

Ensemble előrejelzések I.

„No forecast is complete without the forecast of forecast skill”

Tennekes, Baede, Opsteegh, 1986

Előadó: Jávorné Radnóczy Katalin (radnoczi.k@met.hu)

Korábbi előadók: *Hágel Edit, Horányi András,
Bölöni Gergely, Szűcs Mihály*

Tartalom

- A kaotikus rendszerekről
 - Egydimenziós diszkrét példa
 - Lorenz-modellek és a vízikerék
 - Kaotikus rendszerek tulajdonságai
- A légköri rendszer előrejelezhetősége
 - Mik a légköri rendszer előrejelzésében a bizonytalanság forrásai?
 - Mik az időjárás előrejelezhetőségének határai?
- Együttes (ensemble) előrejelzések
 - Ensemble előrejelzés alapfogalmai
 - Milyen valószínűségi produktumok készíthetők?
 - Hogyan használhatók ezek az előrejelzések?
 - Hogyan lehet a légköri bizonytalanságokat számszerűsíteni? - Perturbációs módszerek
 - Mik a jó ensemble előrejelzés tulajdonságai? - Verifikáció
 - Konkrét példák ensemble előrejelző rendszerekre

Nemlineáris egydimenziós diszkrét rendszer

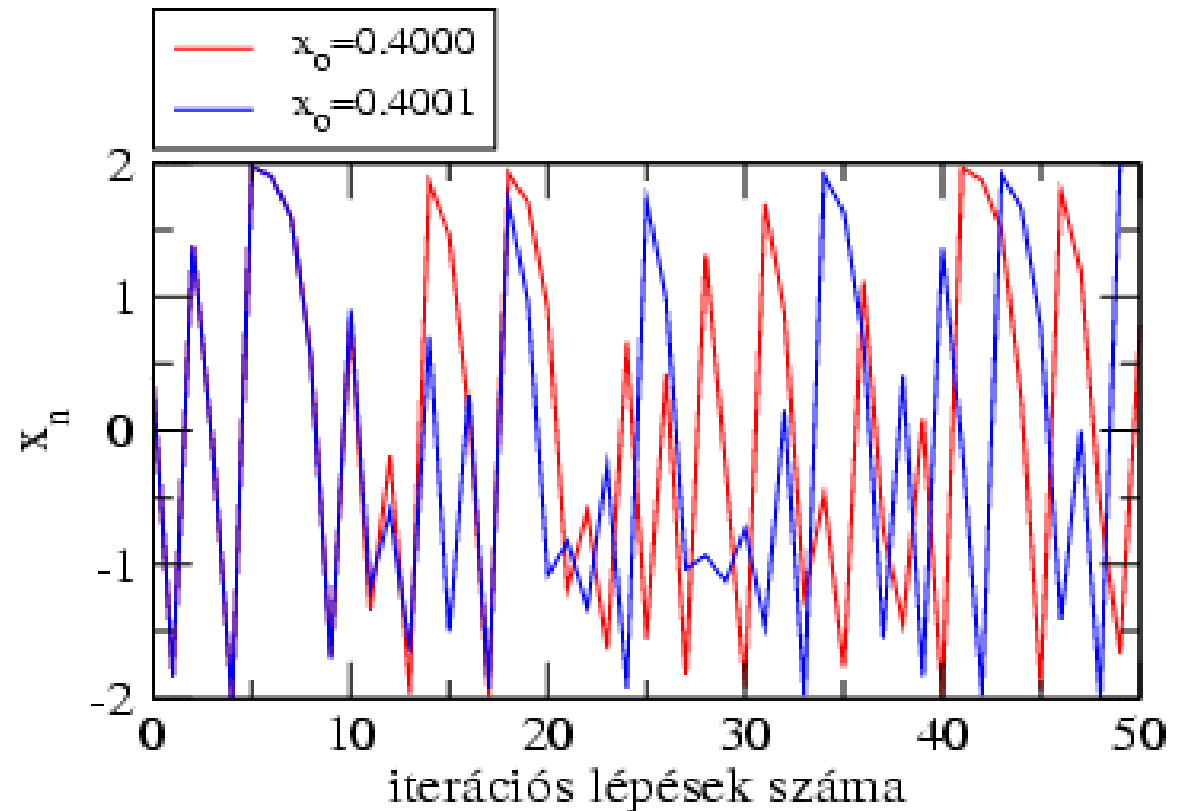
- Egyszerű példa nemlineáris rendszerre:
 - Válasszunk egy számot a $[-2,+2]$ intervallumról, legyen ez a kiindulási állapot x_0
 - Alkalmazzuk a következő algoritmust:

$$x_{n+1} = x_n^2 - 2$$

- A rendszer determinisztikus (azonos kezdeti feltételre mindig azonos végeredmény), ugyanakkor x_n^2 miatt az egyenlet nemlineáris.

Nemlineáris egydimenziós diszkrét rendszer

- 1. rendszerben $x_0=0.4000$
- 2. rendszerben $x_0=0.4001$
- Az eltérés csupán 0.025%, mégis a két görbe rövid idő után teljesen eltérően viselkedik
- Nagy érzékenységet mutat a kezdeti feltételekre



A légkör állapotát leíró rendszer ennél sokkal bonyolultabb!

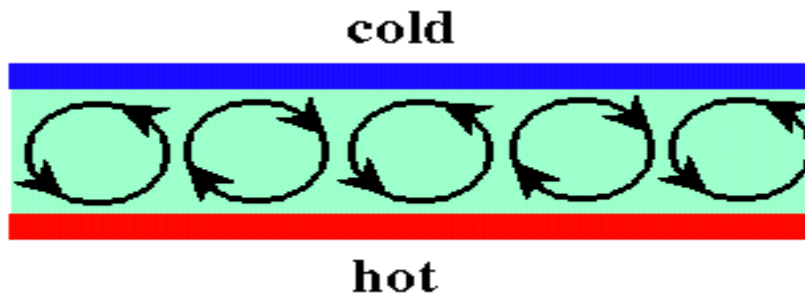
Lorenz-modell

- Edward Norton Lorenz (1917-2008) amerikai meteorológus mutatott először példát olyan rendszerekre, melyekben apró kezdeti feltételbeli különbségek esetén is jelentősen eltérőek a numerikus szimulációk eredményei.
- Lorenz olyan egyszerűsített egyenletrendszereket keresett és integrált számítógépen a 1950-es években, melyek lehetőleg jól visszaadják a globális légkörczés kvalitatív tulajdonságait. Egy ilyen 12 dimenziós (nem-lineáris) egyszerűsített rendszert vizsgált. Egy ponton megállította az integrálást, mert a kiíratás formáján akart változtatni. Ezután jó pár időlépcsővel korábbról visszatáplálta a változók értékeit, és tovább indította az integrálást. Azonban ő kevesebb tizedesjegy pontossággal adta vissza az adatokat, mint ahogy az a számítógép memóriájában szerepelt. Lorenz kiment kávézni, majd mikor visszatért, látta, hogy a két integrálás eredményei közt komoly különbség van, és a különbség tovább nő.



Lorenz-modell

- A későbbi cikkeiben Lorenz a kaotikus viselkedés szemléltetéséhez a Rayleigh-Benard konvekció egyszerűsített modelljének egyenleteit használta. Ez a modell két merev lap közötti folyadékrétegben az alsó lapról indított hőközlés és a gravitáció hatására létrejövő mozgást írja le.



$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sigma(y - x) \\ \dot{y} &= rx - y - xz \\ \dot{z} &= -bz + xy\end{aligned}$$

- x – konvektív mozgás intenzitásával arányos mennyiség
- y – a fel-, és leáramlási ágak közötti hőmérsékletkülönbség
- z – lineáris vertikális hőmérsékleti profiltól vett eltérés

Lorenz-modell

- A Rayleigh-Benard konvekció egyenletei:

$$\dot{x} = \sigma(y - x)$$

$$\dot{y} = rx - y - xz$$

$$\dot{z} = -bz + xy$$

- Paraméterek jelentése:

$$r = \Delta T / \Delta T_c \quad (r > 1 \text{ esetén indul be a konvekció})$$

σ : Prandtl-szám (levegőben 7.1, vízben 0.72)

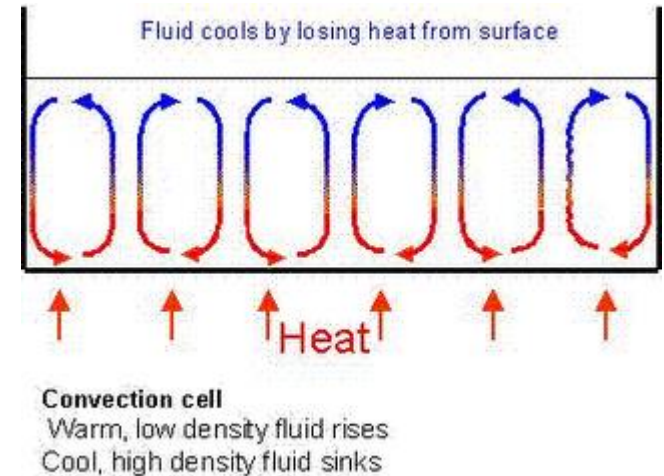
$$b = 8/3 \quad (\text{hengeres geometriából adódóan})$$

- Lorenz-féle megválasztások:

$$r = 28$$

$$\sigma = 10$$

- **Már nem az eredeti fizikai probléma modellezése a cél, hanem a kaotikus mozgás szemléltetése**



$$\text{Prandtl szám} = \frac{\text{kinematikai viszkozitás}}{\text{hővezető képesség}}$$

Lorenz-modell

- Ha ábrázoljuk a fázistér $(x; z)$ síkjában a rendszer állapotaihoz tartozó pontok halmazát, akkor pillangó-szerű mintázatot kapunk
- A körök három különböző ponthalmazt jelölnek, melyeket időlépcsőről-időlépcsőre követhetünk

→ az előrejelezhetőség áramlásfüggő



jól előre-
jelezhető
„helyzet”



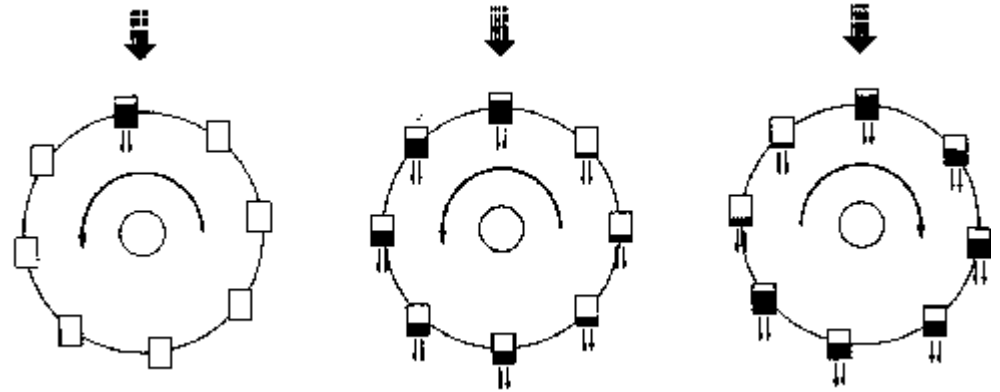
előrejelezhetőség
korlátozott



előrejelezhetetlen

A vízikerék

- Egy abroncsra szimmetrikusan lyukas vödörket szerelünk, majd „bekapcsoljuk” az esőt.
- Ha gyorsabban esik, mint ahogy a vödörkből távozni tud a víz, akkor mozgásba jön a kerék.
- Lorenz-modellben használt egyenletek $b=1$ megválasztással.
- 'Lorenz water wheel' a youtube-on
- https://www.youtube.com/watch?v=7A_rl-DAmUE

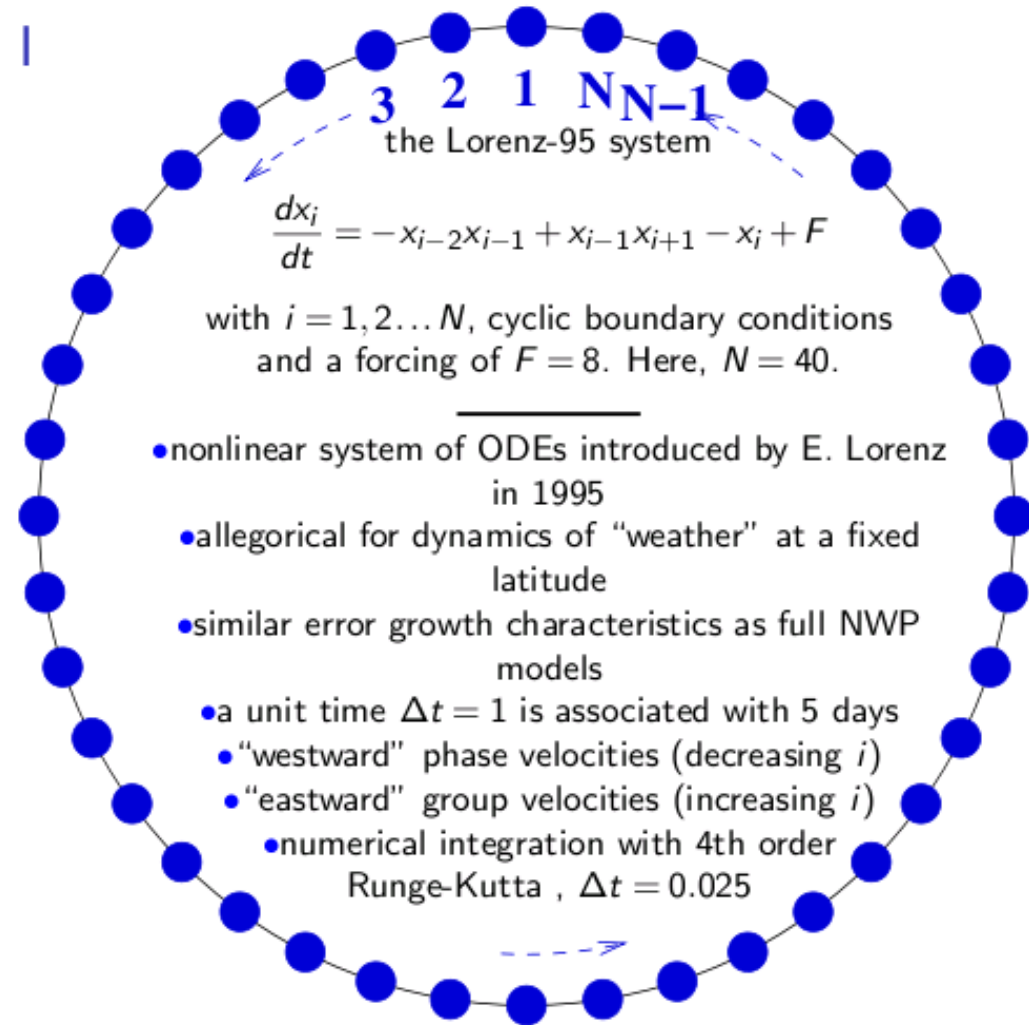


$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sigma(y - x) \\ \dot{y} &= r x - y - x z \\ \dot{z} &= -z + x y\end{aligned}$$

Lorenz 96 modell

System I

- Lorenz alkotta játékmmodell ez is, melyben 40 változó van körkörösén csatolva egymáshoz.
- Nemlineáris egyeneletek írják le, és a korábban látott egyszerű rendszerekhez és légkörhöz hasonlóan, érzékeny a kezdeti feltételekre.
- Az előadáshoz kapcsolódó második félévi gyakorlaton lesz lehetőség ezzel kísérletezni.



