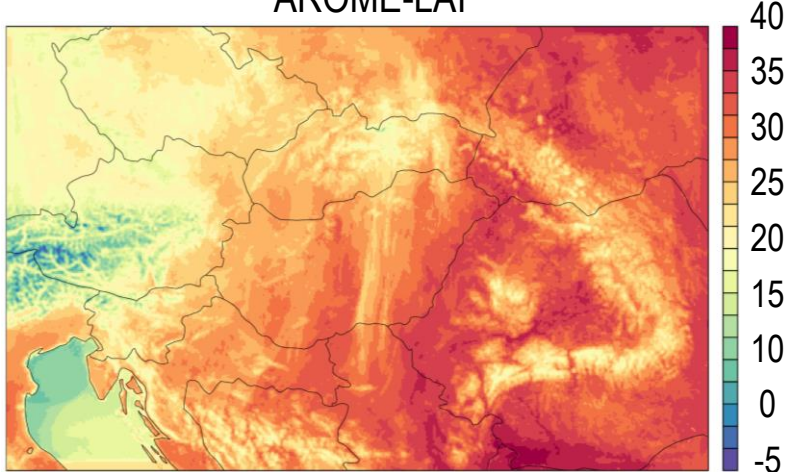
Kísérletek	LAI
Operatív AROME	Klimatológiai
AROME-LAI	ISBA-A-gs

