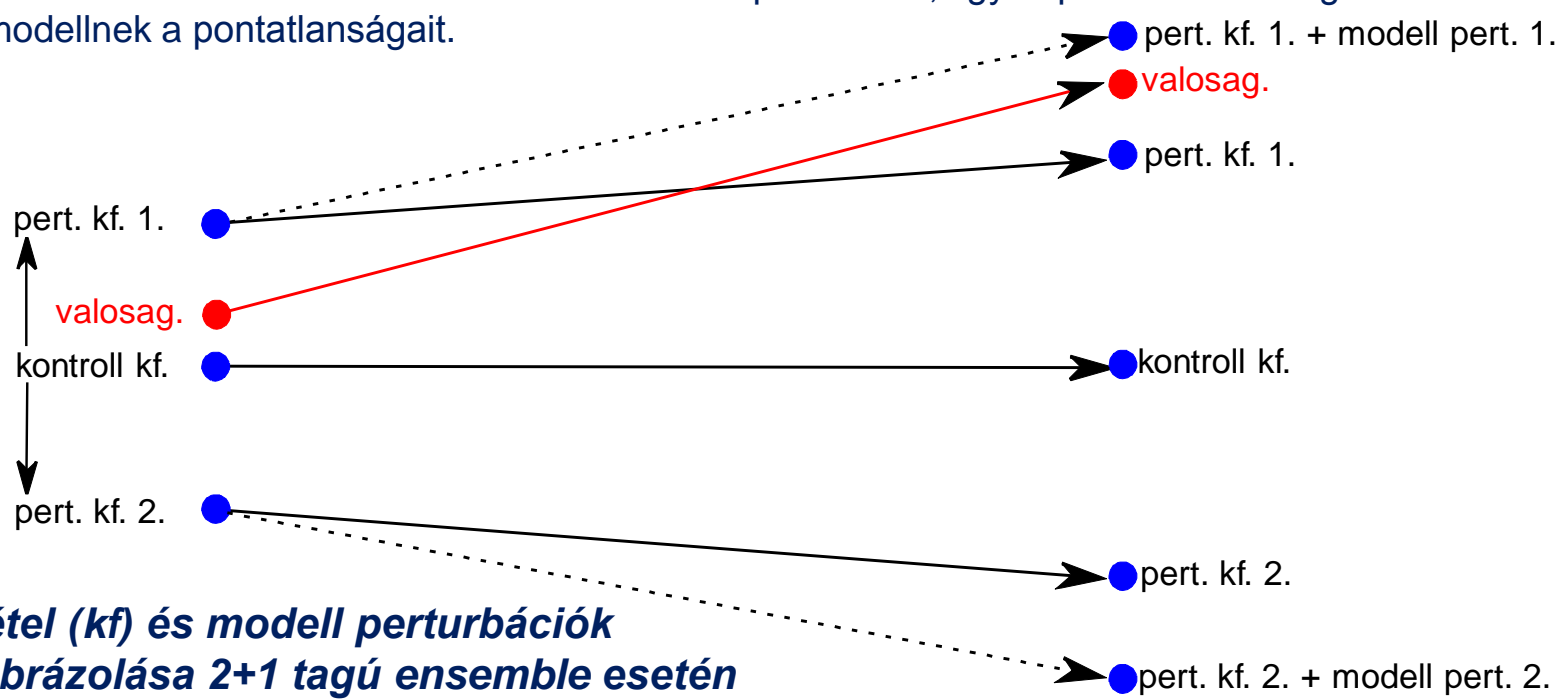


Parametrizált folyamatok tendenciájának sztochasztikus perturbációja ensemble rendszerekben

Szűcs Mihály (szucs.m@met.hu)

