

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)

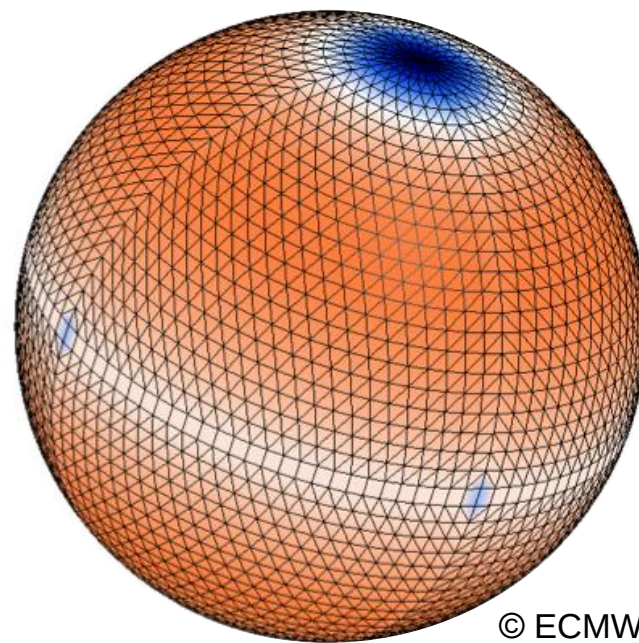
A hidro-termodinamikai egyenletrendszer

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	$p = \rho R T$

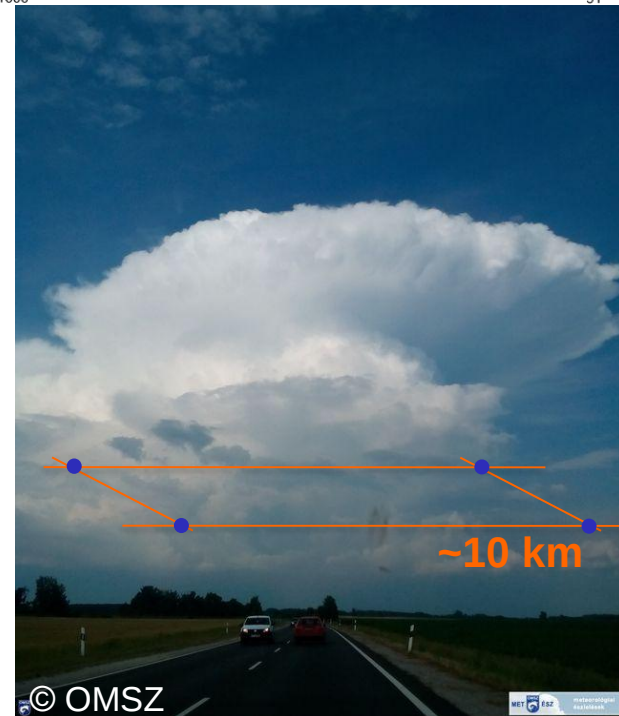
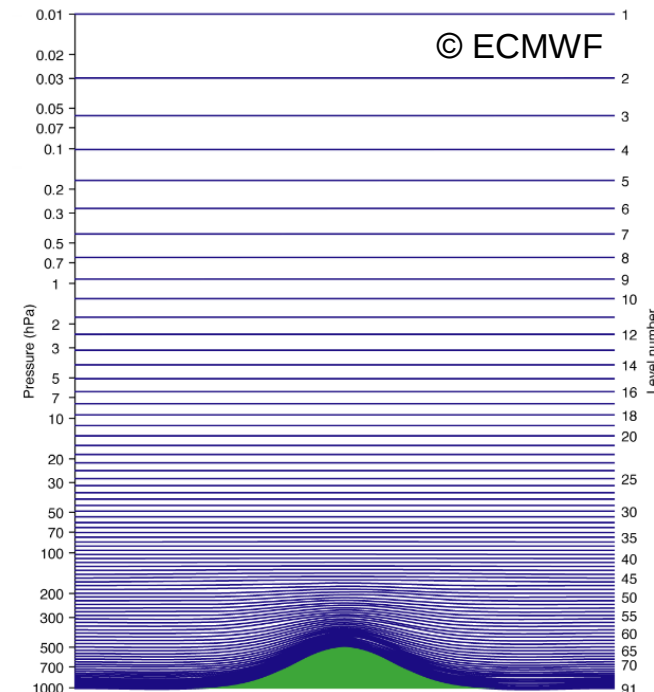
- Nem-lineáris parciális differenciálegyenlet-rendszer
- Csak numerikus módszerekkel oldható meg
- Kezdeti és peremfeltételeket igényel

Numerikus megoldás

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



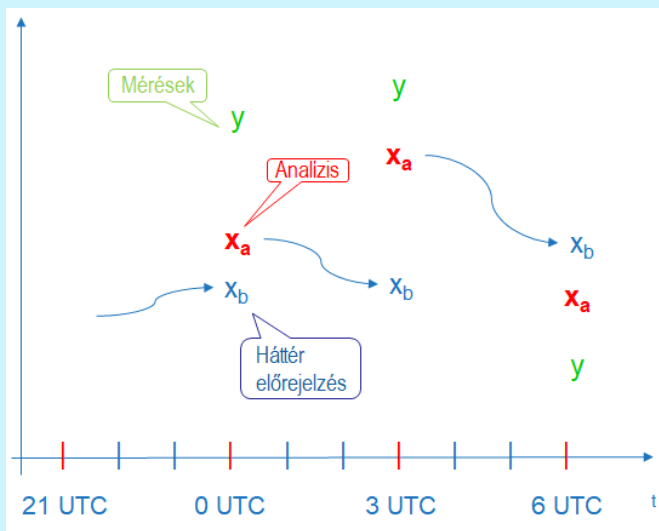
© ECMWF



A számszerű előrejelzés lépései

KEZDETI ÁLLAPOT MEGADÁSA

Mérések gyűjtése, ellenőrzése,
modellrácsra előállítása
(adatasszimiláció)



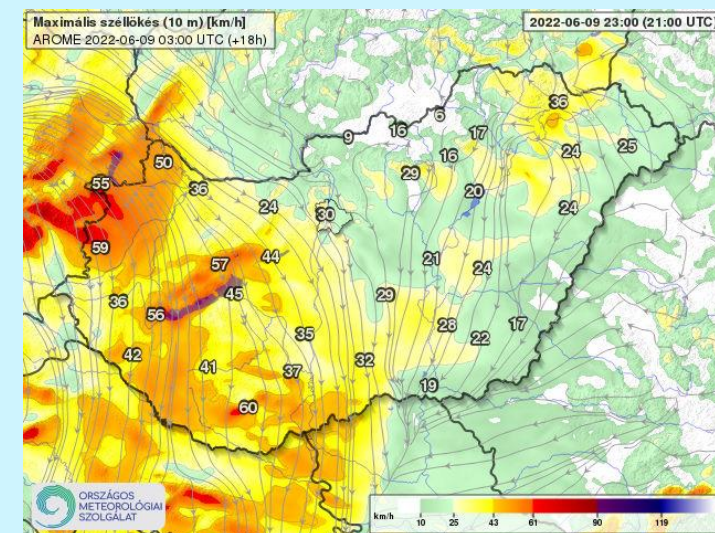
MODELL-INTEGRÁLÁS

A hidro-termodinamikai
egyenletrendszer közelítő
megoldása



UTÓ-FELDOLGOZÁS

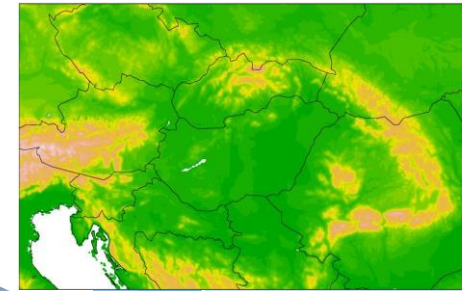
Speciális paraméterek számítása,
bizonytalanság becslése,
előrejelzés elkészítése **2-10 napra**,
verifikáció



Az OMSZ-ban készülő előrejelzések

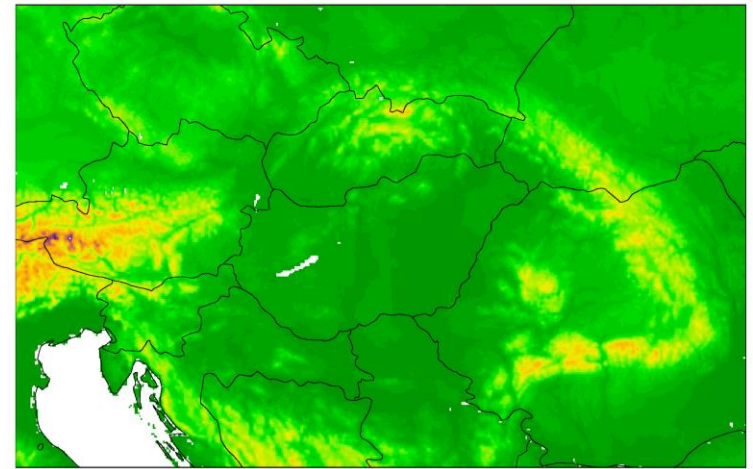
- ALADIN, ALARO, AROME modellek közös fejlesztése 1991-től az ACCORD (ALADIN) és LACE konzorciumokban, kutatási együttműködések, adatcsere
- Regionális előrejelzések a Kárpát-medencét lefedő területen
- A tartományon kívül zajló folyamatok figyelembevétele az Európai Középtávú Előrejelző Központ által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

Regionális modell



Az előrejelzések számításigénye (példa)

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



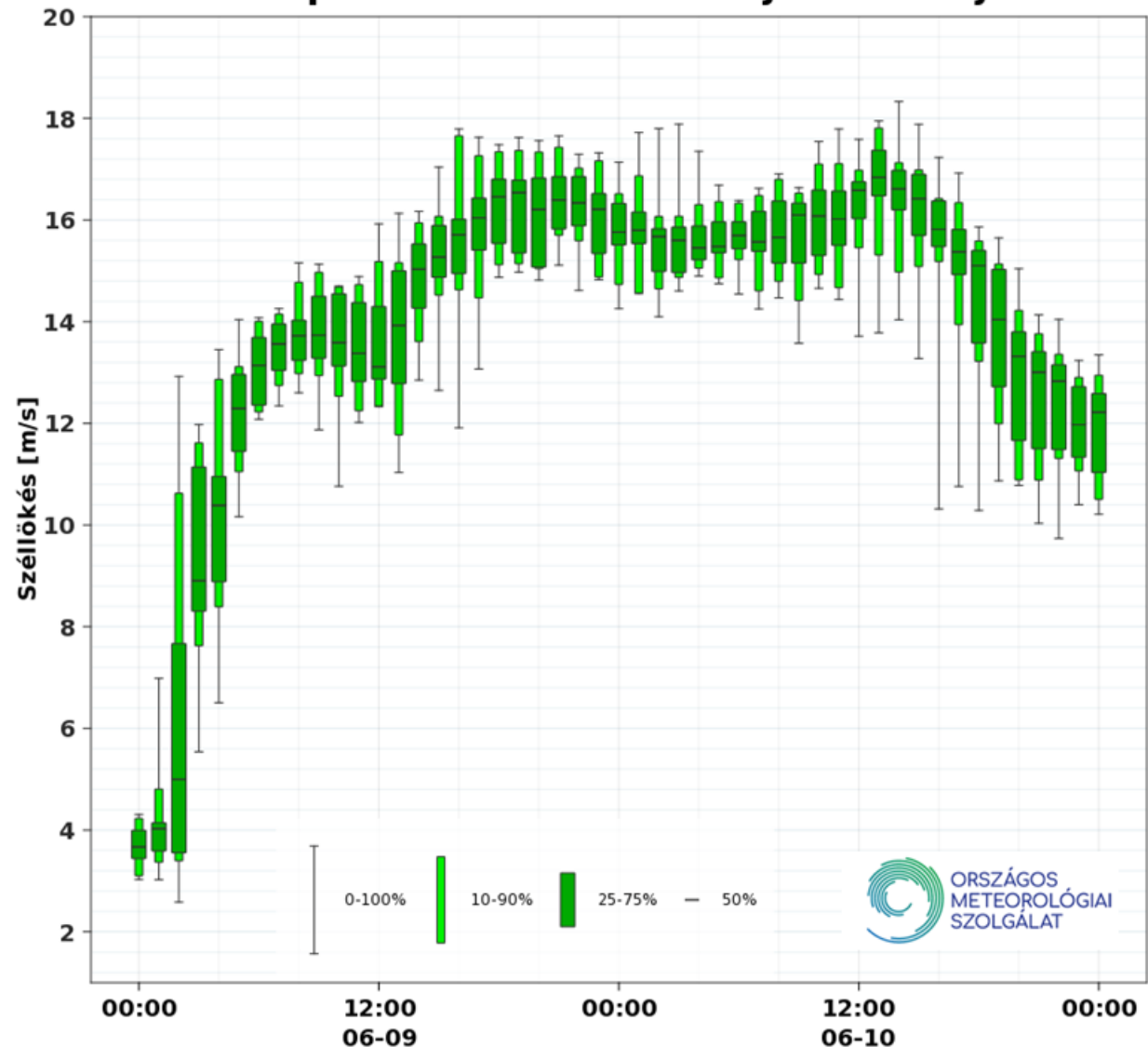
6 x 500 x 320 x 60 x 2880 =
~10¹¹ mennyiségű adat előrejelzésenként

