

Napenergia termelésbecslést támogató globálsugárzás nowcasting és rövidtávú előrejelzések fejlesztése a HungaroMet Zrt.-nél

OLÁH SOMA és JÁVORNÉ RADNÓCZI KATALIN

Módszer- és Energetikai Fejlesztési Osztály, HungaroMet Zrt.

2025. december 5.

Globálsugárzás nowcasting

Gépi tanulási alapú ultra-rövidtávú globálsugárzás előrejelzések fejlesztése

1825

Globálsugárzás nowcasting

CÉL: globálsugárzás közel-valósídejű előrejelzése 3 órás időtávra

- gyorsan frissülő mérési információkra támaszkodva
 - Műholdas adatok
- gépi tanulási alapú megközelítés
 - Térbeli mintázatok, időbeli összefüggések felismerése

MOTIVÁCIÓ: megújuló energiaszektor meteorológiai támogatása

- napenergia-termelés dinamikus növekedése Magyarországon
- termelés menetrendezés, kereskedelem

Eredmények

Tanítás részletei:

Tanító adatsor: 2019 – 2022.

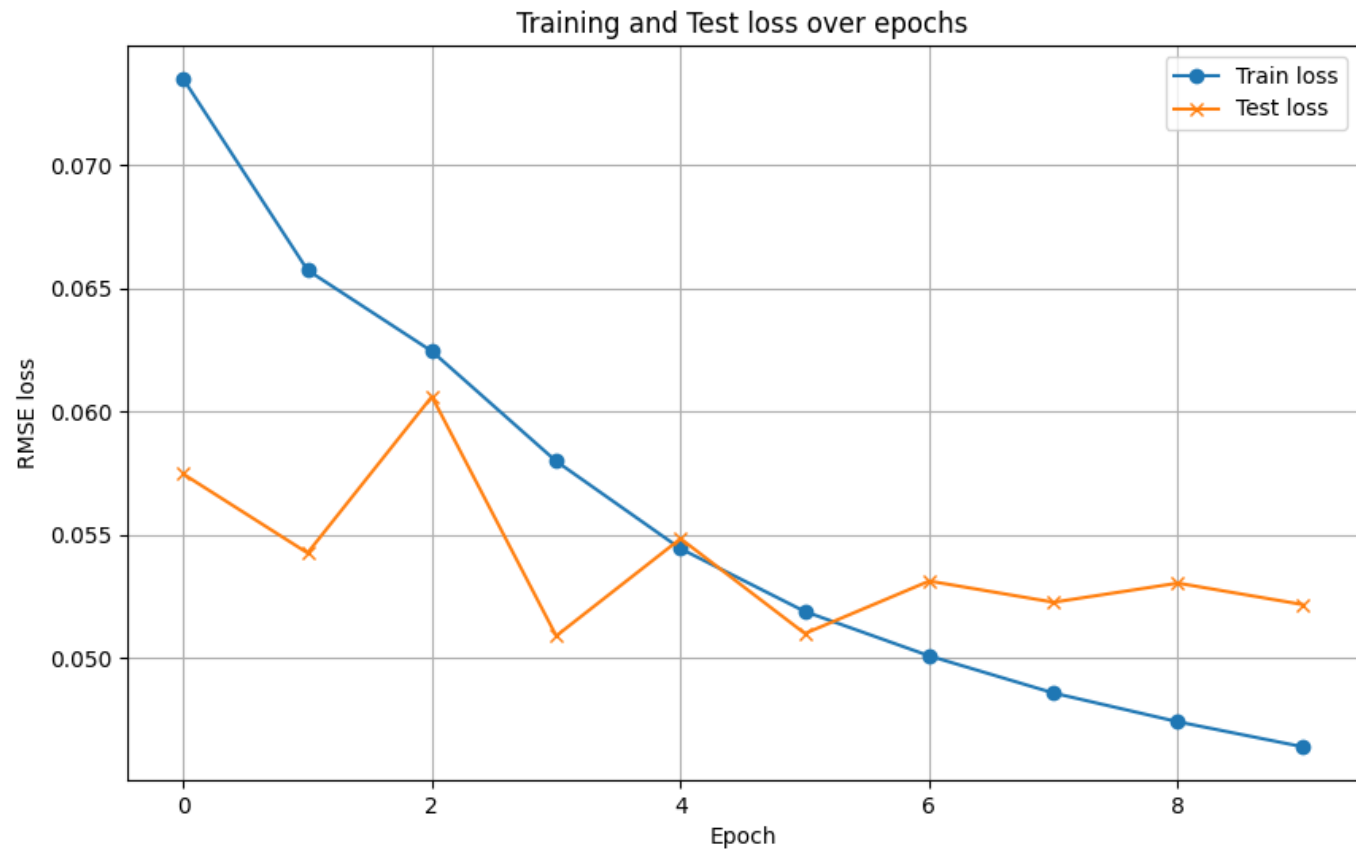
Validációs adatsor: 2023.

Veszteségfüggvény: RMSE, (MAE, MSE)

Teszt:

Teszt adatsor: 2024.

