

# A numerikus előrejelző modellek fejlesztése és alkalmazása az Országos Meteorológiai Szolgálatnál

HORÁNYI ANDRÁS



Országos Meteorológiai Szolgálat

## TARTALOM

- A numerikus modellezés alapjai
- Kategorikus és valószínűségi előrejelzések
- Egységes időjárási és éghajlati előrejelző rendszer
- Összefoglalás, kitekintés

# ***A NUMERIKUS MODELLEZÉS ALAPJAI***

## NUMERIKUS PROGNOZTIKA ALAPJAI

- A légkör hidro-termodinamikai (primitív) egyenleteinek (parciális differenciálegyenletek) megoldására alkotott **matematikai modellek** megoldása
- Vegyes feladat (**kezdeti- és határfeltételek** megadása szükséges)
- Folytonos egyenletek közelítései (a légkör vastagságának elhanyagolása a Föld sugarához képest, gömbi közelítés, kvázi-**hidrosztatikus** közelítés, stb.)
- Közelítő megoldás (**diszkretizáció** + numerikus sémák)

## A LÉGKÖR HIDRO-TERMODINAMIKAI EGYENLETRENDSZERE

Mozgásegyenletek (Newton II. törvénye):

$$\frac{d\bar{v}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \bar{g} - 2\bar{\Omega} \times \bar{v} + \bar{F} + \bar{S}$$

Kontinuitási egyenlet (tömeg megmaradás):

$$\frac{d\rho}{dt} = \rho \cdot \operatorname{div} \bar{v}$$

Termodinamika I. főtétele (energia megmaradás):

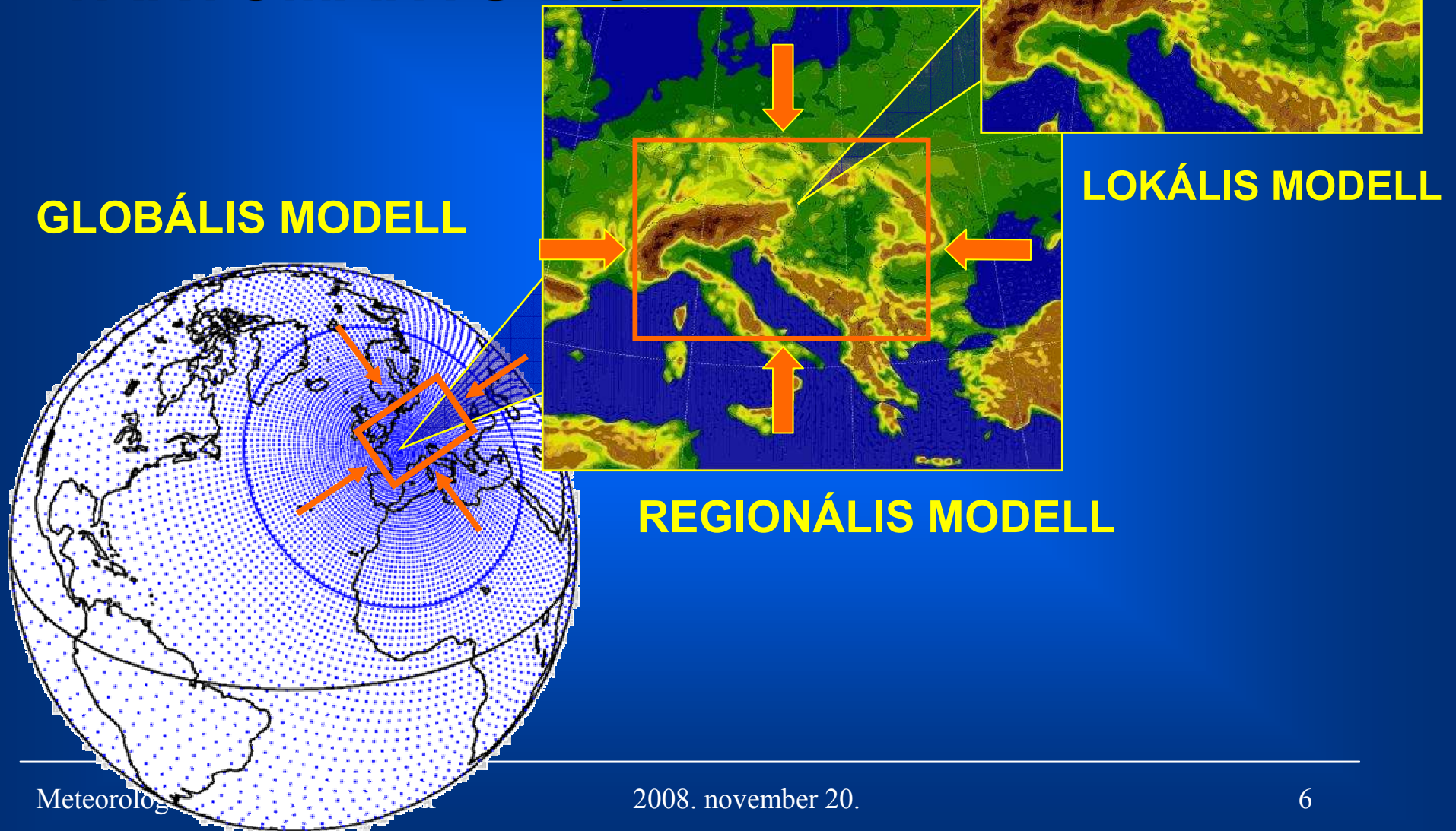
$$\frac{dQ}{dt} = c_p \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dp}{dt}$$

Nedvesség kontinuitási egyenlet (nedvesség megmaradás):