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**

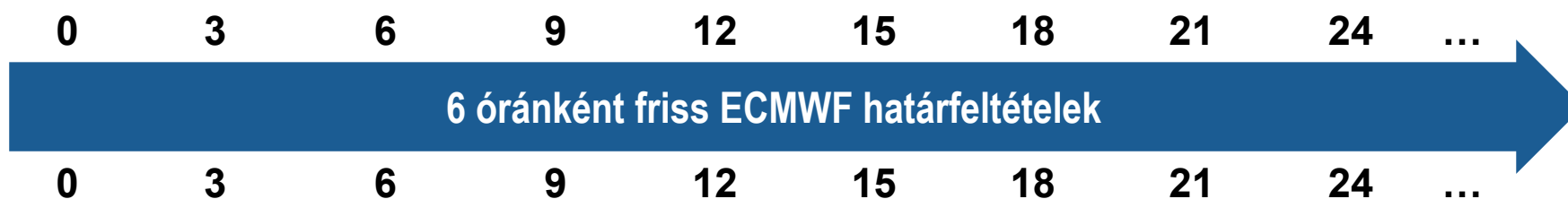
AROME-EPS Sopron

2022. június 9. - június 11.

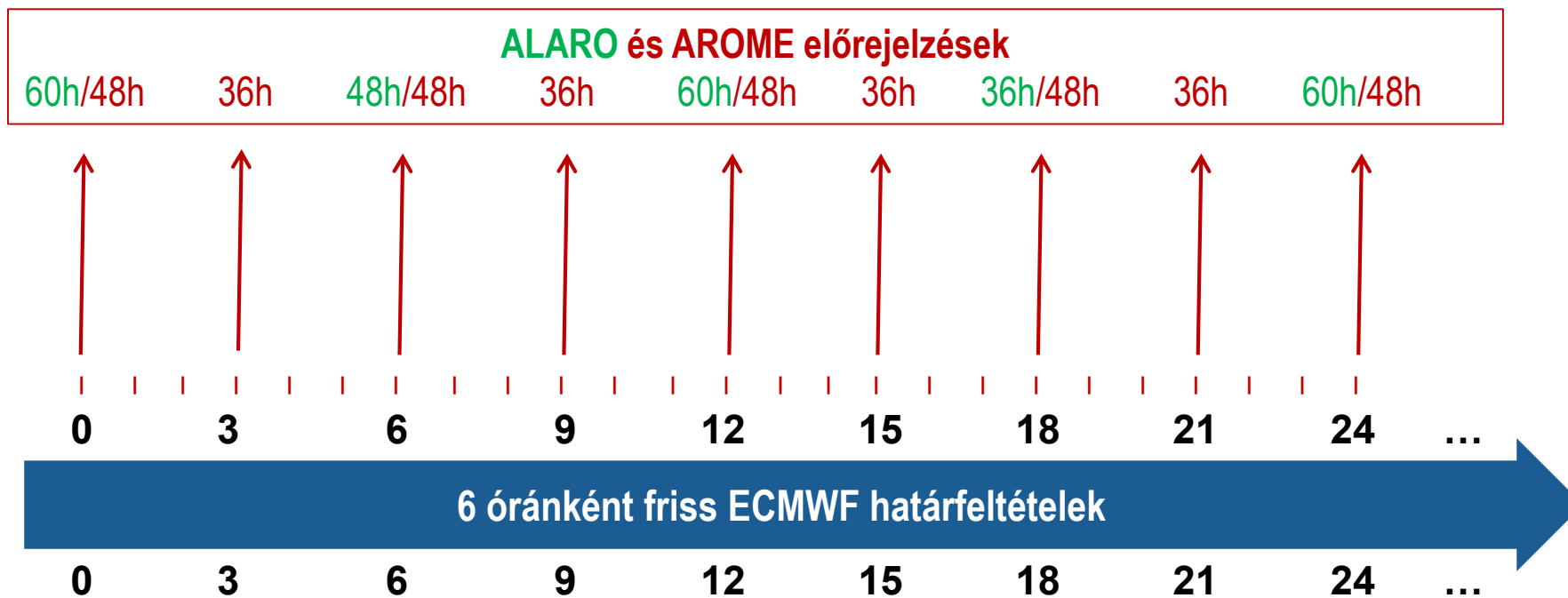


Operatív modellfuttatások – 2023

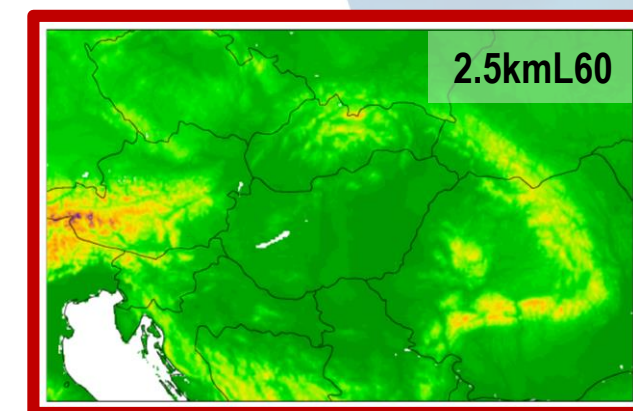
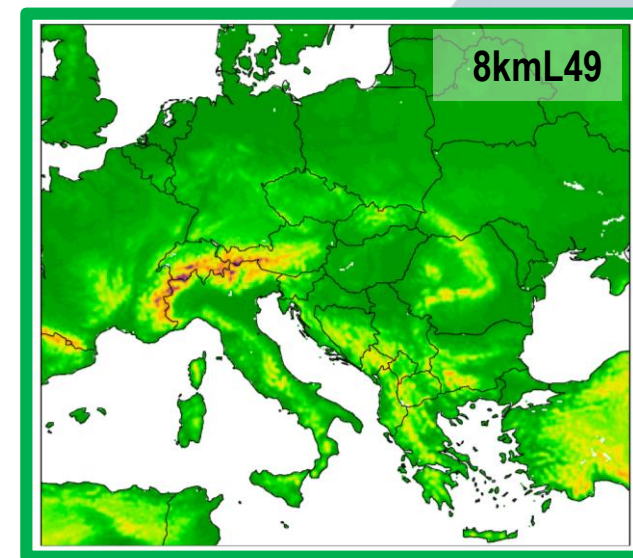
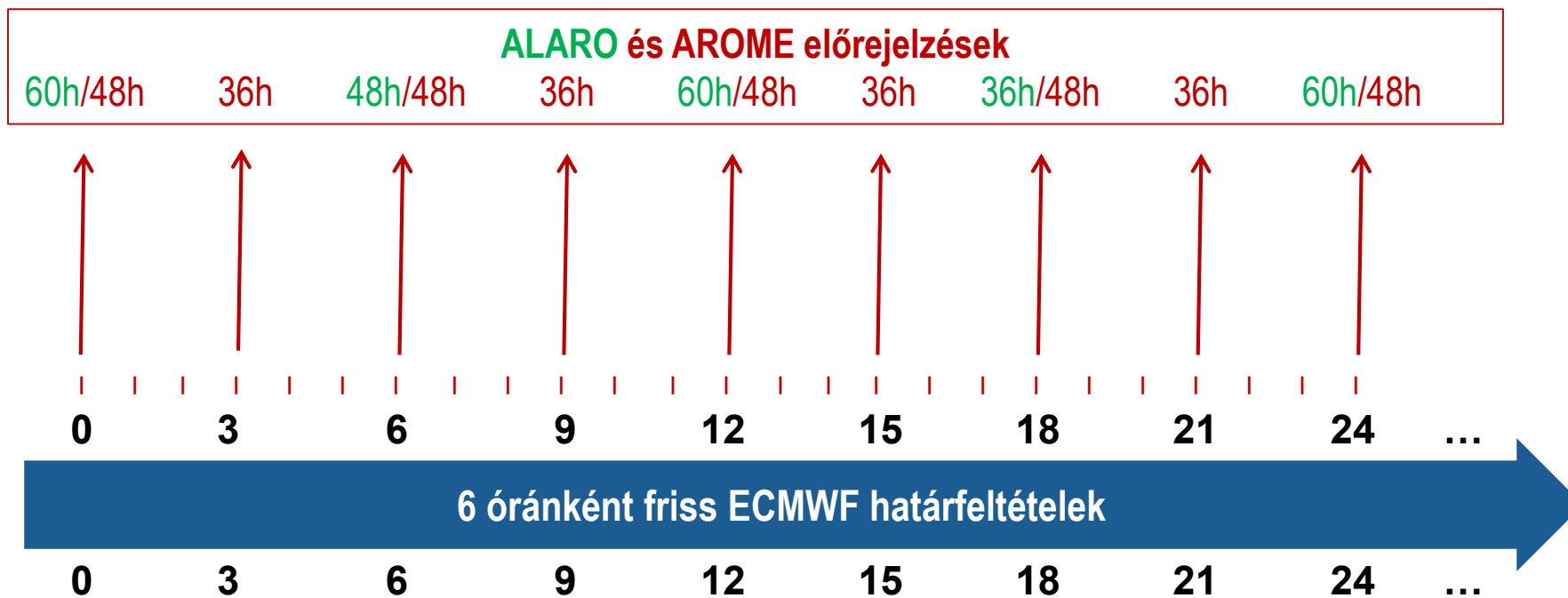
Operatív modellfuttatások – 2023