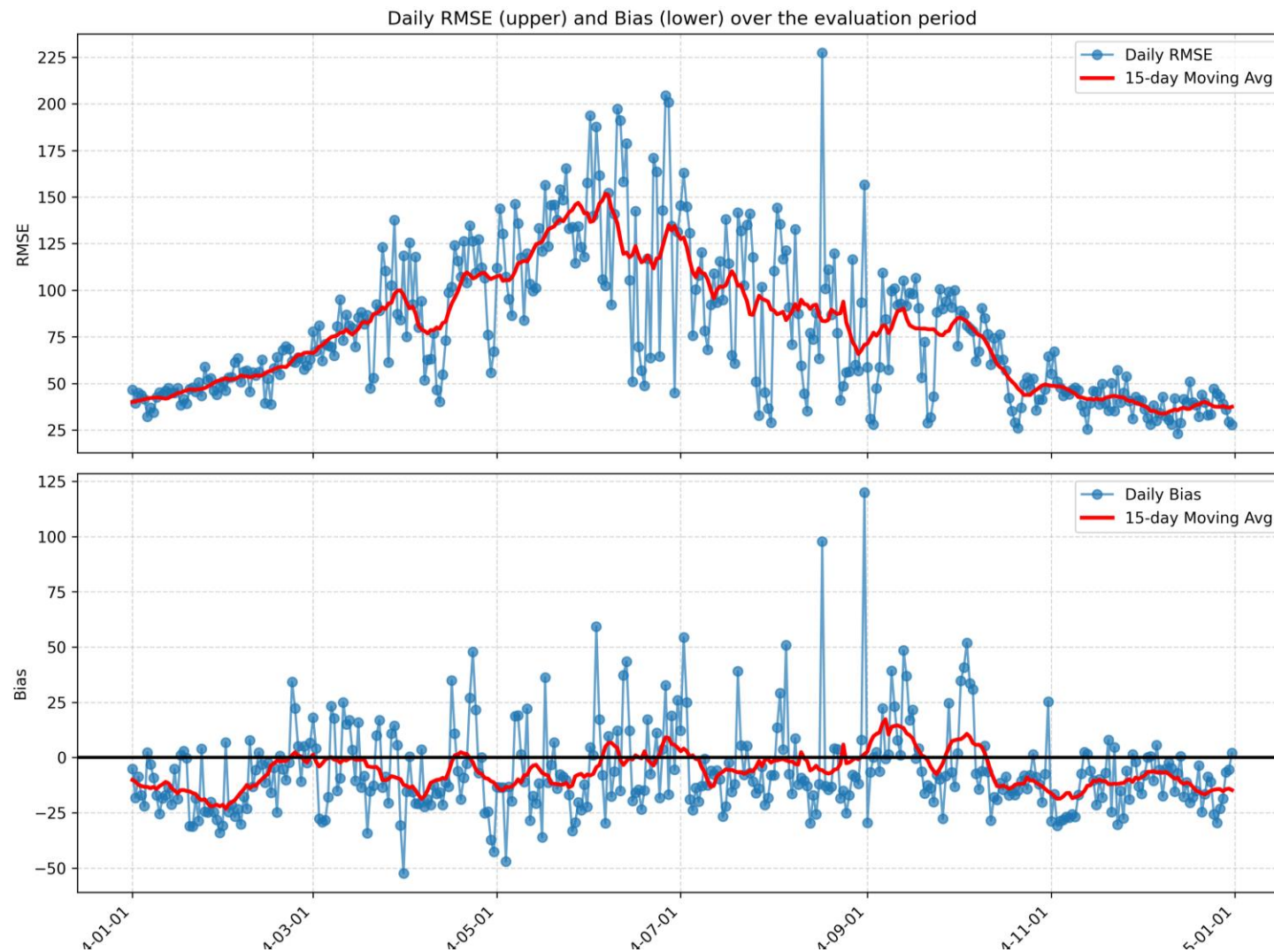
Elvárt kimenet: DSSF



Veszteségfüggvény átlagértéke epoch-szerint ábrázolva a tanítás és teszt során

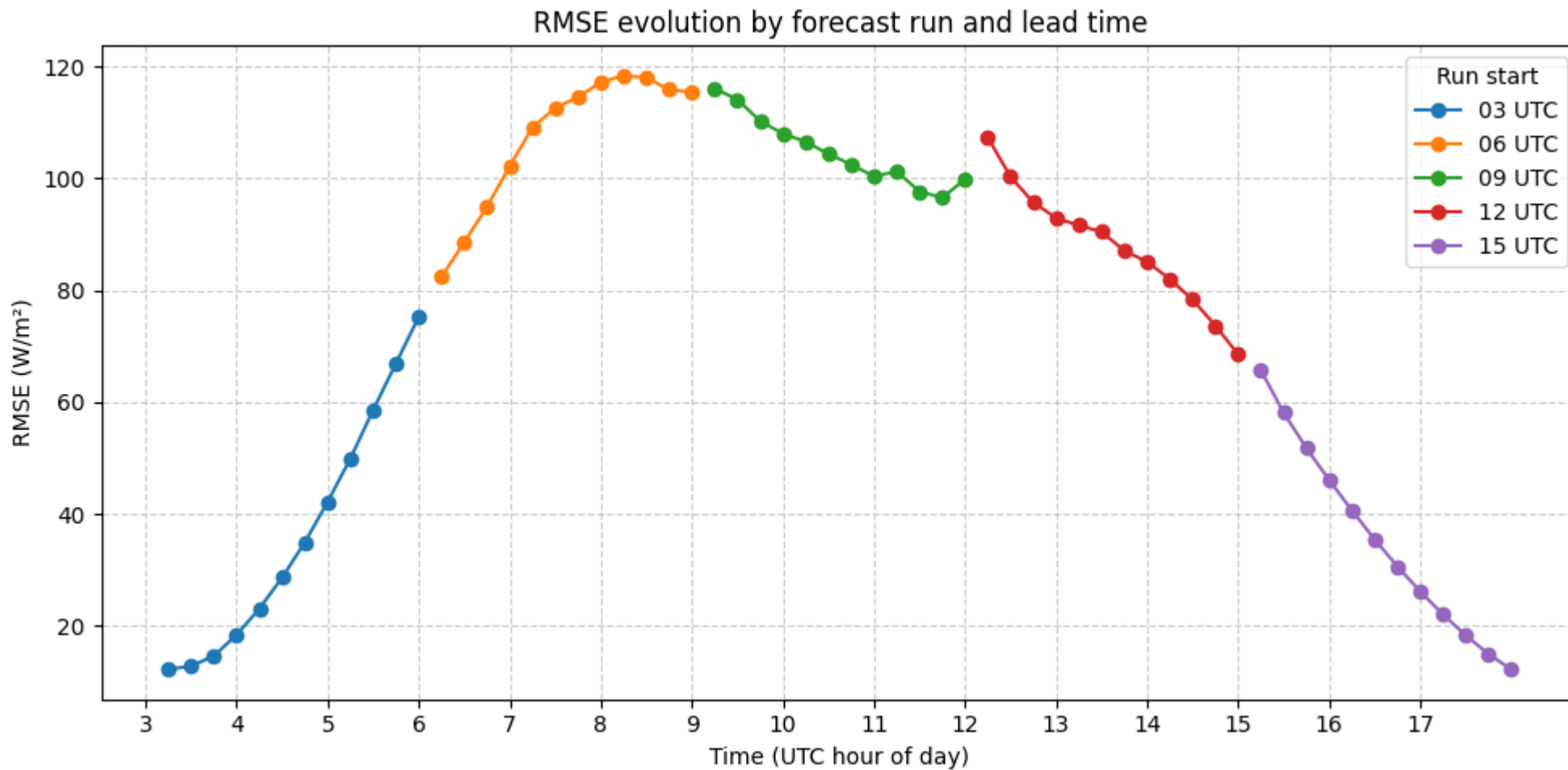
Eredmények

Mérőszámok évszakonként		
Évszak	RMSE	Bias
MAM	100.5	-8.3
JJA	106.9	-0.8
SON	60.7	-5.0
DJF	45.9	-11.4



Napi átlagos RMSE és bias error évi menete

Eredmények