Szabályos és kaotikus mozgások

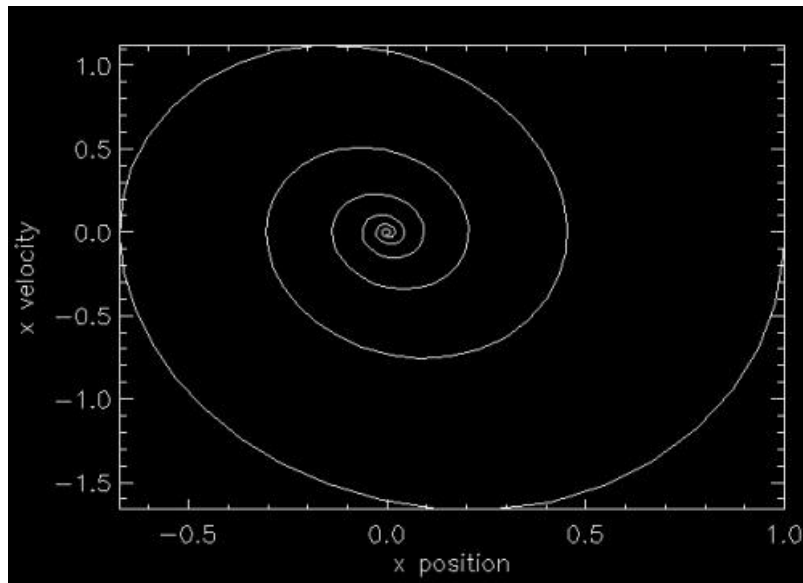
Szabályos Mozgás

ismétlődő

előrejelezhető

egyszerű geometriájú

determinisztikus



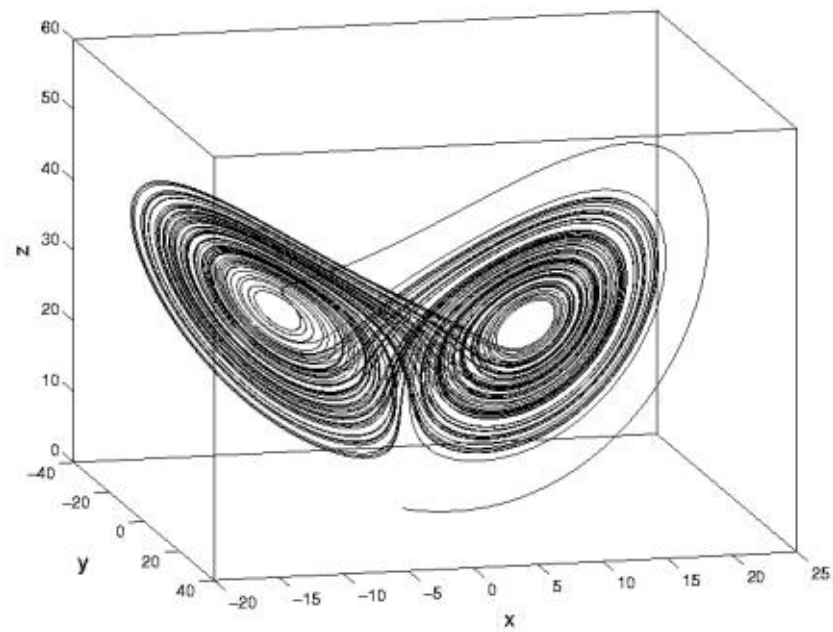
Kaotikus Mozgás

szabálytalan

előrejelezhetetlen

bonyolult geometriájú

determinisztikus



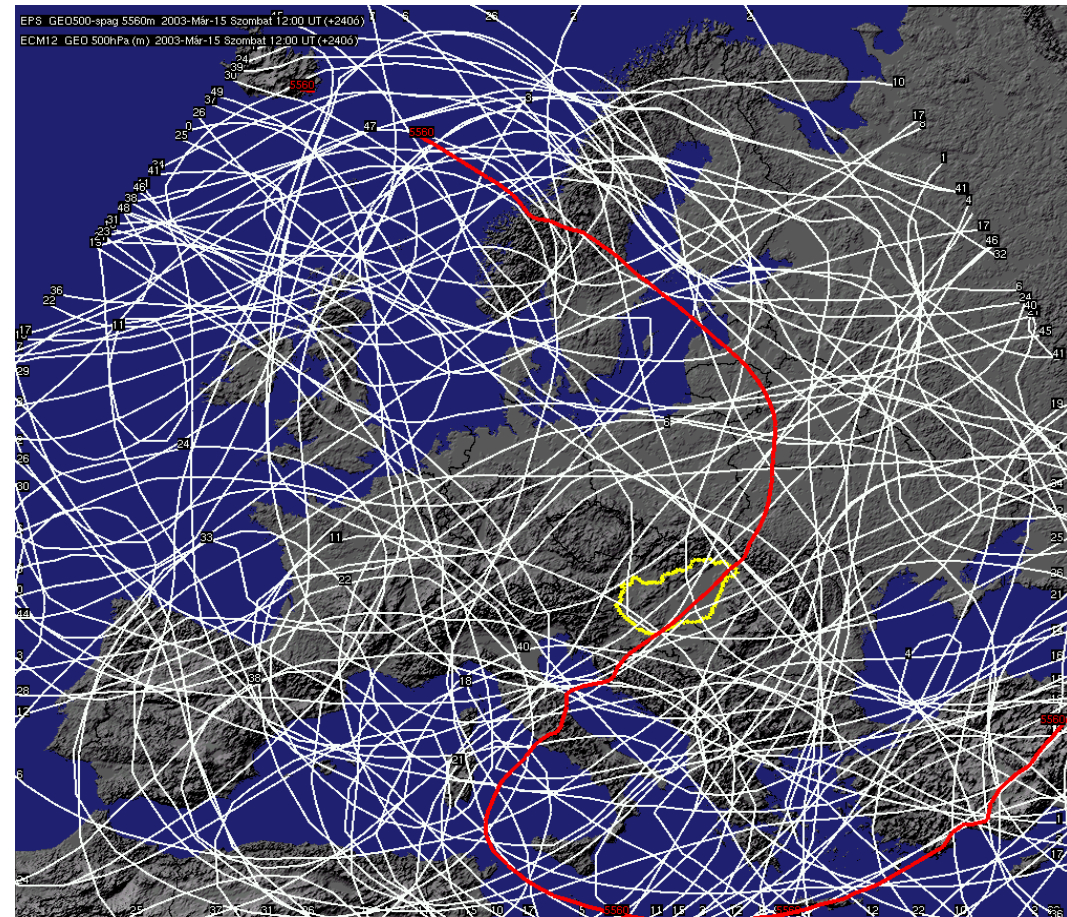
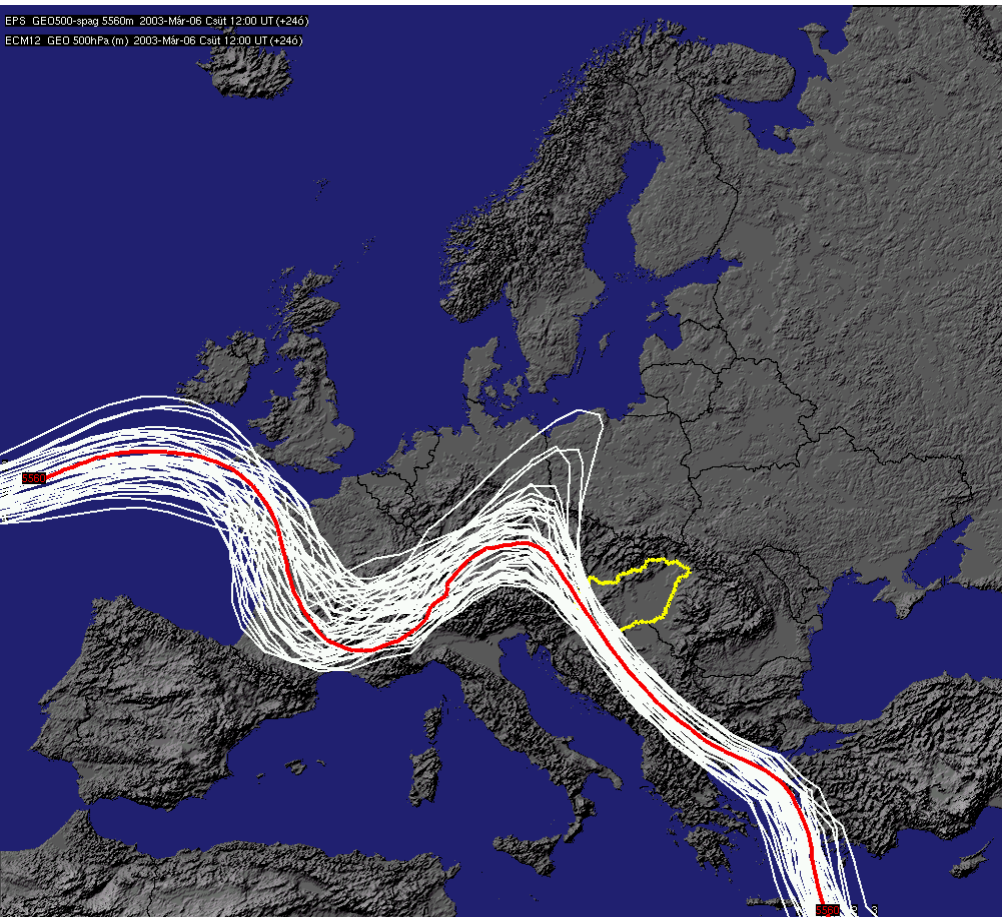
A légköri rendszer

Mozgásegyenletek	$\frac{d\bar{v}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \bar{g} - 2\bar{\Omega} \times \bar{v} + \bar{F} + \bar{S}$
Kontinuitási egyenlet	$\frac{d\rho}{dt} = -\rho \cdot \text{div} \bar{v}$
Termodinamikai egyenlet	$\frac{dQ}{dt} = c_p \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dp}{dt}$
Nedvesség kontinuitási egyenlete	$\frac{dq}{dt} = -\frac{1}{\rho} \cdot M$
Állapotegyenlet	$p = \rho RT$

- Láthattunk egyszerű, **nemlineáris** rendszereket. A légkört **nemlineáris** parciális differenciál-egyenletekkel írjuk le, és a változók száma 10^7 nagyságrendű.
- Az egyszerű kaotikus rendszerek tulajdonságai a légkört is jellemzik: **előrejelezhetlenség** a legfontosabb.

A légköri rendszer

- Nagyon hasonló kezdeti feltételekből indított előrejelzések izovonalai +24 és +240 óra elteltével.



A bizonytalanság forrásai általában az előrejelzésekben

- **Külső hiba („man made”):**

- Az analízisünk és modell formuláink hibái. Ez azokkal a hiányosságokkal, pontatlanságokkal, közelítésekkel függ össze, melyeket a modellek megalkotása során elkövetünk
→ *csökkenteni szeretnénk, de számolnunk kell ezekkel*
 1. kezdeti feltétel hibái
 2. peremfeltételek hibái
 3. modell konstrukció hibái

- **Belső hiba („God given”):**

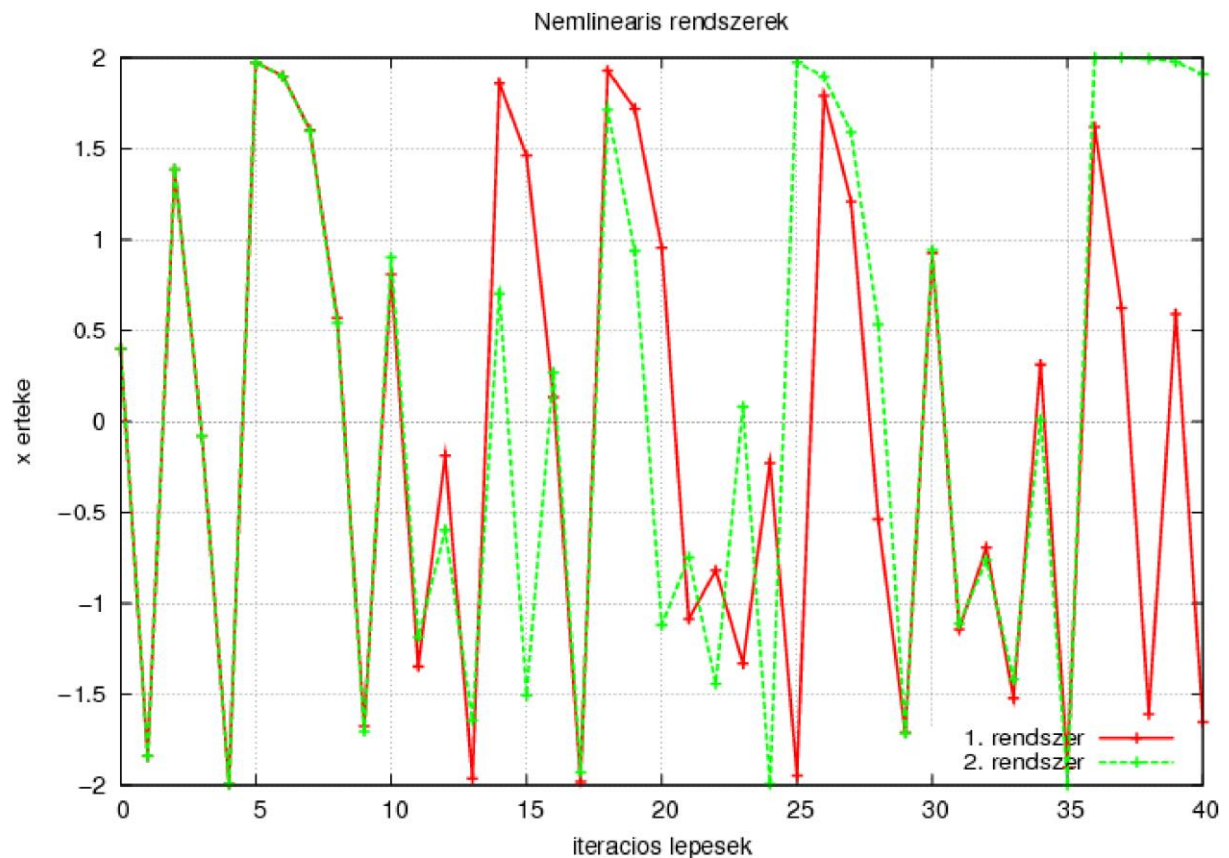
- Ezeknek az óhatatlanul fellépő bizonytalanságoknak a megnövekedése, melyeket a légkör belső instabilitása és nemlinearitása okoz → *reprezentálni szükséges*
 - instabil áramlás (kis-skálájú → nagyskálájú)
 - a hiba növekedése áramlásfüggő

A bizonytalanság forrásai általában az előrejelzésekben

Belső hiba („God given”) és külső hiba („man made”):

- Ezek a gyakorlatban nem választhatóak szét, együtt fejlődnek és uralják el a rendszert
- Tekintsünk vissza az egydimenziós rendszerre, ahol kicsit volt bizonytalan a kezdeti feltétel, és ez nagy eltéréseket eredményezett az előrejelzés során

$$x_{n+1} = x_n^2 - p$$



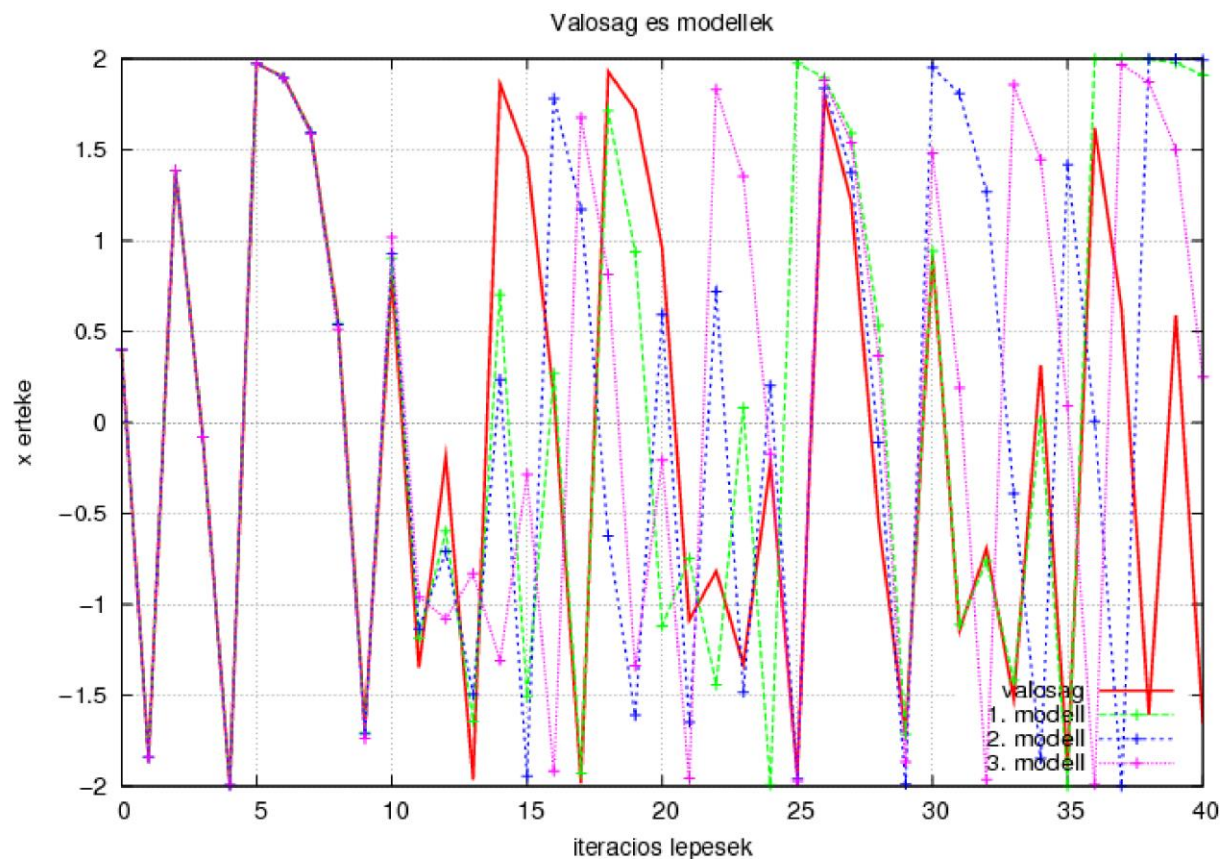
A bizonytalanság forrásai általában az előrejelzésekben