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{1}{\rho} \cdot M$$

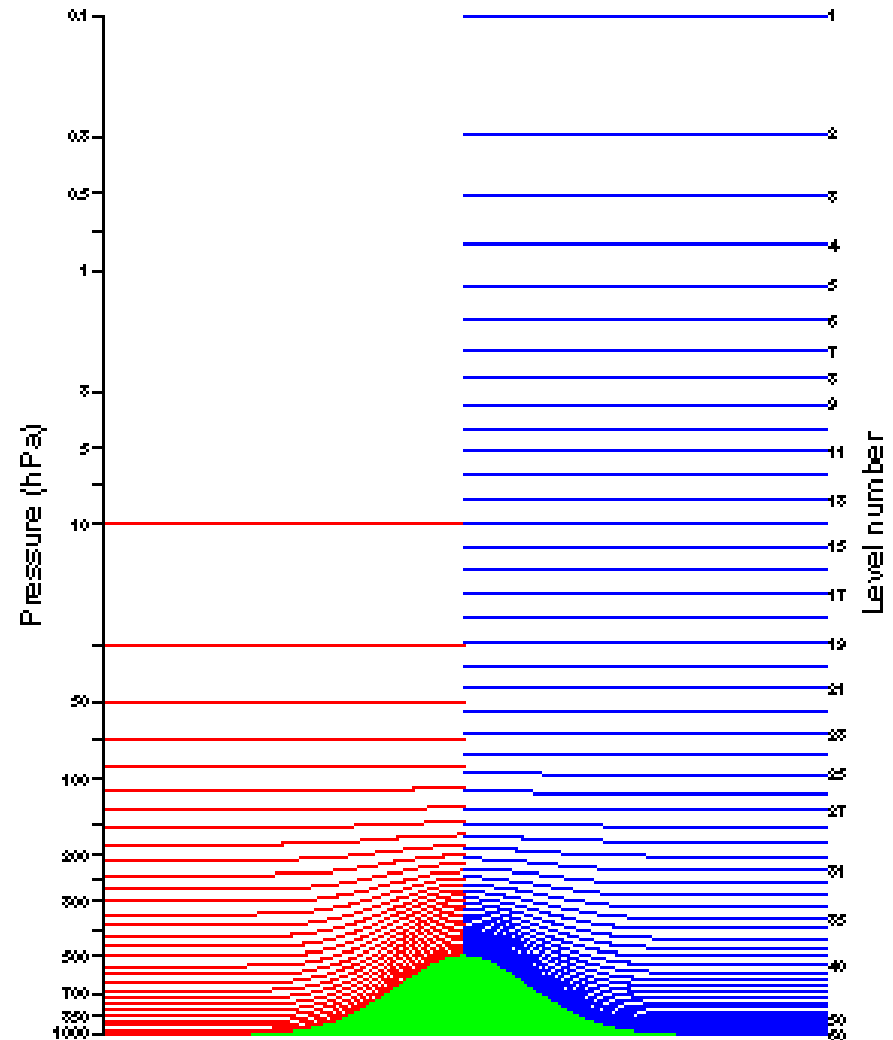
➡ NEM-LINEÁRIS PARCIÁLIS DIFFERENCIÁL-EGYENLET RENDSZER  
(NINCS ANALITIKUS MEGOLDÁS)