RMSE hiba értékek napi menete futásonként ábrázolva.

Eredmények

- A modell képes tanulni
- átlagos napi RMSE: 60-70 W/m²
- Jelenleg: részletes verifikáció globálsugárzás megfigyelésekkel
- Jelenleg: AROME NWP adatok bevonása a modellbe (GeoSphere & HungaroMet)

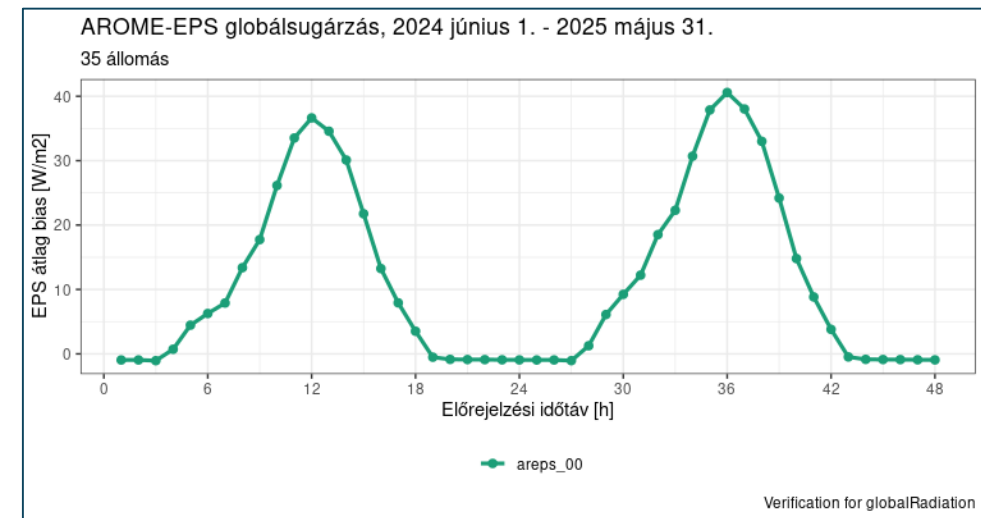
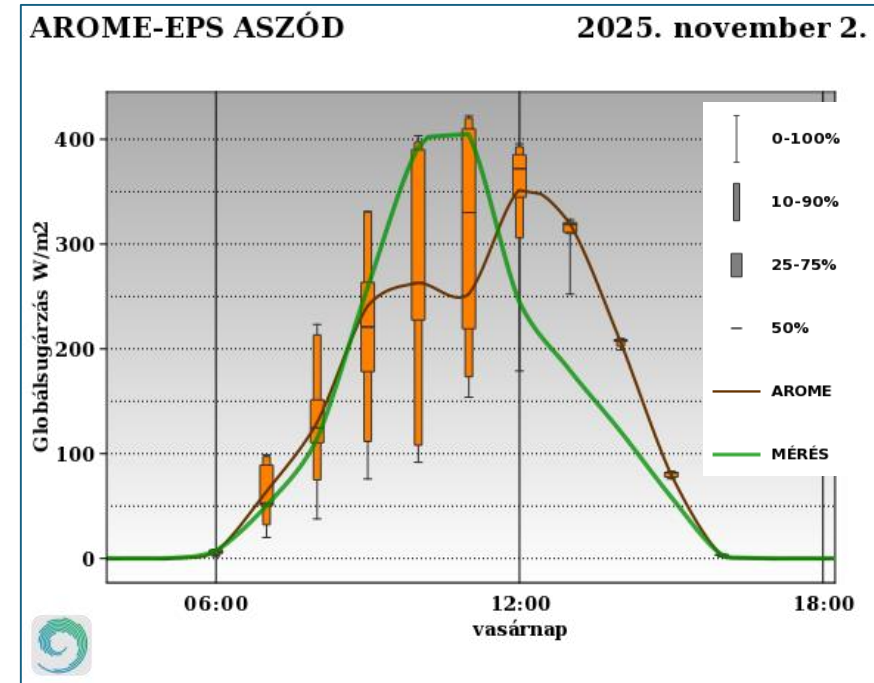
Rövidtávú előrejelzések