Belső hiba („God given”) és külső hiba („man made”):

- Csak egy kis emberi bizonytalanság a kezdeti feltétel és/vagy a modell formula megalkotásában, és a rendszer természetéből fakadóan máris gyorsan növekvő hiba jelenik meg.

$$x_{n+1} = x_n^2 - p$$

	x_0	p
valóság	0.4	2
1. modell	0.4001	2
2. modell	0.4	1.999
3. modell	0.4001	1.999



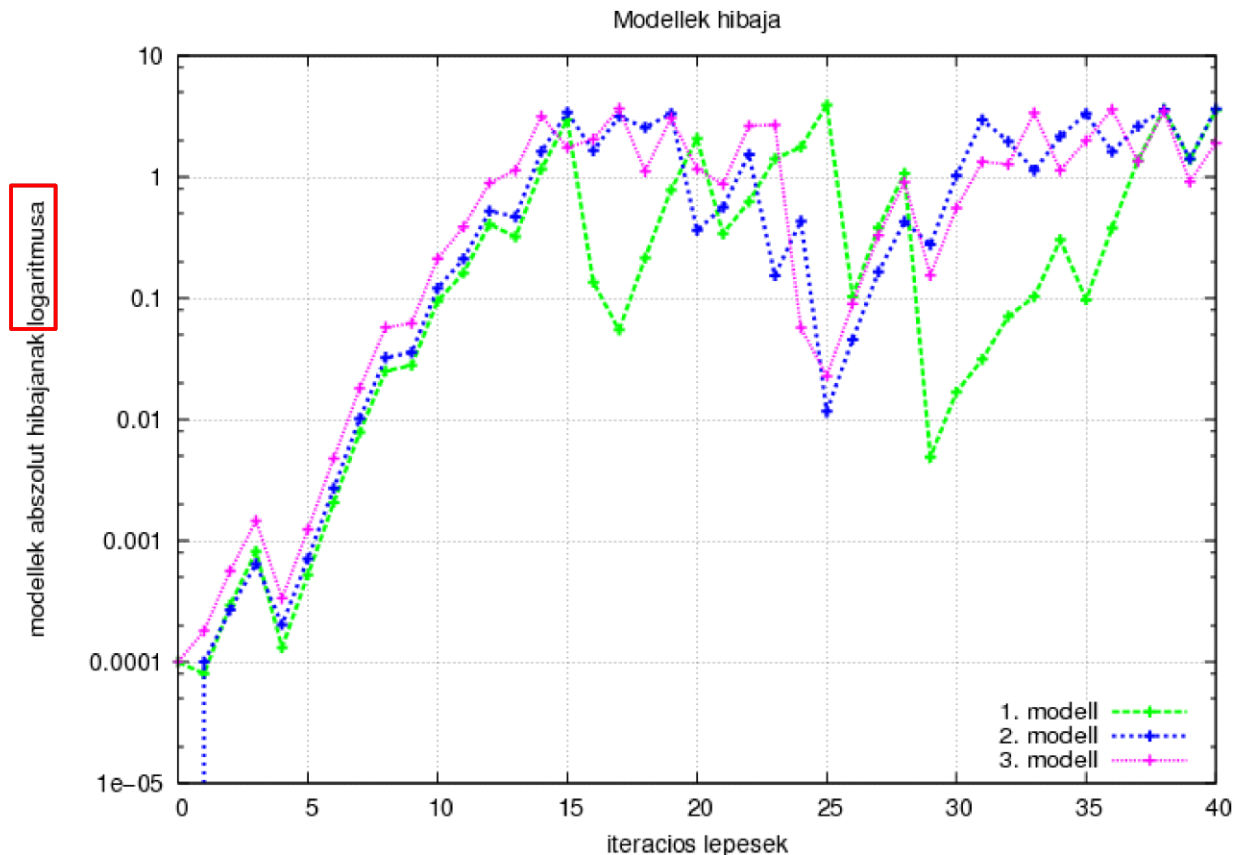
A bizonytalanság forrásai általában az előrejelzésekben

Belső hiba („God given”) és külső hiba („man made”):

- Csak egy kis emberi bizonytalanság a kezdeti feltétel és/vagy a modell formula ismeretében, és a rendszer természetéből fakadóan máris gyorsan (*exponenciálisan*) növekvő hiba jelenik meg.

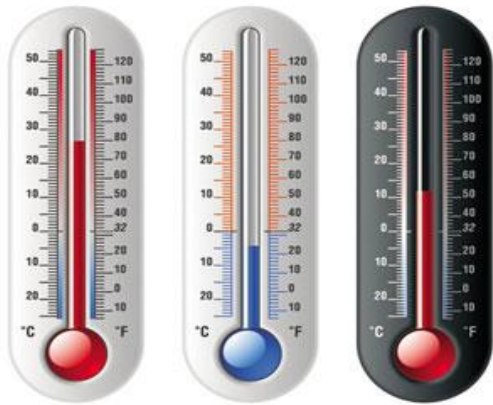
$$x_{n+1} = x_n^2 - p$$

	x_0	p
valóság	0.4	2
1. modell	0.4001	2
2. modell	0.4	1.999
3. modell	0.4001	1.999



A bizonytalanság forrásai az időjárás előrejelző modellekben

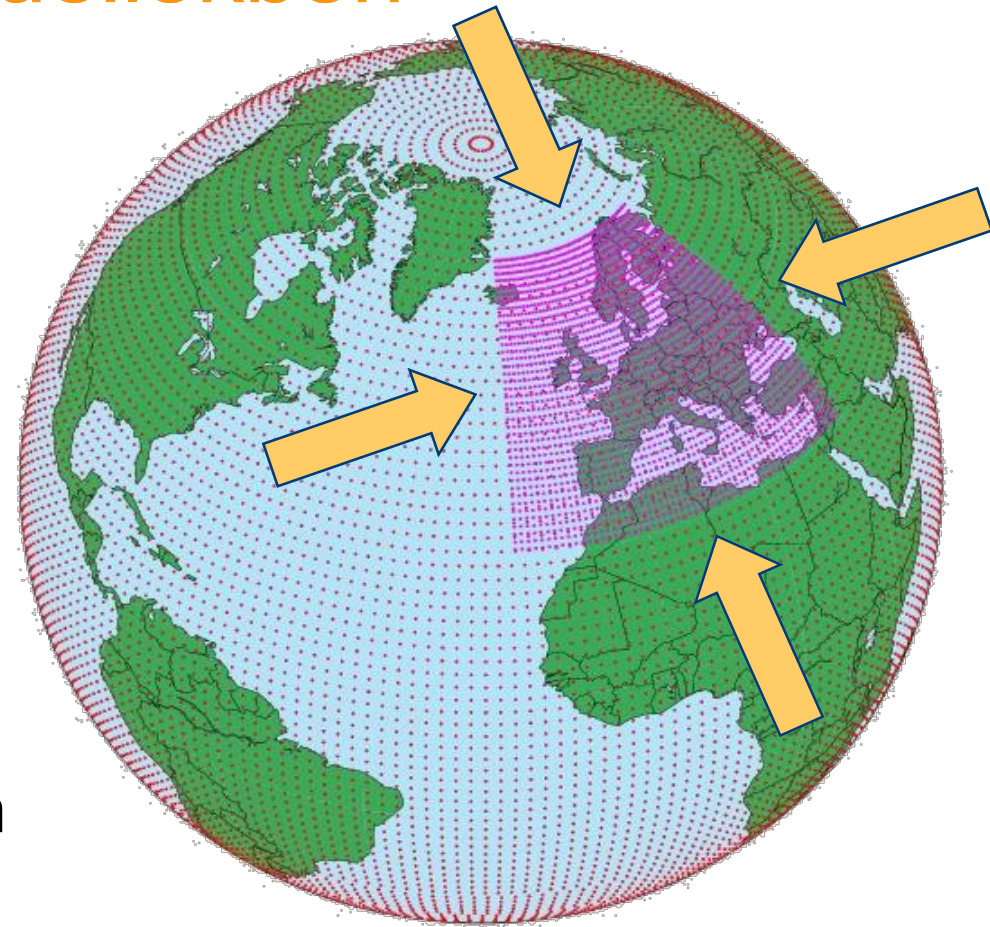
1. A megoldandó egyenletrendszer nagy érzékenységet mutat a **kezdeti feltétel**re:
 - A kis kezdeti bizonytalanságok nagy hibákat eredményezhetnek az előrejelzésben
 - Probléma: a kezdeti feltételek minden esetben hibával terheltek
 - Már a háttérmezők sem tökéletesek
 - Mérések reprezentativitásának hiánya (hol mérünk)
 - Mérésekben fellépő pontatlanság (mennyit mérünk)
 - Analízis készítésekor is közelítésekkel élünk



A bizonytalanság forrásai az időjárás előrejelző modellekben

2. Peremfeltételek hibái

- **globális modell** esetében alsó és felső határfeltételek megadása szükséges (→ pontatlanságok a felszíni jellemzők leírásában)
- **korlátos tartományú modell** esetében mindezek mellett még oldalsó peremfeltételekre is szükség van (pl. egy globális modellből)(→ oldalsó peremfeltételek bizonytalanságai)

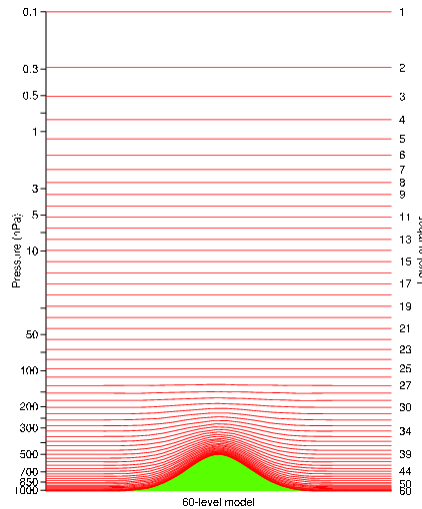
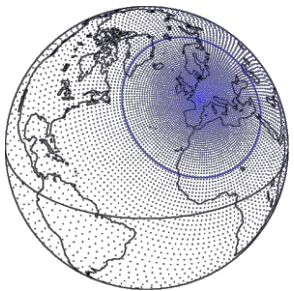


A bizonytalanság forrásai az időjárás előrejelző modellekben

3. modell konstrukció hibái

- **Térbeli diszkretizáció**

Véges tér- és időbeli felbontás



- **Fizikai parametrizáció**

Rácstávolságnál kisebb skálájú, illetve túlságosan bonyolult folyamatok leírása



Példák: sugárzás, konvekció, felhőfizika, turbulencia

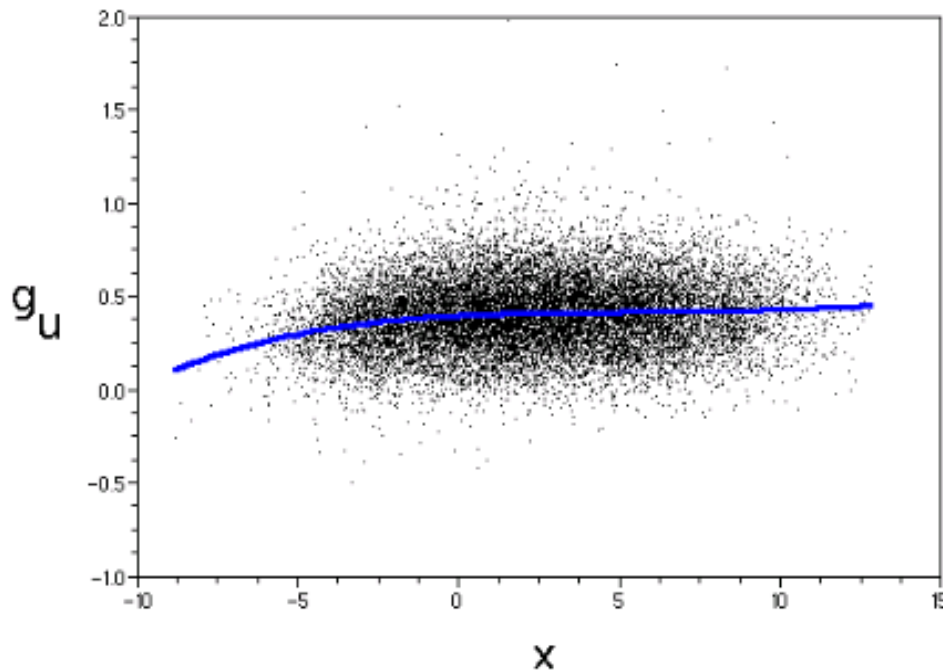
A bizonytalanság forrásai az időjárás előrejelző modellekben

- Fizikai parametrizáció

- Rácstávolságnál kisebb skálájú, illetve túlságosan bonyolult folyamatok leírására

(→ az adott állapothoz tartozó átlagos viselkedést tételezzük fel)

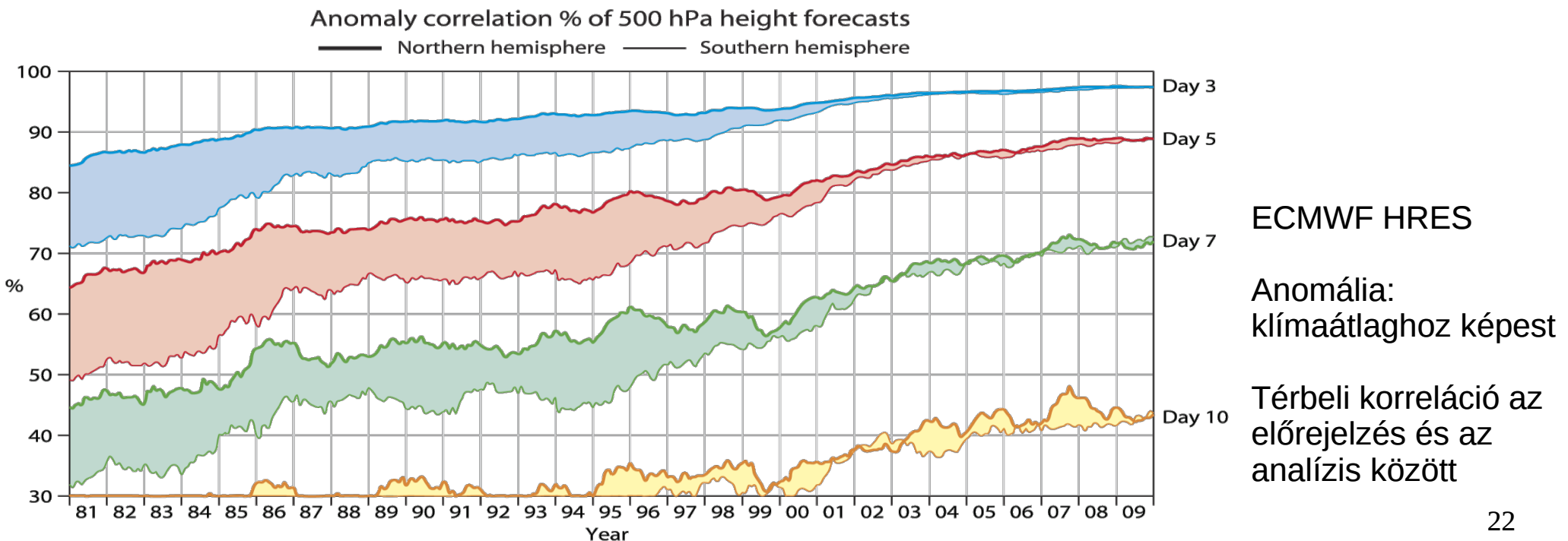
- Példa: Meghatározunk átlagos tendenciákat mérések és fizikai összefüggések alapján, noha tudjuk, hogy a valódi mennyiség szinte mindig eltér ettől.