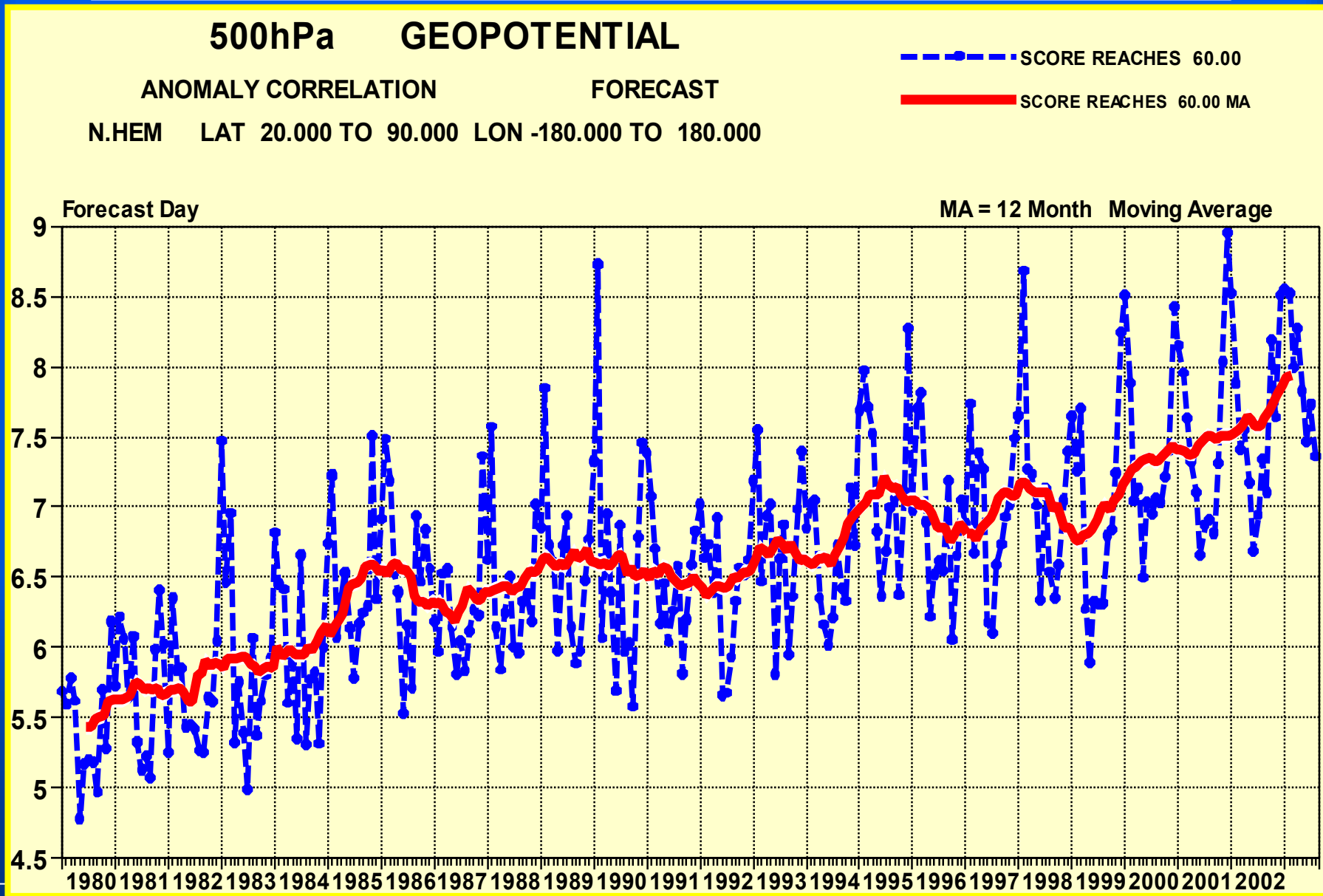
# BEÁGYAZOTT KORLÁTOS TARTOMÁNYÚ MODELLEK



VE

EK)







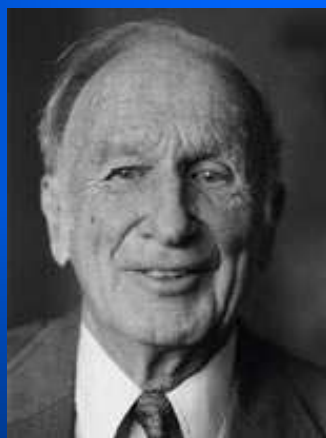
# ***KATEGORIKUS ÉS VALÓSZÍNŰSÉGI ELŐREJELZÉSEK***

## A FEJLŐDÉS FŐ IRÁNYAI

- A számítástechnika fejlődésével egyre nagyobb térbeli felbontás alkalmazása
- A folytonos egyenletekben meglevő közelítések számának csökkentése (pl. nem-hidrosztatikus modellek)
- Egyre tökéletesebb numerikus sémák
- A modellek egyes részeinek fejlesztése (adatasszimiláció, fizikai parametrizációs eljárások, oldalsó határfeltételek stb.)
- A kategorikus (determinisztikus) előrejelzések kiegészítése valószínűségi információkkal

## VALÓSZÍNŰSÉGI ELŐREJELZÉSEK: ENSEMBLE (EGYÜTTES) MÓDSZER (ELMÉLET)

- Egy előrejelzés akkor és csak akkor teljes, ha hozzá tudunk rendelni megbízhatósági mutatókat (beválási valószínűségeket)
- A légkör bonyolult nem-lineáris (kaotikus) rendszer, amely nagyfokú érzékenységet mutat a kiindulási állapotaira („a braziliai pillangó és a texasi tornádó kapcsolata”)



**In memoriam  
Edward Lorenz  
1917- 2008**

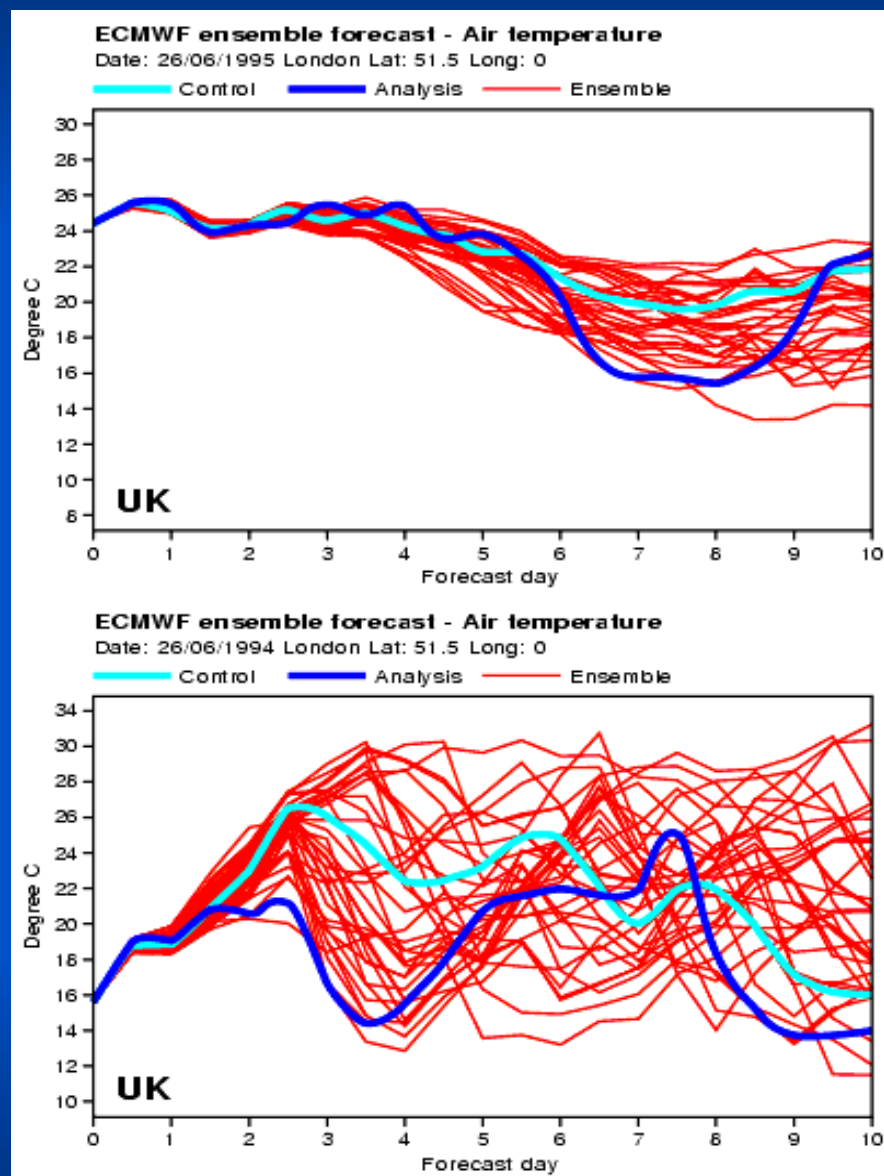
## VALÓSZÍNŰSÉGI ELŐREJELZÉSEK: ENSEMBLE (EGYÜTTES) MÓDSZER (GYAKORLAT)