Sugárzás statisztikai utófeldolgozás fejlesztése

1825

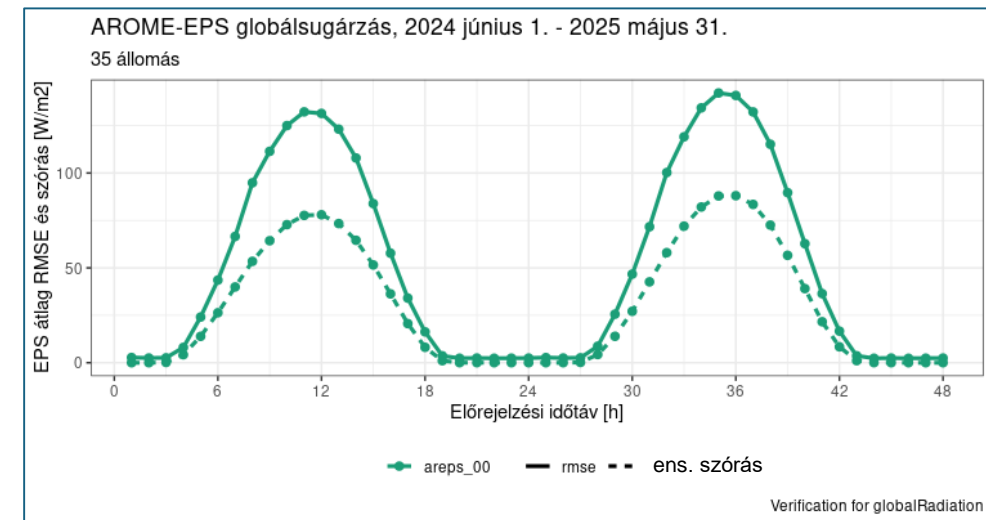
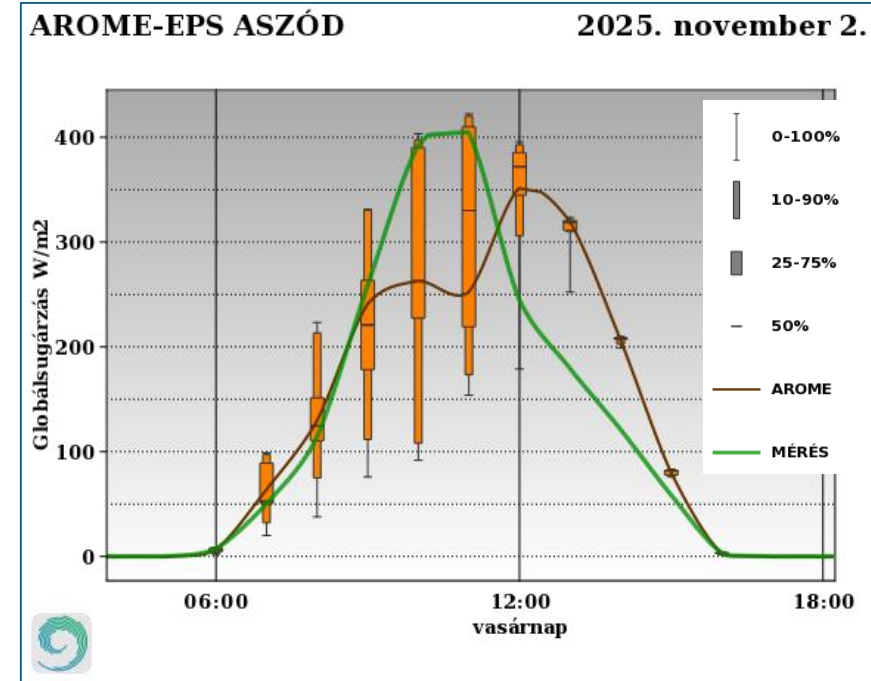
AROME-EPS előrejelzés