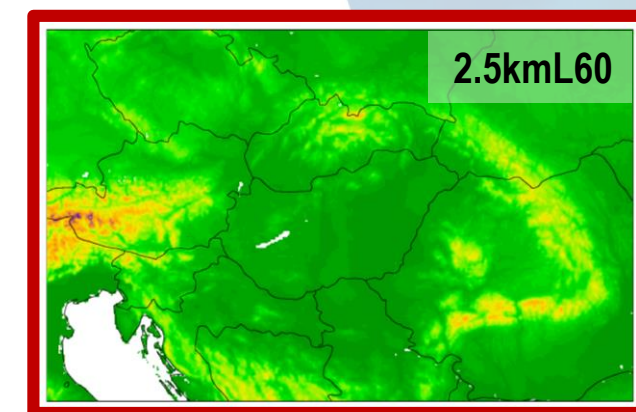
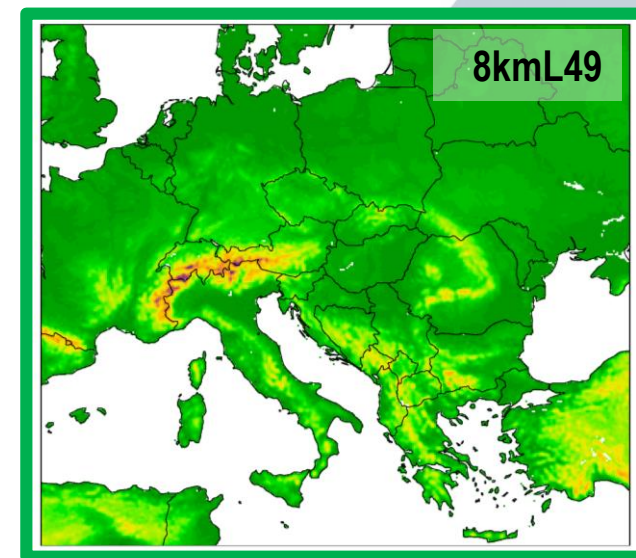
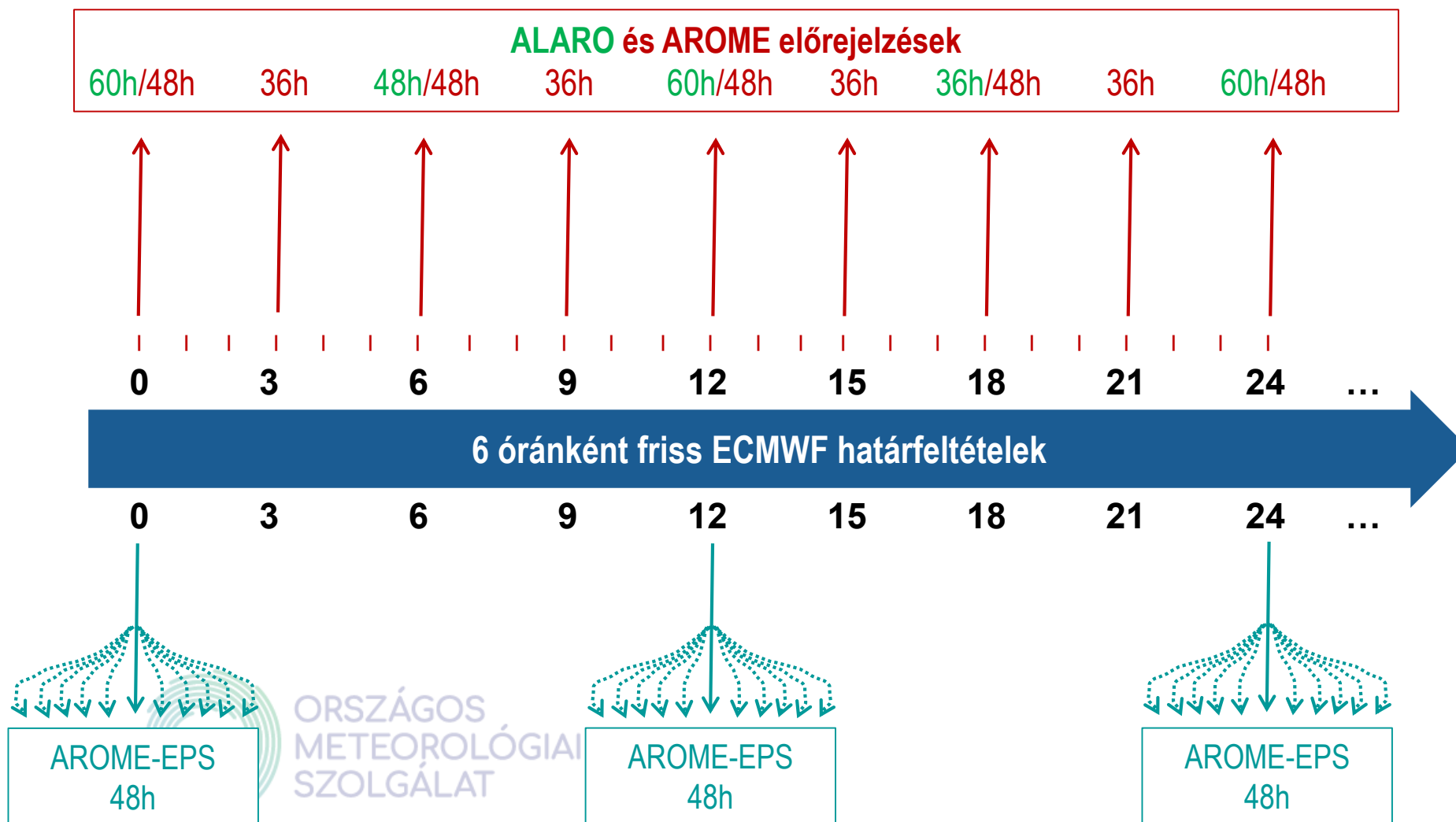
Operatív modellfuttatások – 2023