Lorenz 96 modellben csatolt, kiskálájú változók explicit leírásával kapott pontokból nyert átlagos tendencia (g_u) a prognosztikus változó (x) függvényében

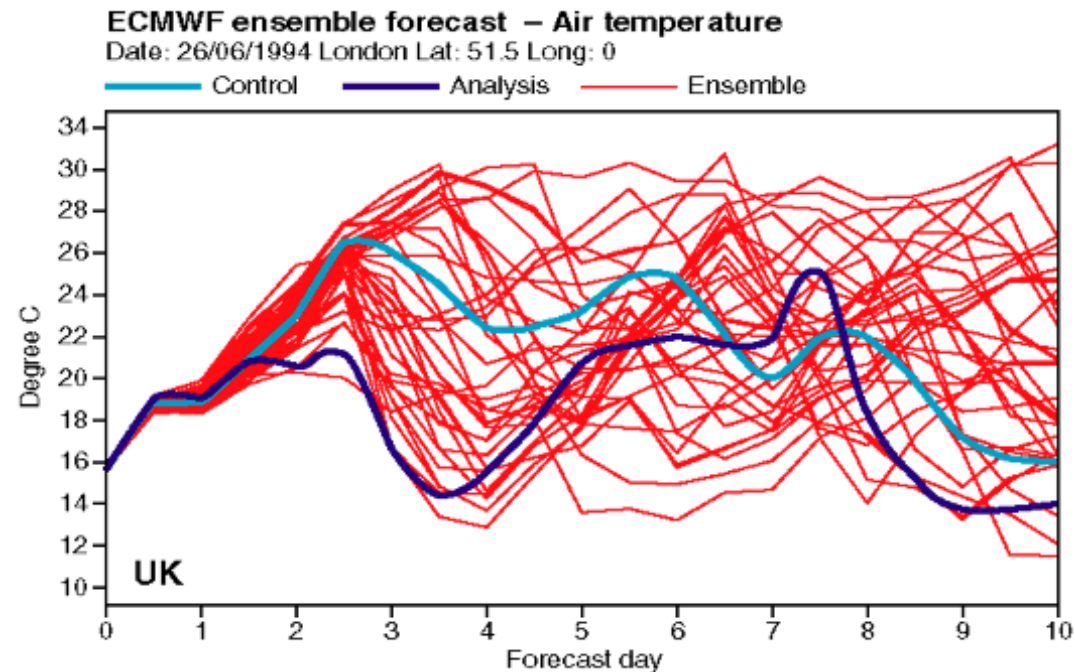
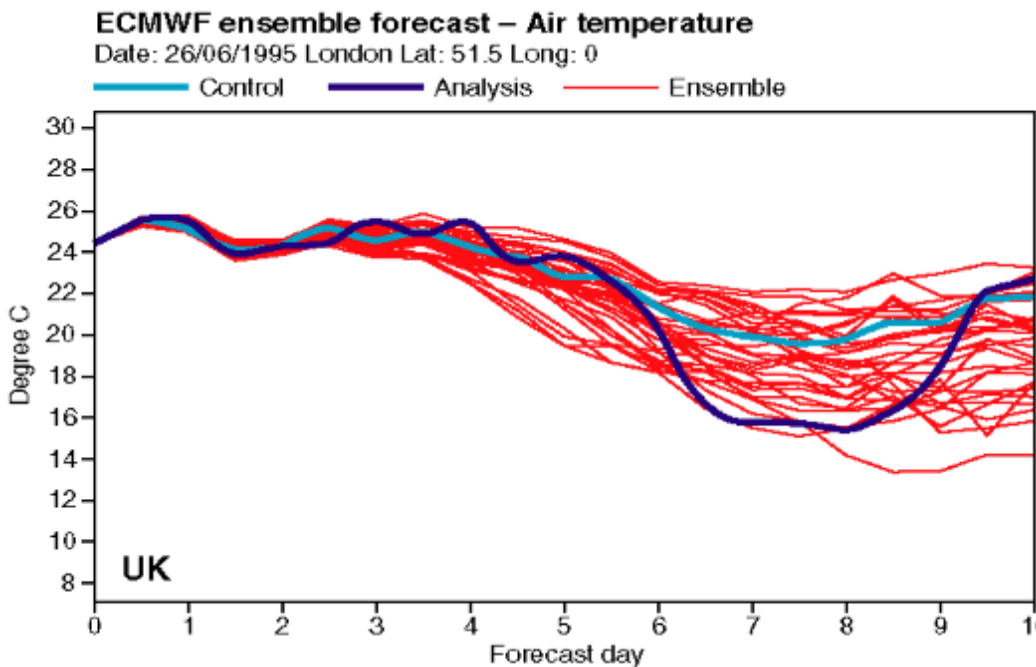
Az előrejelezhetőség korlátai

- A kaotikus rendszereket előrejelezhetetlennek nevezzük
- Ez nem jelenti azt, hogy már a következő időpillanatra sem tudunk előrejelzést adni
- Az előrejelzések minősége idővel fokozatosan romlik, míg el nem veszítik értéküket
- Kérdés, mi az a határ, ameddig egy előrejelzés értékes?



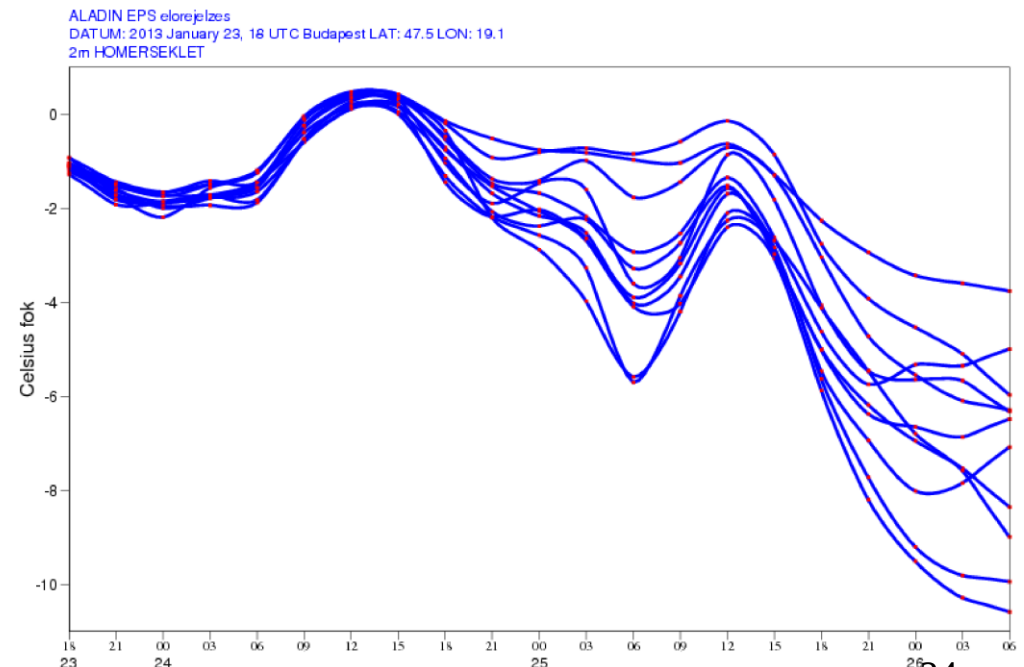
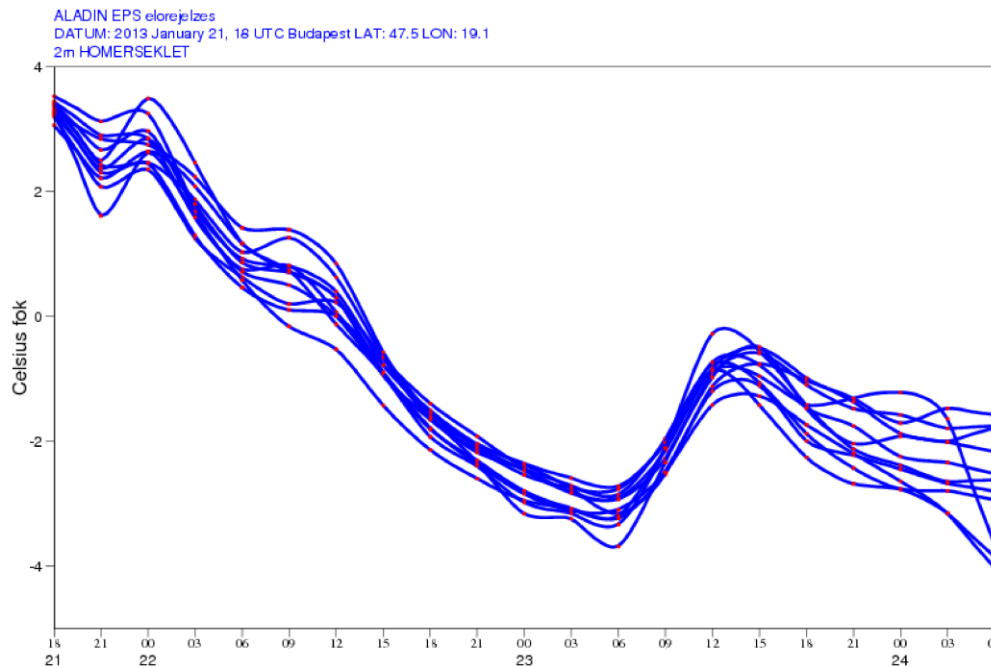
Az előrejelezhetőség korlátai

- Az előrejelezhetőség függ attól, hogy:
 - Hova akarunk előrejelezni
 - Milyen paramétert akarunk előrejelezni
 - Milyen skálájú folyamatot akarunk előrejelezni
 - Milyen kezdeti analízis áll rendelkezésünkre
 - Milyen modellt használunk
 - **Milyenek a légköri feltételek**



Az előrejelezhetőség korlátai

- Az előrejelezhetőség függ attól, hogy:
 - Hova akarunk előrejelezni
 - Milyen paramétert akarunk előrejelezni
 - Milyen skálájú folyamatot akarunk előrejelezni
 - Milyen kezdeti analízis áll rendelkezésünkre
 - Milyen modellt használunk
 - **Milyenek a légköri feltételek**



A bizonytalanságok számszerűsítése

Célunk a

- bizonytalanságok számszerűsítése
- előrejelzések bekövetkezési valószínűségének megadása

Miért nem egyszerű a modell bizonytalanságok
Előrejelzése?

- függ az adott áramlástól (, ...)
- az egyenleteink nemlineárisak (→ hiba megnőhet)
- külső és belső hibák összefonódnak

Ezért van szükség az ensemble előrejelzésekre!

A bizonytalanságok számszerűsítése

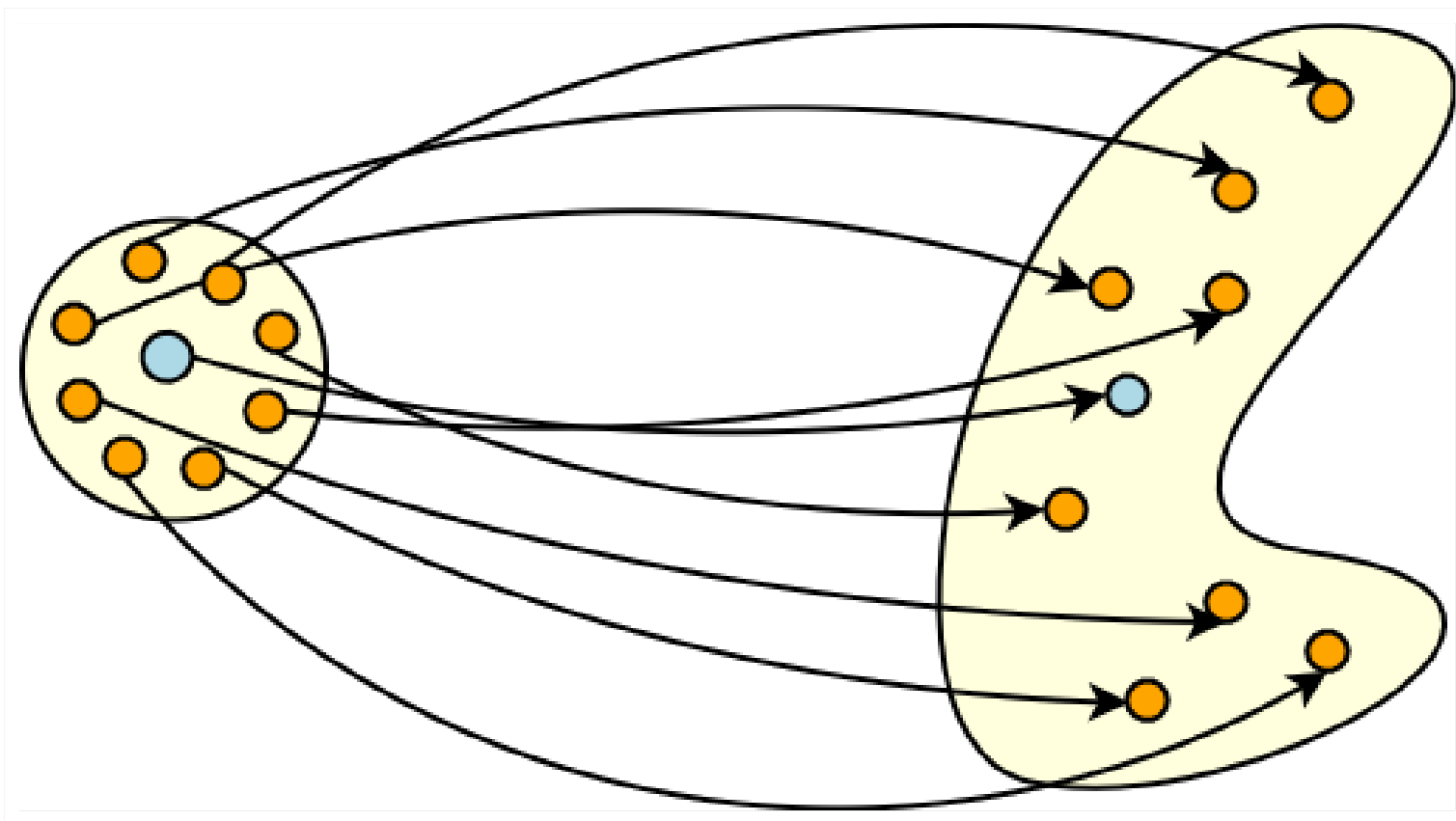
- Megoldás az előrejelzést eluraló bizonytalanságok számszerűsítésére:
 - Ensemble (**együttes**) előrejelzések készítése
 - **Nem egyetlen** előrejelzést készítünk a „legjobbnak ítélt” kezdeti feltételből kiindulva, a „legjobbnak ítélt” módszerrel.
 - **Előrejelzések együttesét** készítjük, melyek a kezdeti feltételükben különböznek csekély mértékben (a bizonytalansági határon belül), vagy a modellintegrálás során használt módszerek eltérőek.

valószínűségi megközelítés lehetőségessé válik

következtetni lehet az előrejelzés bizonytalanságára

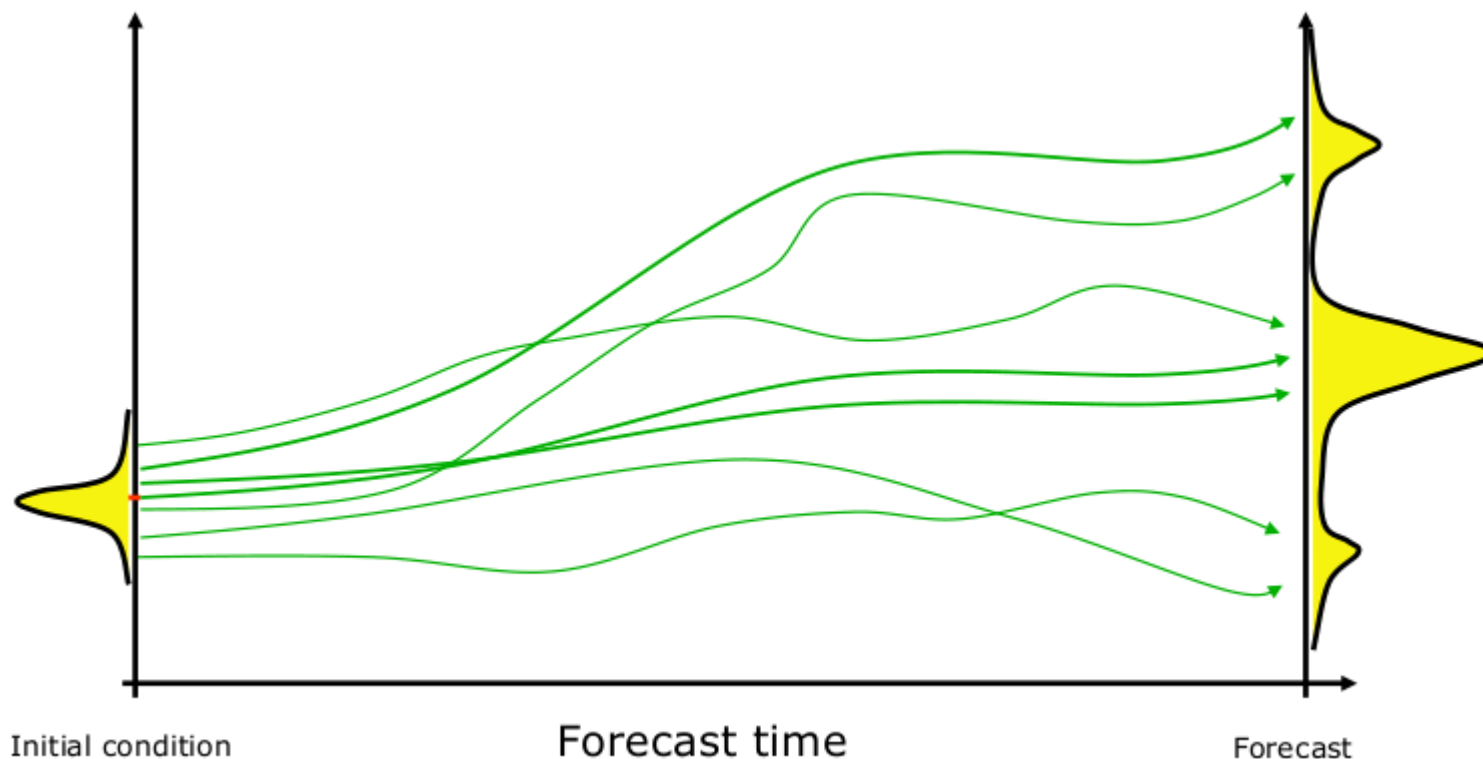
A bizonytalanságok számszerűsítése

- Ensemble előrejelzés két dimenzióban

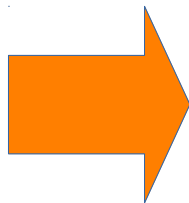


A bizonytalanságok számszerűsítése

- Valószínűségi szemléletmód egy változó előrejelzése során



Mintát veszünk a kezdeti feltétel becsült eloszlásából



Várhatjuk (?), hogy az EPS is jól becsli a légkör állapotának eloszlását (*megbízhatóság*)
→ további feltételeknek kell teljesülni

Ensemble előrejelzések készítésének módszerei

- Ensemble előrejelzések készítésére több módszer is alkalmazható (a cél, hogy az előrejelzés készítése során fellépő **összes bizonytalanságot számszerűsítsük**):
 - Kezdeti feltétel perturbációk származtatása:
“Kis eltérés a kezdeti feltételben nagy eltéréseket eredményez az előrejelzés során” elv alapján először a kezdeti feltételeket kezdték perturbálni.
 - Modellhiba reprezentációja:
A modell felépítésével összhangban lévő módszereket kerestek a modell bizonytalanságainak számszerűsítése céljából.
 - Egyéb, pragmatikus eszközök (multi-módszerek):
Trükkös és hasznos, ám kevésbé tudományos módszerek.