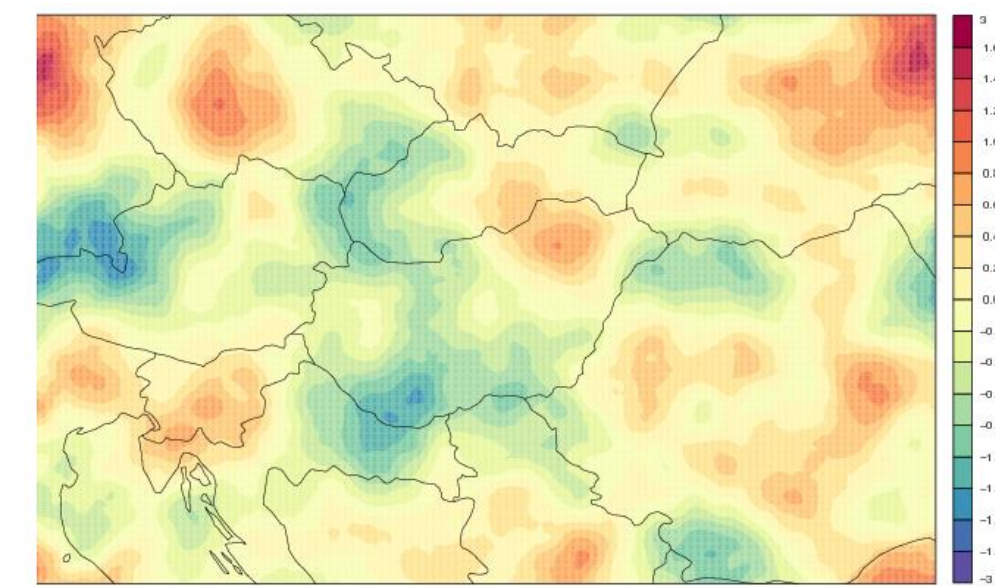
Modellhiba reprezentáció ensemble rendszerekben

A légköri folyamatok kaotikus jellegét, azok előrejelezhetőségének korlátosságát már Lorenz munkássága nyomán is megismerhettük a 60-as évek elején. A modelljeinket eluráló bizonytalanságokat elméletileg sem tudjuk teljesen kiszűrni, így azok számszerűsítése lehet a cél, amire az ensemble rendszerek adnak lehetőséget. Az ensemble rendszerek olyan sokasági előrejelzések, ahol az egyes tagok kezdeti feltételeit olyan módon perturbáljuk, hogy a perturbációk az előrejelzési hibához hasonlóan növekedjenek az idővel. Emellett lehetőségünk nyílik az egyes tagok integrálása során használt modell formulákat is perturbálni, így reprezentálva magának az előrejelző modellnek a pontatlanságait.

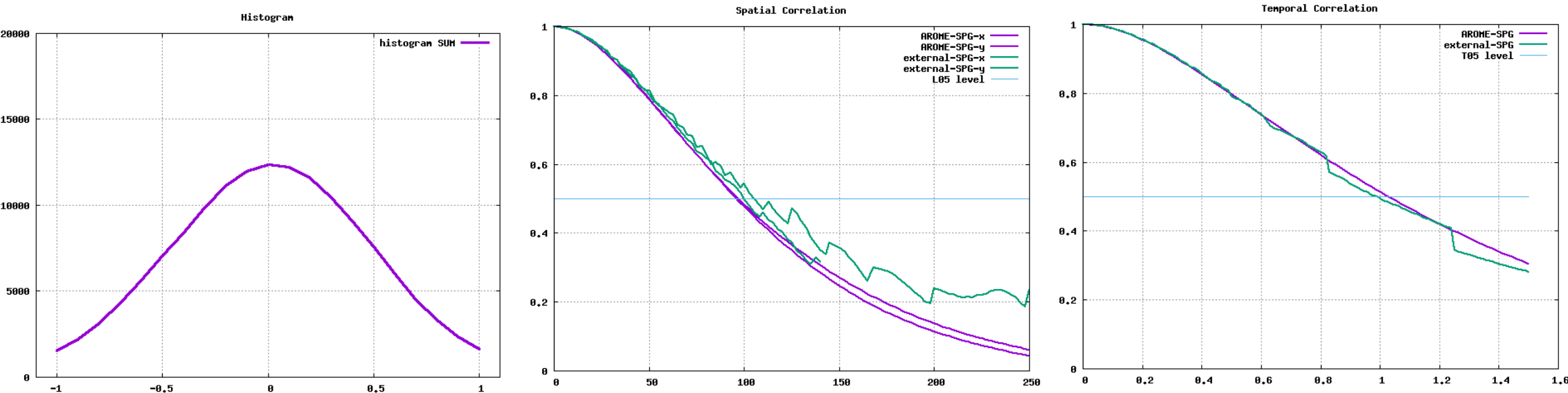


Véletlen mező generátor

Az ALADIN-AROME kódban alapértelmezett véletlenmező generátor a globális ECMWF modellből, azaz az IFS-ből származik. Ennek a spektrális mezőgenerátornak a korlátos tartományú modellbe történő átültetése számos technikai problémát vetett fel az első tesztek során, melyekre igazán megnyugtató megoldást soha sem sikerült találni. Emellett időközben olyan véletlenmező generátorokat is sikerült megismernünk a meteorológusoknak, melyek elméletileg is jobban illenek az időjárás előrejelzés problematikájához. Ezért kísérleteink során az ún. **SPG-t (stochastic pattern generator)** implementáltuk és alkalmaztuk.