- A kezdeti feltételekben meglevő bizonytalanság figyelembe vétele → több egyformán lehetséges kiindulási feltétel → több előrejelzés (előrejelzések együttese)

Megjegyzés: más „bizonytalanságok” is számszerűsíthetők (pl. modellek felírása, fizikai parametrizációs eljárások, alsó határfeltételek stb.)

- Az így kapott eredmények együttes vizsgálata
  - Ha az előrejelzések hasonlóak → nagyobb megbízhatóság
  - Ha az előrejelzések nagyon eltérnek egymástól → nagyobb bizonytalanság (az előrejelezhetőség kisebb)

## A numerikus előrejelző modellek fejlesztése és alkalmazása az Országos Meteorológiai Szolgálatnál



***EGYSÉGES IDŐJÁRÁSI  
ÉS ÉGHAJLATI  
ELŐREJELZŐ RENDSZER***

## EGYSÉGES ÉS KONZISZTENS ELŐREJELZŐ RENDSZER SAJÁTOSSÁGAI

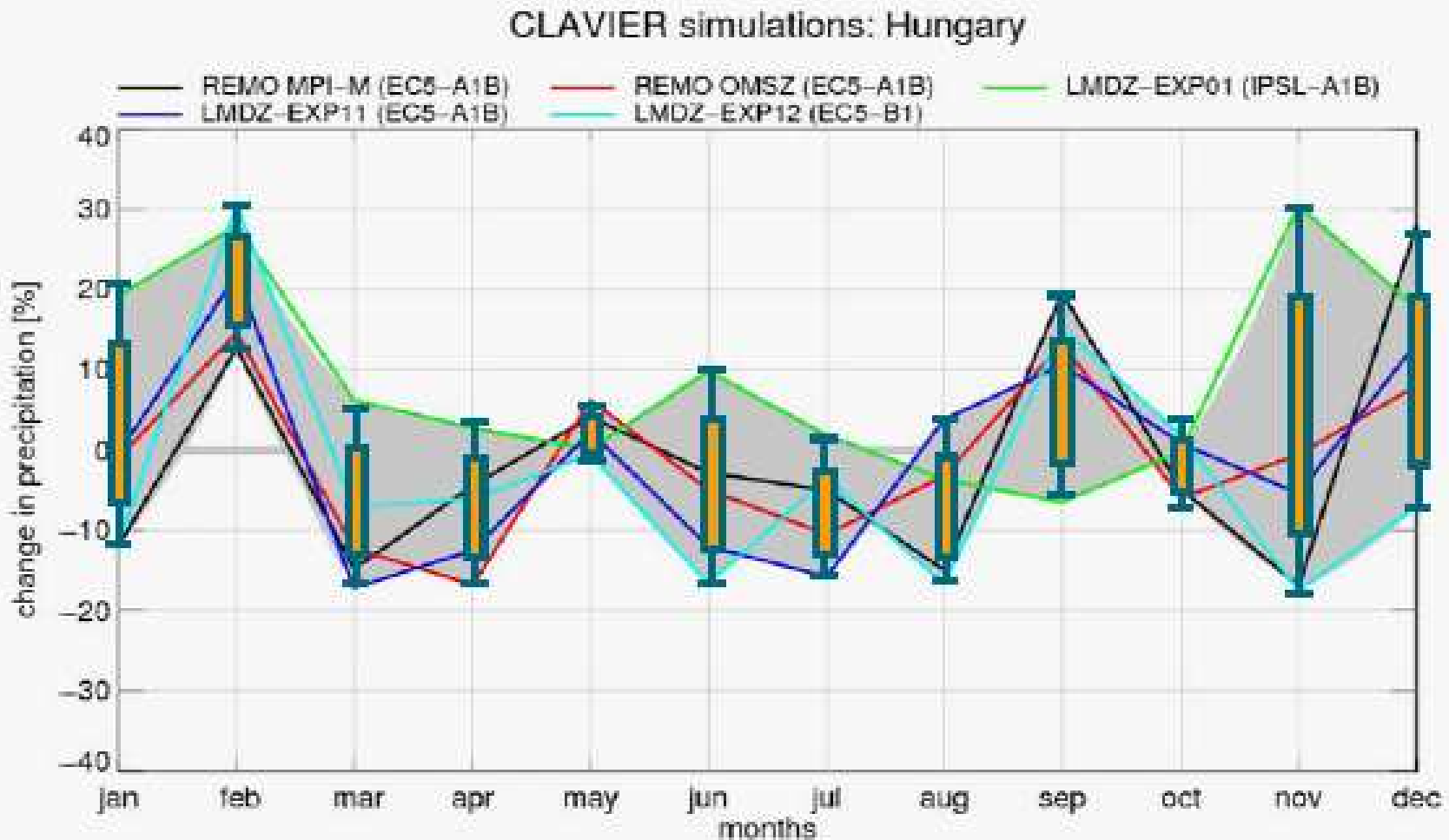
- A modellek közötti és modellen belüli kapcsolódási pontok (konzisztencia) biztosítása
  - Oldalsó határfeltételeken keresztül
  - Fizikai és dinamikai konzisztencia a „meghajtó” és a „meghajtott” modellek között
  - Adatasszimiláció és együttes (ensemble) előrejelzések között
  - Adatasszimiláció és a fizikai parametrizációk között
  - Egységes, könnyen fenntartható modell számítógépes kódrendszer
- Lehetőség valószínűségi előrejelzések készítésére (minél több bizonytalanság számszerűsítése: kezdeti feltételek, különböző modellek)