→ **Jövő óra fő témái**

Ensemble előrejelzések alapfogalmai

- **EPS: Ensemble Prediction System**

- EPS tagok: az egyes előrejelzések
- kontroll tag: perturbálatlan tag
- minden EPS tagot egyformán valószínűnek tekintünk

- Az **ensemble** előrejelzések egyes tagjai *determinisztikusak*, azaz adott kezdeti feltételhez adott modell eredmény tartozik

- Ensemble átlag: tagok számtani közepe
- Ensemble szórás: tagok átlagos eltérése az EPS átlagtól

- ***A cél, hogy az EPS-t és a perturbálatlan, („single”) előrejelzéseket egységesen, nagy felbontáson futtassák***

- *Kis skálán a bizonytalanságok gyorsabban nőnek → LAM EPS*

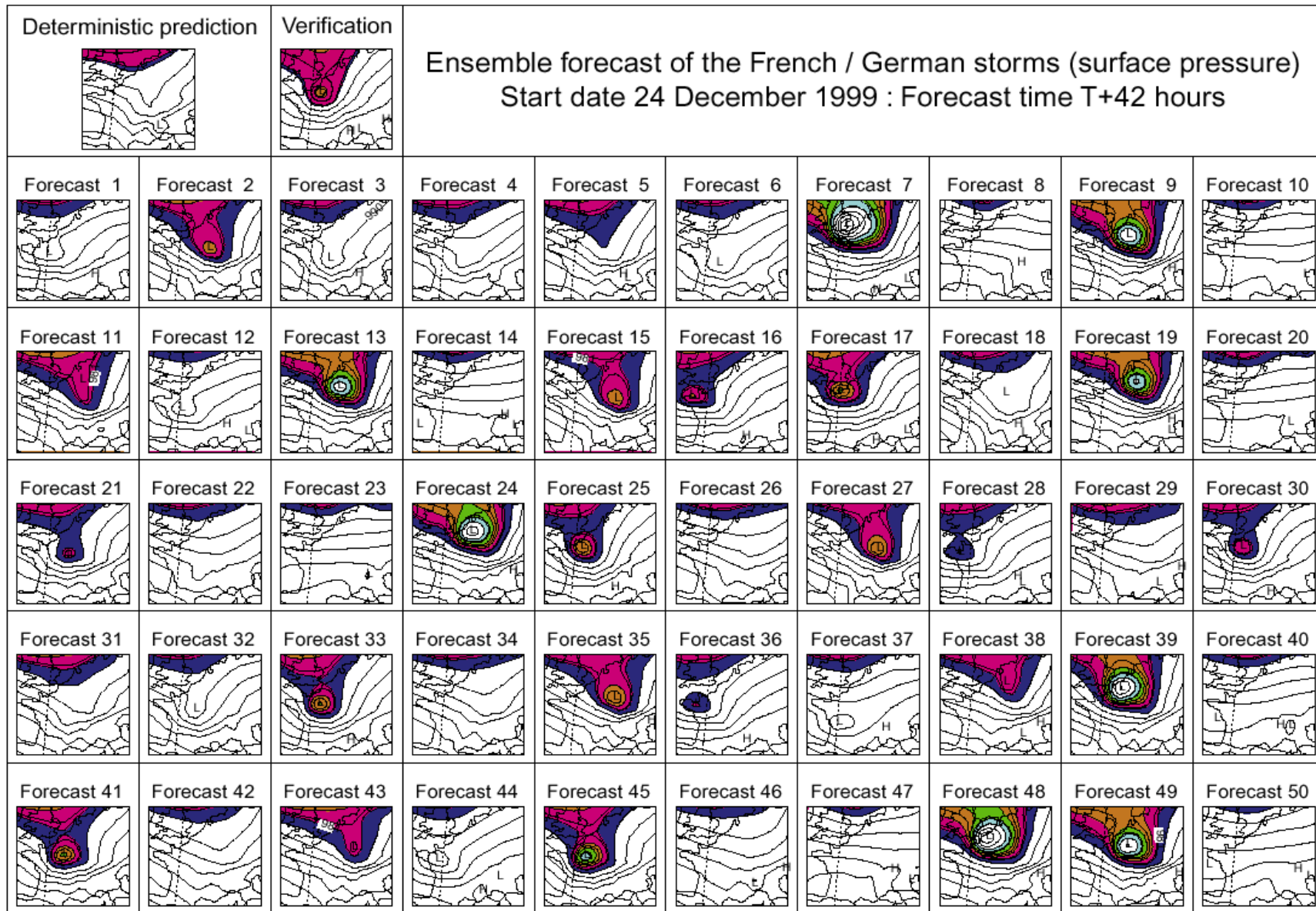
Megjelenítés – Bélyeg diagram

- Az összes tagot ábrázoljuk kis méretben, egymás mellett.
- Könnyen felismerhetőek az egyes tagok közötti esetleges lényegi különbségek.
- A kis méret miatt a részletek nehezen tekinthetők át.
- Példa 1. - szinoptikus skála, globális rendszer: 1999
Karácsonyán a Lothar nevű viharciklon csapott le Európára, súlyos károkat okozva. A perturbálatlan előrejelzésben nem jelent meg ez a rendszer. Néhány ensemble tag viszont jól mutatta.
- Példa 2. - mezoskála, korlátos tartományú rendszer: 2013.
augusztus 20-án bizonytalan volt az érkező csapadék térbeli eloszlása. Nem-hidrosztatikus 'determinisztikus' modell jól adta a csapadéksáv szerkezetét, ám rossz helyre. Ensemble rendszer segíthet a veszélyeztetett területek kiválasztásában.

Megjelenítés – Bélyeg diagram – Példa 1.



Megjelenítés – Bélyeg diagram – Példa 1.



Megjelenítés – Bélyeg diagram

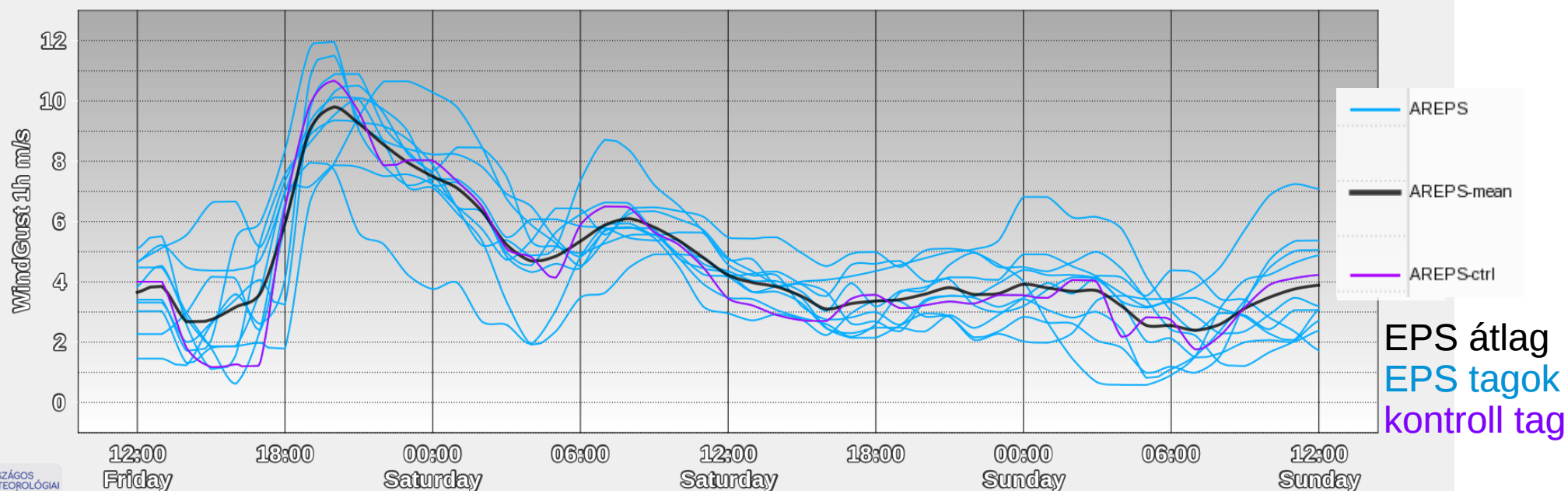
- Az összes tagot ábrázoljuk kis méretben, egymás mellett.
- Könnyen felismerhetőek az egyes tagok közötti esetleges lényegi különbségek.
- A kis méret miatt a részletek nehezen tekinthetők át.
- Példa 1. - szinoptikus skála, globális rendszer: 1999
Karácsonyán a Lothar nevű viharciklon csapott le Európára, súlyos károkat okozva. A 'determinisztikus' előrejelzésben nem jelent meg ez a rendszer. Néhány ensemble tag viszont jól mutatta.
- Példa 2. - mezoskála, korlátos tartományú rendszer: 2013.
augusztus 20-án bizonytalan volt az érkező csapadék térbeli eloszlása. Nem-hidrosztatikus perturbálatlan modell jól adta a csapadéksáv szerkezetét, ám rossz helyre. Ensemble rendszer segíthet a veszélyeztetett területek kiválasztásában.

Megjelenítés – Fáklya diagram

- Egy adott földrajzi helyre vonatkozóan szemlélteti valamely nyomási vagy magassági szinten egy kiválasztott elemre vonatkozó előrejelzési sokaság időbeli alakulását.
- Leolvashatjuk róla, hogy egy adott helyen, egy adott paraméterre vonatkozóan hogyan változik az előrejelezhetőség, s ezzel összhangban az előrejelzésünk bizonytalansága.

AROME-EPS SZOMBATHELY

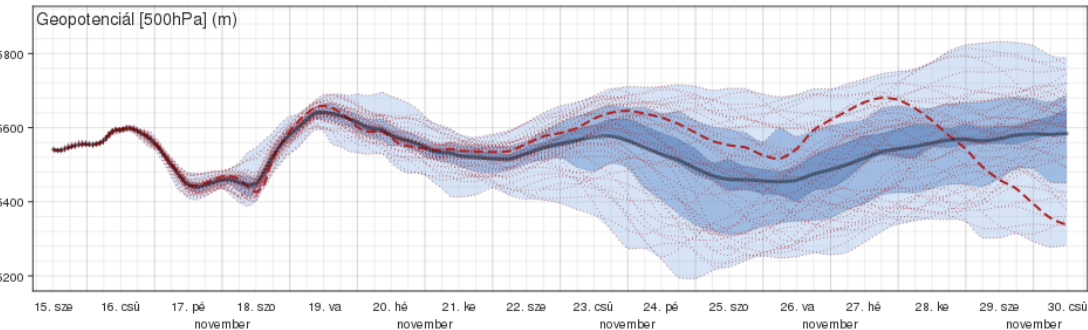
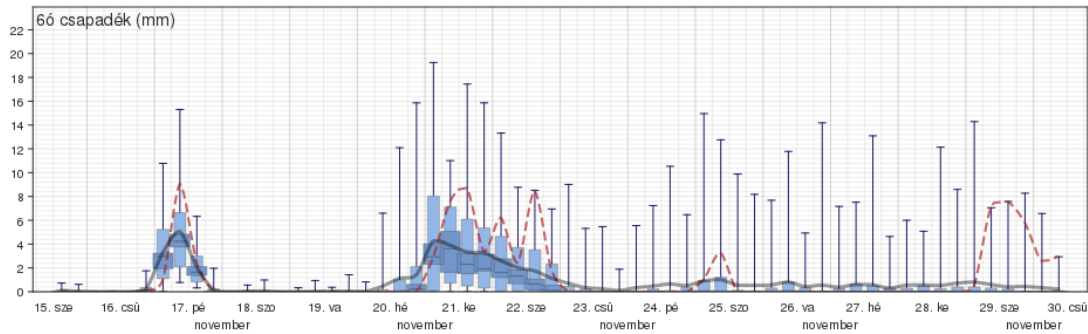
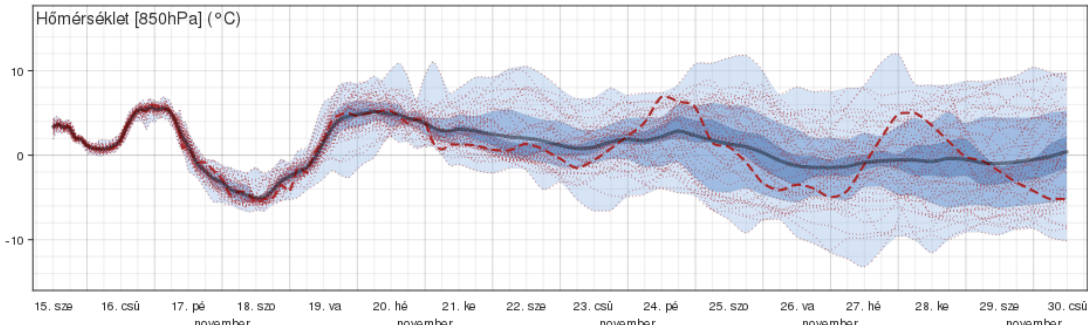
2022. November 18. - November 20.