LAI hatása az előrejelzésre

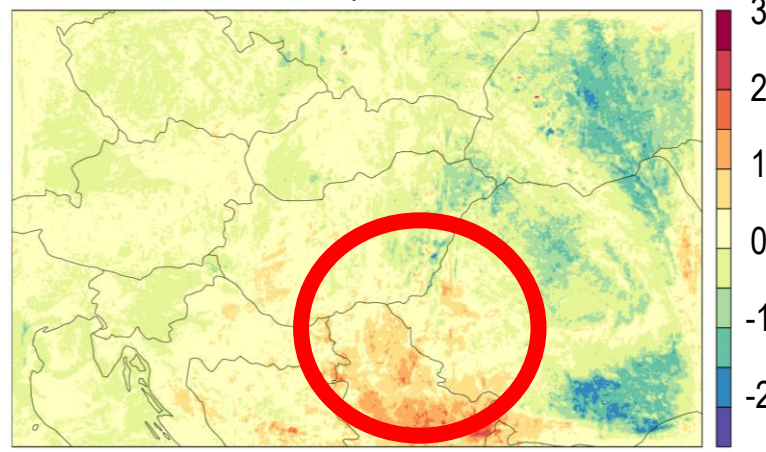
Szintai Balázs munkája

12-órás hőmérséklet-előrejelzés [°C] 2021. július 15-én 12 UTC-kor

AROME-LAI

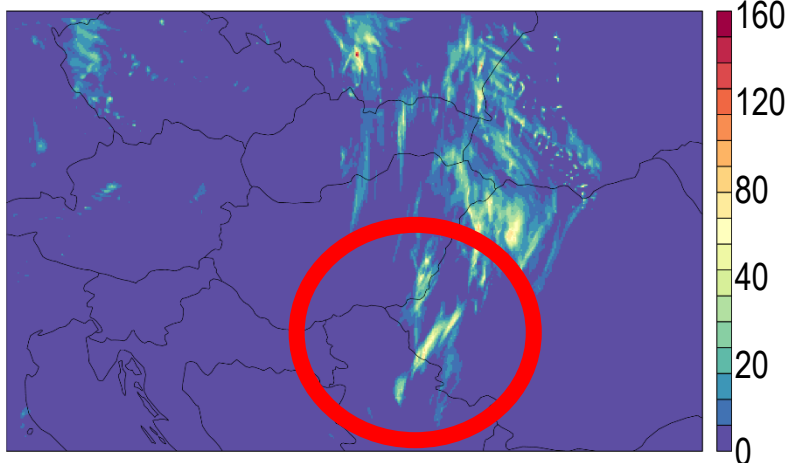


AROME-LAI – operatív AROME

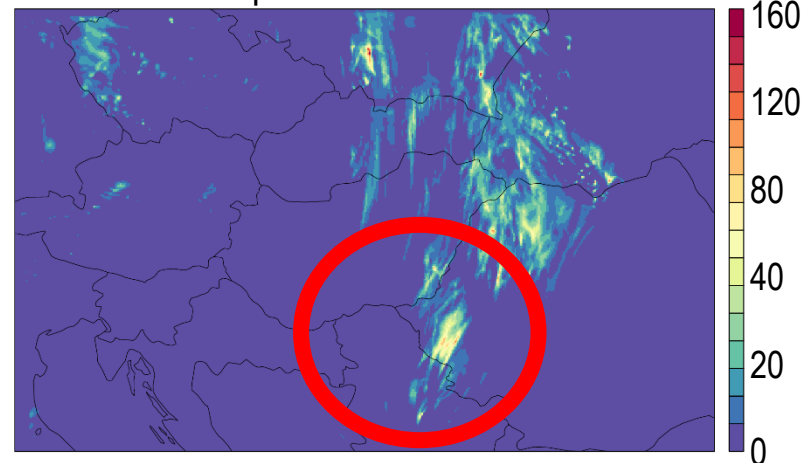


30-órás csapadék-előrejelzés [mm/30h] 2021. július 16-án 6 UTC-kor

AROME-LAI



Operatív AROME



Kísérletek	LAI
Operatív AROME	Klimatológiai
AROME-LAI	ISBA-A-gs

Eredmények:

- Akár 2 fok eltérés a hőmérséklet előrejelzésben
- Hatás a csapadékmezőben

Tervek:

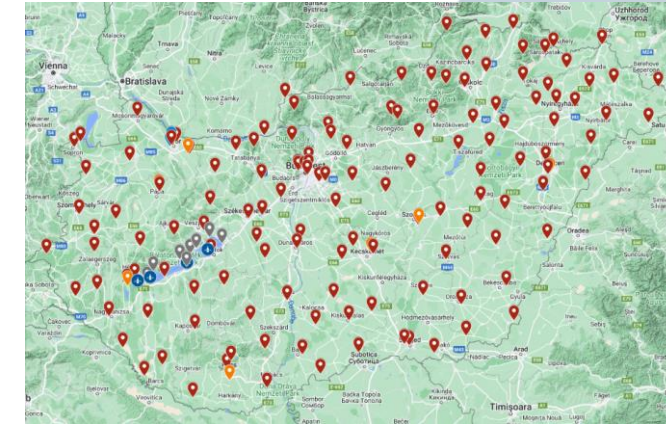
- Pontosabb LAI érték előállítása műholdas (LAI és talajnedvesség) adatok asszimilációjával
- Hosszabb időszak vizsgálata

Nyers előrejelzések utó-feldolgozása

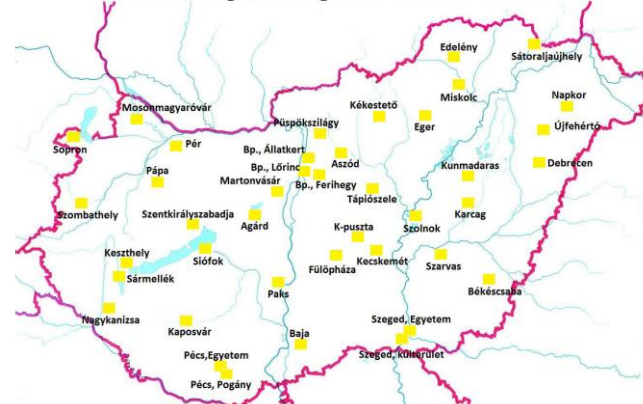
- Közös munka matematikusokkal
- AROME és AROME-EPS eredményeinek utó-feldolgozása az előrejelzések javítására
- Célparaméterek:
 - 100-méteres szélesség (v100)
 - Globálsugárzás (G)
- Felhasználható információk:
 - Mérések
 - Előrejelzések
- Hosszú archivált adatsor szükséges hozzá



