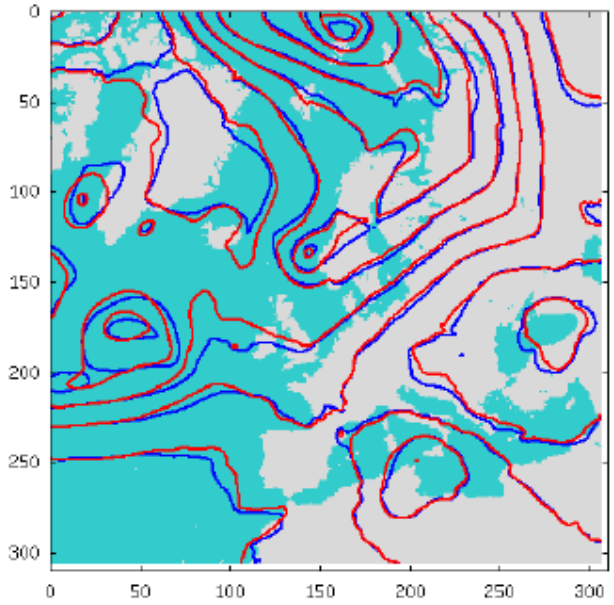
Mire használható a numerikus időjárás előrejelzésekben rejlő bizonytalanságok ismerete? – az ALADIN modell vizsgálata



Bölöni Gergely

OMSZ, 2012 Február 24

Bevezetés

Tegyük fel, hogy **ismerjük** a modellünk előrejelzési hibáit!
(ez persze korán sem igaz → valójában csak **becsüljük** azokat)

Példák ennek az ismeretnek a felhasználására:

1. valószínűségi előrejelzéseket adunk
   (becsüljük és kommunikáljuk az előrejelzés megbízhatóságát a felhasználó felé
   → **most nem erről lesz szó**)

2. megpróbáljuk csökkenteni a hibákat
   (determinisztikus szemlélet → **erről lesz szó**)

   - a főbb becsült hiba komponensek feltárásán keresztül megállapítjuk, hogy milyen fejlesztésekre van szükség

   - a becsült előrejelzési hibákat a kezdeti feltételek előállítása során (adatasszimiláció, hiba kovariancia mátrix) vesszük figyelembe (mint a modell által előállított első becslés bizonytalansága)

Előrejelzési hiba komponensek

Az analízis ($\mathbf{x}_a$) és az előrejelzés ($\mathbf{x}_f$) között az M modell „teremt kapcsolatot”:

$$\mathbf{x}_f = \mathrm{M}\mathbf{x}_a$$

Hiba definiciók:

$$\boldsymbol{\varepsilon}_f = \mathbf{x}_f - \mathbf{x}_t$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_a = \mathbf{x}_a - \mathbf{x}_t$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_M = \mathrm{M}\mathbf{x}_t - \mathbf{x}_t$$

$$\begin{aligned}\mathbf{x}_f - \mathbf{x}_t &= \mathrm{M}\mathbf{x}_a - \mathrm{M}\mathbf{x}_t + \boldsymbol{\varepsilon}_M \\ &\approx \mathrm{M}(\mathbf{x}_a - \mathbf{x}_t) + \boldsymbol{\varepsilon}_M \\ &= \mathrm{M}\boldsymbol{\varepsilon}_a + \boldsymbol{\varepsilon}_M\end{aligned}$$

előrejelzési hiba:

$$\boldsymbol{\varepsilon}_f = \mathrm{M}\boldsymbol{\varepsilon}_a + \boldsymbol{\varepsilon}_M$$

peremfeltétel hiba

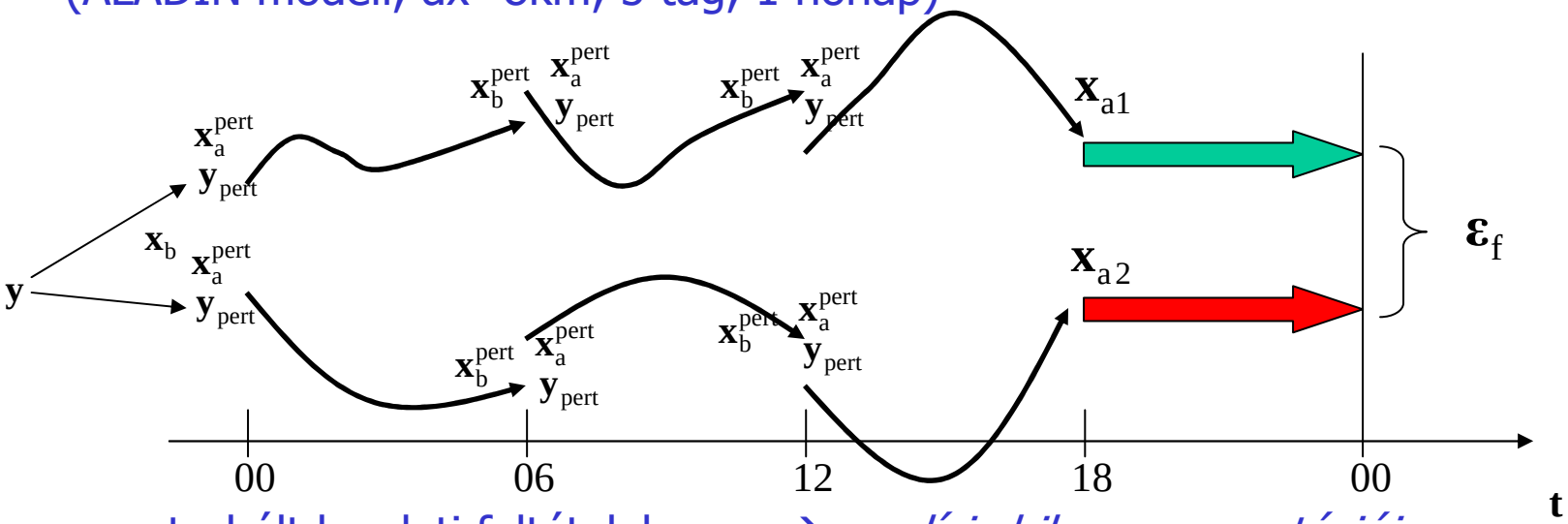
(korlátos tartományú modell)

analízis hiba

modell hiba

Előrejelzési hiba (és komponenseinek) becslése

Ensemble Data Assimilation (EDA) kísérletek segítségével
(ALADIN modell, dx=8km, 5 tag, 1 hónap)