Operatív modellfuttatások – 2023

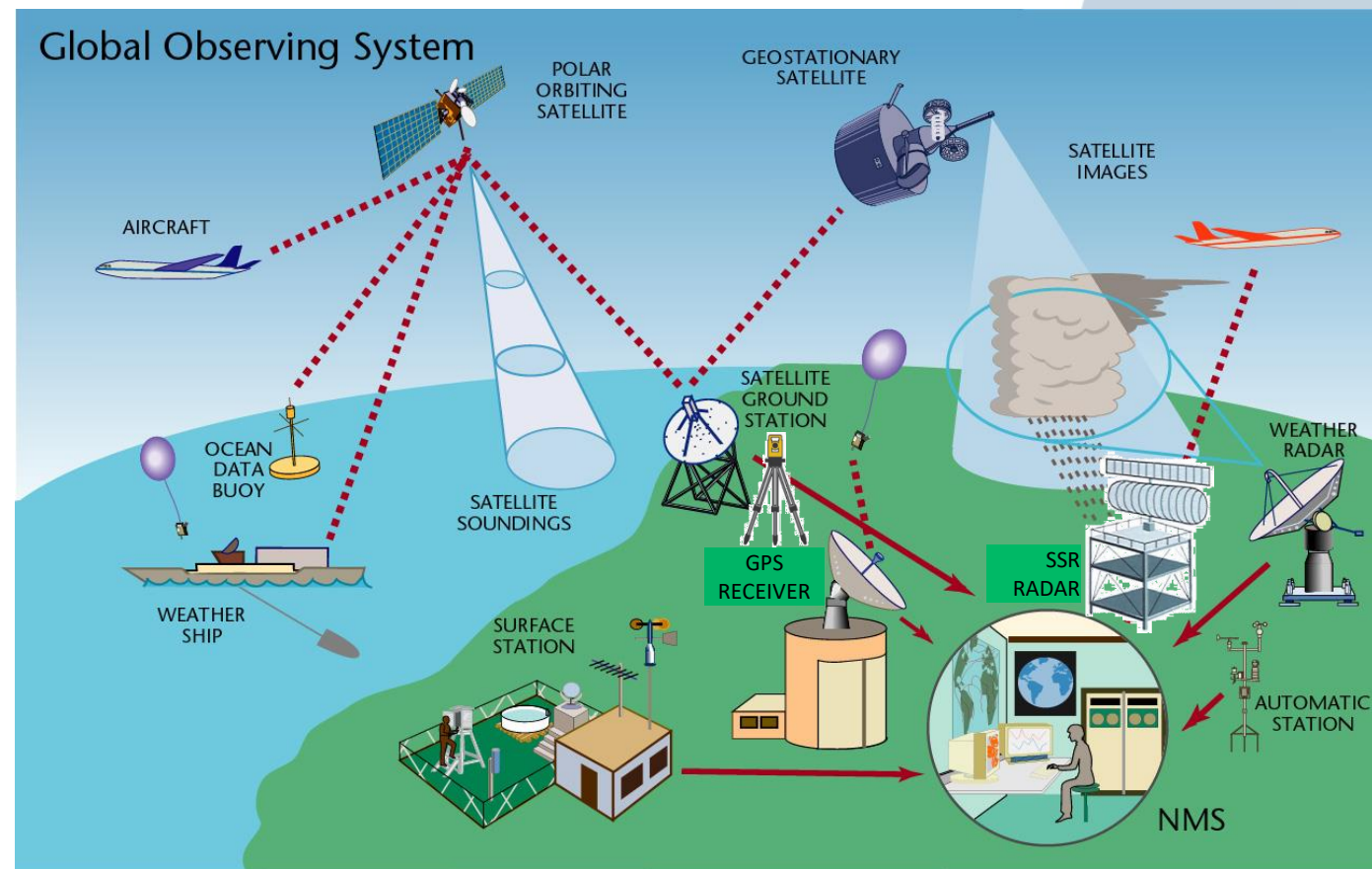


Operatív modellfuttatások – 2023



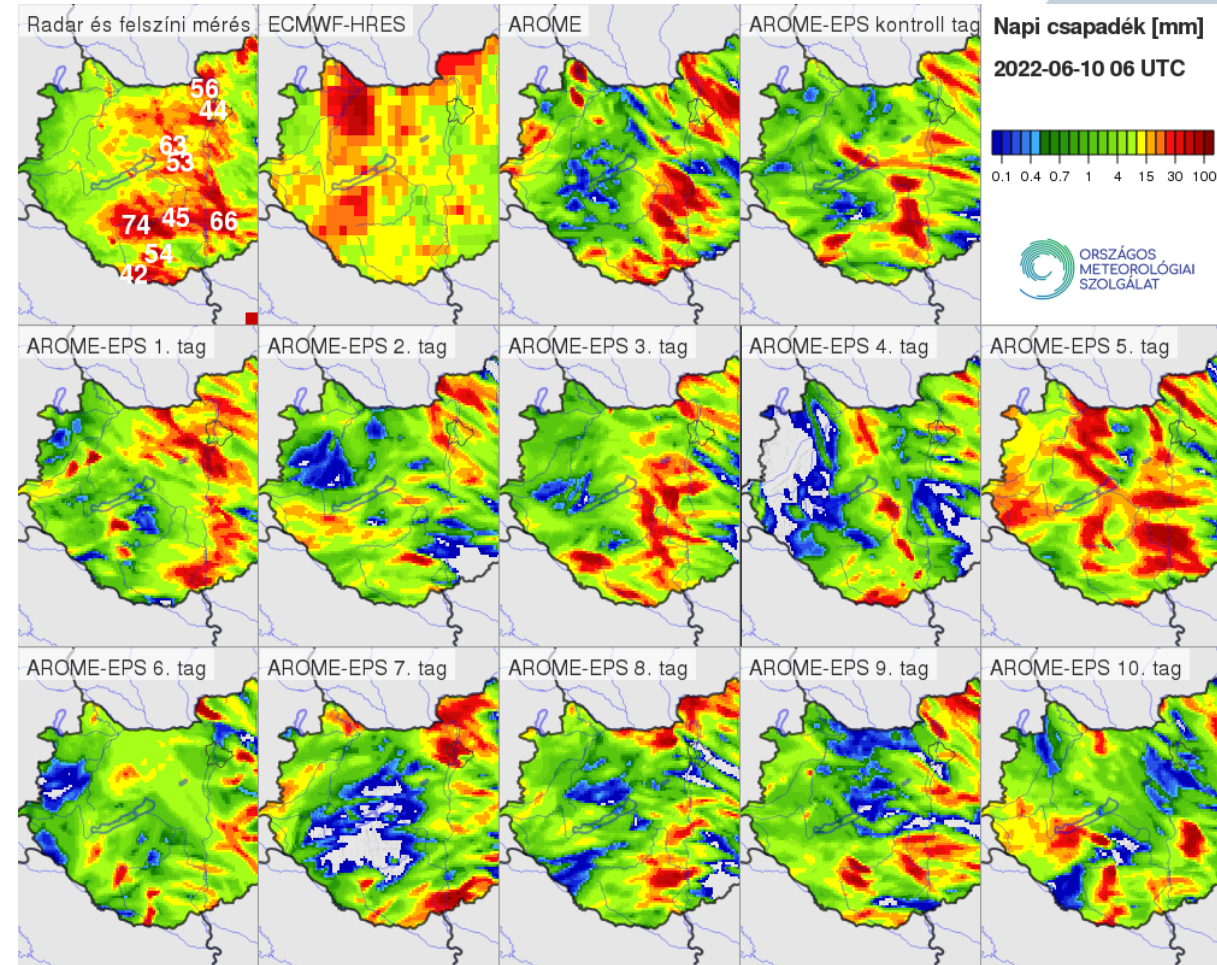
A kezdeti feltétel meghatározása

- Az előrejelzés érzékeny a kiindulási állapot pontosságára
- Előállításához: rövidtávú előrejelzések, **mérések** → globális telekommunikációs rendszerben (GTS) elérhető adatok, környező országok megfigyelései, lokális adatok
- (SYNOP) felszíni állomások mérései: szél, hőmérséklet, nedvesség, nyomás
- (TEMP) rádiószondák adatai: szél, hőmérséklet, nedvesség
- (AMDAR) repülőgépes mérések: szél, hőmérséklet, nedvesség
- (Mode-S) felszíni radarral gyűjtött repülőgépes adatok: szél, hőmérséklet
- Műhold adatok: szél
- (GNSS) GPS mérések: 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: műholdadatok
- Kezdeti feltétel gyakoribb frissítése: 3 óra → 1 óra
- Térbeli felbontás növelése: 2,5 km + 60 szint → 1,3 km + 90 szint
- Nyers előrejelzések utó-feldolgozása statisztikai, gépi tanulós módszerekkel: globálsugárzás, 100-méteres szélesség
- Bizonytalanság reprezentációja az ensemble előrejelzésekben: modellhiba reprezentáció

Aktuális fejlesztések

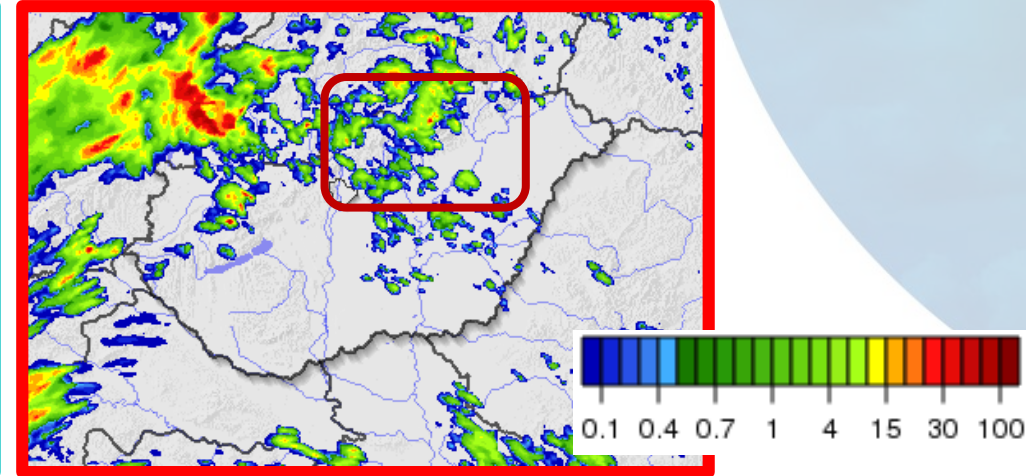
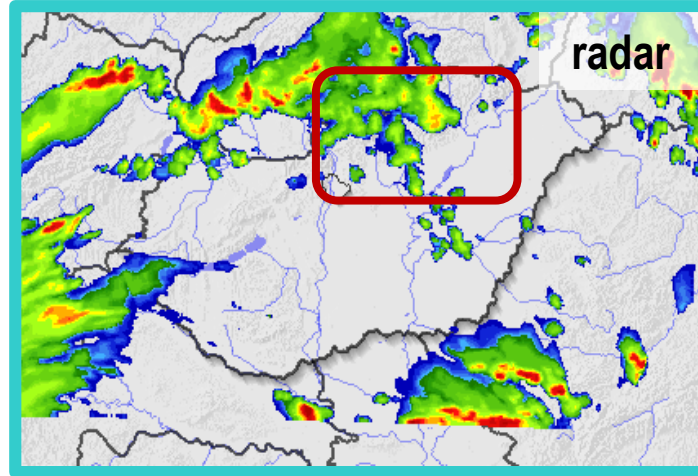
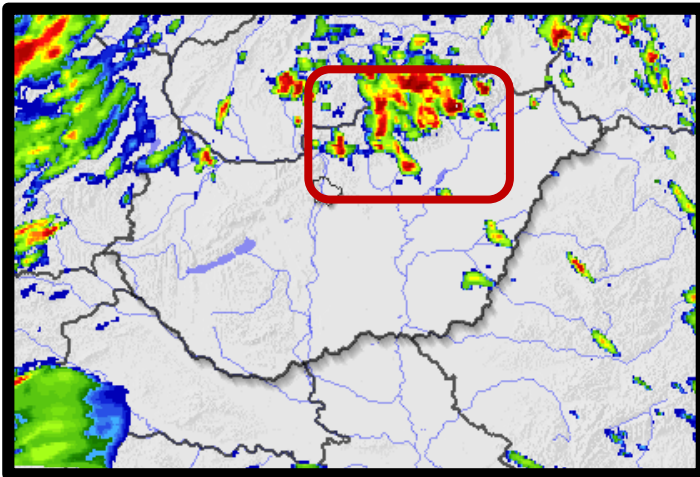
- Gyakoribb és új megfigyelések bevonása az adatasszimilációba: műholdadatok
- Kezdeti feltétel gyakoribb frissítése: 3 óra → 1 óra
- Térbeli felbontás növelése: 2,5 km + 60 szint → 1,3 km + 90 szint
- Nyers előrejelzések utó-feldolgozása statisztikai, gépi tanulós módszerekkel: globálsugárzás, 100-méteres szélesség
- Bizonytalanság reprezentációja az ensemble előrejelzésekben: modellhiba reprezentáció

Nagyobb térbeli felbontás

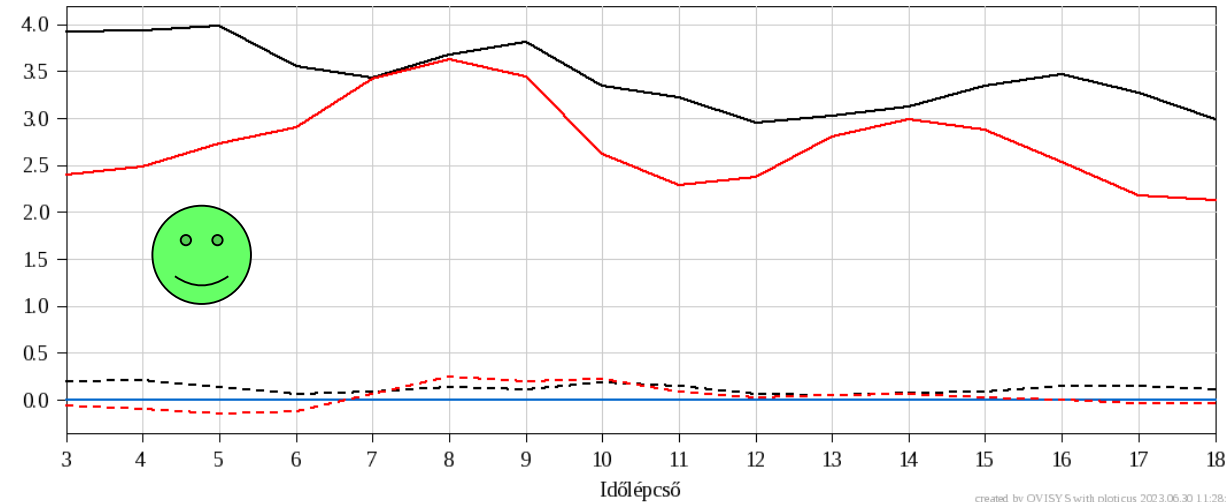
Kardos-Várkonyi Anikó, Szintai Balázs

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

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



3-órás csapadék előrejelzés négyzetes (–) és átlagos (– –) hibája [mm]
AROME @ 2,5kmL60 és **AROME @ 1,3kmL90**
2021. július 8–28. 12 UTC



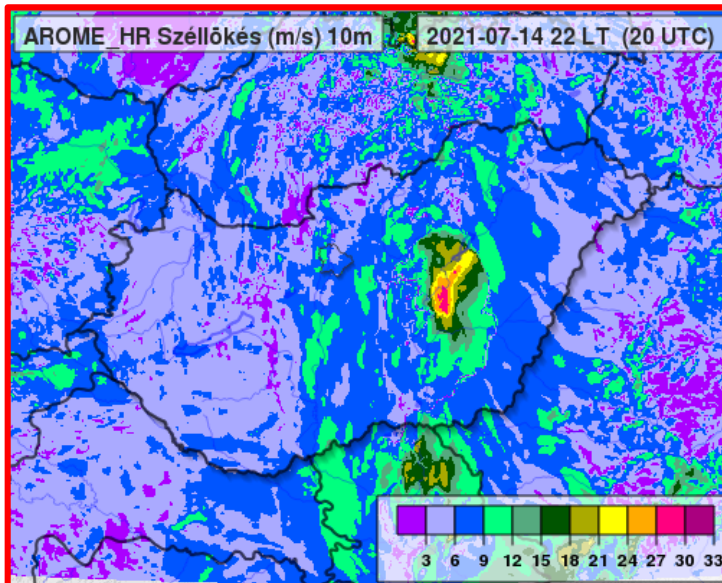
Nagyobb térbeli felbontás

Kardos-Várkonyi Anikó, Szintai Balázs

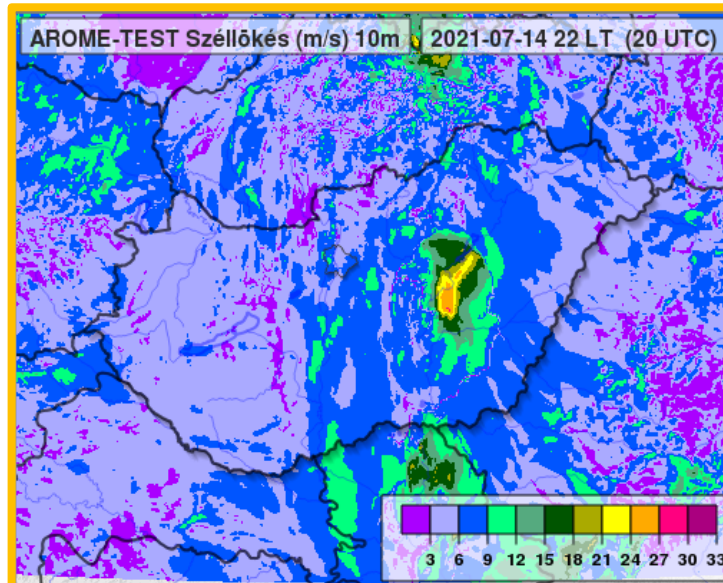
- A felbontásnövelés önmagában nem feltétlenül javítja az előrejelzést → hozzá kell igazítani az asszimilációt, a parametrizációkat, a verifikációt stb.