Az OMSZ 10-méteres szélmérései



Az OMSZ globálsugárzás mérőhálózata



Partnerek **globálsugárzás** és **100-méteres szélmérései**



AROME utó-feldolgozás

Kornyik Miklós munkája

- Napi 8 AROME előrejelzés 15-percenkénti outputokkal
- Több módszer →
pontonkénti korrektor: külön almodell minden időtávhoz
- Célparaméter: 100-méteres szélesség (v100), globálsugárzás (G)
- Input adatok:
 - AROME előrejelzések pontra és környezetére
0 (v100) és 0/12 UTC-kor (G)
 - Mérések: partnerek **v100**, **G** mérései,
T2, p_s SYNOP mérések
- Időszak: 2020. április 17. – december 31.
(80% tanítás, 20% validáció)
- Javítás számszerűsítése: négyzetes hiba (RMSE) alapján
- Rendszeres újratanítás, lehetőleg hosszú adatsorral

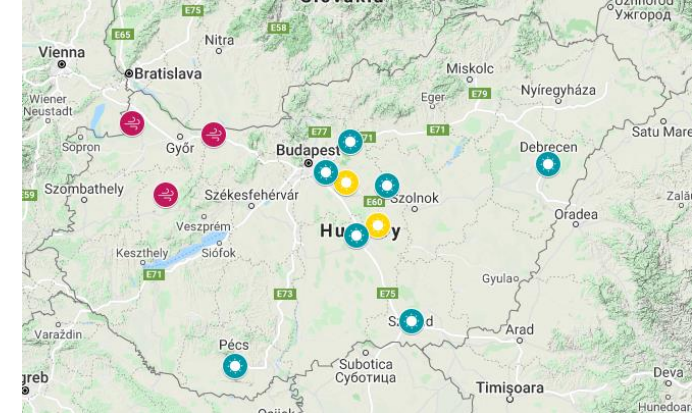


$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (modell_i - mérés_i)^2$$

RMSE javítás [%]			
	Tanítás	Validáció	Teljes
1. helyszín	9	7	9
2. helyszín	16	17	16
3. helyszín	15	12	14
1. helyszín	10 (10)	11 (11)	10 (10)
2. helyszín	17 (10)	17 (13)	17 (13)

AROME-EPS utó-feldolgozás

Baran Ágnes, Baran Sándor, Debreceni Egyetem



- Egy-paraméteres EMOS utó-feldolgozás → javított előrejelzés eloszlása

Globálsugárzás

- Vizsgált eloszlások:
 - CL0: nullában alulról cenzorált logisztikus
 - CN0: nullában alulról cenzorált normális
 - Paraméterek meghatározása gépi tanulással: CL0-MLP, CN0-MLP
- Input adatok:
 - 0 UTC-s AROME-EPS előrejelzések 48 órára 15 percenként
 - Mérések: OMSZ sugárzás mérések 7 pontra
- Időszak: 2020. július 1. – 2021. június 30.
- 31-napos gördülő tanulóidőszak
- Lokális vs regionális paraméterbecslés
- Javítás számszerűsítése: CRPS alapján