- perturbált kezdeti feltételek → *analízis hiba reprezentációja*
- perturbált peremfeltételek → *peremfeltétel hiba reprezentációja*
- perturbált fizikai parametrizációk → *modell hiba reprezentációja (legalábbis egy részének)*

Előrejelzési hiba (és komponenseinek) becslése

Elvégzett kísérletek:
(ALADIN modell, dx=8km, 5 tag, 1 hónap: 2007 július)

PLBC („Perfect LBC framework"): az analízis hiba (kizárólagos) reprezentációja → perturbált kezdeti feltételek de fix peremfeltétel használata minden EDA (ensemble) taghoz

PIC („Perfect Initial Condition framework"): a peremfeltételek hibájának (kizárólagos) reprezentációja → perturbált peremfeltételek egy globális EDA rendszerből (ECMWF: Isaksen et al., 07/2007, 4DVAR T255/L91) de fix kezdeti feltételek használata (perturbálatlan „operatív" analízis)

LAM EDA: az analízis + peremfeltétel hibák reprezentációja → perturbált kezdeti- és peremfeltételek (mint a fentebbi két kísérletben)

LAM EDA +Q: a modell hiba reprezentációja (az analízis és a peremfeltétel hibák mellett) → perturbált fizikai parametrizációk (mikrofizika és konvekció változtatása a kontroll tagban), kezdeti- és peremfeltételek

Becsült előrejelzési hibák diagnosztikai vizsgálata

- **Spektrális hiba variancia**: becsült előrejelzési hiba szórásnégyzete spektrális (Fourier) térben → diagnosztizálja, hogy mi a hiba szórásnégyzetének térbeli skálák szerinti eloszlása *(Bouttier et al., 1997, Berre 2000)*

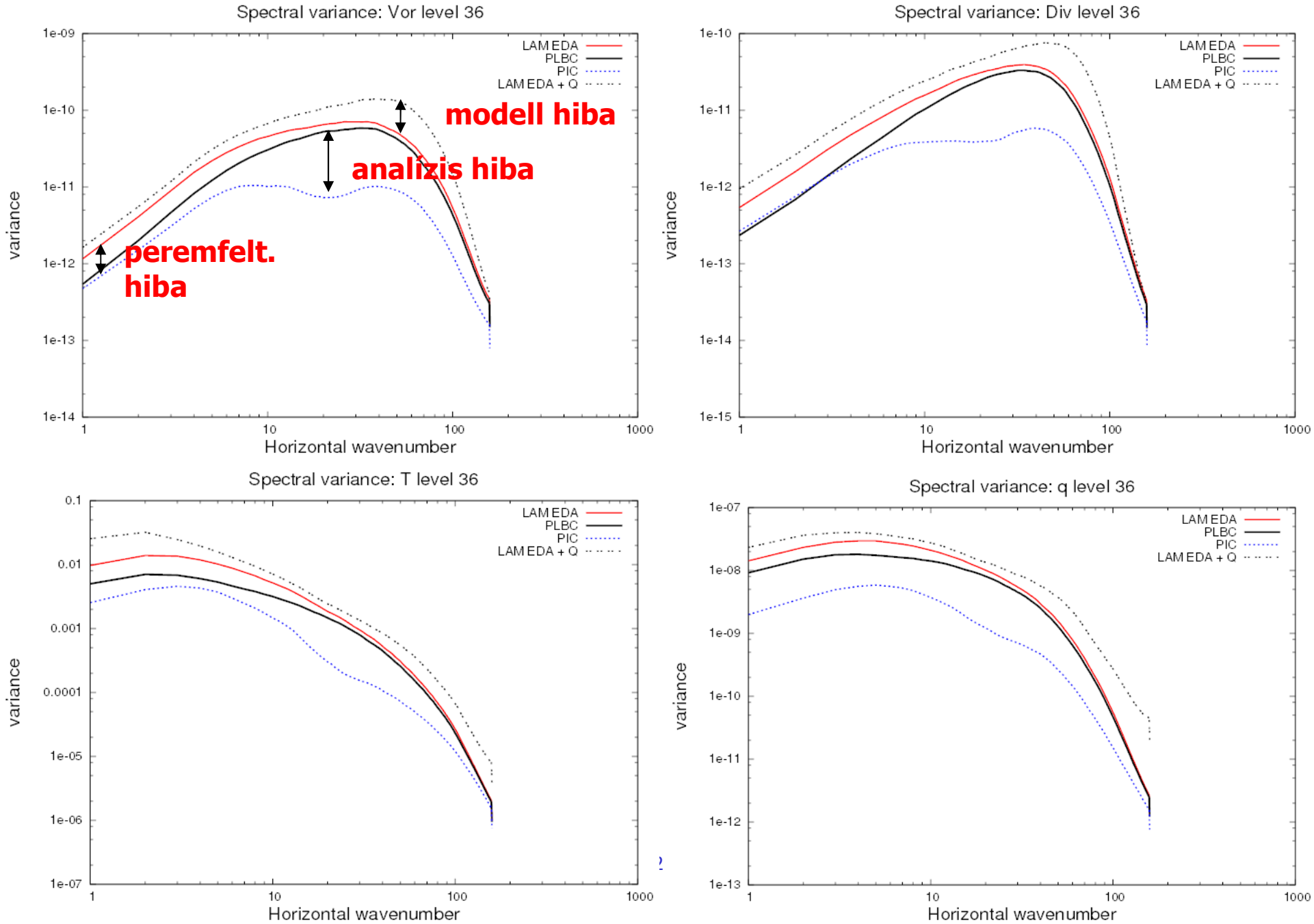
- **Spektrális PEACA**: (Perturbation vs. Error Amplitude Correlation Analysis) → diagnosztizálja, hogy hogyan viszonyul a becsült előrejelzési hiba amplitúdója a „valós" hibáéhoz (a Fourier reprezentáció miatt az egyes térbeli skálák szerinti eloszlást itt is vizsgálhatjuk) *(Wei and Tóth, 2003 alapján)*:

$$\mathrm{corr}\left(|\varepsilon_f|, |\varepsilon_f^{ref}|\right)$$

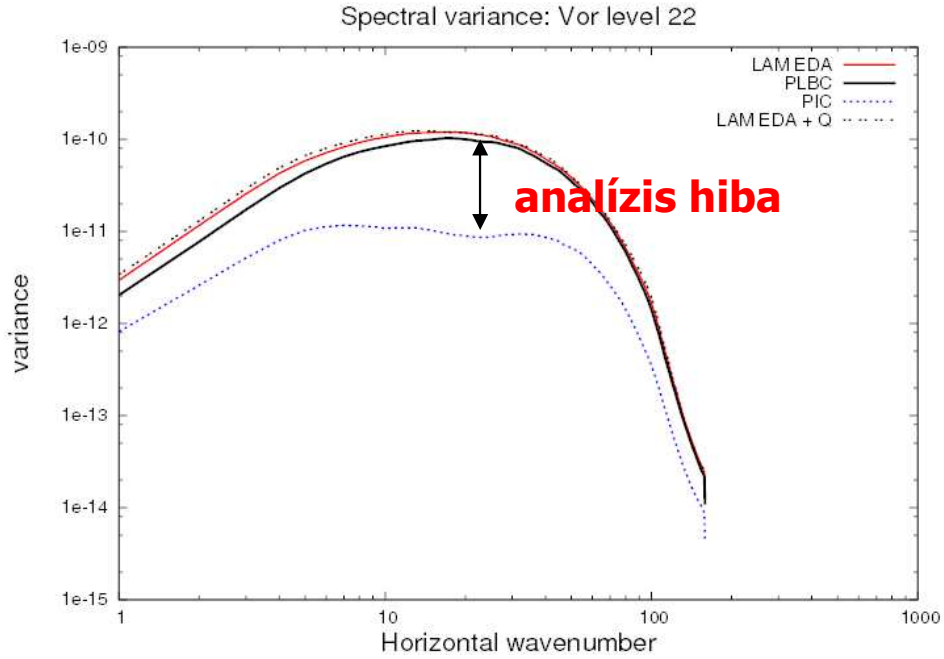
$\varepsilon_f = \overline{x_f} - x_{f,j}$ EDA kísérletekkel becsült előrejelzési hiba

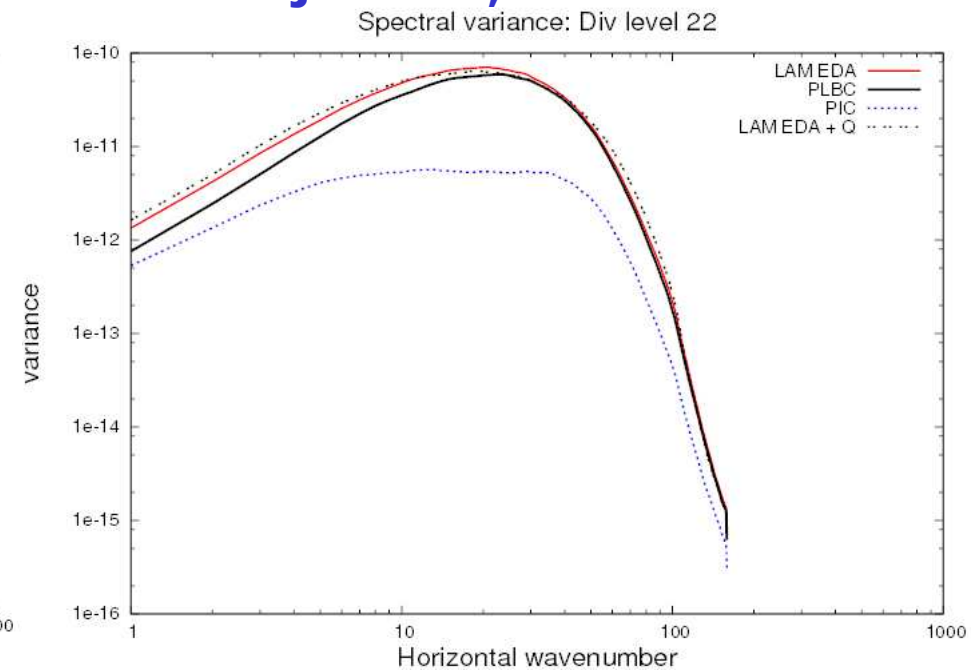
$\varepsilon_f^{ref} = x_a^{verif} - x_{f,j}$ „valós" előrejelzési hiba ($x_a^{verif} \approx x_t$)