2021. július 14. 20 UTC

Szellőkés előrejelzés hangolás nélkül



Szellőkés előrejelzés hangolással



Szellőkés előrejelzés négyzetes (–) és átlagos (– –) hibája [m/s]

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

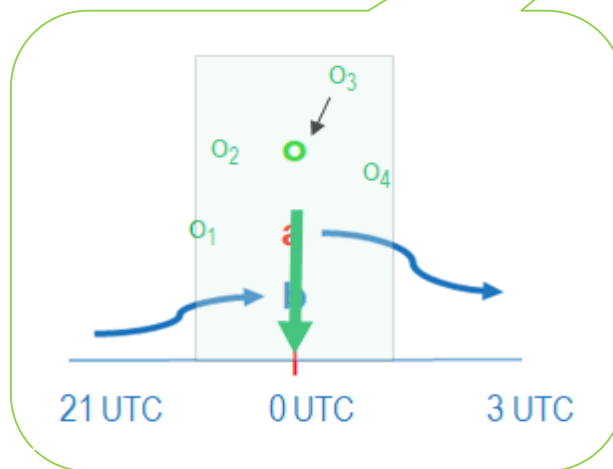
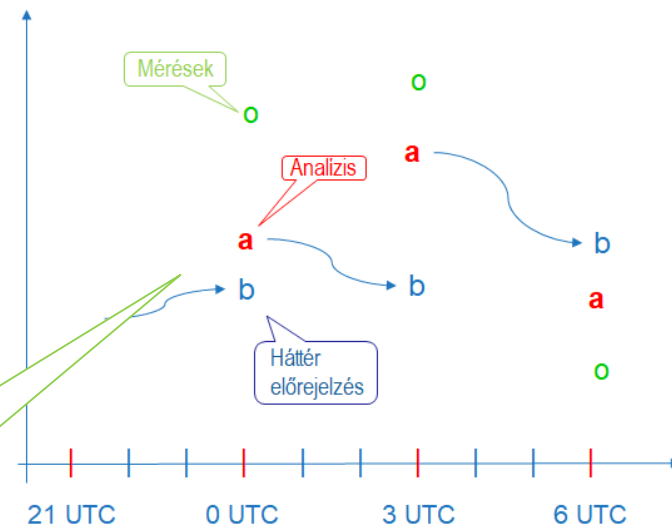
2021. július 8–28. 12 UTC



Szellőkés ~
szélsébség (10m),
turbulens kinetikus energia

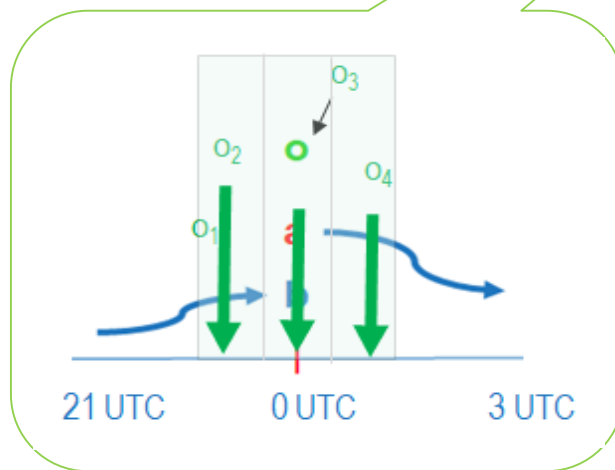
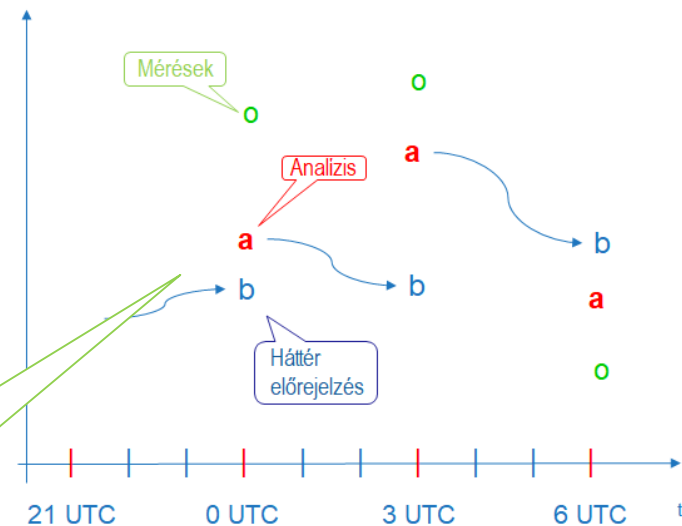
Óránkénti frissítés (rapid update cycle)

- Mérések figyelembevétele a mérési időpontjukhoz közelebb
- Több kerül felhasználásra a gyakoribb mérésekből (pl. felszíni, repülőgépes, radar)
- Lényeges a mérési adatok korai beérkezése (rövid várakozás)



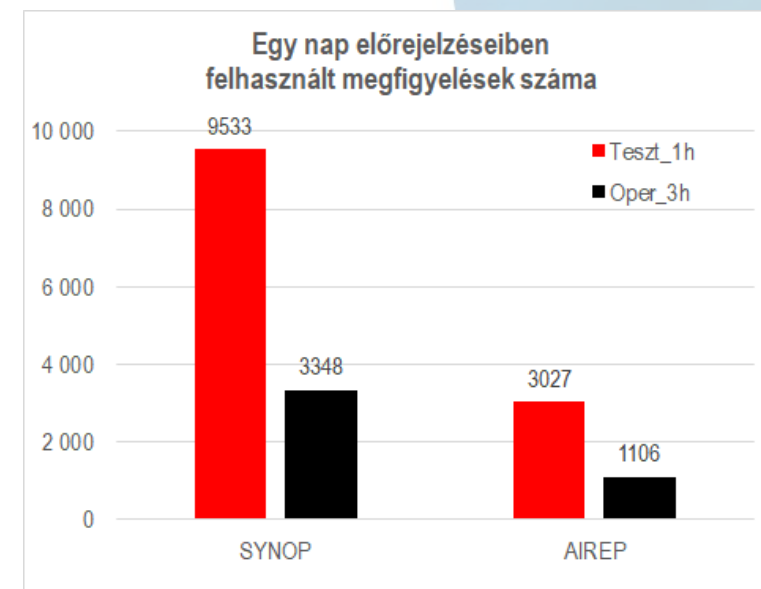
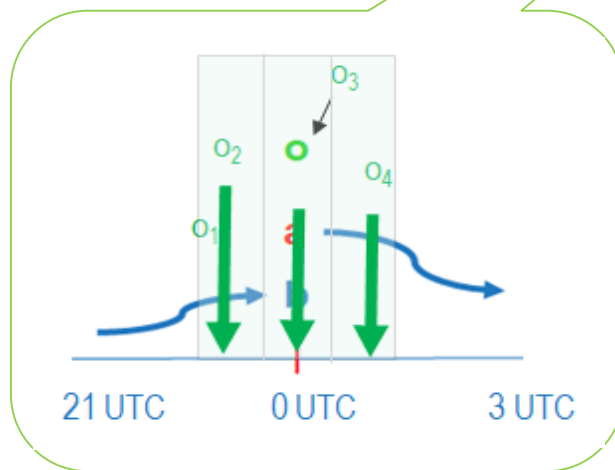
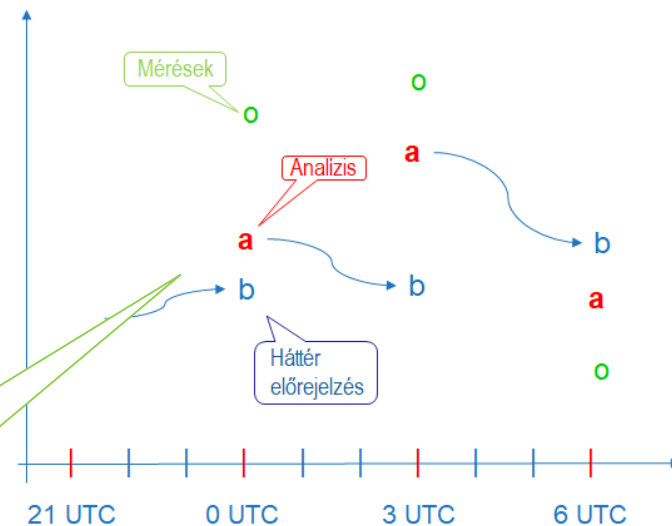
Óránkénti frissítés (rapid update cycle)

- Mérések figyelembevétele a mérési időpontjukhoz közelebb
- Több kerül felhasználásra a gyakoribb mérésekből (pl. felszíni, repülőgépes, radar)
- Lényeges a mérési adatok korai beérkezése (rövid várakozás)



Óránkénti frissítés (rapid update cycle)

- Mérések figyelembevétele a mérési időpontjukhoz közelebb
- Több kerül felhasználásra a gyakoribb mérésekből (pl. felszíni, repülőgépes, radar)
- Lényeges a mérési adatok korai beérkezése (rövid várakozás)