100-méteres szélesség

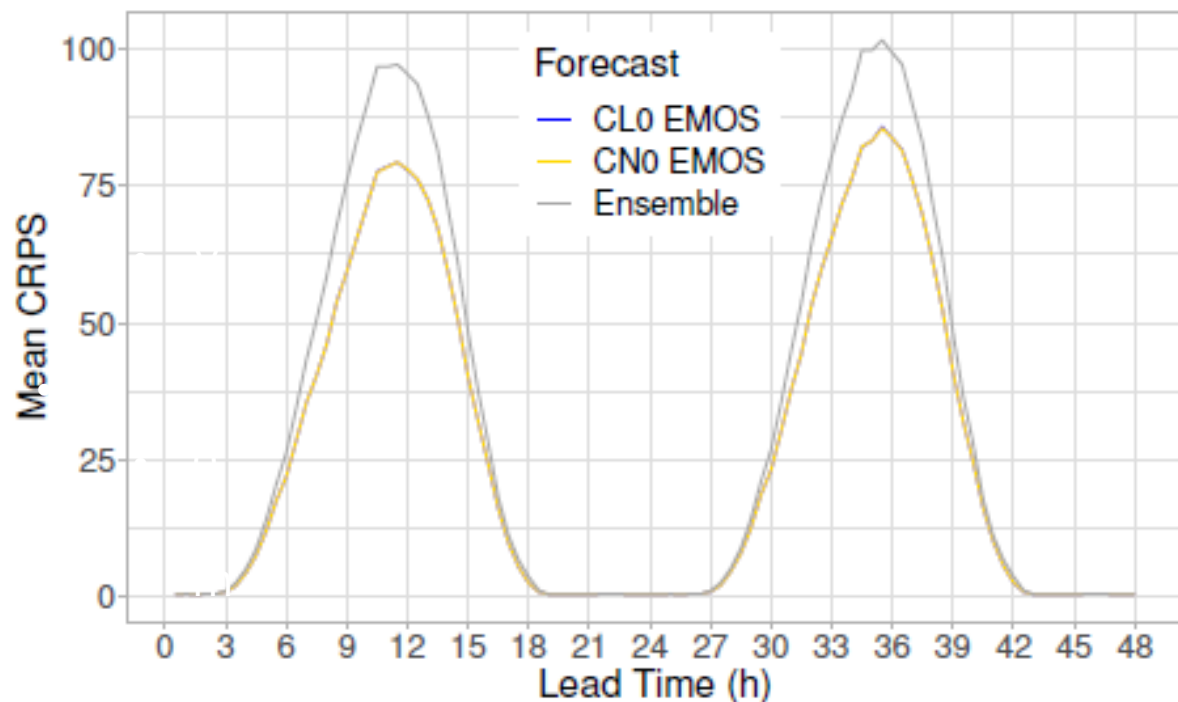
- Vizsgált eloszlások:
 - TN: csonkított normális
 - LN: lognormális
 - Paraméterek meghatározása gépi tanulással: TN-MLP, LN-MLP
- Input adatok:
 - 0 UTC-s AROME-EPS előrejelzések 48 órára 15 percenként
 - Mérések: partner mérések 3 pontra
- Időszak: 2020. július 1. – 2021. június 30.
- 51-napos gördülő tanulóidőszak
- Lokális vs regionális paraméterbecslés
- Javítás számszerűsítése: CRPS alapján

AROME-EPS utó-feldolgozás

Baran Ágnes, Baran Sándor, Debreceni Egyetem

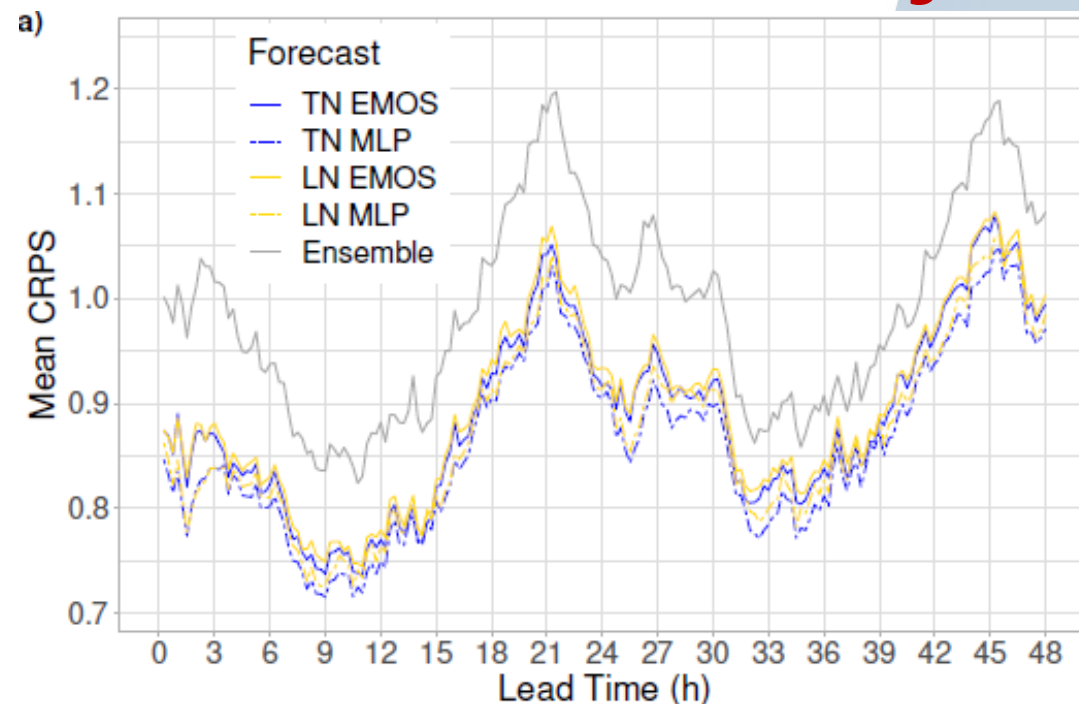
$$CRPS = \int_{-\infty}^{\infty} (F_{modell} - F_{mérés})^2 dx$$