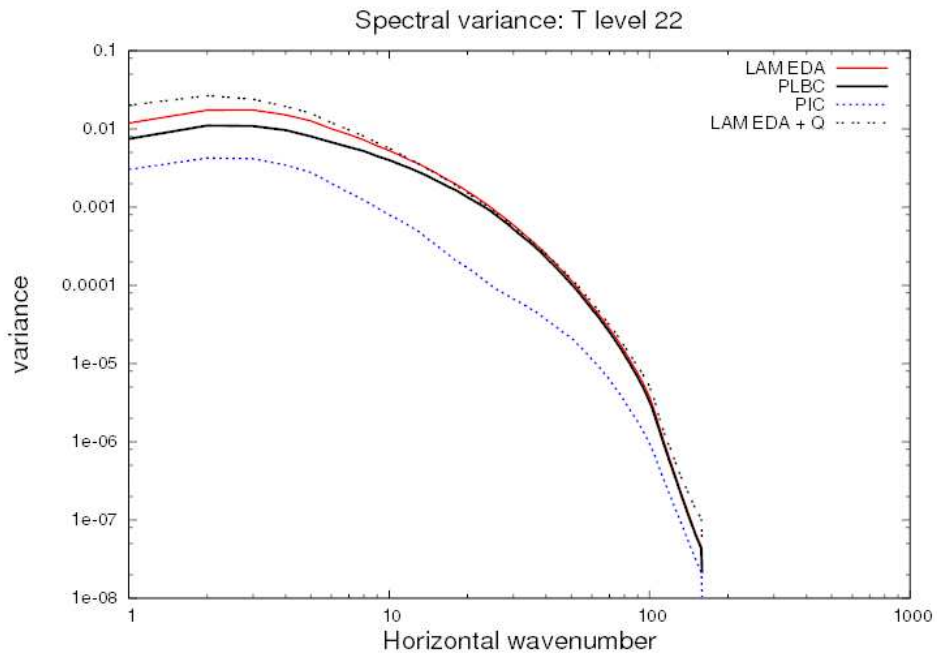
Spektrális előrejelzési hiba variancia: 6 órás előrejelzések, ~ 850 hPa