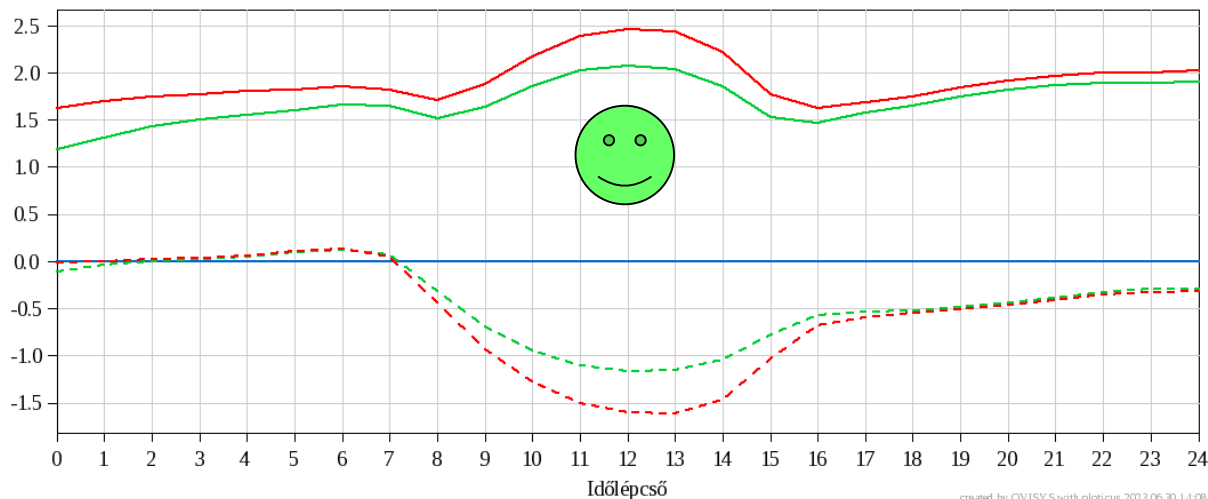
Óránkénti frissítés hatása

Kardos-Várkonyi Anikó

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

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

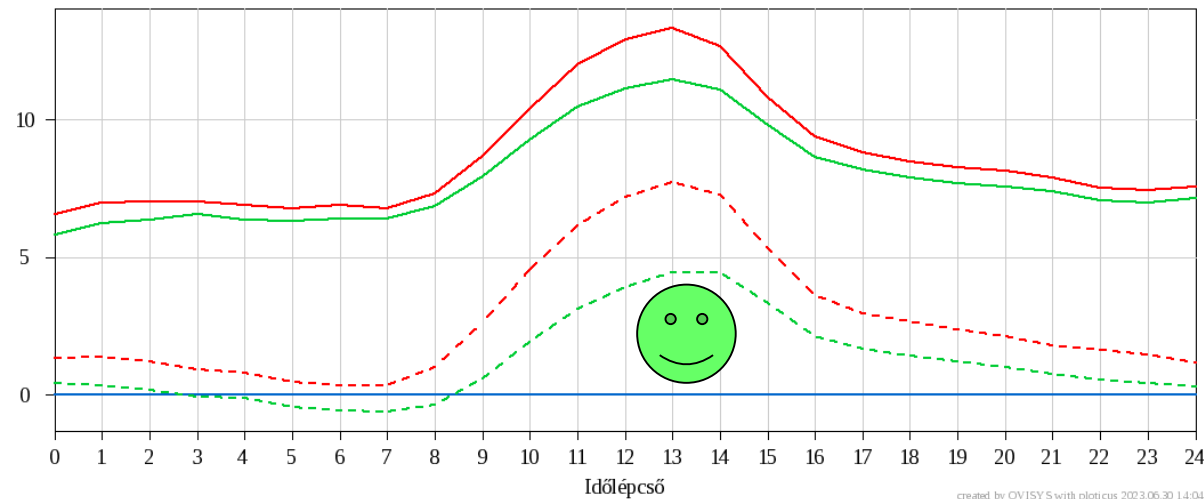
2022. december 14. – 2023. január 13. 0 UTC



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

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

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



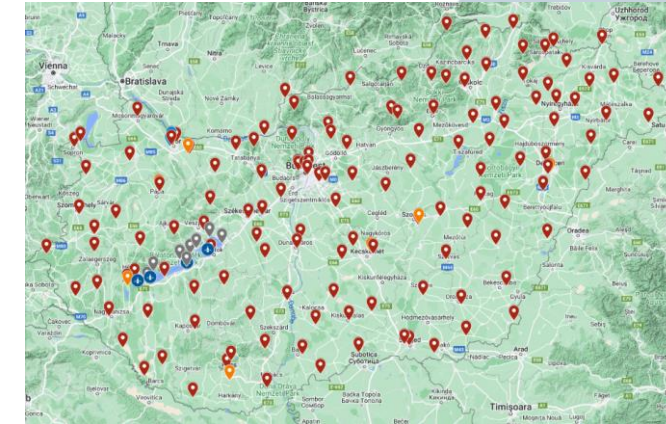
- Pozitív hatás télen

Nyers előrejelzések utó-feldolgozása

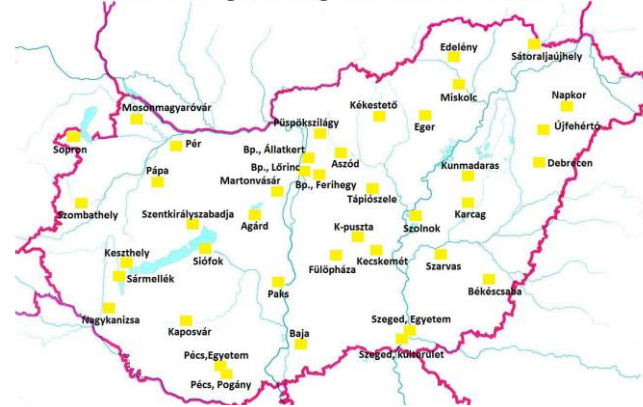
- Közös munka matematikusokkal
- AROME és AROME-EPS eredményeinek utó-feldolgozása az előrejelzések javítására
- Célparaméterek:
 - 100-méteres szélesség
 - Globálsugárzás
- Felhasználható információk:
 - Mérések
 - Előrejelzések
- Általában hosszú archivált adatsor szükséges hozzá



Az OMSZ 10-méteres szélmérései



Az OMSZ globálsugárzás mérőhálózata



Partnerek globálsugárzás és 100-méteres szélmérései

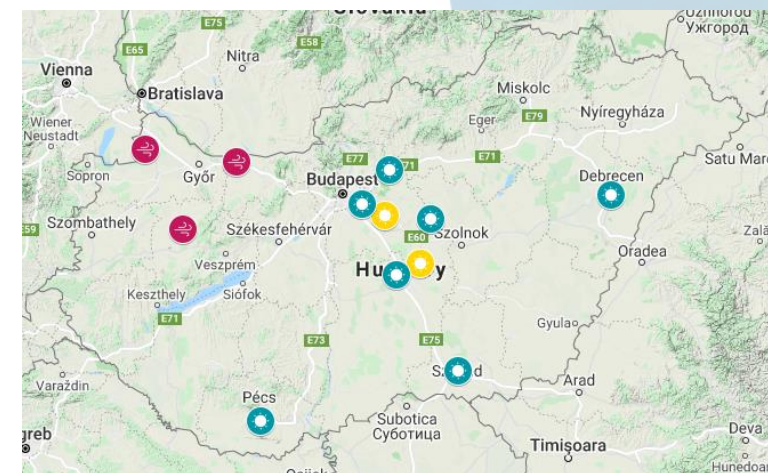
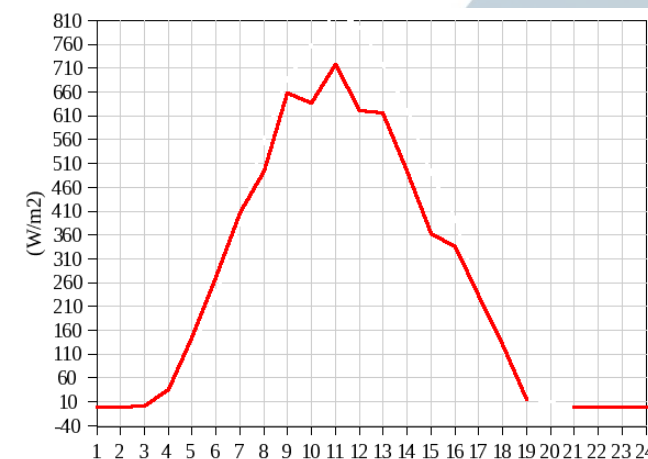


AROME-EPS utó-feldolgozás

Baran Ágnes, Baran Sándor, Debreceni Egyetem
Jávorné Radnóczy Katalin

- Egy-paraméteres **EMOS** utó-feldolgozás → javított előrejelzés eloszlása
- Vizsgált **eloszlások**:
 - CL0/CN0: nullában alulról cenzorált logisztikus/normális + DRN: paraméterek meghatározása gépi tanulással
 - TN/LN: csonkított normális/lognormális + DRN
- Input adatok:
 - AROME-EPS előrejelzések 48 órára 15 percenként
 - OMSZ sugárzás mérések 7 pontra, partner mérések 3 pontra
- Időszak: 2020. július 1. – 2021. június 30.
- 31/51-napos **gördülő tanulóidőszak**
- Lokális és **regionális** paraméterbecslés
- Javítás számszerűsítése: **CRPS** alapján

Globálsugárzás

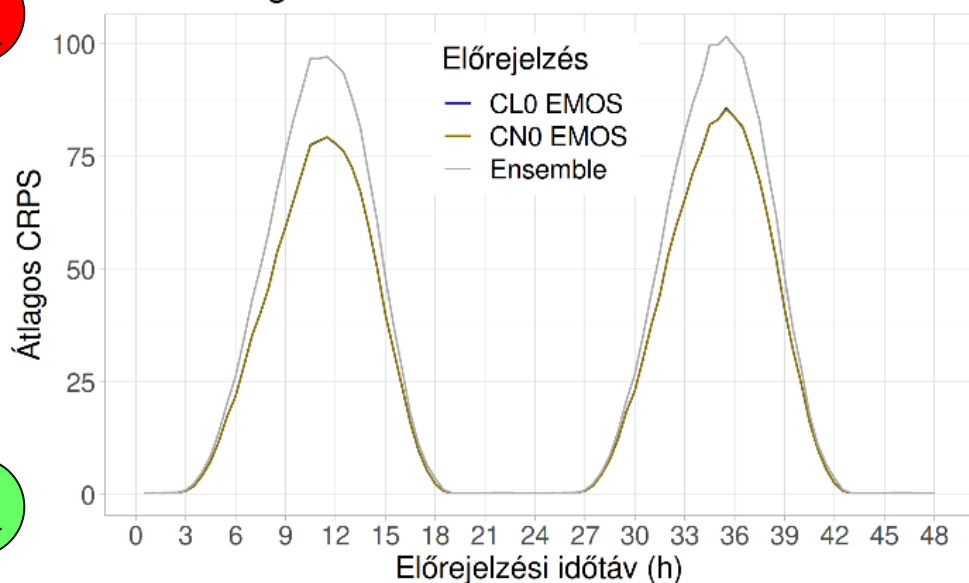


AROME-EPS utó-feldolgozás

Baran Ágnes, Baran Sándor, Debreceni Egyetem
Jávorné Radnóczy Katalin



Globálisugárzás



- 12-13 % CRPS javulás regionális becslés esetén
- ~10 % CRPS javulás lokális becsléssel

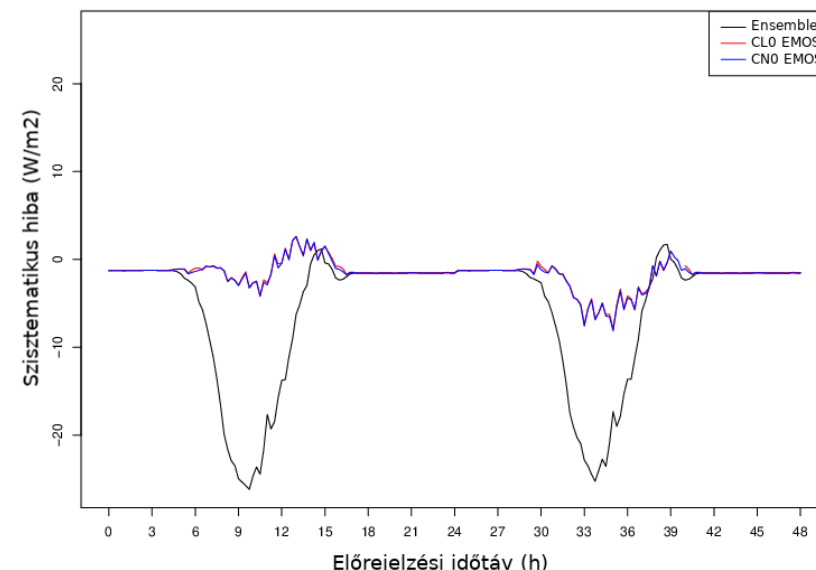
$$CRPS = \int_{-\infty}^{\infty} (F_{modell} - F_{mérés})^2 dx$$

- Egyéb hatások: növekvő szórás, csökkenő szisztematikus alábecslés



Átlagos globálisugárzás hiba (W/m²)