Globálsugárzás



CL0-EMOS: 83%
CN0-EMOS: 83%, CN0-MLP: 83%

100-méteres szélesség



TN-EMOS: 90%, **TN-MLP: 87%**

LN-EMOS: 90%, LN-MLP: 88%

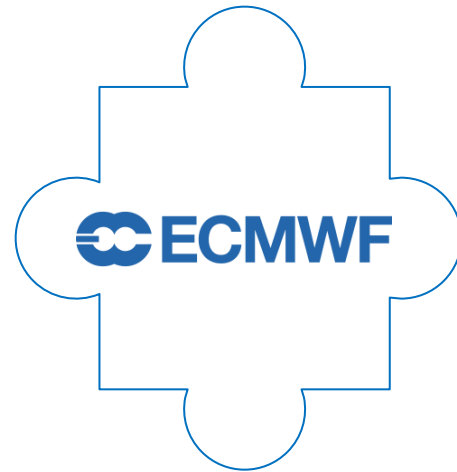
TARTALOM

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

A Modellezési Osztály

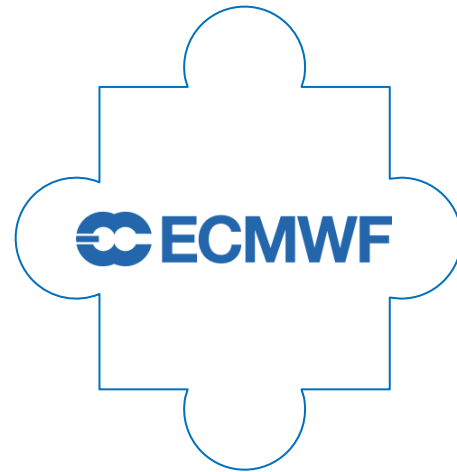
A Modellezési Osztály

Középtávú előrejelzés: Ihász I.



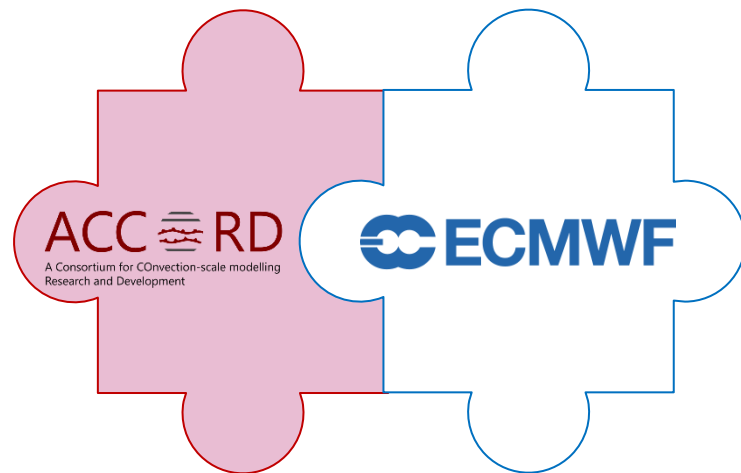
A Modellezési Osztály

Középtávú előrejelzés: Ihász I.



A Modellezési Osztály

Középtávú előrejelzés: Ihász I.



Rövidtávú előrejelzés

J. Radnóczy K.,

K. Tóth H.,

Lancz D.,

Szanyi K.,

Szintai B.,

Tóth G.,

Várkonyi A.