- Nem-hidrosztatikus ensemble modell
 - 2,5 km felbontás Kárpát medencére, két napos időtávra
 - 11 előrejelzés, perturbált kezdeti- és peremfeltételekkel: az adott modell (tér- és időbeli) bizonytalanságát jellemzi
 - A perturbáció azonban nem kompenzálja a modell szisztematikus hibáit, ill. a szórás általában kevés
- Utófeldolgozás („kalibrálás”) szükséges
 - Cél: a nyers modell eredmények javítása, maximális élesség megtartása mellett



AROME-EPS előrejelzés

- Nem-hidrosztatikus ensemble modell
 - 2,5 km felbontás Kárpát medencére, két napos időtávra
 - 11 előrejelzés, perturbált kezdeti- és peremfeltételekkel: az adott modell (tér- és időbeli) bizonytalanságát jellemzi
 - A perturbáció azonban nem kompenzálja a modell szisztematikus hibáit, ill. a szórás általában kevés
- Utófeldolgozás („kalibrálás”) szükséges
 - Cél: a nyers modell eredmények javítása, maximális élesség megtartása mellett

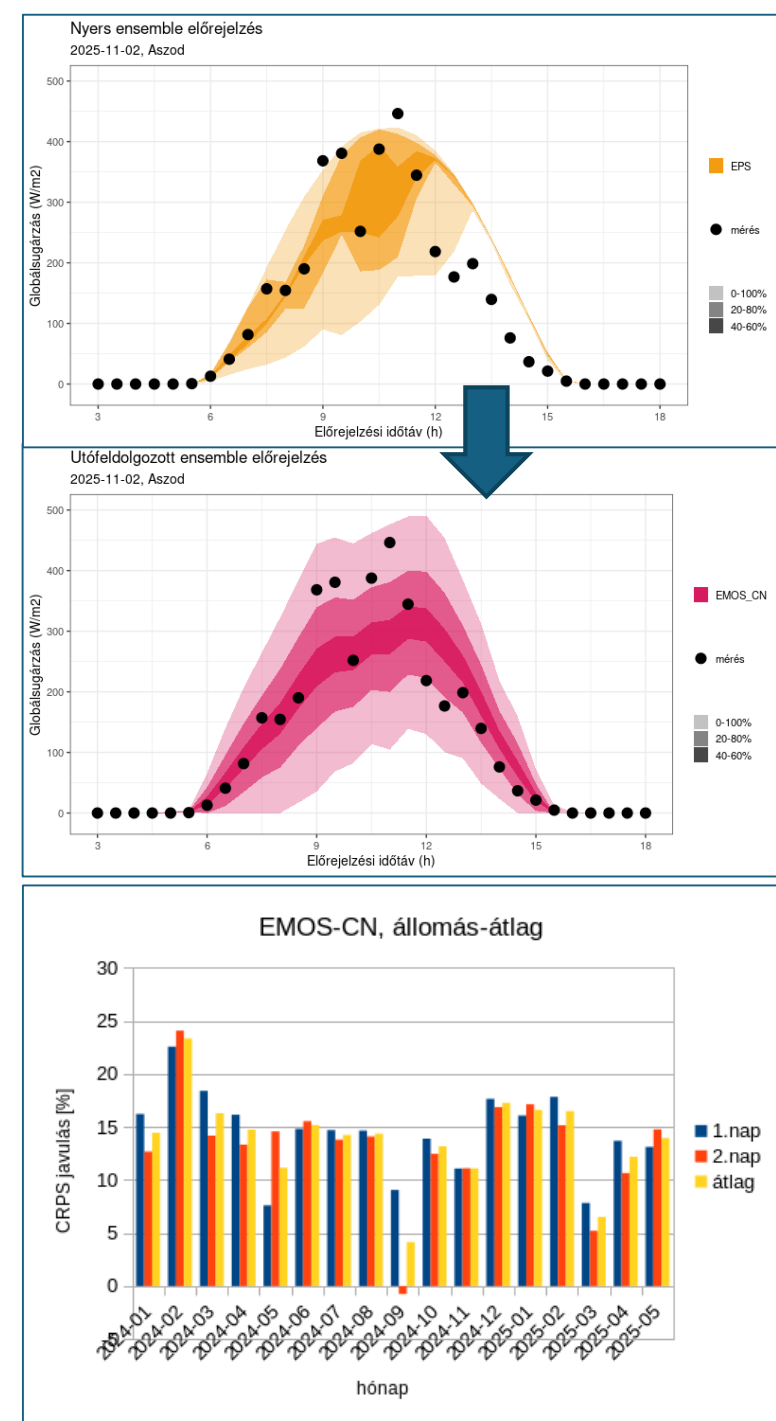


Operatív EMOS utófeldolgozás

- A javított sugárzás előrejelzést cenzorált Gauss-eloszlás formájában keressük
 - Baran Sándor (Debreceni Egyetem) módszere
 - CRPS (continuous ranked probability score) mutató minimalizálása
 - „Pontszerű” módszer; regionális modellezés 7 állomás adataival
- A javított eloszlást a 31 napos gördülő tanulóperióduson illesztett javítási együtthatók és az aktuális előrejelzés együtt határozzák meg
- 2023 óta elérhető, megbízható, gyors módszer