Ensemble átlag, állomási átlag; 2022/10–2023/2

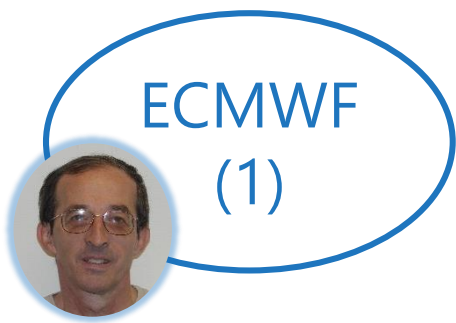


TARTALOM

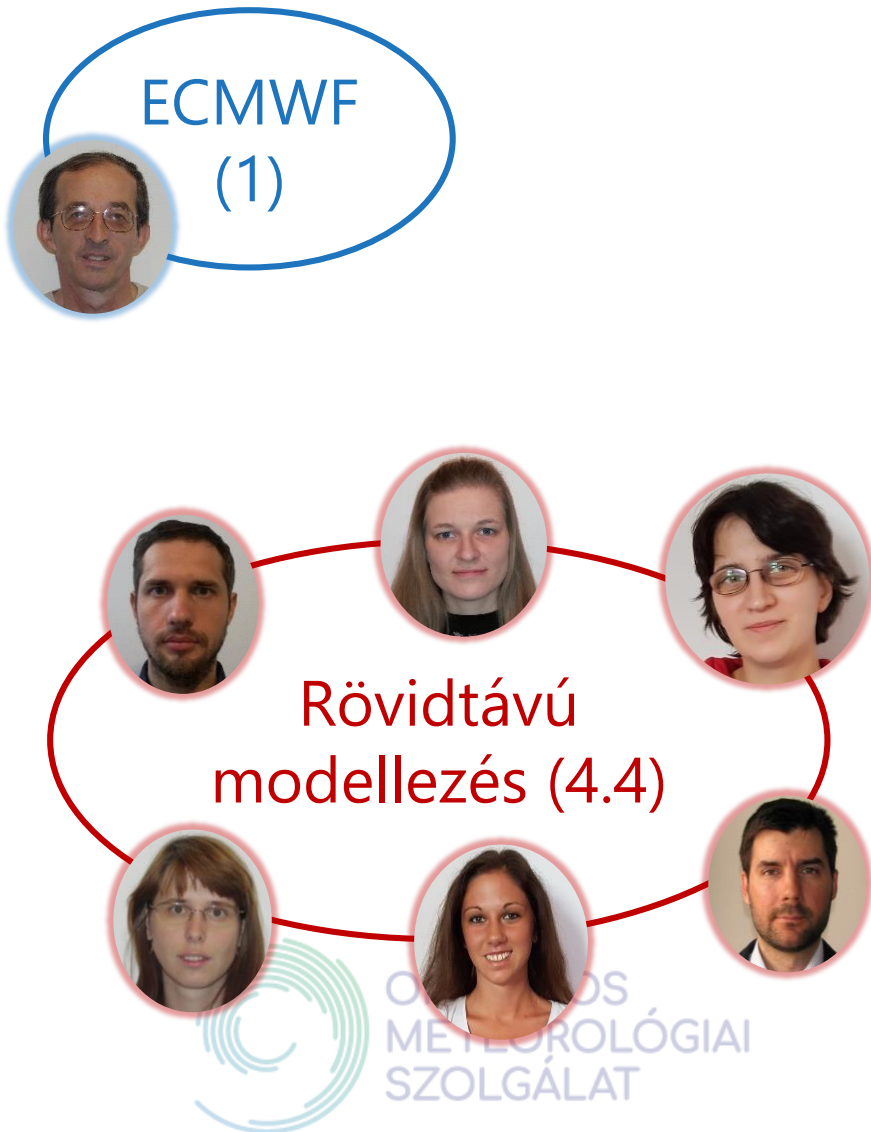
1. Számszerű modellezés
2. Aktuális fejlesztések
3. Modellezési Osztály