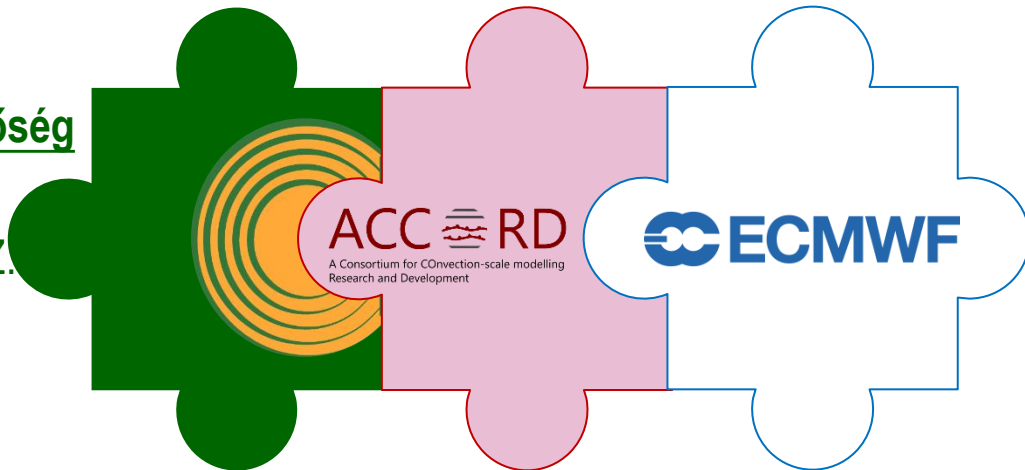


A Modellezési Osztály

Középtávú előrejelzés: Ihász I.

Levegőminőség
modellezés

P. Ferenczi Z.
Lázár K.,
Tóth A.



Rövidtávú előrejelzés

J. Radnóczy K.,
K. Tóth H.,
Lancz D.,
Szanyi K.,
Szintai B.,
Tóth G.,
Várkonyi A.

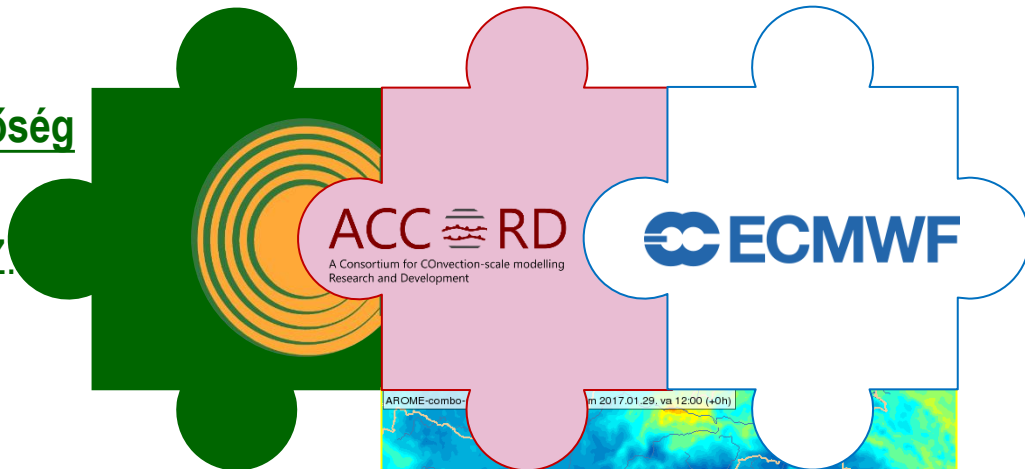


A Modellezési Osztály

Középtávú előrejelzés: Ihász I.

Levegőminőség
modellezés

P. Ferenczi Z.
Lázár K.,
Tóth A.



Rövidtávú előrejelzés

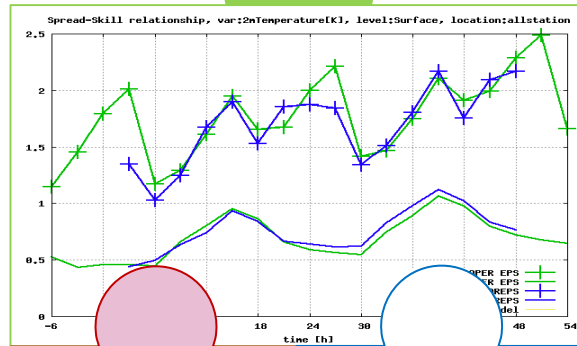
J. Radnóczy K.,
K. Tóth H.,
Lancz D.,
Szanyi K.,
Szintai B.,
Tóth G.,
Várkonyi A.