## AZ EGYSÉGES ELŐREJELZŐ RENDSZER ELEMEI

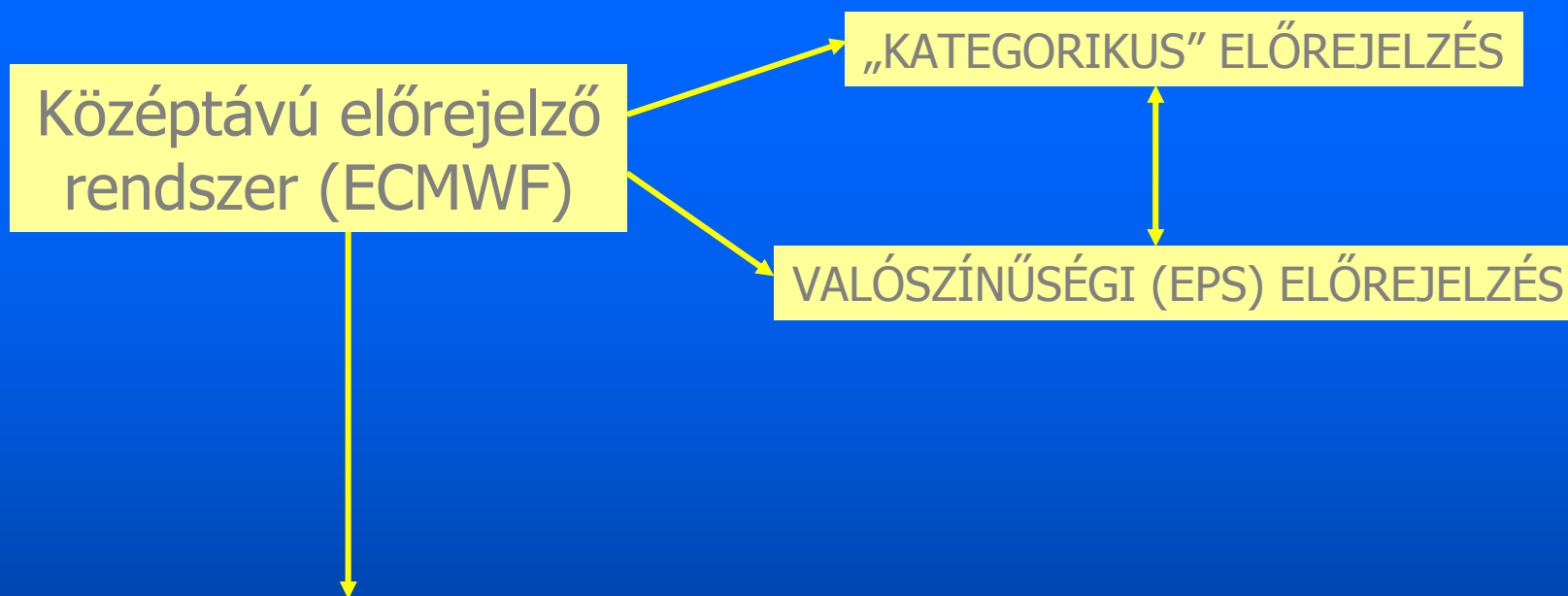
	Éghajlati skála	Szezonális, középtáv	Rövidtáv	Ultra- rövidtáv
Elsődleges modell	ALADIN-Climate	ECMWF:IFS	ALADIN	AROME
Kiegészítő modell	REMO	---	---	---
Ensemble komponens	Multi-modell	ECMWF EPS	ALADIN EPS	---
Tipikus felbontás és időtáv	10-25 km 2021-2050, 2071-2100 (30 év)	25 km 10 napig 80 km 15 napig (EPS: 50 km)	8 km (EPS: 12 km), 2 nap	2-3 km 24 óra
Oldalsó határfeltételek	ARPEGE-Climat ECHAM5	---	ECMWF: IFS (ARPEGE EPS: PEARP)	ALADIN
Megjegyzés	ELTE: PRECIS és RegCM modellek	---	ALARO	---



# AZ EGYSÉGES ELŐREJELZŐ RENDSZER ELEMEI: ÉGHAJLATI SZEGMENS (BUDAPEST, ALKALMANKÉNT; MULTI-MODELL KIÉRTÉKELÉS)



## AZ EGYSÉGES ELŐREJELZŐ RENDSZER ELEMEL: KÖZÉPTÁVÚ SZEGMENS (READING, NAPONTA KÉTSZER)



**VESZÉLYT HORDOZÓ JELENSÉGEK KORAI FELISMERÉSE  
(3-5 nappal az esemény várható bekövetkezése előtt)**

ECMWF  
határfeltételek

## ES ELŐREJELZŐ RENDSZER RÖVIDTÁVÚ SZEGMENS (BUDAPEST, NAPONTA NÉGYSZER)

Rövidtávú előrejelző  
rendszer (ALADIN)