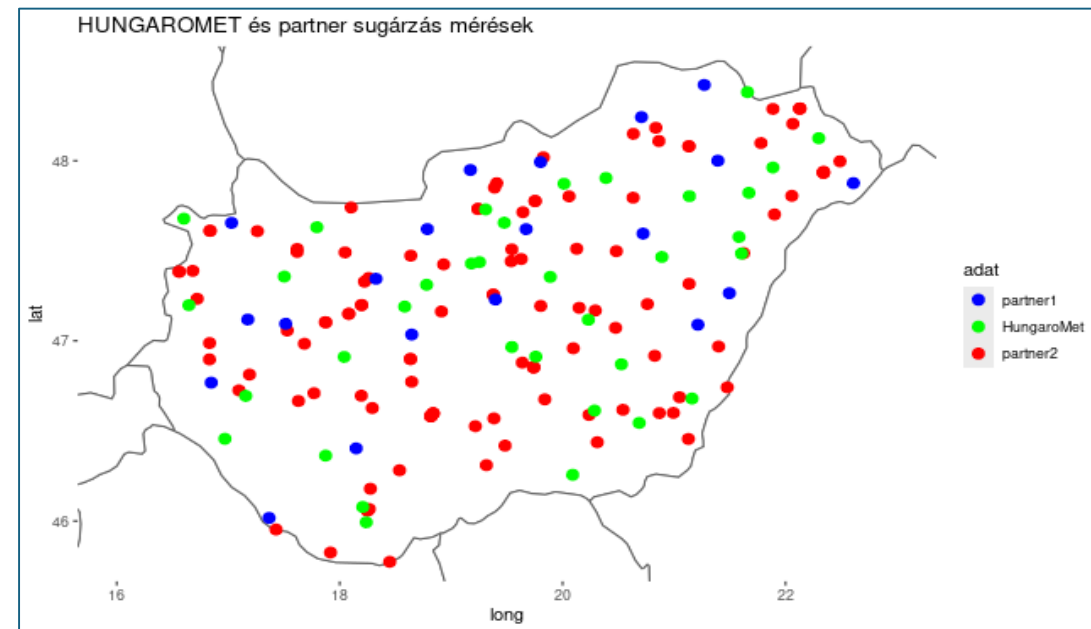
Schulz, B., El Ayari, M., Lerch, S., Baran, S., 2021: Post-processing numerical weather prediction ensembles for probabilistic solar irradiance forecasting. *Sol. Energy* 220, 1016–1031.

Szépszó G., Baran Á., Baran S., Jávorné Radnóczy K., Kornay M. és Tajti D., 2023: Sugárzásra és magassági szélre vonatkozó rövidtávú előrejelzések operatív statisztikai utófeldolgozása. *Légtér*, 68(3), 118-125.



Hasonló állomások használata

- Lokális és regionális módszer előnyeinek ötvözése: helyspecifikus, de rövid tanulóperiódussal fut
- Adott célállomásra maximális javítás a célunk, az évszakos sajátosságok figyelembe vétele mellett
- Hasonlóság: az állomások hibastatisztikája alapján
 - Előrejelzés-mérés különbségek empirikus eloszlásfüggvénye, időlépcsőnként, évszakonként
- Állomáscsoportok meghatározása: hasonlósági (évszakokra átlagolt) rangsor alapján
- Tanulóperiódus hossza, állomások száma változhat

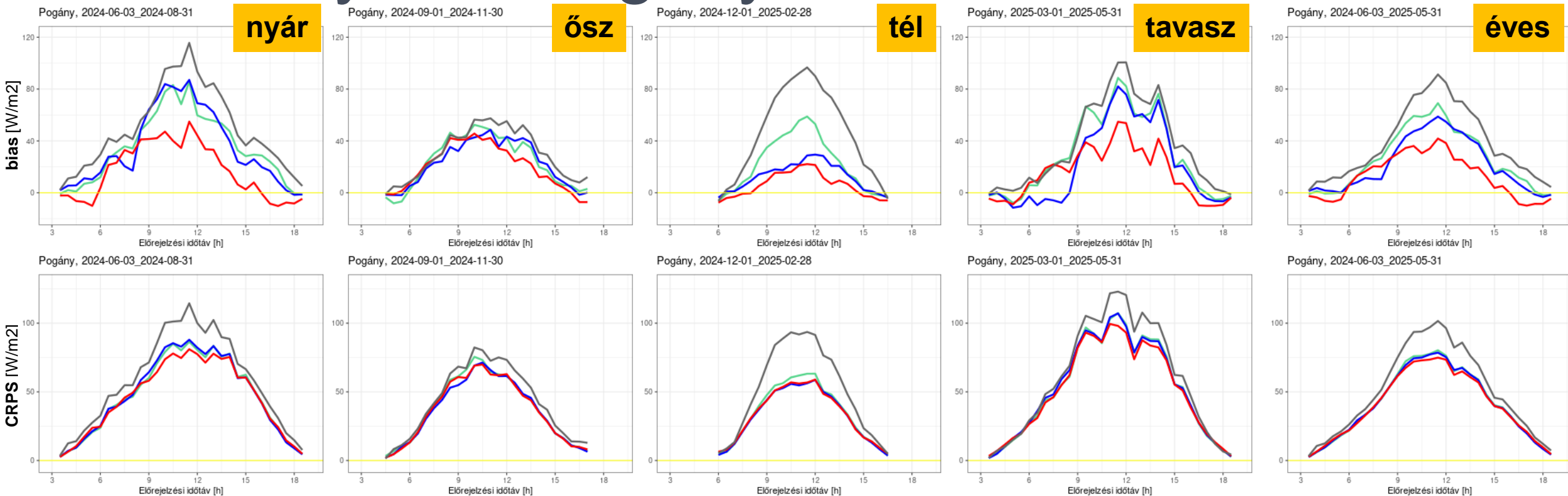


adatforrás	HungaroMet	partner1	partner2
Állomások száma	35	20	117
gyakoriság	10 perc	15 perc	15 perc
időszak	Teljes év	2. fél év	Teljes év
dőlésszög	vízszintes	vízszintes	20-35°