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

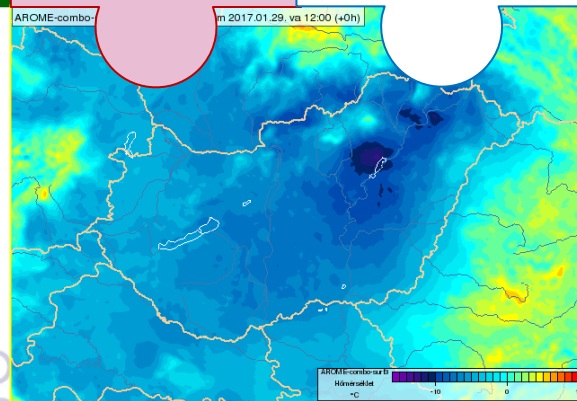
A Modellezési Osztály

Középtávú előrejelzés: Ihász I.



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

ECMWF



Rövidtávú előrejelzés

J. Radnóczy K.,
K. Tóth H.,
Lancz D.,
Szanyi K.,
Szintai B.,
Tóth G.,
Várkonyi A.

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

A Modellezési Osztály

Középtávú előrejelzés: Ihász I.

Klíma-modellezés

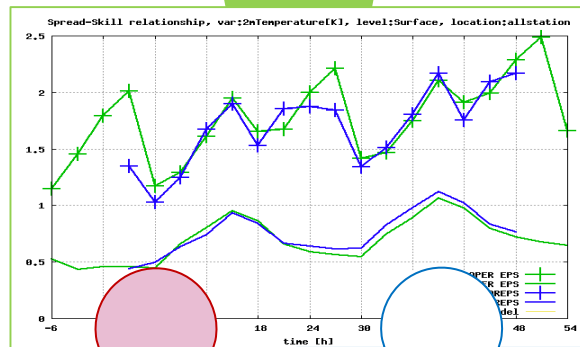
A.-Zsebeházi G.
Bán B.,
Megyeri-K. O.,
Suga R.,

Levegőminőség
modellezés

P. Ferenczi Z.
Lázár K.,
Tóth A.

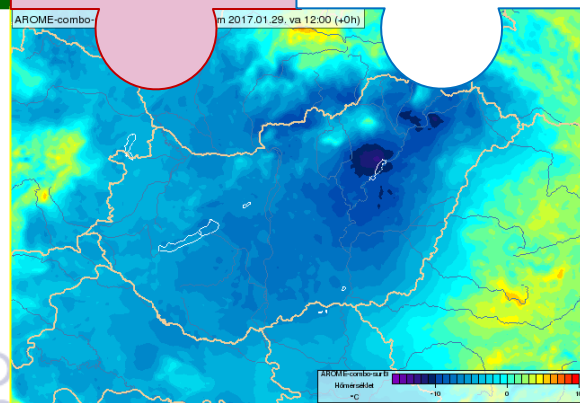
Rövidtávú előrejelzés

J. Radnóczy K.,
K. Tóth H.,
Lancz D.,
Szanyi K.,
Szintai B.,
Tóth G.,
Várkonyi A.



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

ECMWF



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

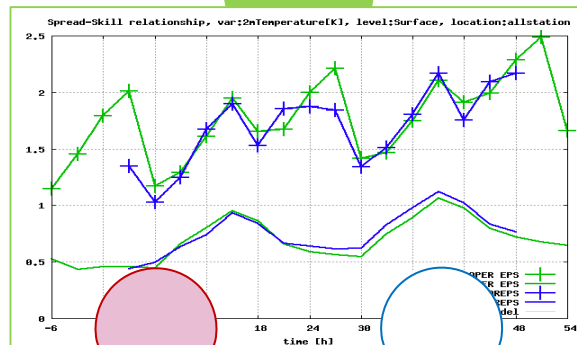
A Modellezési Osztály

Levegőminőség modellezés

P. Ferenczi Z.
Lázár K.,
Tóth A.

Rövidtávú előrejelzés

J. Radnóczy K.,
K. Tóth H.,
Lancz D.,
Szanyi K.,
Szintai B.,
Tóth G.,
Várkonyi A.



Középtávú előrejelzés: Ihász I.