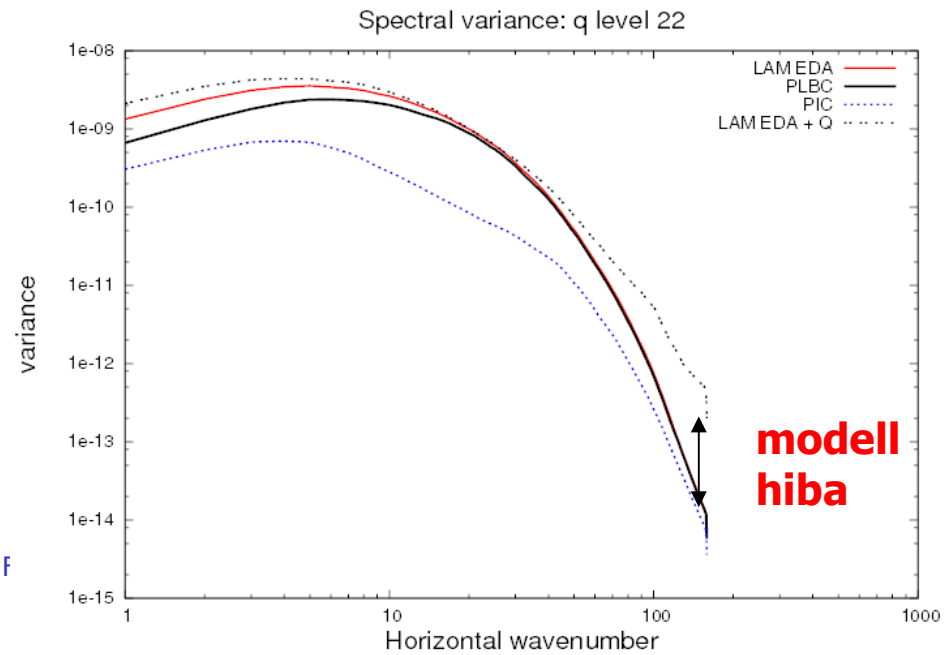


Spektrális előrejelzési hiba variancia: 6 órás előrejelzések, ~ 500 hPa



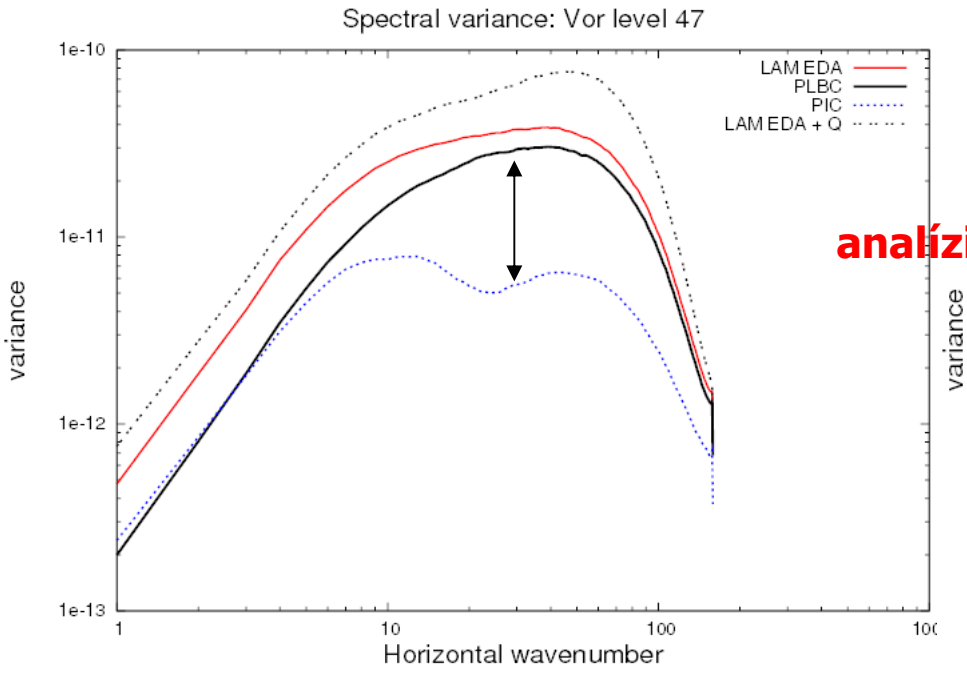






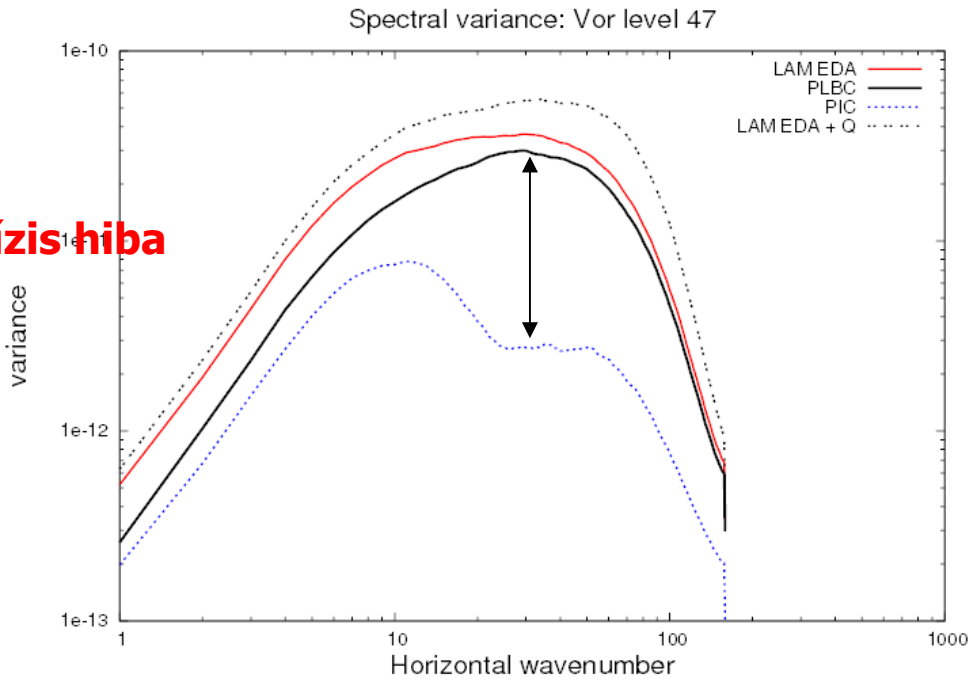
Spektrális előrejelzési hiba variancia: 6 vs. 3 órás előrejelzések, ~ 1000 hPa

6 órás előrejelzés



analízis hiba

3 órás előrejelzés



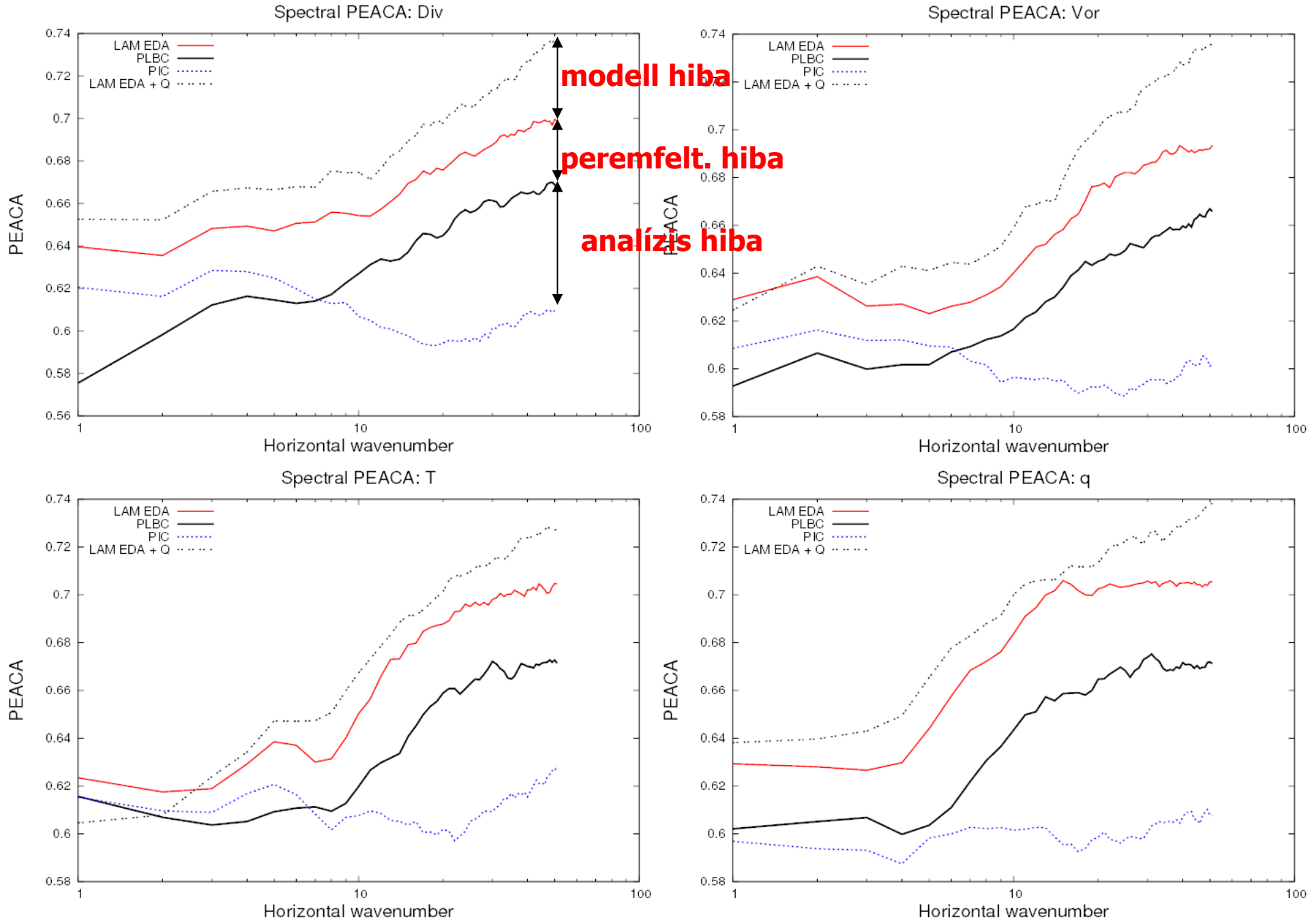
Összegzés: spektrális hiba variancia

- **Szabad légkör**: analízis hibák alkotják az előrejelzési hiba legnagyobb részét. A modell és peremfeltétel hibák kisebb jelentőségűek.