Célállomások (különböző karakterisztikájúak):
Budapest, Debrecen, Eger, Pér, Pogány, Sármellék, Szeged

Időszak: **2024 nyár – 2025 tavasz, évszakonként**

Eredmények – Pogány

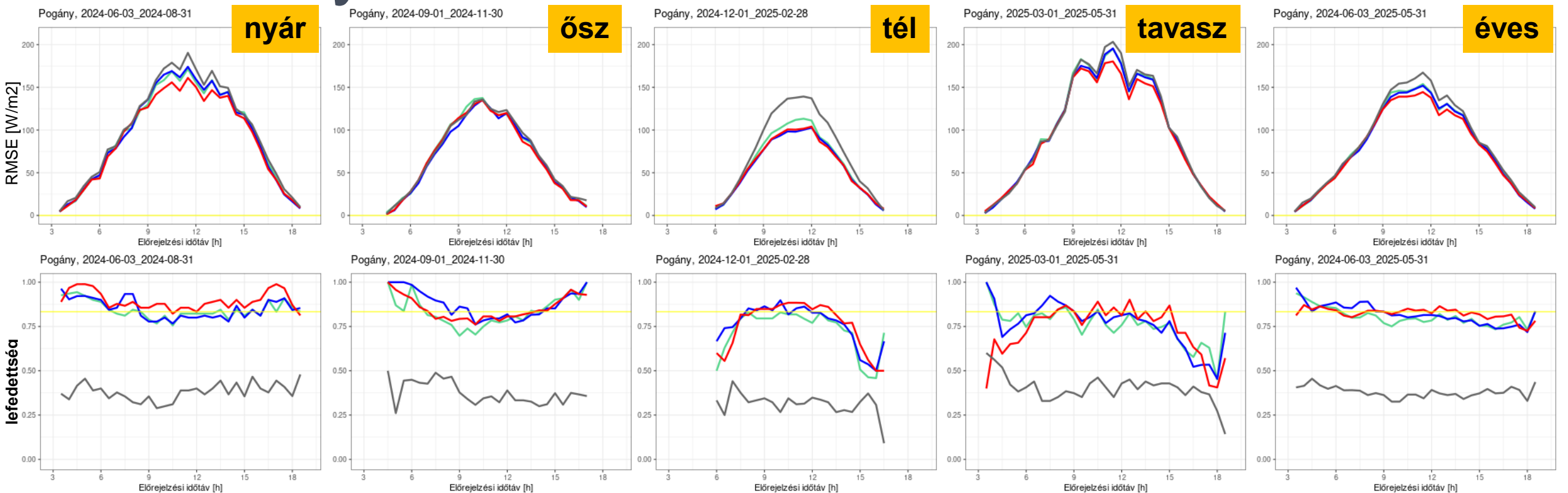


- Tavasszal és nyáron látványos javulás, szisztematikus hiba (bias) értékeken is, kivéve reggel
- Több állomás használata javít (0,1%)
- Tél kivétel, akkor a különböző állomások is megfelelőek

Legeredményesebb állomáscsoport tagjai: **Pécsi Erőmű**, **Pécs Egyetem**, **Beremend**, **Kaposvár**, **Szombathely**, **Sármellék**, **Agárd**, **Pér**

Eredmények

- operatív EMOS-CN
- különböző karakterisztikájú állomásokkal
- hasonló állomásokkal
- nyers EPS



- Eloszlás közepének (várható érték) RMS hibája csökken, főként tavasszal és nyáron
- Az eloszlás szórása nagyrészt lefedi a méréseket

Eredmények

	Szeged	Pogány	Sármellék	Budapest	Pér	Debrecen	Eger
elért legjobb átl. CRPS [W/m ²]	41,1 W/m ²	40,9 W/m ²	39,0 W/m ²	41,2 W/m ²	41,3 W/m ²	39 W/m ²	50,6 W/m ²
CRPS javulás a nyers EPS-hez képest	10,5%	19,3%	13,6%	13,6%	11,8%	10,1%	35,5%
CRPS javulás (operatívhoz, kül. állomásokhoz képest)	+1,9%, +3,5%	+1,5%, +2,1%	+1,9%	+1,4%, +1,9%	+0,9%	+2,0%, +3,3%	+12,3%
legeredményesebb kísérlet jellemzői: állomások száma, tanulóperiódus hossza, mérési adatok	9 állomás, 24 nap t.p. csak saját	9 állomás, 31 nap t.p. 7saját + 2partner2	9 állomás, 31 nap t.p. csak saját	9 állomás, 31 nap t.p. csak saját	9 állomás, 31 nap t.p. csak saját	9 állomás, 31 nap t.p. csak saját	7 állomás, 31 nap. t.p, 3saját+4partner2
RMSE javulás a legjobb kís.-ben (operatívhoz, különböző állomásokhoz képest)	-0,7% (0%, +1,0%)	8,2% (+3,7%, +2,5%)	1,6% (-, +0,4%)	0,5% (0%, -0,1%)	1,4% (-, +0,7%)	-1,8% (-0,17%, +0,19%)	19,8% (-, +11,3%)
EPS lefedettség javulás a legjobb kís.-ben (operatívhoz, különböző állomásokhoz képest)	109,1% (-7,8%, -10,5%)	108,4% (+3,5%, -0,4%)	132,4% (-, -16,8%)	113% (-6,7%, -10,4%)	107,2% (-, -3,3%)	122,6% (-10,8%, -12,1%)	130,1% (-, +23,8%)
megjegyzés						Kismacsra 12% javulás	Szűretlen állomásokkal