Rövid távú LAM EPS fáklya diagram, OMSZ operatív rendszere

Megjelenítés – Fáklya diagram

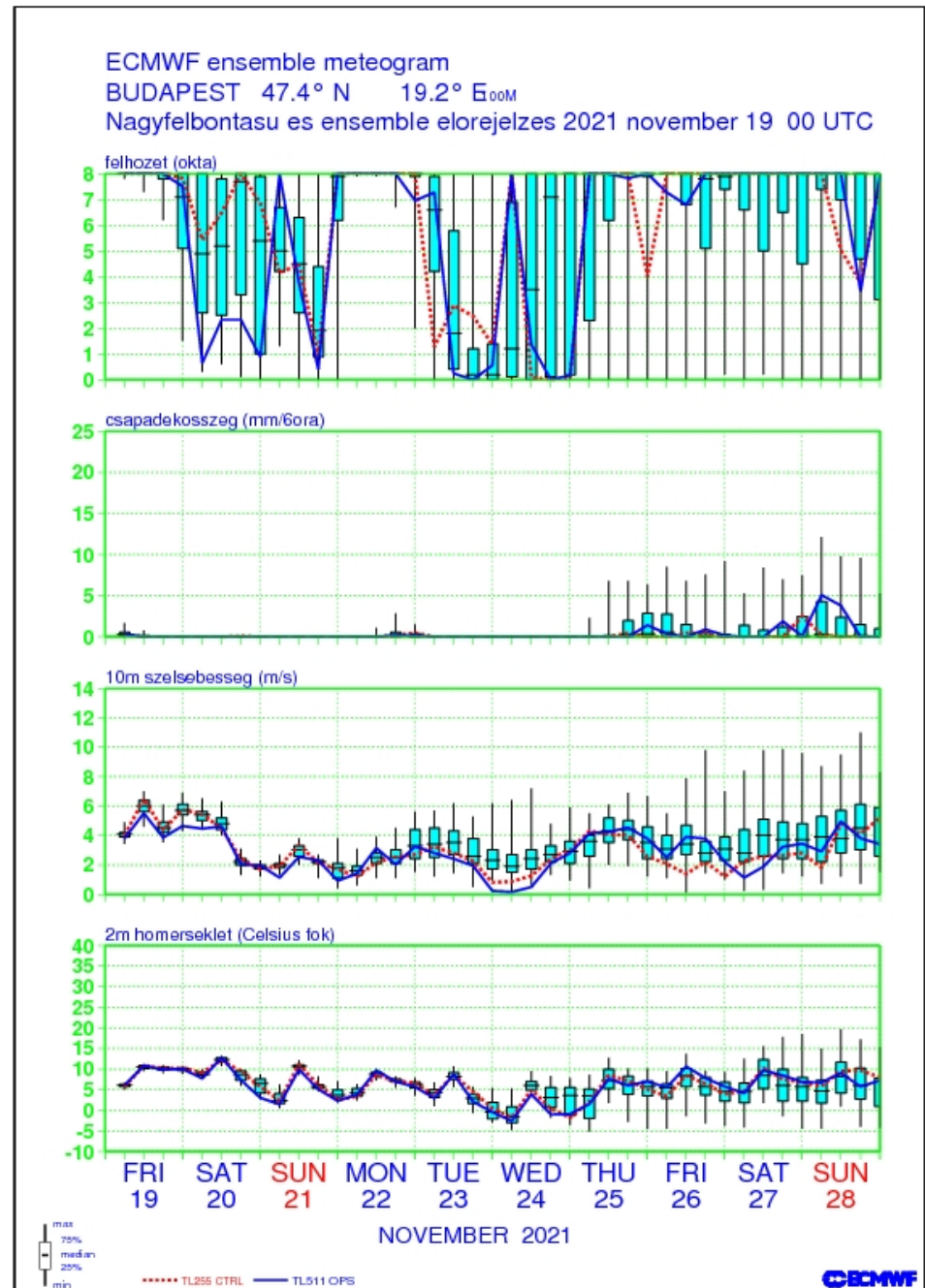
ECMWF Ensemble előrejelzés Pécs
2023.11.15 12:00 UTC



- Közép-távú globális EPS fáklya diagramja (ECMWF operatív rendszere, produktum megtalálható az OMSZ intraweben)
- Magas légköri mezők és csapadék tulajdonságai
- Kontroll tag és ensemble átlag kiemelve
- 850hPa hőmérsékletben és 500hPa geopotenciál előrejelezhetőségében is vannak változások az időszak során

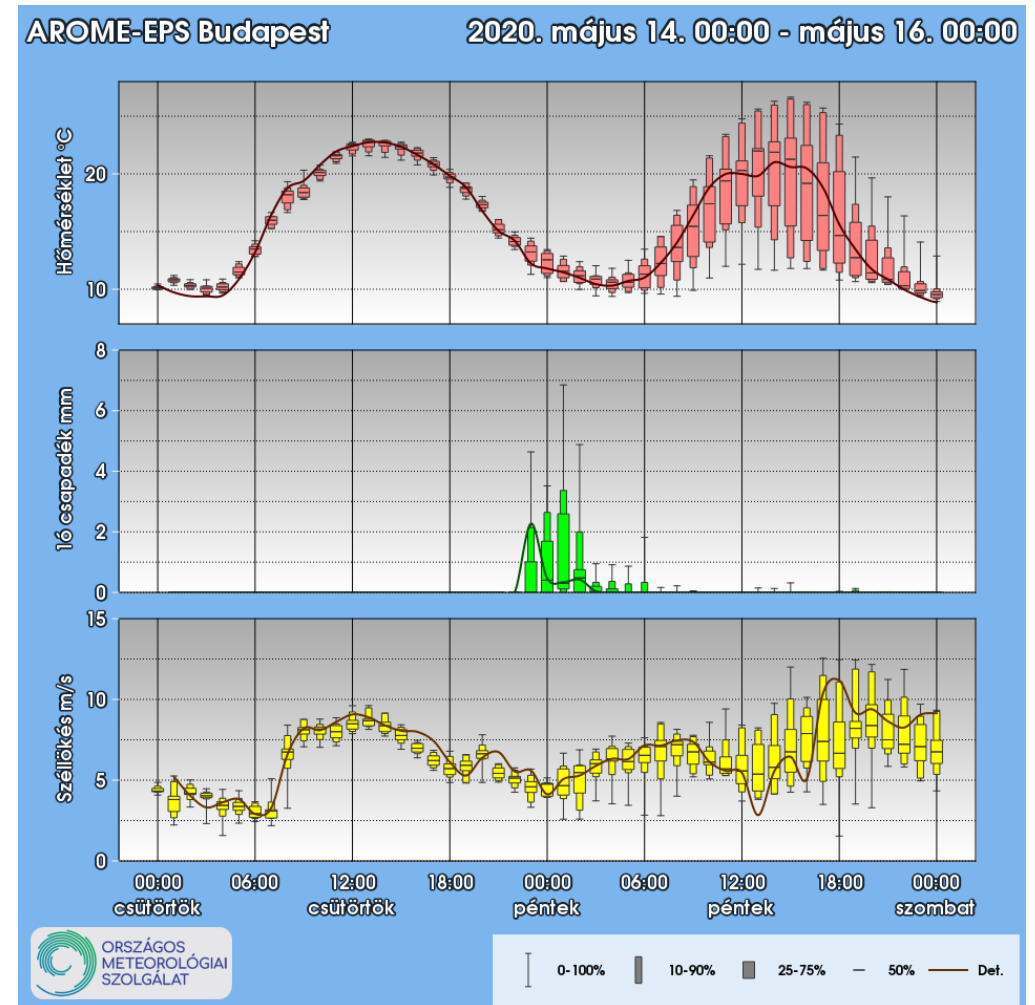
Megjelenítés – Meteogram

- Hasonlóan a fáklya diagramhoz, a meteogram is egy adott földrajzi helyre vonatkozóan szemlélteti adott meteorológiai elemek időbeli alakulását boxplotok segítségével. (ECMWF globális rendszere, produktum megtalálható az OMSZ intraweben)
- A kontroll tag már nem nagyobb felbontású!



Megjelenítés – Meteogram

- Hasonlóan a fáklya diagramhoz, a meteogram is egy adott földrajzi helyre vonatkozóan szemlélteti adott meteorológiai elemek időbeli alakulását boxplotok segítségével. (OMSZ operatív LAM EPS rendszere, produktum megtalálható az intraweben)

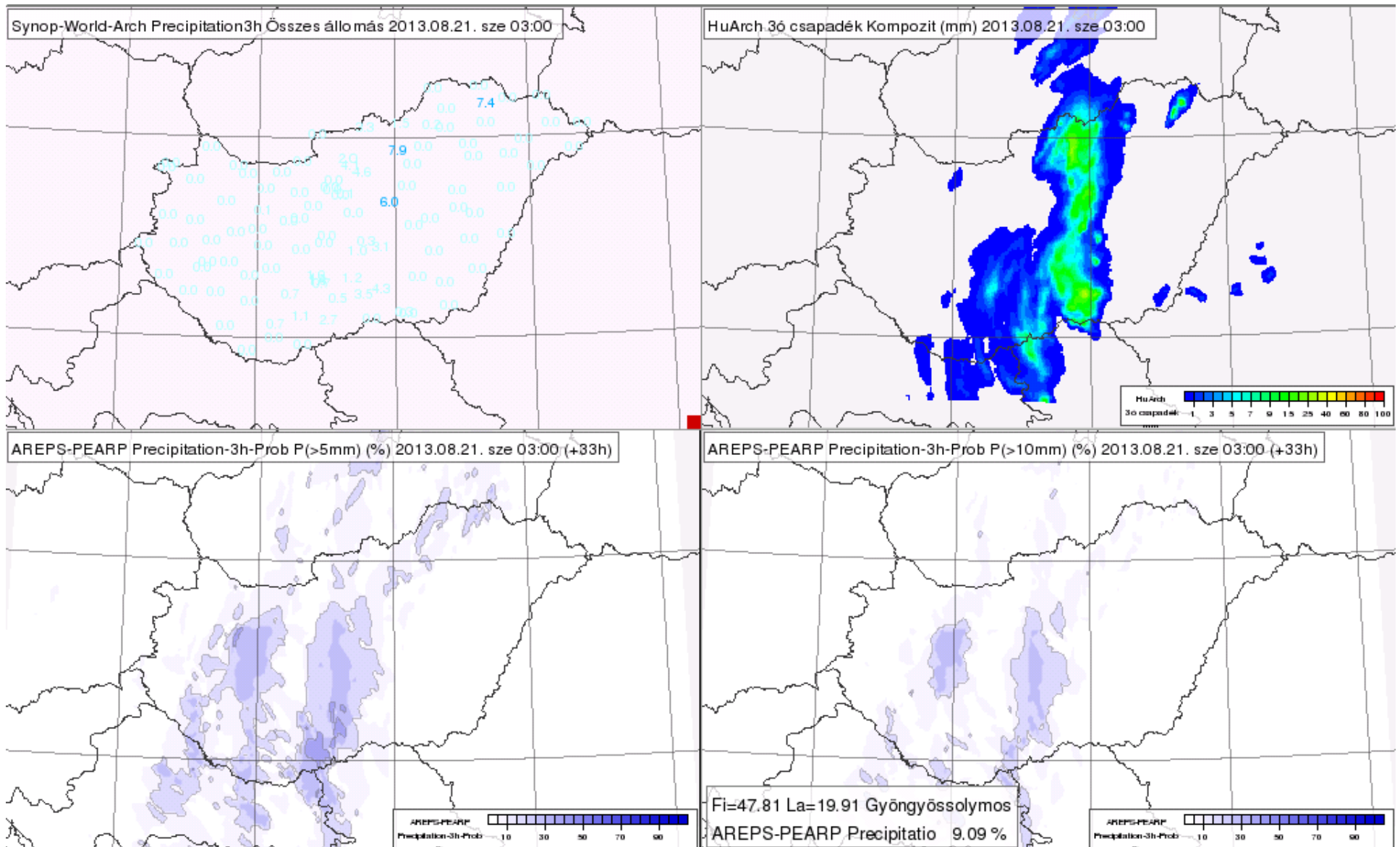


Megjelenítés – Valószínűségi térképek

- A valószínűségi térképek egy adott esemény (pl. 0 fok alatti hőmérséklet, 10 m/s-nál nagyobb szélesség) bekövetkezésének valószínűségét ábrázolják
- Különösen hasznosak lehetnek, ha valamilyen veszélyes időjárási jelenség bekövetkezésének lehetőségét vizsgáljuk:
 - Példa 1 – 2013. aug. 20.: 3óra alatt lehulló, nagyobb mennyiségű (5 vagy 10mm-t meghaladó) csapadékösszeg valószínűsége
 - Példa 2 – 2013. júl. 29.: Balatoni viharjelzés küszöbértékét meghaladó szellőkés (1.fok= 12m/s, 2.fok=17m/s)

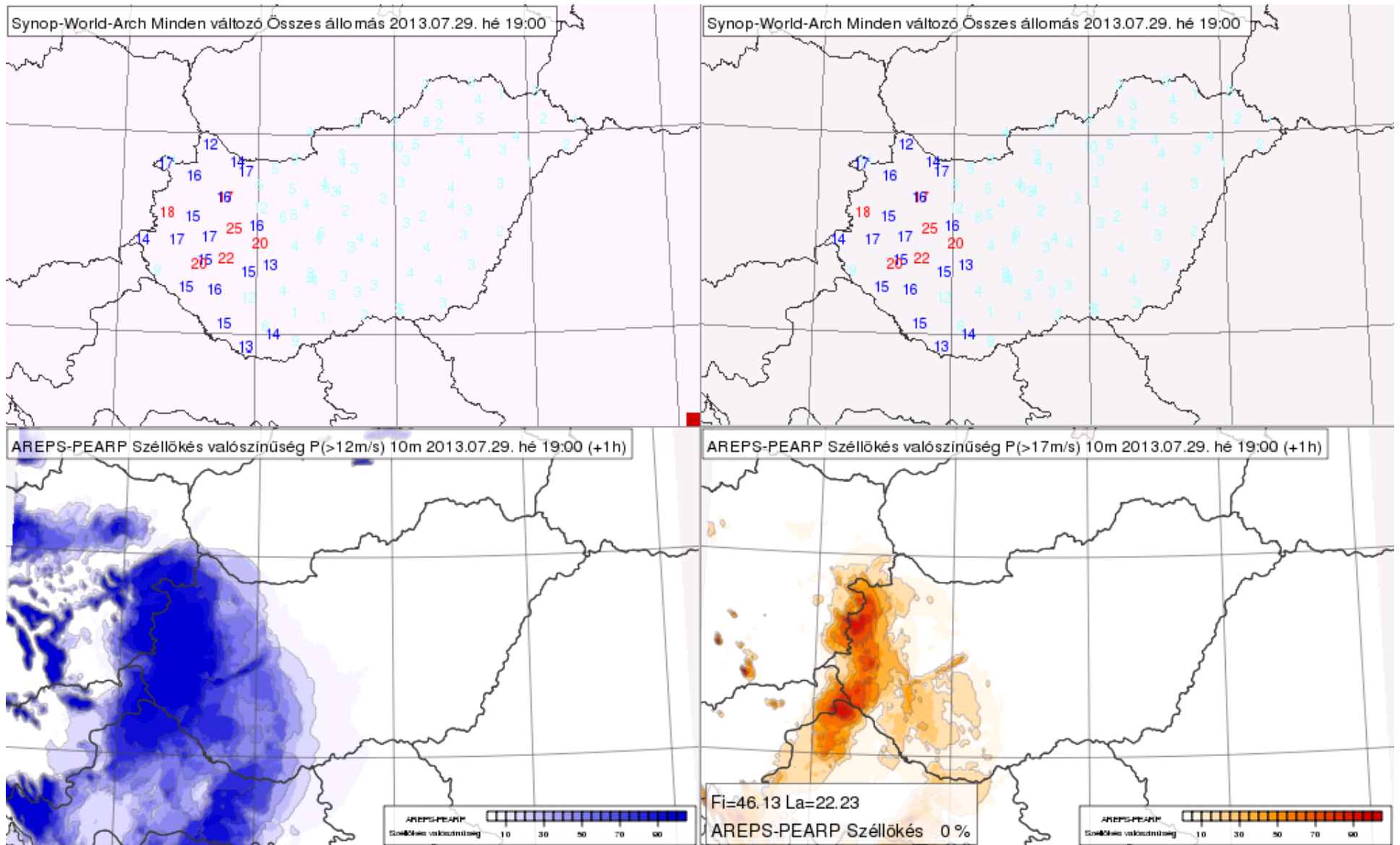
Megjelenítés – Valószínűségi térképek

5 és 10mm feletti csapadékösszeg valószínűsége



Megjelenítés – Valószínűségi térképek

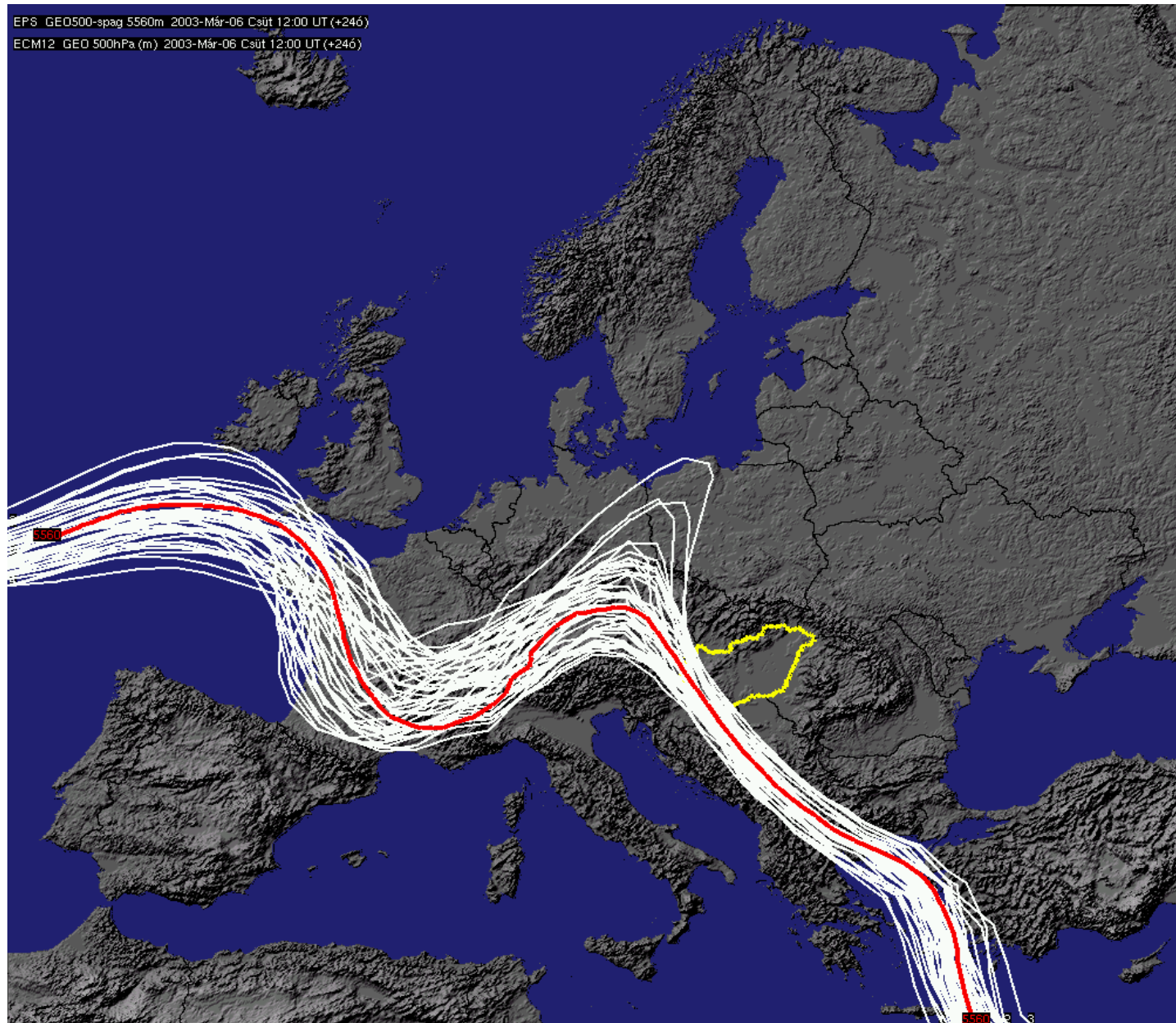
12 és 17 m/s feletti szélökés valószínűsége