- E módszer előnye, hogy képes valóban gauss-i eloszlású véletlen számokat adni, melyek tér és időbeli korrelációja olyan kontroll paraméterekkel állíthatók, melyek megmondják, hogy a korrelációs függvény hány km illetve óra után csökken 0.5 alá. Kísérleteink során ezek értékeit rendre 100km-re és 10 órára állítottuk, míg a véletlen számok szórása 0.5 maradt.
- A spektrális térben dolgozó mező generátor az alacsonyabb hullámszámokhoz (nagyobb skálájú mozgásokhoz) hosszabb időbeli korrelációt, míg a magasabb hullámszámokhoz (kisebb skálájú mozgások) rövidebb időbeli korrelációt rendel.



Túltelítettség fölötti állapotok szűrése

Az ECMWF IFS modelljének alapbeállítását használva az AROME modell is kiszűr minden olyan perturbációt, aminek a végén a modell túltelített állapotba kerül - még akkor is, ha ez megtörtént volna perturbáció nélkül is. Mivel azonban a túltelítettség állapotától távolodó perturbációk megmaradnak, ez magyarázat lehet a fent említett „szárító hatásra”. Ennek elkerülése érdekében egy új szűrési módszert vezetünk be a túlzott túltelítettség elkerülése érdekében. Ennek lényege:

- Egy iteratív eljárás során nem nullazzuk le automatikusan a túltelítettség állapotába vezető perturbációkat, hanem addig csökkentjük azok mértékét -ha ez lehetséges-, hogy még feltöltetlen maradjon a cella.
- Ezt az iteratív eljárást nem csak a perturbációval, hanem annak ellentétes előjelű változatával is elvégezzük, hogy minden irányba ugyanannyira mérsékeljük a perturbációkat, így lehetőleg mesterségesen ugyanannyi nedvességet kivonva és hozzáadva a légkör parametritációk után fizikailag reálisnak vélt állapotához.

- **Az új szűrési eljárás alkalmazásával kapott eredményeket kék vonal jelzi az alsó ábrákon. Látható, hogy a „szárító hatás” jelentősen javult e fejlesztés hatására.**

Parametrizált tendenciák sztochasztikus perturbációja (SPPT séma)

A modellhiba reprezentációja során használt módszerek többsége abból a feltevésből indul ki, hogy a legnagyobb bizonytalanságot a modell felbontásánál kisebb skálájú folyamatok leírása hordozza magában. Ezek a folyamatok a mai operatív modellekben jellemzően a sugárzás, a turbulencia, a felszínnel való kölcsönhatások, a mikrofizika és hidrosztatikus közelítés mellett a konvekció. Ezen folyamatok egy-egy rácscellában jelentkező átlagos hatását a fizikai parametritációk becsülik meg a modellekben. Az alábbi egyenletekben a j -edik ensemble tag állapotát írja le az e_j állapotvektor T idő után. Ezt úgy kaphatjuk meg, hogy a modellrácon leírt egyenleteket megoldjuk (modell dinamika hozzájárulása: A) illetve a szükséges parametritációkat elvégezzük (modell fizika hozzájárulása: P). Az SPPT séma a modell egyenleteiben a parametritált folyamatokból érkező hozzájárulást perturbálja: P' . A P -vel jelölt tendenciát egy $(1+r)$ számmal szorozzuk, ahol r egy 0 várható értékű véletlen szám. Így statisztikailag nem módosítjuk P -t, ám reprezentáljuk annak bizonytalanságát az egyenleteinkben.