„KATEGORIKUS” ELŐREJELZÉS

ETKF

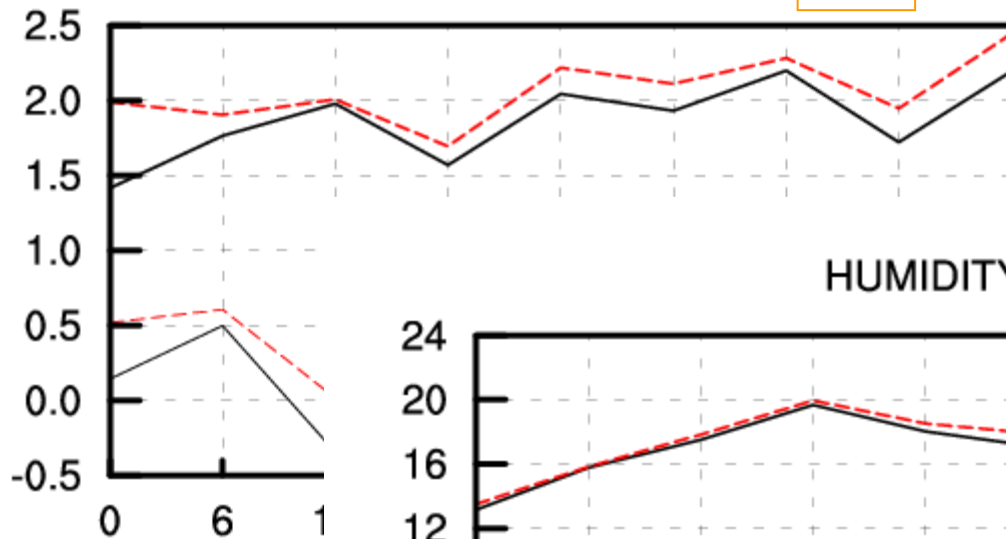
VALÓSZÍNŰSÉGI (EPS) ELŐREJELZÉS

**VESZÉLYT HORDOZÓ JELENSÉGEK PONTOSÍTÁSA  
A SZÉLSŐSÉG NAGYSÁGRENDEJE, ILLETVE A  
TÉRBELI ÉS IDŐBELI LOKALIZÁCIÓ TEKINTETÉBEN  
(Kb. 2 nappal az esemény várható bekövetkezése előtt)**