Klíma modellezés

A.-Zsebeházi G.
Bán B.,
Megyeri-K. O.,
Suga R.,

Egyetemi oktatás

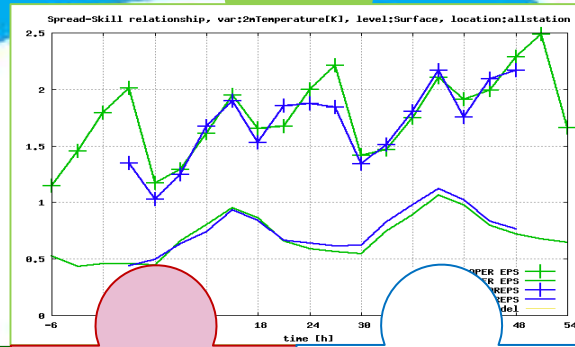
Szépszó G., Szintai B., A.-Zsebeházi G., J. Radnóczy K., Várkonyi A.

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

A Modellezési Osztály

C-SRNWP koordináció

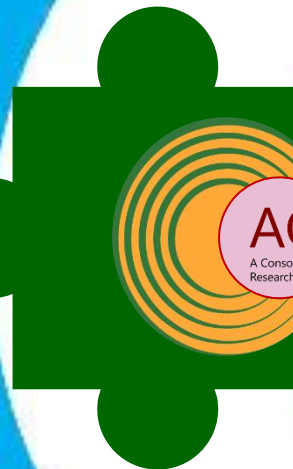
Szintai B.



Középtávú előrejelzés: Ihász I.

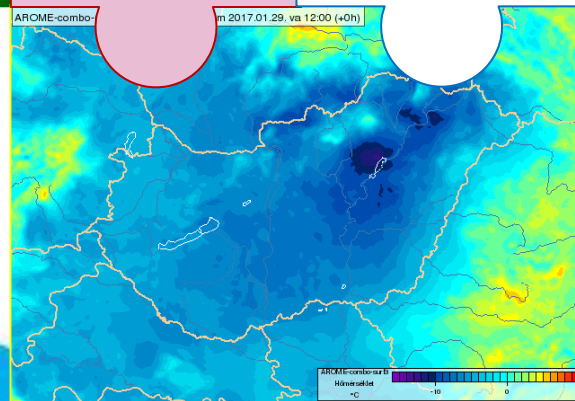
Levegőminőség modellezés

P. Ferenczi Z.
Lázár K.,
Tóth A.



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

ECMWF



Klíma modellezés

A.-Zsebeházi G.
Bán B.,
Megyeri-K. O.,
Suga R.,



Rövidtávú előrejelzés

J. Radnóczy K.,
K. Tóth H.,
Lancz D.,
Szanyi K.,
Szintai B.,
Tóth G.,
Várkonyi A.

Egyetemi oktatás

Szépszó G., Szintai B., A.-Zsebeházi G., J. Radnóczy K., Várkonyi A.

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

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
Például: A vegetáció időbeli fejlődésének leírása és validációja a SURFEX talajmodellben (MSc) – Szintai B.
- Személyes megkereséssel
- A numerikus előrejelzés órákon (MSc 2) az oktatók figyelmének felkeltésével
- Álláshirdetésre jelentkezéssel

Hogyan lehet felvételt nyerni az osztályra?

- Modellezési diplomamunka téma választásával
Például: A vegetáció időbeli fejlődésének leírása és validációja a SURFEX talajmodellben (MSc) – Szintai B.
- Személyes megkereséssel
- A numerikus előrejelzés órákon (MSc 2) az oktatók figyelmének felkeltésével
- Álláshirdetésre jelentkezéssel