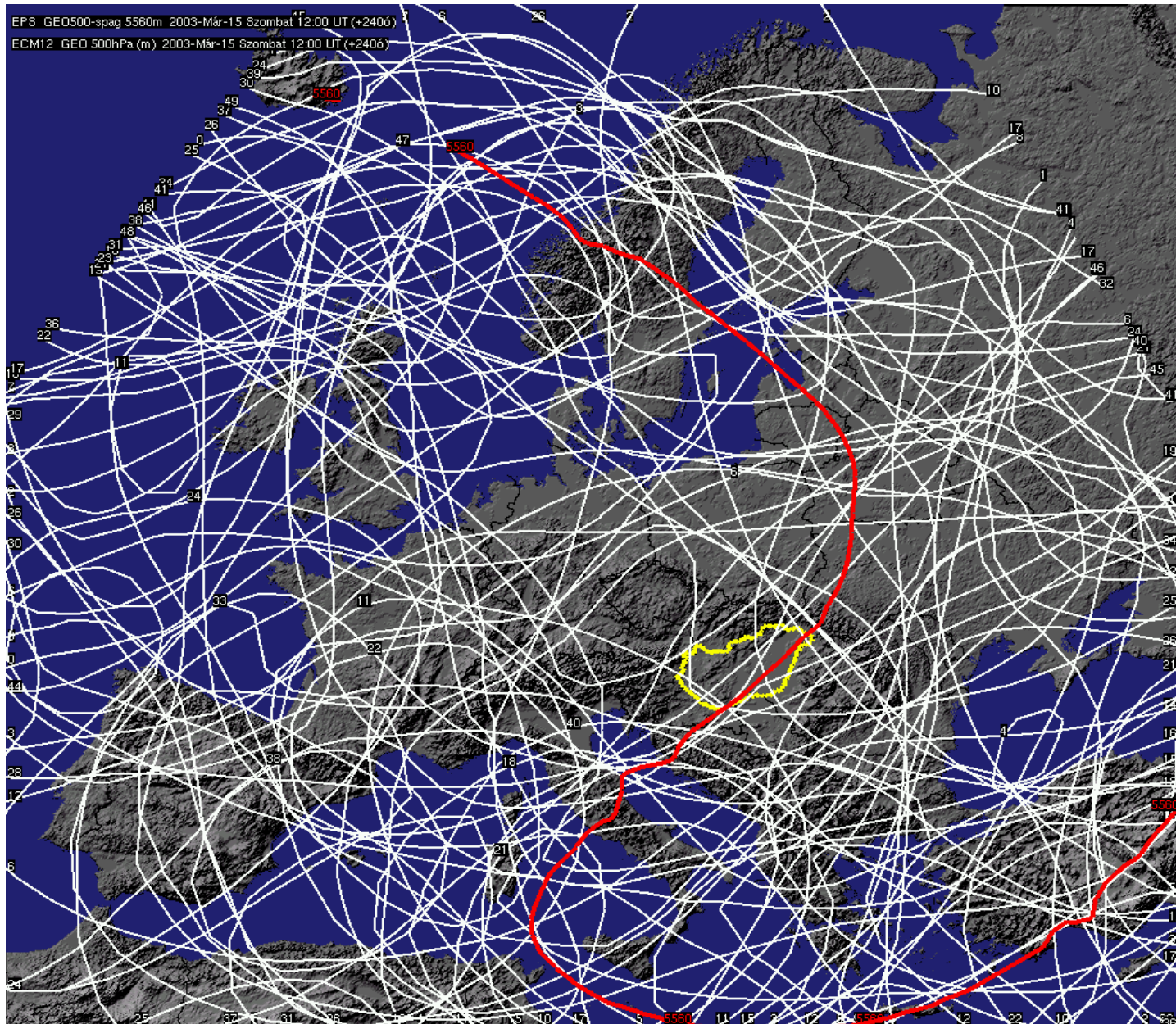
Megjelenítés – Spaghetti diagram

- Egy kiválasztott elem egy adott izovonalát ábrázoljuk az összes ensemble tagra vonatkozóan
- Míg a fáklya diagram egy adott helyre és az előrejelzés teljes időtartamára jelzi a bizonytalanság mértékét, addig a spagetti diagram azt mutatja meg, hogy egy adott időpontban mely területen lesz nagy (vagy kicsi) az előrejelzés bizonytalansága
- Inkább illusztrációs, mint operatíván használt megjelenítési forma

Megjelenítés – Spaghetti diagram



Megjelenítés – Spaghetti diagram

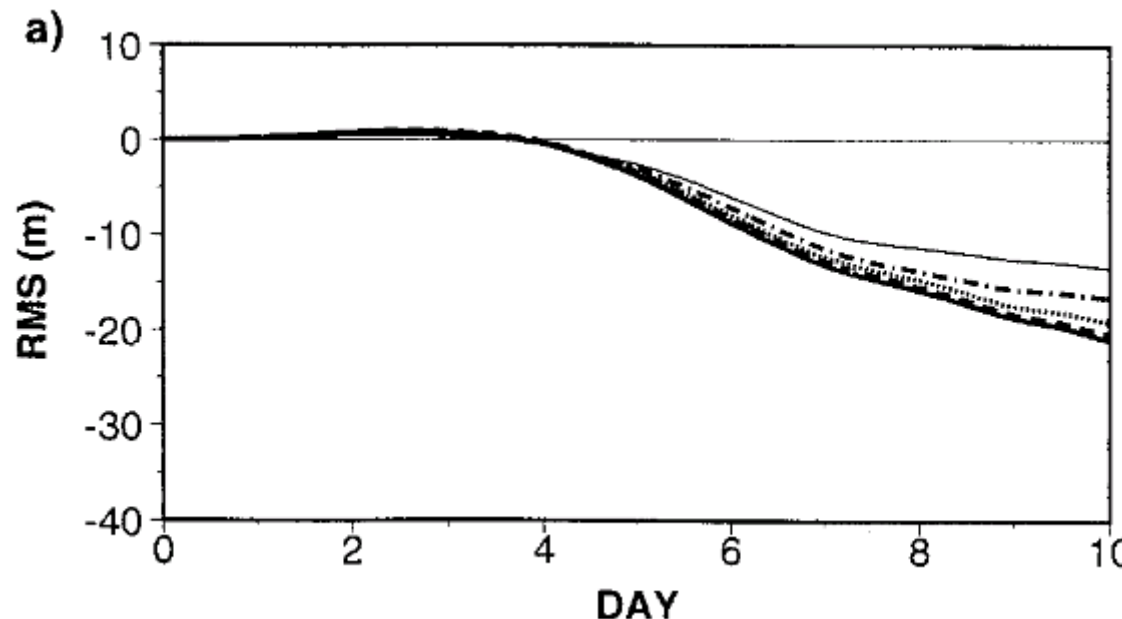


Megjelenítés – Clusterek

- Az információ tömörítése céljából a valamely norma szerint hasonló ensemble tagokat alacsonyabb számú clusterekbe csoportosítják; ezáltal lehetővé válik az egyes előrejelzési alternatívák gyors felismerése
- Clusterek készítése során az a célunk, hogy az egy csoportba eső tagok minél hasonlóbbak legyenek egymáshoz, míg a különböző csoportok minél különbözőbb lehetséges kimeneteleket reprezentálják a légkörnek.

Az ensemble átlag felhasználhatósága

- Csupán egy átlag, ami körül az előrejelzések szórnak
- Verifikációs mutatói általában jobbak, mint a különálló EPS tagoké (ld. ábra: 500hPa geopotenciál RMSE-je mennyivel kisebb különböző elemszámú eps-ekben, mint a kontroll előrejelzésben)
- DE! pl. gyakori, hogy a tagok fele alacsony légnyomást, másik fele magas légnyomást jelez előre egy adott területre, és ez az átlagban egy jellegtelen nyomási mezőként jelenik majd meg. → *bizonytalansági információ elvesz*



Növekvő EPS-tag-
számhoz tartozó görbék

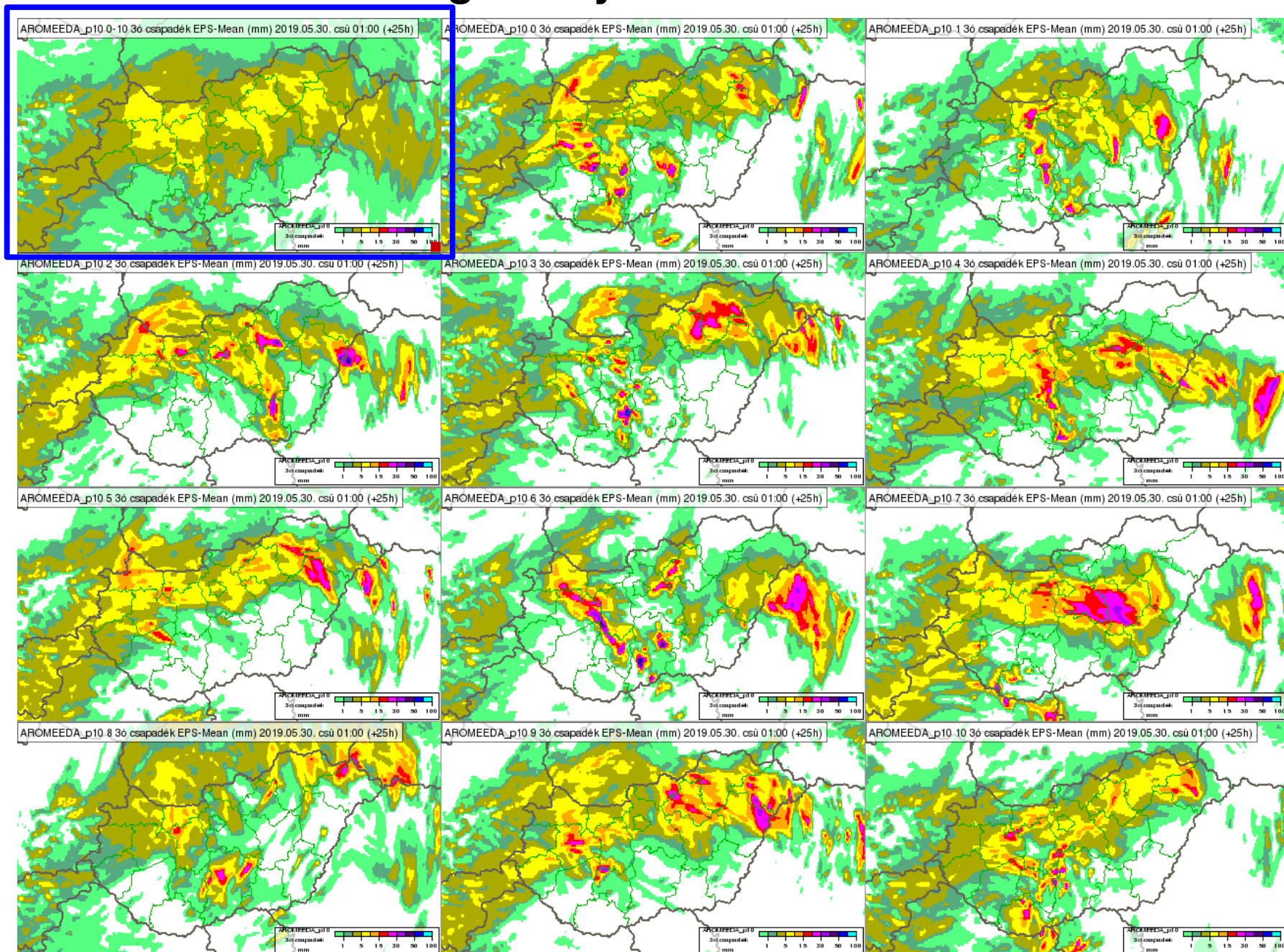
Buizza, R., T. N. Palmer,
1998: Impact of Ensemble
Size on Ensemble
Prediction. Mon. Wea. Rev.,
126, 2503–2518.

Az ensemble átlag felhasználhatósága

ensemble átlag és a 11 tag +25h csapadék előrejelzés

→ az átlag előrejelzési célra nem használható!

Nem a légkör egy lehetséges állapotát írja le



Ensemble előrejelzések felhasználása

- Ensemble előrejelzések készítésével lehetségessé válik valószínűségi értékek megadása
- Következtetni lehet az előrejelzés bizonytalanságára
- Mindez nagy segítséget nyújthat
 1. A **veszélyes időjárási események** előrejelzésében
 2. **Katasztrófavédelemben**
 3. Jövőbeli (pl. **gazdasági**) **intézkedések** tervezésében

⇒ **döntések előkészítésében segíthet**

Ensemble előrejelzések felhasználása

1. Veszélyjelzés

Példa 1.: 2013. március 15. hófúvásos eset

- A küszöbértékek növelésével egyre jobban lokalizálhatók a veszélyeztetett területek:
 - Bal felső ábrán látható, hogy alacsony kockázati szintű hófúvás nagy területeken valószínű
 - Jobb alsó ábrán: *mely területek a legveszélyeztetettebbek*
- Minél nagyobb küszöbértékeket választunk, annál nagyobb a bizonytalanság, annál inkább szükség van az ensemble-re:
 - Bal felső ábrán az alacsony kockázati szint elérésére nagy területen ad 0 vagy 100% esélyt a rendszer
 - Jobb alsó ábrán látható, hogy a veszélyeztetett területeken gyakran jelennek meg közepes valószínűségi értékek

Ensemble előrejelzések felhasználása

2013. március 14-15.