$$e_j(T) = \int_0^T (A + P) dt$$

$$P' = (1 + r)P$$

Nyitott kérdések az SPPT séma alkalmazása során

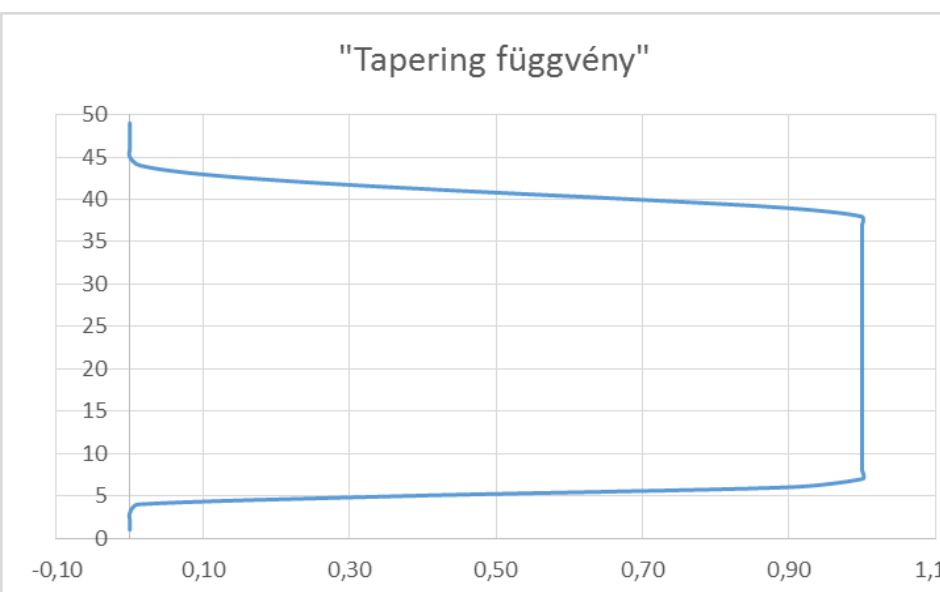
Mint a fenti egyenletekből is látszik, az SPPT séma alapkonceptiója rendkívül egyszerű, ám gyakorlati alkalmazása során számos megoldandó probléma merül fel, melyek alapvetően két körbe sorolhatók:

Az egyik probléma az **r szám meghatározása**. Ha minden időpontban és cellában egymástól függetlenül véletlen számot használunk, akkor a séma nem lesz hatékony, alig ad hozzájárulást a tagok ensemble átlag körüli szórásához. Ezért érdemes olyan véletlen mezőket használni, ahol az egyes rácsponthoz tartozó értékek között van térbeli korreláció, és ahol a mező időben fokozatosan, lassan változik. Ezért spektrális térben számoló véletlenmező generátorokat szoktak alkalmazni, melyek végül minden rácsponthoz egy 0 várható értékű, gauss-i eloszlású számot adnak, ahol a számok szórását jellemzően 0.5-re választják.

A másik probléma az **r szám alkalmazása**. Itt alapvetően két szűrési technika bevezetésének szükségessége emelhető ki:

- Amikor az SPPT sémát először bevezették az ECMWF-nél, úgy tapasztalták, hogy az numerikus instabilitáshoz vezethet a felszín közelében. Ezért bevezették a magasságfüggő ún. „tapering függvényt”, amivel az r -t szorozzuk. Hatására a tropopauza felett és a planetáris határélethez (PBL) gyakorlatilag kikapcsoljuk az SPPT sémát
- A tapasztalatok szerint az SPPT séma képes fizikailag nem reális állapotokba kényszeríteni a modellt. Könnyen látható, hogy egy ilyen mesterséges zaj hatására negatív vagy akár jóval telítési feletti nedvesség értékek is előfordulhatnak. Az előbbiek a szűrése nyilvánvalóan fontos, utóbbi pedig bizonyos szintig természetes, ám a régi ECMWF-es tesztek során úgy találták, hogy érdemes az SPPT sémát telítettség szint fölött egyszerűen kikapcsolni.

Az SPPT hatását a troposzféra fölött és a PBL-ben 0-ra állító „tapering” fv modellszintjei értékei



Kisebb perturbációk és mesterséges szűrések elhagyása

A fent leírt kísérletek elvégzése után az SPPT séma gyakorlati alkalmazását a következő módon próbáltuk összefoglalni:

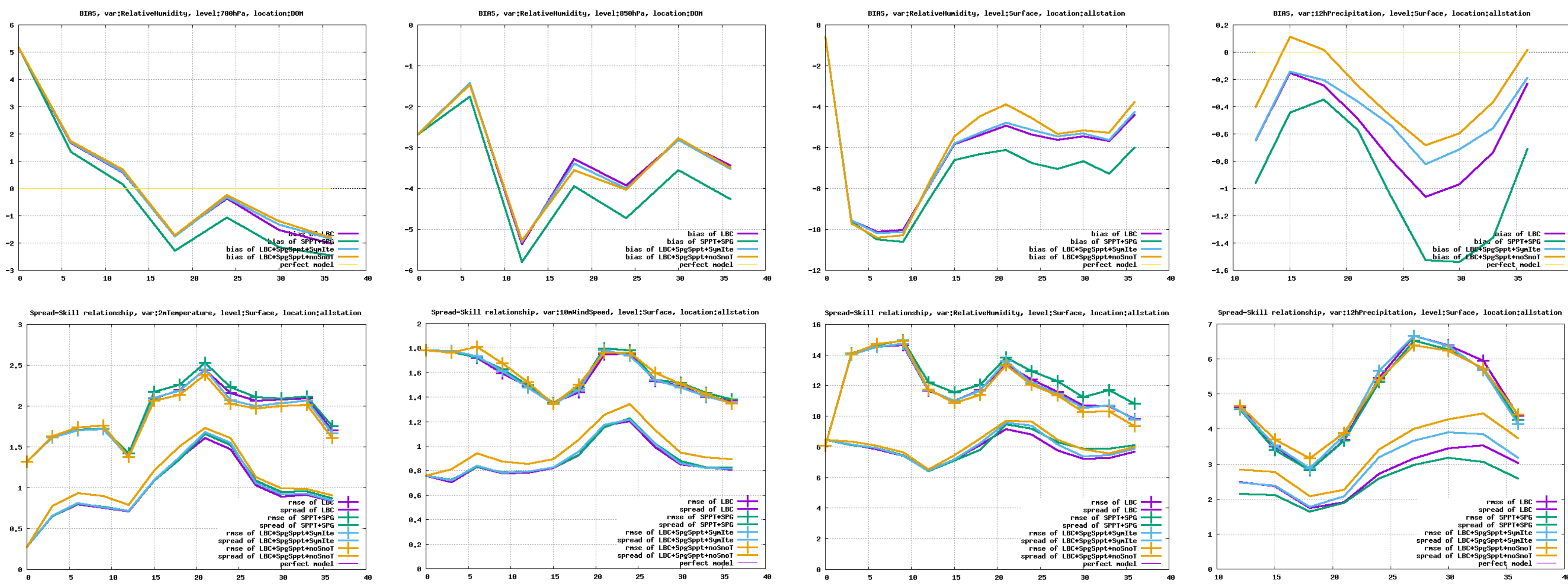
- Az eljárás során alkalmazott véletlenszámok szórása meglehetősen nagy, így a perturbációk amplitúdója jelentős. Ennek következtében a modell könnyen kerülhet olyan állapotba, ami fizikailag nem indokolható, a modell „elszállásához” vezethet vagy éppen szisztematikus hibákat hoz a rendszerbe.
- Ezen nemkívánatos állapotok elkerülése érdekében különböző szűrési eljárásokat használnak a gyakorlatban, mint a már ismertetett „tapering függvény” vagy a túltelítettség szint fölötti állapotok kiszűrése. Ezek a szűrők azonban óhatatlanul csökkentik a séma hatékonyságát, és használatuk további problémákat eredményezhet.

A fent leírtak helyett az utolsó bemutatandó kísérlet során a következő logikát követtük:

- Mivel az SPG-nek köszönhetően olyan véletlenmező generátort sikerült a modellkódba implementálni, mely jól hangolható, így lehetőség van a perturbációk amplitúdójának drasztikus csökkentésére a szórás 0.35-re hangolásával.
- Mivel így a modell numerikusan stabil lesz, és a perturbációk mérete is jelentősen csökken, megpróbálhatjuk a fent említett szűrőket egyszerűen elhagyni.

Az utolsó kísérlet eredményei narancssárga vonallal szerepelnek az alsó ábrákon. Látható, hogy nem jelentek meg jelentős szisztematikus hibák, ám a perturbációk PBL-be történő beengedésének köszönhetően nagyban nőtt a séma hatékonysága – annak ellenére is, hogy a véletlen számok szórását csökkentettük.

Verifikáció



SPPT-vel kapcsolatos kísérletek hatása az AROME-EPS-ben. Felső sorban az ensemble tagok szisztematikus hibája; balról jobbra haladva: 700hPa, 850hPa és 2m relatív nedvességre és 12órás csapadékösszegre. Az alsó sorban az ensemble átlag RMSE-jének (+-os vonal) és a tagok ensemble átlag körüli szórásának (sima vonal) viszonya látható; balról jobbra haladva: 2m hőmérséklet, 10m szélesség, 2m relatív nedvesség, 12órás csapadékösszegre. Lila színnel a referencia szerepel, amikor csak a globális ensemble rendszerből érkeznek perturbációk. Zöld színnel az SPG véletlenszám alkalmazása után kapott perturbációk hatása látható. Kék színnel szerepel, amikor emellett az új túltelítettségű szűrő is alkalmazásra került az SPPT sémában. Végül narancssárgával látható az a kísérlet, amikor a különböző szűrők kikapcsolásra kerültek.