Összegzés: rövidtávú eredmények

- A nyers modellhez képest az operatív utófeldolgozás 10-20%-kal javítja a CRPS-statisztikát
- Hasonló állomások használatával további 1-12% javulás érhető el (kivéve télen)
- Sűrűbb mérőhálózat előnyei kihasználhatóak
 - Döntve mért adatok is felhasználhatók bizonyos célállomásoknál
- Adott állomásra gyorsan optimalizálható módszer

Köszönjük a figyelmet!

olah.s@met.hu

radnoczi.k@met.hu

MTA



Ensemble model output statistics (EMOS) módszer

EPS → paraméteres valószínűségi előrejelzés

- Előre definiált eloszlásfüggvény

$$\mathcal{N}(a + b_1X_1 + \dots + b_mX_m, c + dS^2)$$

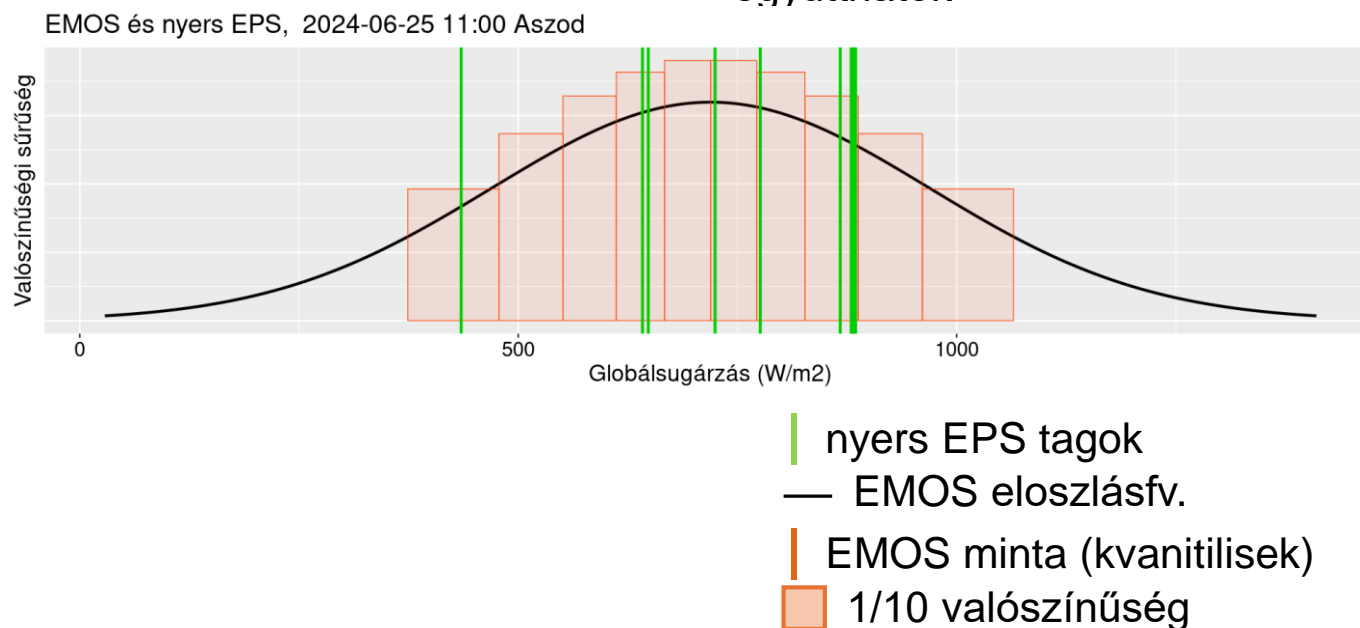
- Várható érték: EPS előrejelzések súlyozott átlaga, bias-korrekcióval
- Szórás az EPS-szórástól függ
- Az optimális eloszlásfüggvényt az együtthatók regressziójával kapjuk
- Feltétel: CRPS minimális, az adott, múltbeli adathalmazon
- A gördülő tanulóperiódus előnyei: az aktuális időjárási szezonhoz, és a modell fejlesztésekhez gyorsan alkalmazkodik, gyors tanítás

N : Gauss-eloszlás

X_1, \dots, X_m : EPS előrejelzések (tagok)

S : EPS szórás

a, b_i, c, d : változtatható együtthatók



HUNGAROMET és partner sugárzás mérések