Hó mennyiség kockázata

Szellőkés kockázata

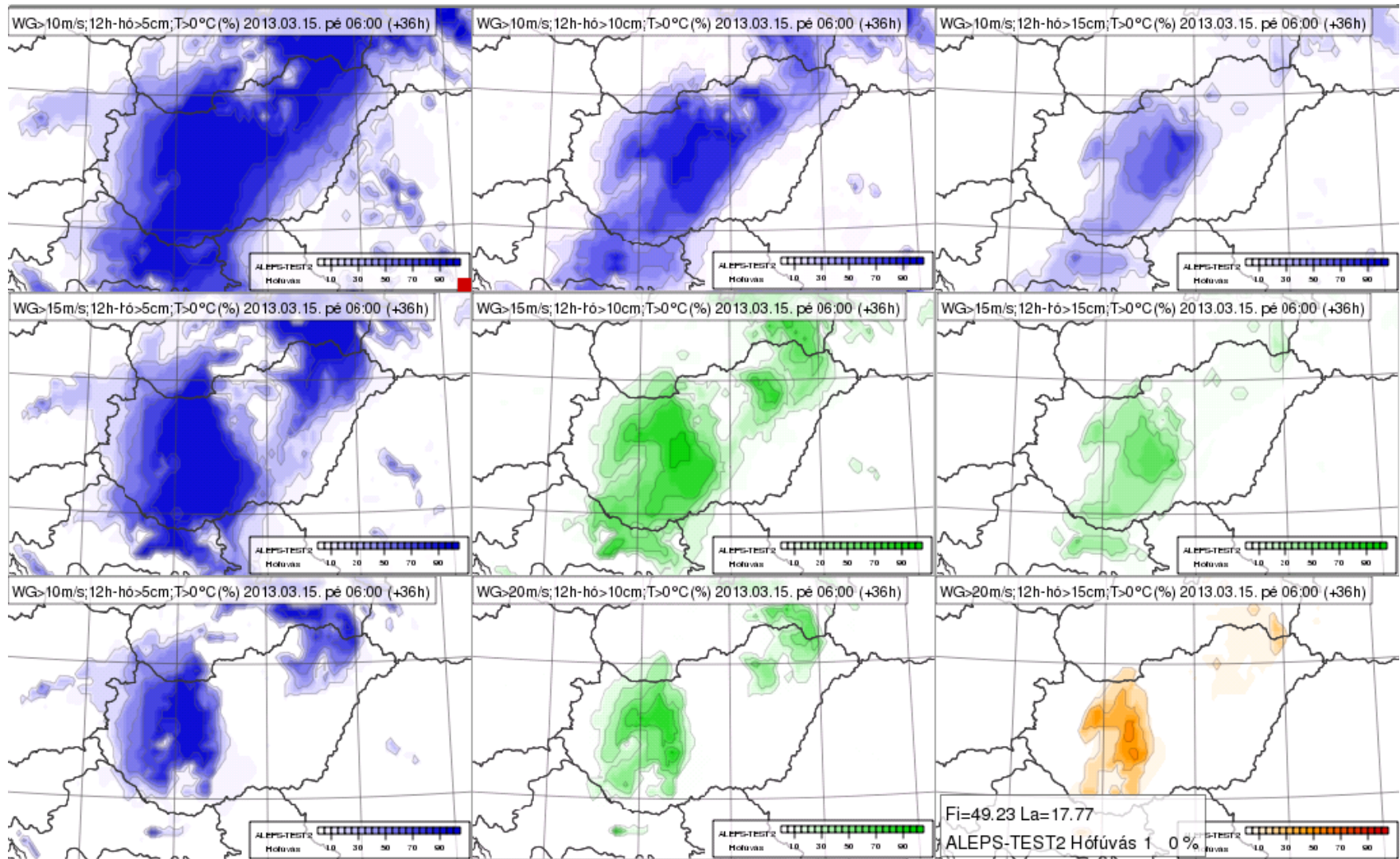
<p>> 5 cm/6óra friss hó > 10 m/s szellőkés < 0°C hőmérséklet</p>	<p>> 10 cm/6óra friss hó > 10 m/s szellőkés < 0°C hőmérséklet</p>	<p>> 15 cm/6óra friss hó > 10 m/s szellőkés < 0°C hőmérséklet</p>
<p>> 5 cm/6óra friss hó > 15 m/s szellőkés < 0°C hőmérséklet</p>	<p>> 10 cm/6óra friss hó > 15 m/s szellőkés < 0°C hőmérséklet</p>	<p>> 15 cm/6óra friss hó > 15 m/s szellőkés < 0°C hőmérséklet</p>
<p>> 5 cm/6óra friss hó > 20 m/s szellőkés < 0°C hőmérséklet</p>	<p>> 10 cm/6óra friss hó > 20 m/s szellőkés < 0°C hőmérséklet</p>	<p>> 15 cm/6óra friss hó > 20 m/s szellőkés < 0°C hőmérséklet</p>

Ensemble előrejelzések felhasználása

Valószínűség 11 tag alapján
2013. március 15. 6 óra

Hó mennyiség kockázata

Szélökés kockázata



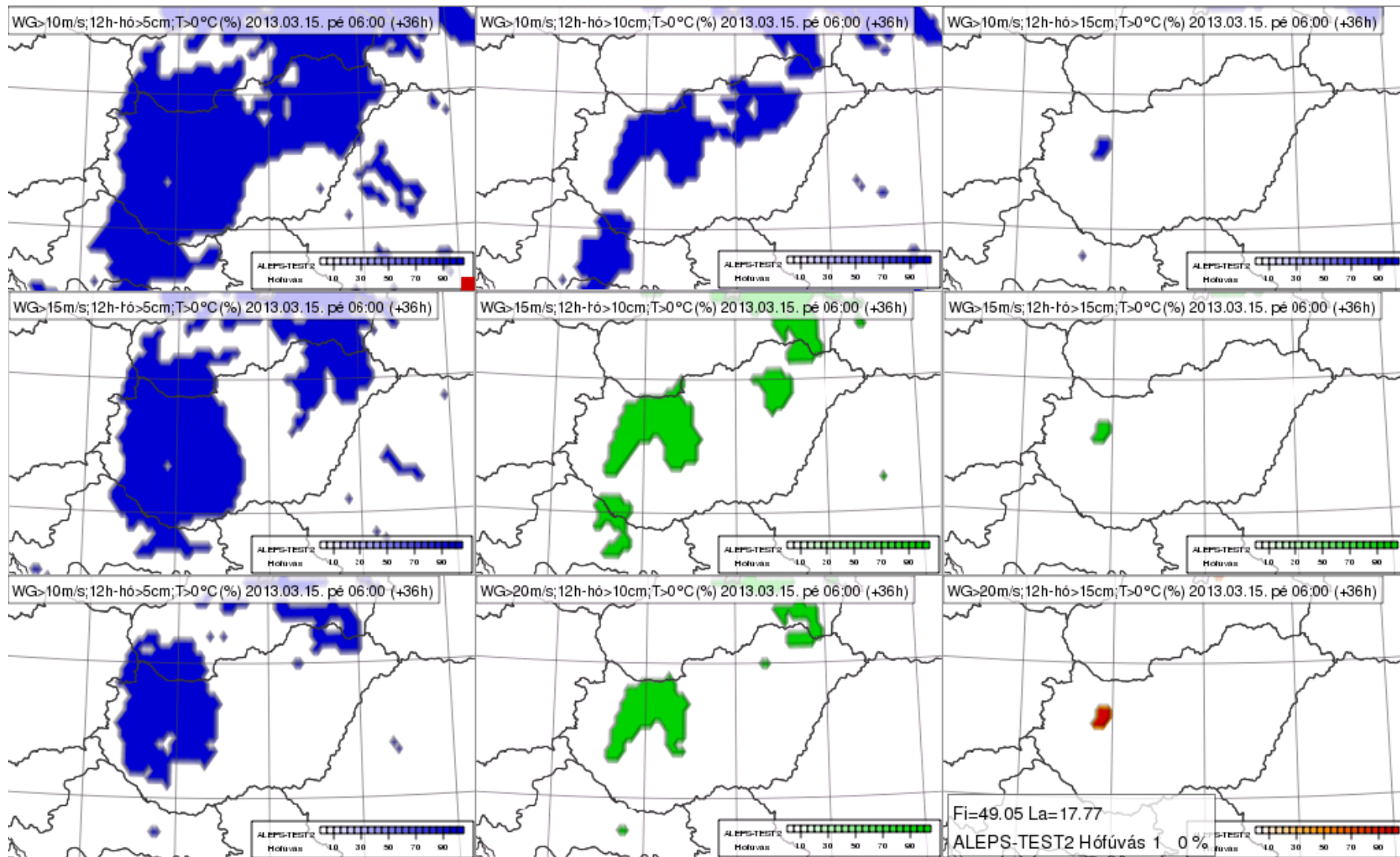
Ensemble előrejelzések felhasználása

Valószínűség egyetlen tag alapján

2013. március 15. 6 óra

Hómenyiség kockázata

Szélökés kockázata



Ensemble előrejelzések felhasználása

Példa 2. Zivatar valószínűség utófeldolgozott produktumból
2023. június 6. 18 óra



- szemléltetésre használják

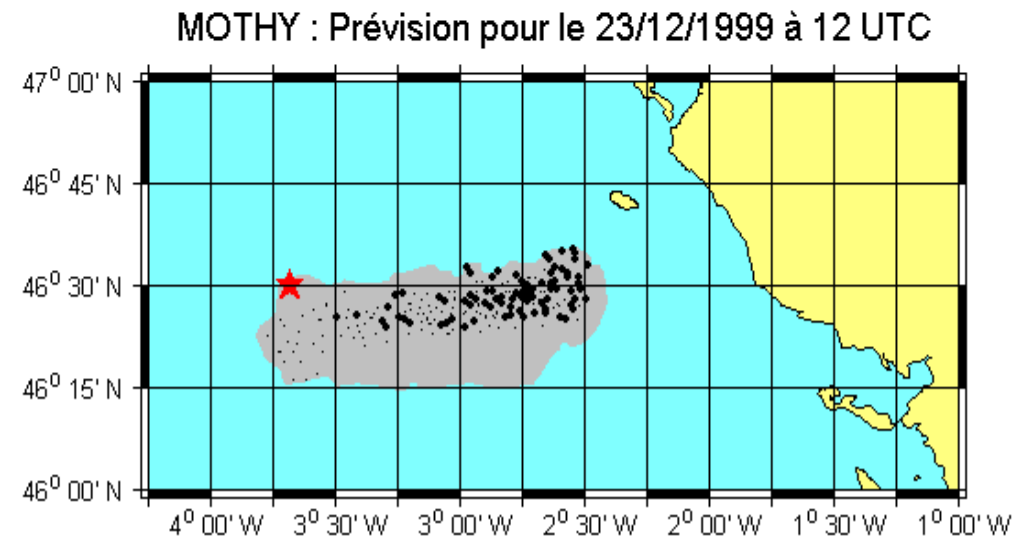
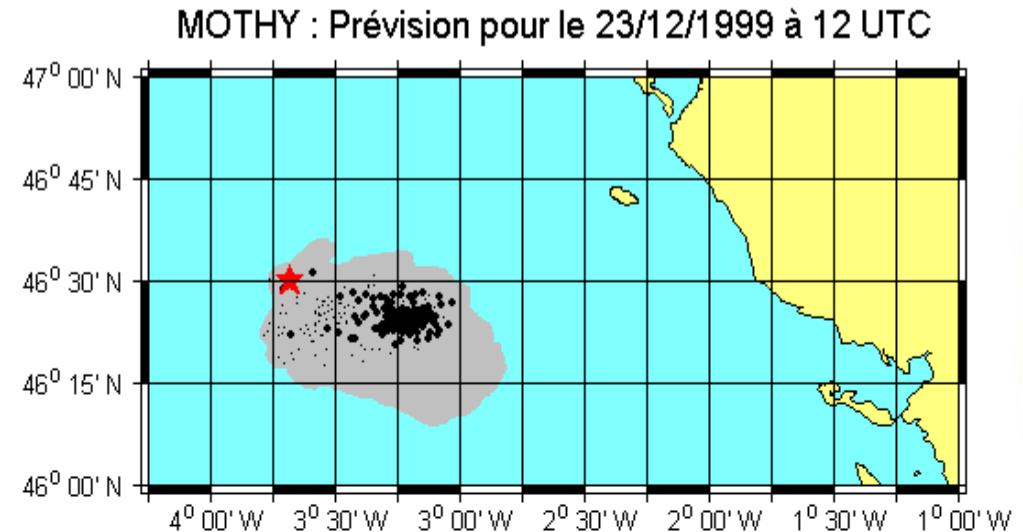
Ensemble előrejelzések felhasználása

- 2. Katasztrófavédelem:
 - 1999. dec. 12-én az Erika tankhajó hajótörést szenvedett a francia partok közelében.
 - Számítások az ensemble átlag illetve a szennyeződés terjedésének szempontjából *legkedvezőtlenebb tag* felhasználásával.



Ensemble előrejelzések felhasználása

- Az átlagos (fent) és a leg pesszimistább előrejelzés (lent)
- ECMWF ENS légköri modellel meghajtott szennyeződésterjedési modell (MOTHY, Météo-France)
- Előrejelzés: a leg pesszimistább esetben sem éri el a szennyeződés a partokat december 23-a előtt
- Végül december 25-én érte el az olajfolt Franciaország partjait



Ensemble előrejelzések felhasználása

- 3. Üzleti döntések meghozatala:
 - Egy utcára nyíló kávézó rendelkezik terasszal és azon 20 szabadtéri hellyel is.
 - A tulajdonosnak két nappal korábban el kell döntenie, hogy kipakol-e a teraszra, és annak üzemeltetéséhez alkalmaz-e extra munkaerőt.
 - Ezt a döntést az eső valószínűségének függvényében hozza meg.



Ensemble előrejelzések felhasználása

- Tegyük fel, hogy az extra munkaeerő bére 10 000 Ft, az elérhető plusz bevétel 50 000 Ft
- Ha a tulajdonos nem alkalmaz extra munkaeerőt, a plusz bevétel 0 Ft, de költsége sincsen
- Ha alkalmaz extra munkaeerőt, ...
 - és eső lesz, akkor költsége 10 000 Ft
 - és nem lesz eső, akkor a költsége 10 000 Ft, bevétele pedig 50 000 Ft
 - Az eső valószínűsége = P
- A haszon a következő képlettel becsülhető (várható érték):



Ensemble előrejelzések felhasználása

$$\text{BEVÉTEL} = P \cdot (0 - 10\,000) + (1 - P) \cdot (50\,000 - 10\,000) > 0$$

$$40\,000 - 50\,000P > 0$$

- Ha tehát $P < 0,8 \Rightarrow$ megéri extra munkaerőt alkalmazni, míg $P > 0,8$ esetében nem
- Egyetlen előrejelzés esetén a tulajdonos mindig alkalmazna extra munkaerőt, ha nem jelzünk előre esőt, és soha, amikor szerepel a prognózisban csapadék
- Ebben az esetben az igen/nem döntést maga a modell igen/nem kimenetele határozná meg. Ensemble előrejelzés esetén az igen/nem *döntést az esemény valószínűsége és az árak együttesen* határozzák meg.

Ensemble előrejelzések felhasználása

- Egy építési vállalkozónak sürgősen le kell aszfaltoznia egy útfelületet. Viszont ebben a P valószínűséggel érkező eső megakadályozhatja.
 - Ha elvégzi rendben a munkát, akkor 1millió forintot kap
 - A munkaerő és az aszfalt költsége 400 ezer forint, amit mindenképp ki kell fizetnie, ha kiszáll a helyszínre; még akkor is, ha eső miatt nem tudnak dolgozni
 - Ha nem végzi el a munkát, akkor mindenképp 100 ezer forint kötbért kell fizetnie.
- Mi az a P valószínűségi érték, ami alatt a vállalkozónak érdemes kimenni aszfaltozni?



Ensemble előrejelzések felhasználása

- Egy építési vállalkozónak sürgősen le kell aszfaltoznia egy útfelületet. Viszont ebben a P valószínűséggel érkező eső megakadályozhatja.
 - Ha elvégzi rendben a munkát, akkor 1millió forintot kap
 - A munkaerő és az aszfalt költsége 400 ezer forint, amit mindenképp ki kell fizetnie, ha kiszáll a helyszínre; még akkor is, ha eső miatt nem tudnak dolgozni
 - Ha nem végzi el a munkát, akkor mindenképp 100 ezer forint kötbért kell fizetnie.
- Mi az a P valószínűségi érték, ami alatt a vállalkozónak érdemes kimenni aszfaltozni?

BEVÉTEL =

>

Ensemble előrejelzések felhasználása

- Egy építési vállalkozónak sürgősen le kell aszfaltoznia egy útfelületet. Viszont ebben a P valószínűséggel érkező eső megakadályozhatja.
 - Ha elvégzi rendben a munkát, akkor 1millió forintot kap
 - A munkaerő és az aszfalt költsége 400 ezer forint, amit mindenképp ki kell fizetnie, ha kiszáll a helyszínre; még akkor is, ha eső miatt nem tudnak dolgozni
 - Ha nem végzi el a munkát, akkor mindenképp 100 ezer forint kötbért kell fizetnie.
- Mi az a P valószínűségi érték, ami alatt a vállalkozónak érdemes kimenni aszfaltozni?

$$\text{BEVÉTEL} = P(0-400000-100000) + (1-P)(1000000-400000) > -100000$$

$$-500000P + 600000 - 600000P > -100000$$

$$-1100000P > -700000$$

$$P < 7/11 \sim 64\%$$

Tartalom

- A kaotikus rendszerekről
 - Egydimenziós diszkrét példa
 - A Lorenz-modell és a vízikerek
 - Kaotikus rendszerek tulajdonságai
- A légköri rendszer előrejelezhetősége
 - Mik a légköri rendszer előrejelzésében a bizonytalanság forrásai?
 - Mik az időjárás előrejelezhetőségének határai
- Együttes (ensemble) előrejelzések
 - Ensemble előrejelzés alapfogalmai
 - Milyen valószínűségi produktumok készíthetők?
 - Hogyan használhatók ezek az előrejelzések?
 - Hogyan lehet a légköri bizonytalanságokat számszerűsíteni? - Perturbációs módszerek
 - Mik a jó ensemble előrejelzés tulajdonságai? - Verifikáció
 - Konkrét példák ensemble előrejelző rendszerekre

Ajánlott irodalom

- Tél Tamás, Gruiz Márton: Kaotikus dinamika
- Götz Gusztáv: Káosz és Prognosztika
- Lorenz, E. N., 1963: Deterministic nonperiodic flow, *Journal of Atmospheric Science*, 20, 130
- Palmer, T. N. és Tibaldi, S., 1988: On the prediction of forecast skill, *Monthly Weather Review*, 166, 245
- www.ecmwf.int / Forecast User Guide