# ÉK ECMWF SZISZTEMATIKUS ÉS KÖZÖSSÉGEK (ECMWF TÁRS)

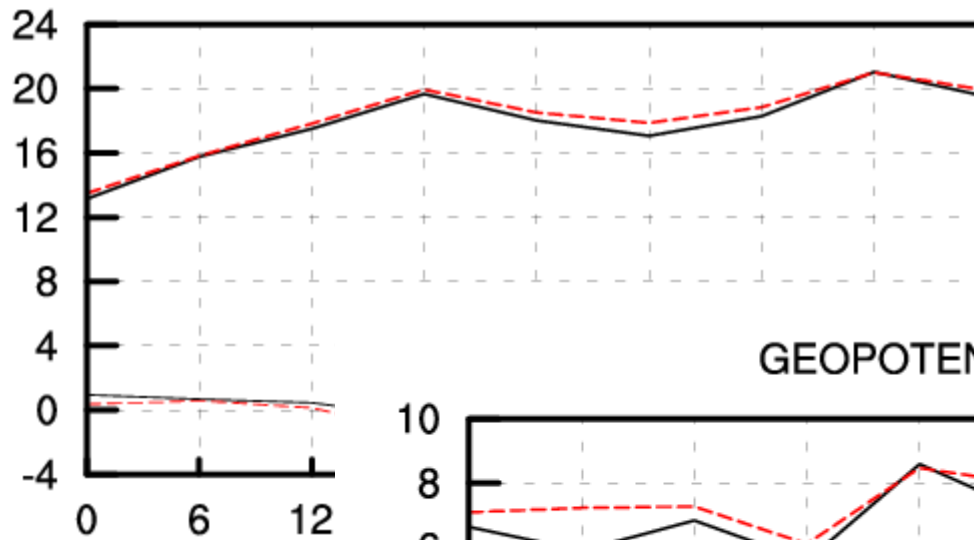
TEMPERATURE

2m



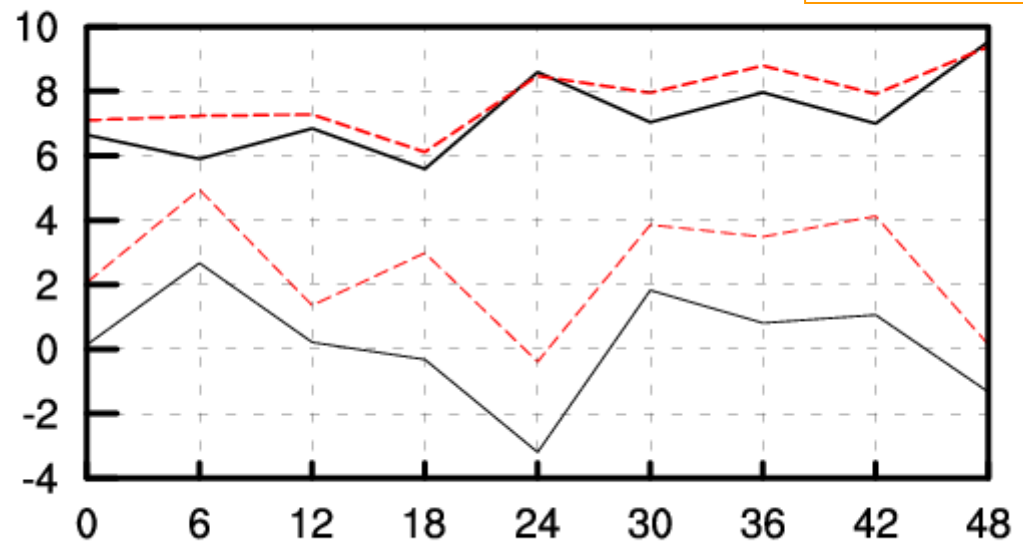
HUMIDITY

850 hPa

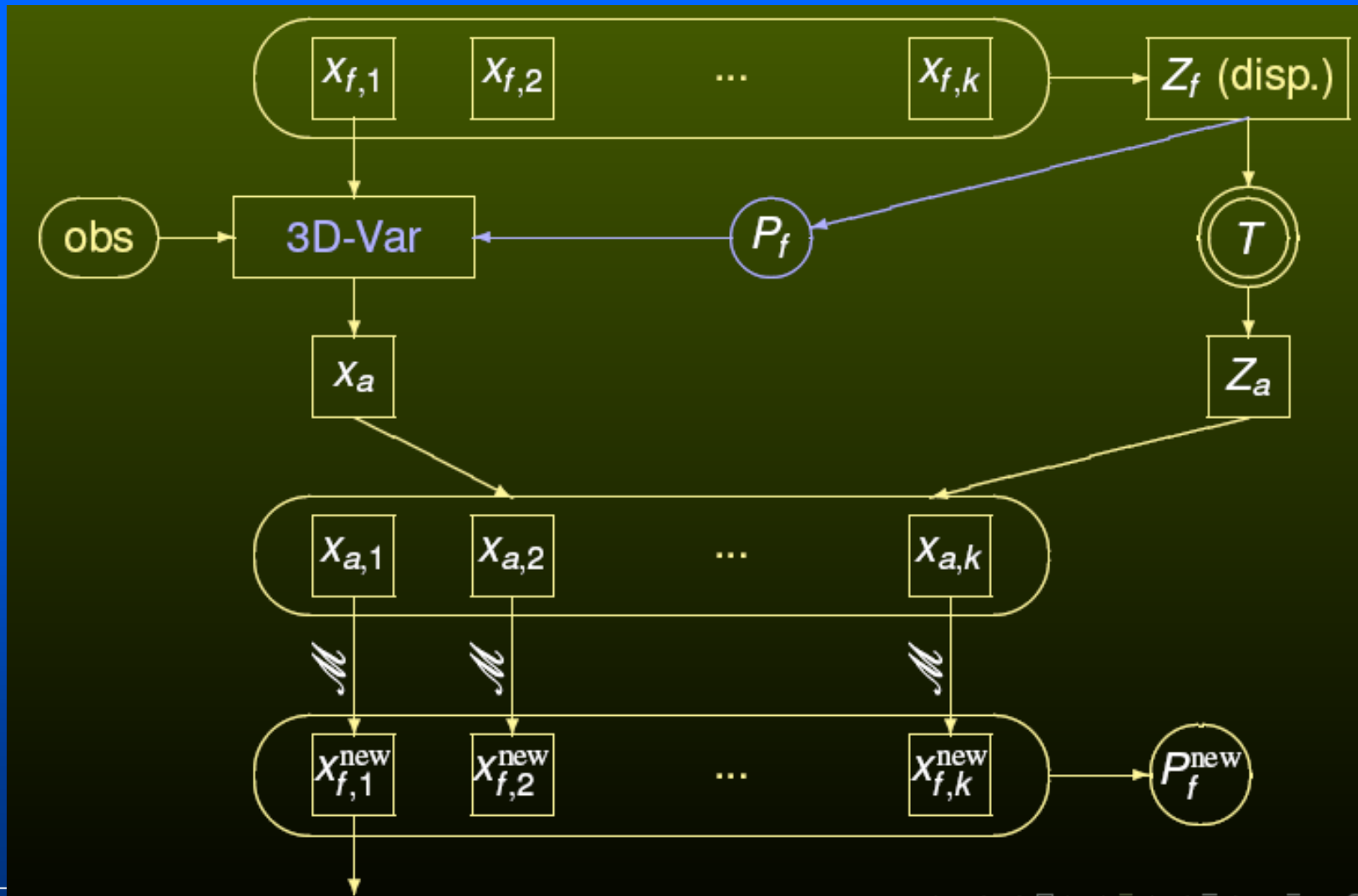


GEOPOTENTIAL

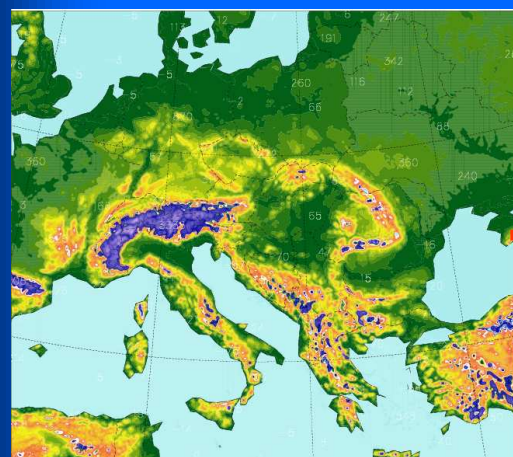
700 hPa



# ENSEMBLE TRANSFORM KALMAN SZŰRŐ (ETKF)

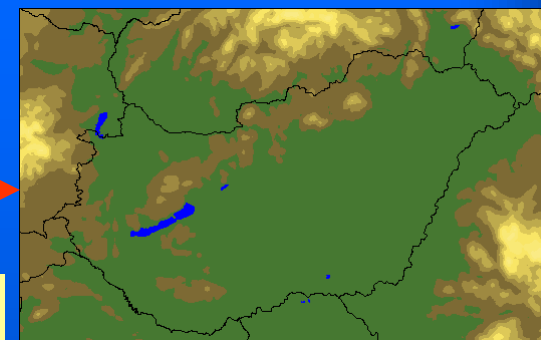


# AZ EGYSÉGES ELŐREJELZŐ RENDSZER ELEMELI: ULTRA-RÖVIDTÁVÚ SZEGMENS (BUDAPEST, NAPONTA NYOLCSZOR)



ALADIN  
határfeltételek

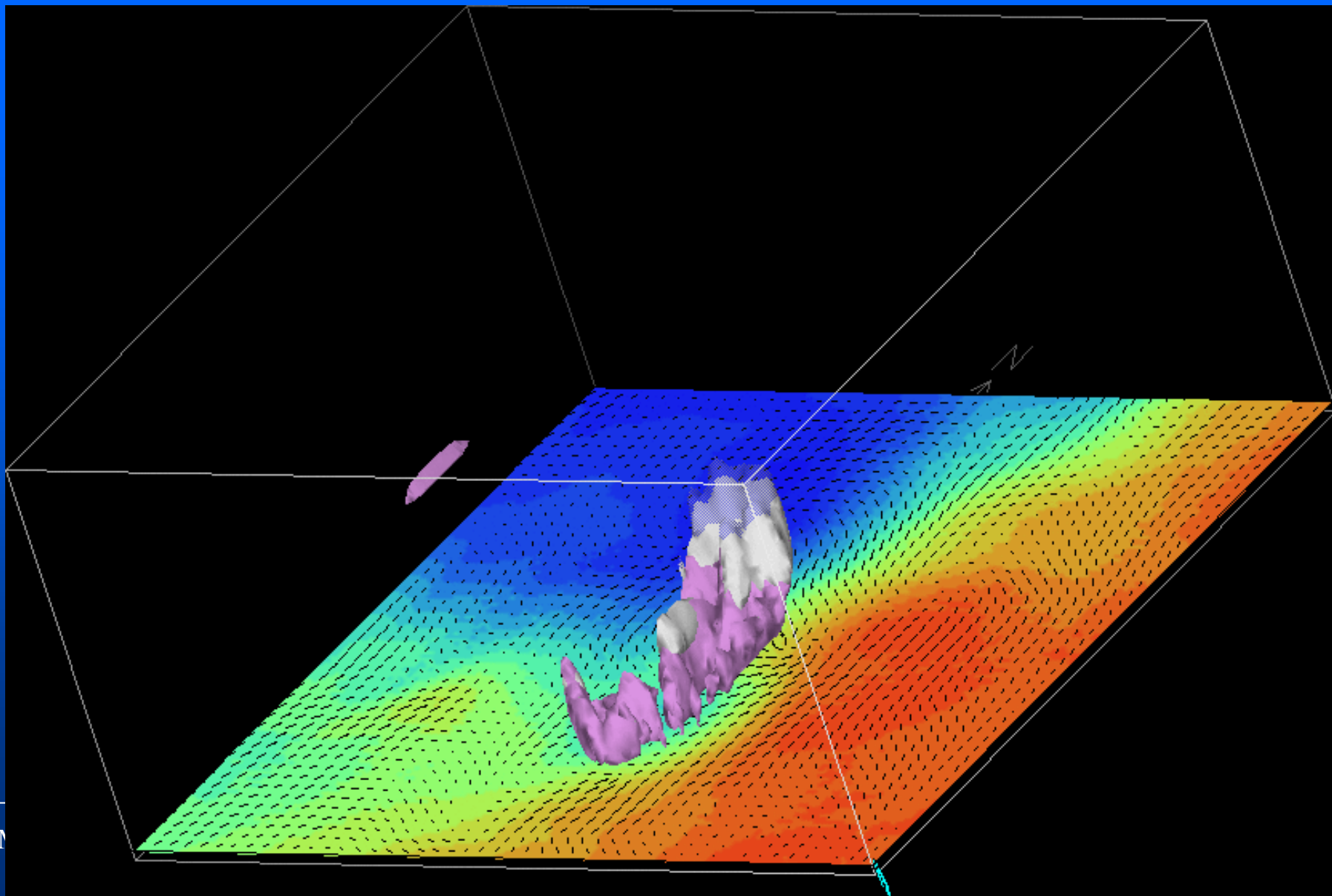
Ultra-rövidtávú előrejelző  
rendszer (AROME)



**VESZÉLYT HORDOZÓ JELENSÉGEK TELJES TÉRBELI  
ÉS IDŐBELI PONTOSÍTÁSA**

**(Kb. 12-24 órával az esemény várható bekövetkezése előtt)**

# NEM-HIDROSZTATIKUS MODELLEZÉSE: ZIVATAROK



# ÖSSZEFOGLALÁS, KITEKINTÉS



## ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK (1)

- Az időjárás (és az éghajlat) előrejelzésében a numerikus modellek nélkülözhetetlenek
- A kategorikus előrejelzéseket kiegészíteni szükséges valószínűségi információkkal (együttes előrejelzések növekvő szerepe)