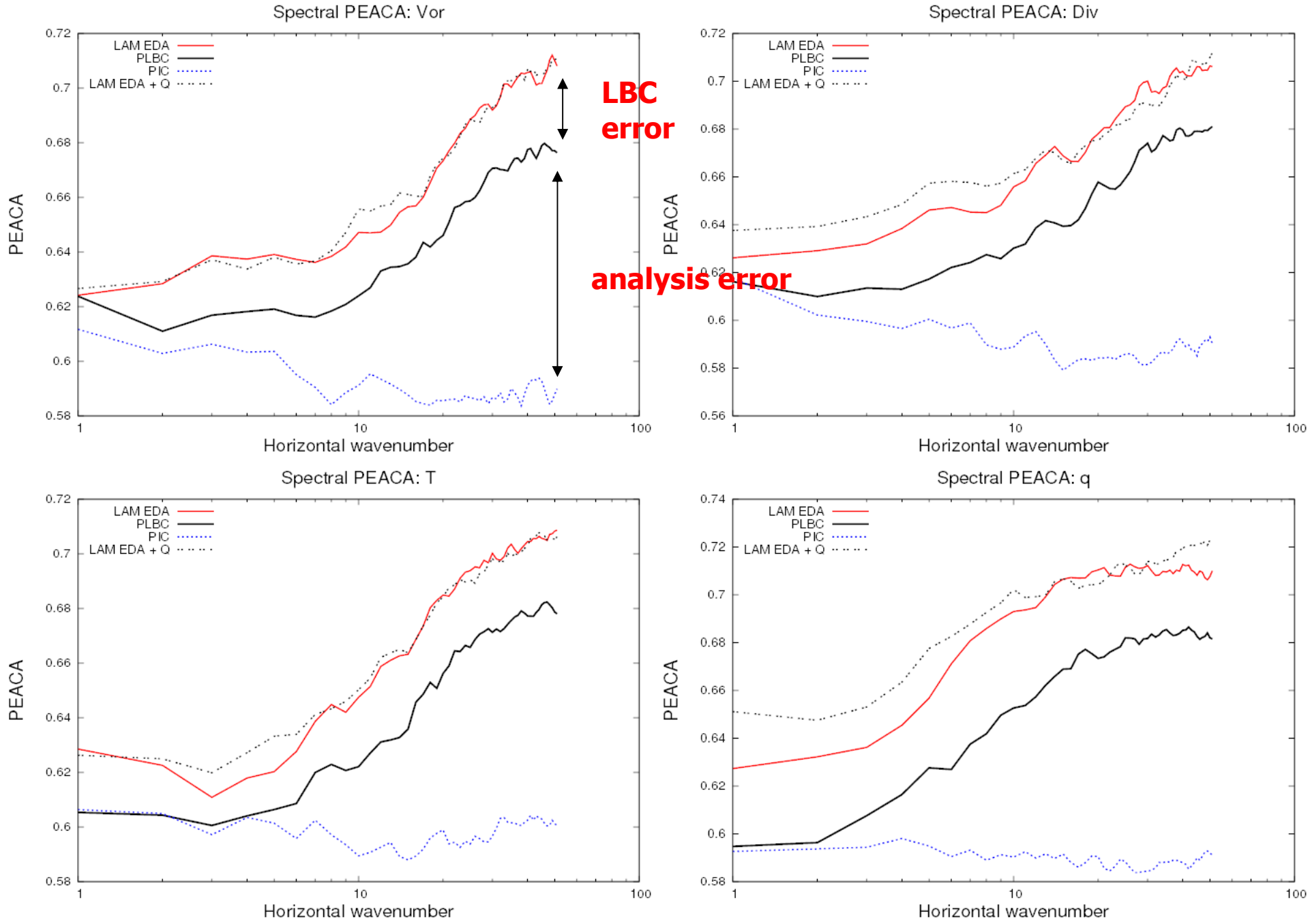
- **Határréteg**: az analízis, peremfeltétel és modell hibák mind számottevőek. Az analízis hibák a „közepes” skálákon (40 – 500 km: a megfigyelő hálózatra jellemző karakterisztikus tér skálák) dominálnak, a peremfeltétel hibák a nagy skálákra (> 250 km) jellemzőek, míg a modell hibák a kis skálákon (< 40 km) a legerőteljesebbek.

- Az előrejelzési táv csökkentésével az analízis hiba jelentősége nő: 3 órás előrejelzések esetében az analízis hiba nagyobb részben járul hozzá a teljes előrejelzési hibához mint 6 órás előrejelzések esetében

Spektrális PEACA: 6h órás előrejelzések, ~ 850 hPa



Spektrális PEACA: 6 órás előrejelzések, ~ 500 hPa



Összegzés: spektrális PEACA

- **Szabad légkör**: az analízis hiba dominál de a peremfeltétel hibák is jelentős részét alkotják a teljes előrejelzési hibának. A modell hibának nincs számottevő hozzájárulása (legalábbis úgy ahogy reprezentáltam). Ezek az állítások minden térskálára igazak a PEACA alapján.

- **Határréteg**: az analízis hibának van a legbagyobb hozzájárulása a teljes előrejelzési hibához a legkisebb tér skálákon is. A peremfeltétel és modell hibáknak is jelentős szerepe van.