A Modellezési Osztály

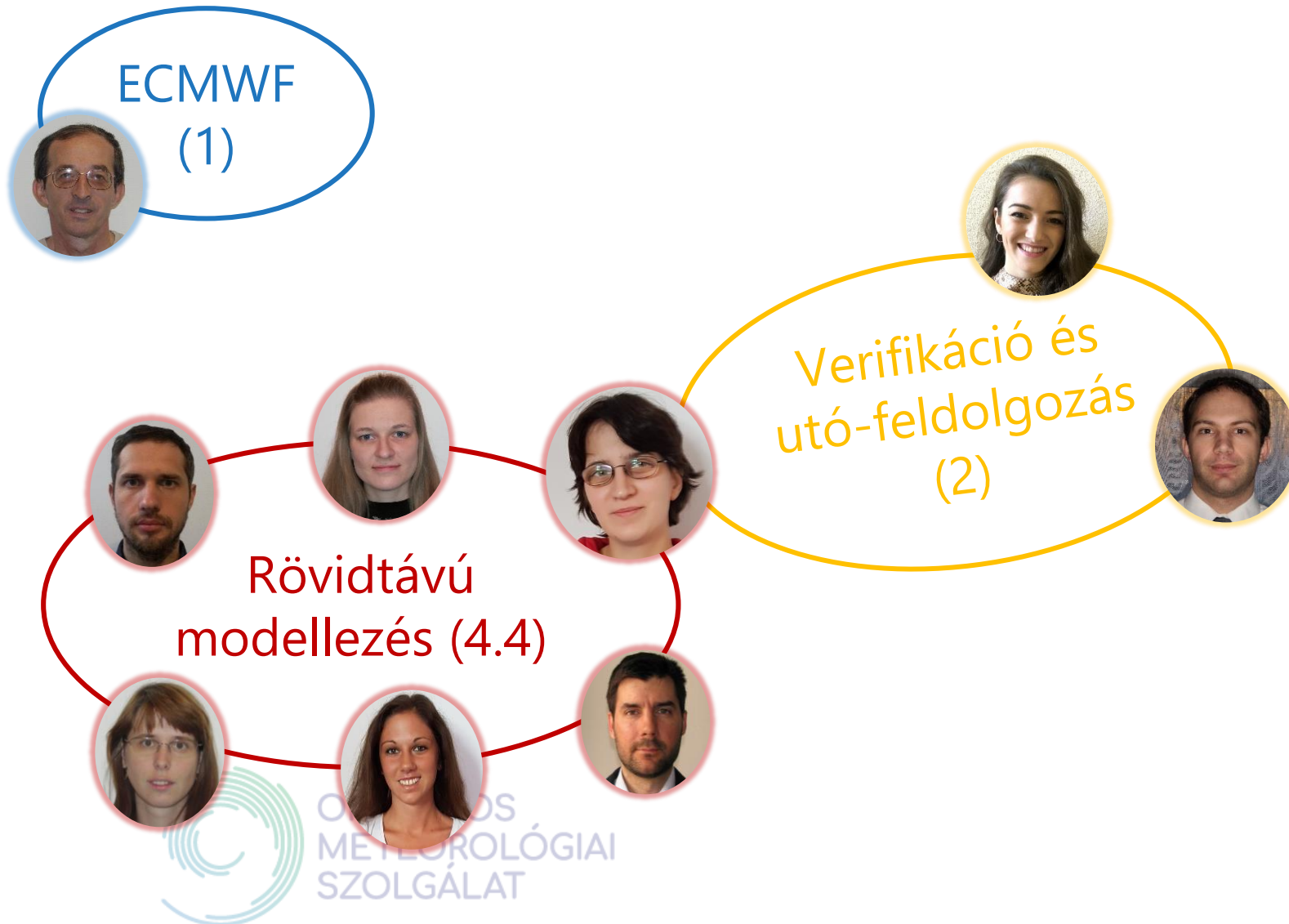
A Modellezési Osztály



A Modellezési Osztály



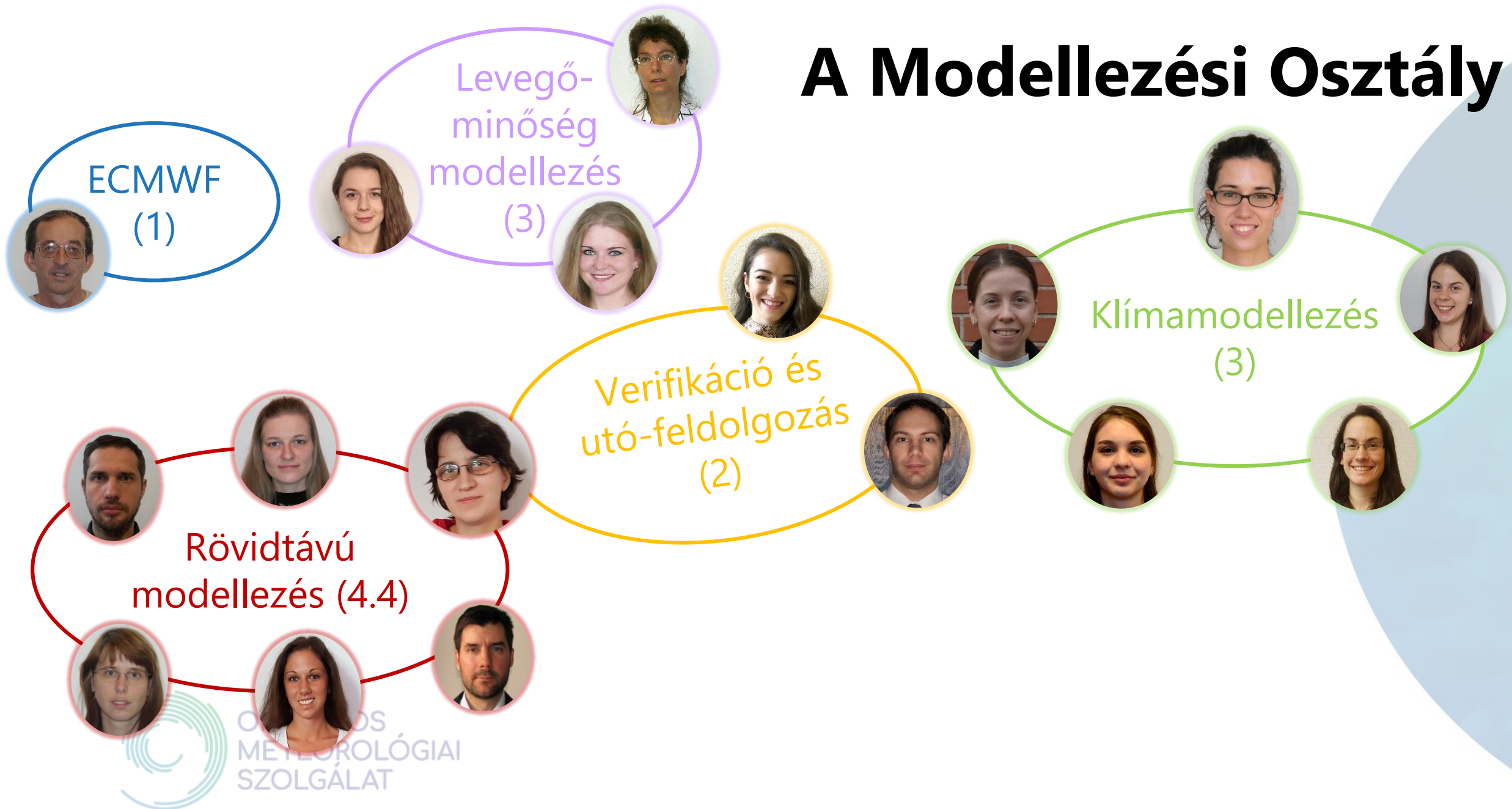
A Modellezési Osztály



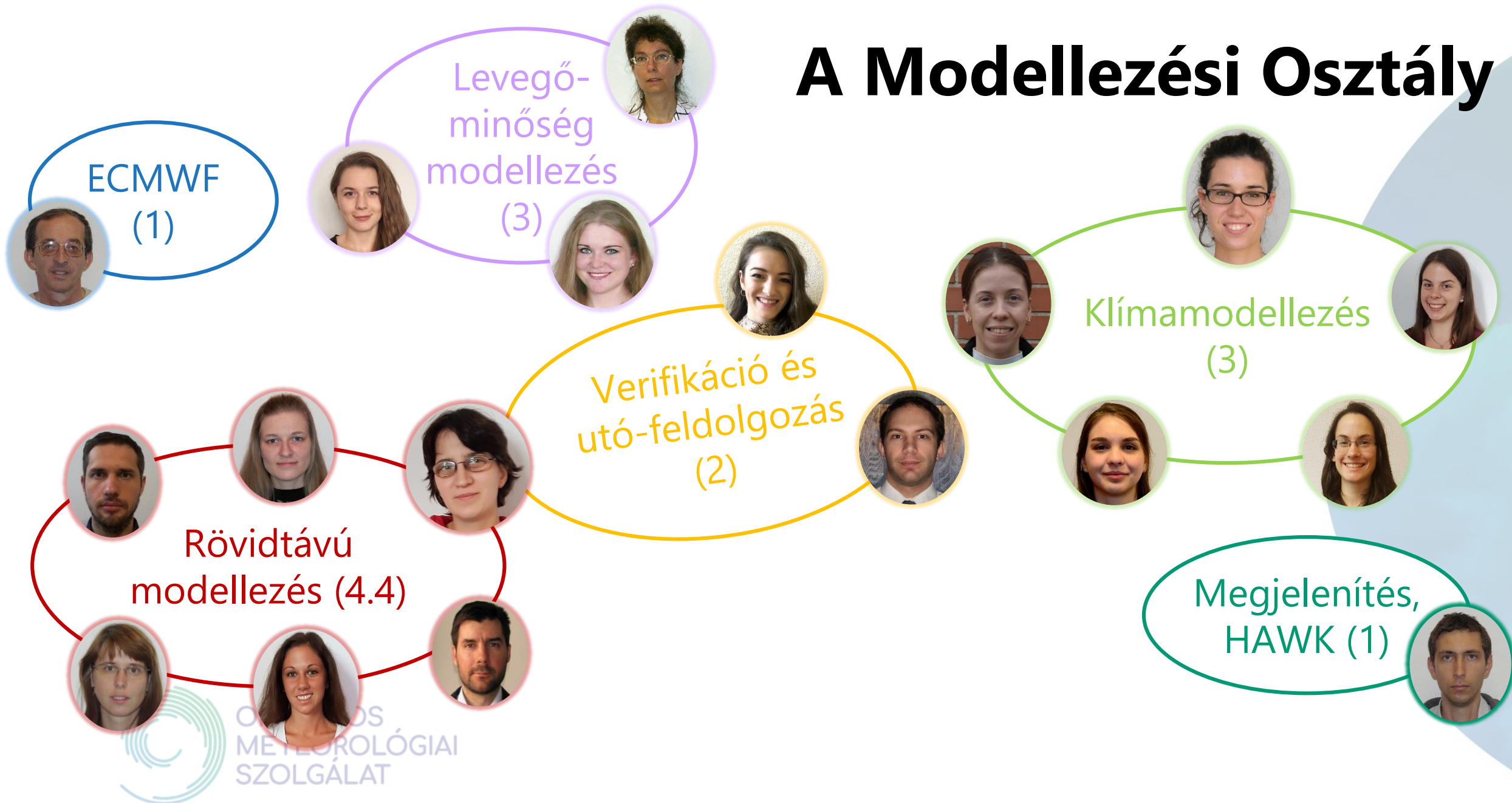
A Modellezési Osztály



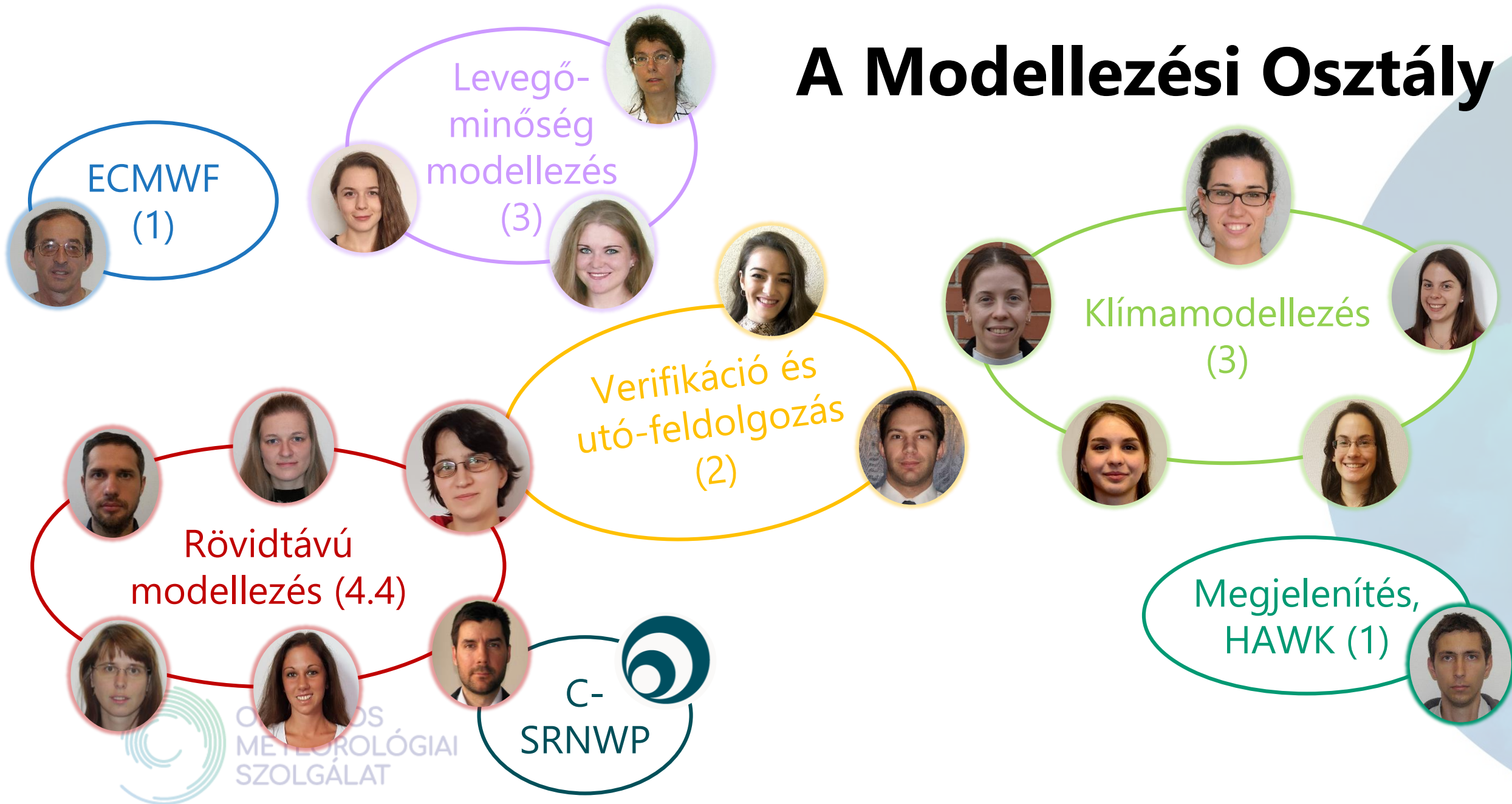
A Modellezési Osztály



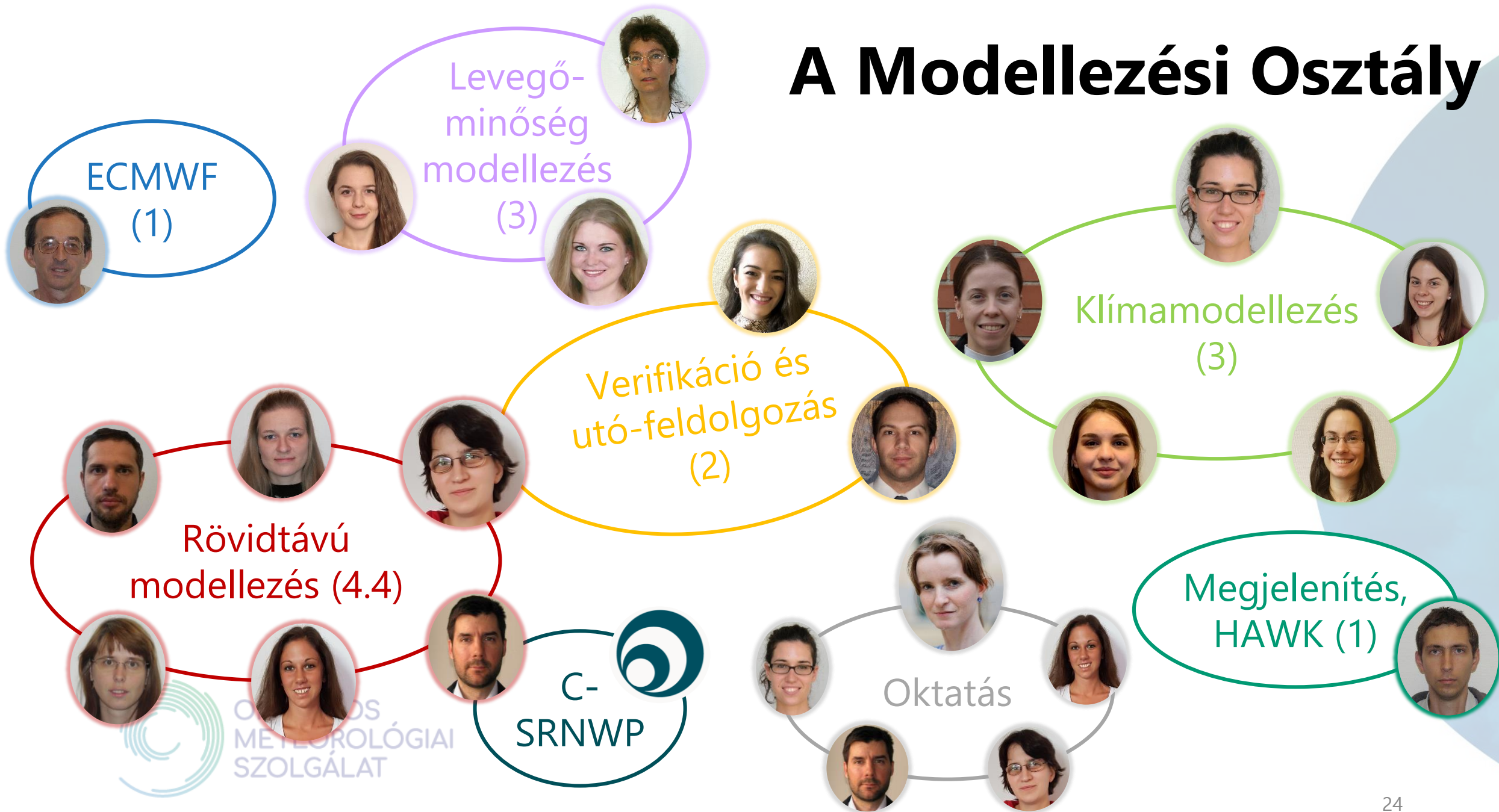
A Modellezési Osztály



A Modellezési Osztály



A Modellezési Osztály



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 (MSc 2) az oktatók figyelmének felkeltésével
- Álláshirdetésre jelentkezéssel

Hogyan lehet felvételt nyerni az osztályra?

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