Gyakorlati felhasználás

1. Előrejelzési hiba becslésének javítása: $\boldsymbol{\varepsilon}_\mathrm{f}$ (hiba komponensek figyelembevételével)

$$\boldsymbol{\varepsilon}_\mathrm{f} = \mathrm{M}\boldsymbol{\varepsilon}_\mathrm{a} + \boldsymbol{\varepsilon}_\mathrm{M}$$

2. Hiba kovariancia mátrix számolása: $\mathbf{B} = \mathrm{E}\left(\boldsymbol{\varepsilon}_\mathrm{f}\boldsymbol{\varepsilon}_\mathrm{f}^\mathrm{T}\right)$

3. Variációs adat asszimiláció (kezdeti feltételek előállítása) a becsült $\mathbf{B}$-vel:

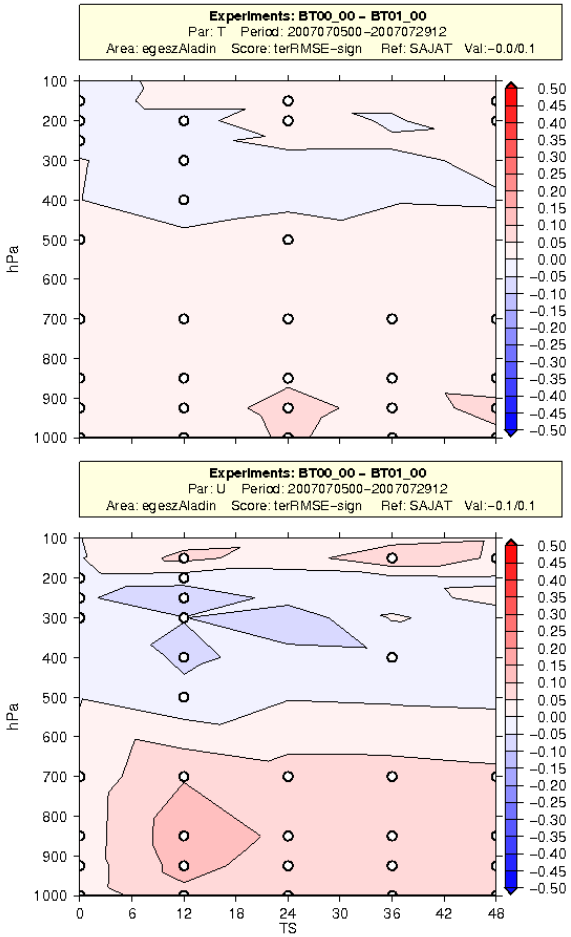
$$\mathrm{J}(\mathbf{x}) = \underbrace{\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\mathbf{x}_\mathrm{f})^\mathrm{T}\mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x}-\mathbf{x}_\mathrm{f})}_{\text{„first guess”-től vett távolság}} + \underbrace{\frac{1}{2}(\mathbf{y}-H(\mathbf{x}))^\mathrm{T}\mathbf{R}^{-1}(\mathbf{y}-H(\mathbf{x}))}_{\text{megfigyeléstől vett súlyozott távolság}} \longrightarrow \mathbf{x}_\mathrm{a}$$

4. Előrejelzés futtatása az $\mathbf{x}_\mathbf{a}$ kezdeti feltételből: $\mathbf{x}_\mathrm{f} = \mathrm{M}\mathbf{x}_\mathrm{a}$

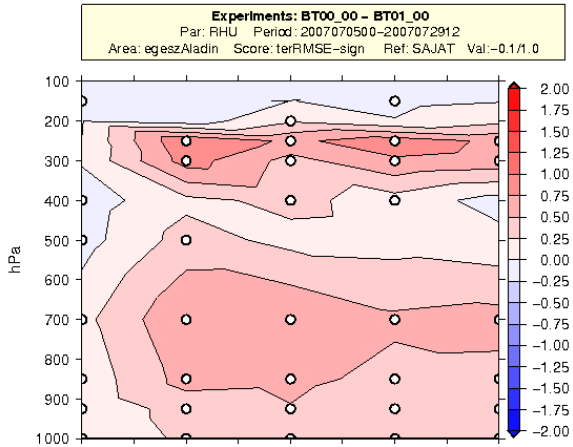
5. Verifikáció: tényleg javult $\mathbf{x}_\mathrm{f}$ az $\boldsymbol{\varepsilon}_\mathrm{f}$ jobb becslése miatt?

Gyakorlati felhasználás

Példa1: az analízis hiba becslésének javítása (LAM EDA vs. Leskálázott Globális EDA)
1 hónapos (2007 Július) kísérlet: 3DVAR asszimiláció + 2 napos előrejelzések verifikációja

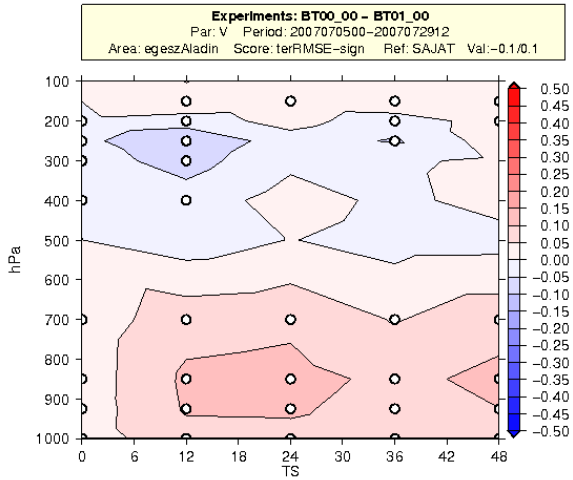


T



RH

U

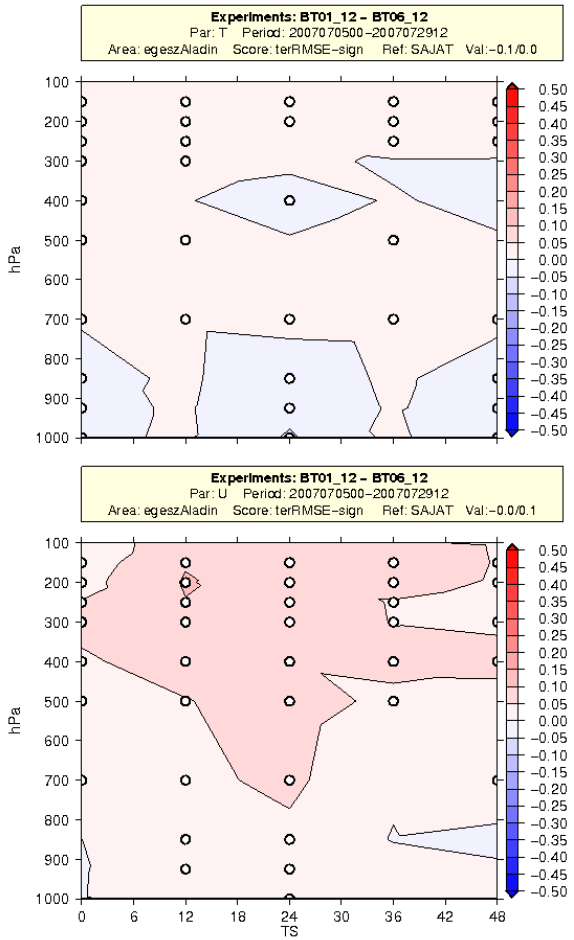


V

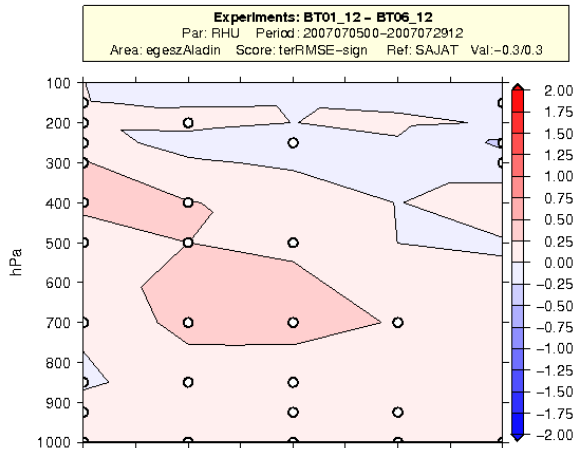
OMS:

Gyakorlati felhasználás

Példa2: a modell hiba figyelembevétele a becsléskor (fizikai parametrizációk perturbálása)
1 hónapos (2007 Július) kísérlet: 3DVAR asszimiláció + 2 napos előrejelzések verifikációja

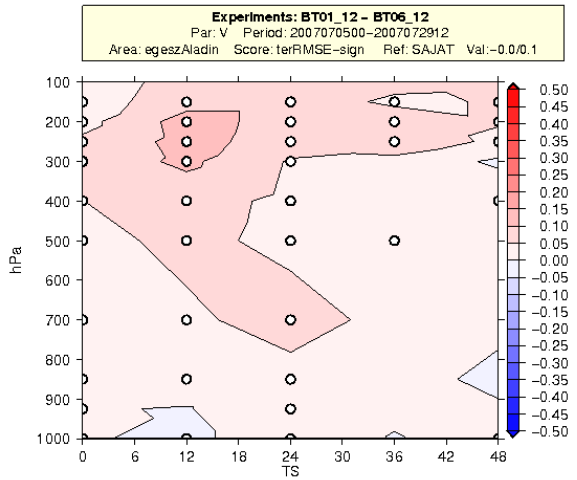


T



RH

U



V

OMS

Összefoglalás

- Az egyes előrejelzési **hiba komponensek** (analízis, peremfeltétel és modell hiba) **hozzájárulását** vizsgáltam a **teljes rövid távú előrejelzési hibához**

- A kis (mezo) skálájú, ultra **rövid távú előrejelzési hibák** főleg az **analízis** (kezdeti feltétel) **bizonytalaságaiból** és a **modell hibákból** (pl. fizikai parametrizációkban rejlő bizonytalanság) **adódnak**. A peremfeltételek hibája másodlagos az előző kettőhöz képest (ultra rövid távon és mezo skálán) → az **adatasszimiláció és a fizikai parametrizációk fejlesztése** a legfontosabb (AROME modellel kapcsolatos tervek az OMSZ-ban)

- Vegyük észre, hogy a két bemutatott diagnosztika valamelyest különböző mértékű hozzájárulását mutatta az egyes hiba komponenseknek a teljes előrejelzési hibához (különböző tér-skálák szerinti eloszlás)

- Az **előrejelzési hibák ismerete a gyakorlatban is hasznos**: a kovariancia mátrix számolásán keresztül felhasználhatók az operatív variációs adatasszimilációban

- Az **előrejelzési hiba jobb becslése** (analízis, modell és peremfeltétel bizonytalanságok jobb reprezentációja) **jobb 2 napos előrejelzésekhez vezet**.

Megjegyzések

- A felszíni leírásának (asszimiláció és modell) bizonytalanságát is érdemes lenne különválasztani (megnézni, hogy mekkora a hozzájárulása a teljes előrejelzési hibához)

- Nagyobb felbontáson (AROME 2.5 km) is érdemes lenne elvégezni hasonló kísérleteket

- Nagyobb elemszámú EDA rendszerrel (amikor is 1 időpontra elegendő adat áll rendelkezésre a kovariancia mátrix számolásához: ~50-100 tag) egy egyszerűsített Kalman szűrő hozható létre (Ensemble Kalman szűrő) → időben változó áramlás függő előrejelzési hibák (amilyenek a valóságban is…)

Köszönöm a figyelmet

?