- A modellek folyamatos fejlesztése elengedhetetlen (nemzetközi projekteken való részvétel fontos a szükséges munkaerő biztosítására)
- A numerikus modellek fejlesztése komoly szakértelmet igényel a megfelelő egységes és konzisztens rendszer létrehozása érdekében
- Az ingyenesen elérhető „fekete-doboz típusú” modellek alkalmazása felhasználóbarát, de korlátozott eredményekkel kecsegtet

## ÖSSZEFOGLALÁS, KÖVETKEZTETÉSEK (2)

- Az egységes időjárási (és éghajlati) előrejelző rendszer számos eleme már rendelkezésre áll (a többi fejlesztése fontos és szükséges!!) az Országos Meteorológiai Szolgálatnál
- A numerikus modellek fejlesztéséhez és alkalmazásához szükséges infrastruktúrát (nagy teljesítményű számítógépek, megfigyelések, távközlés stb.) és humán erőforrást biztosítani szükséges a teljes egységes és konzisztens rendszer kiépítéséhez
- Ma, Európában legalább 22 ország a fentiekhez hasonló alapokon képzei el az időjárás előrejelzését megalapozó numerikus prognosztikai tevékenységét (ALADIN és HIRLAM tagországok)



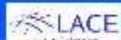
# SRNWP Consortia in Europe



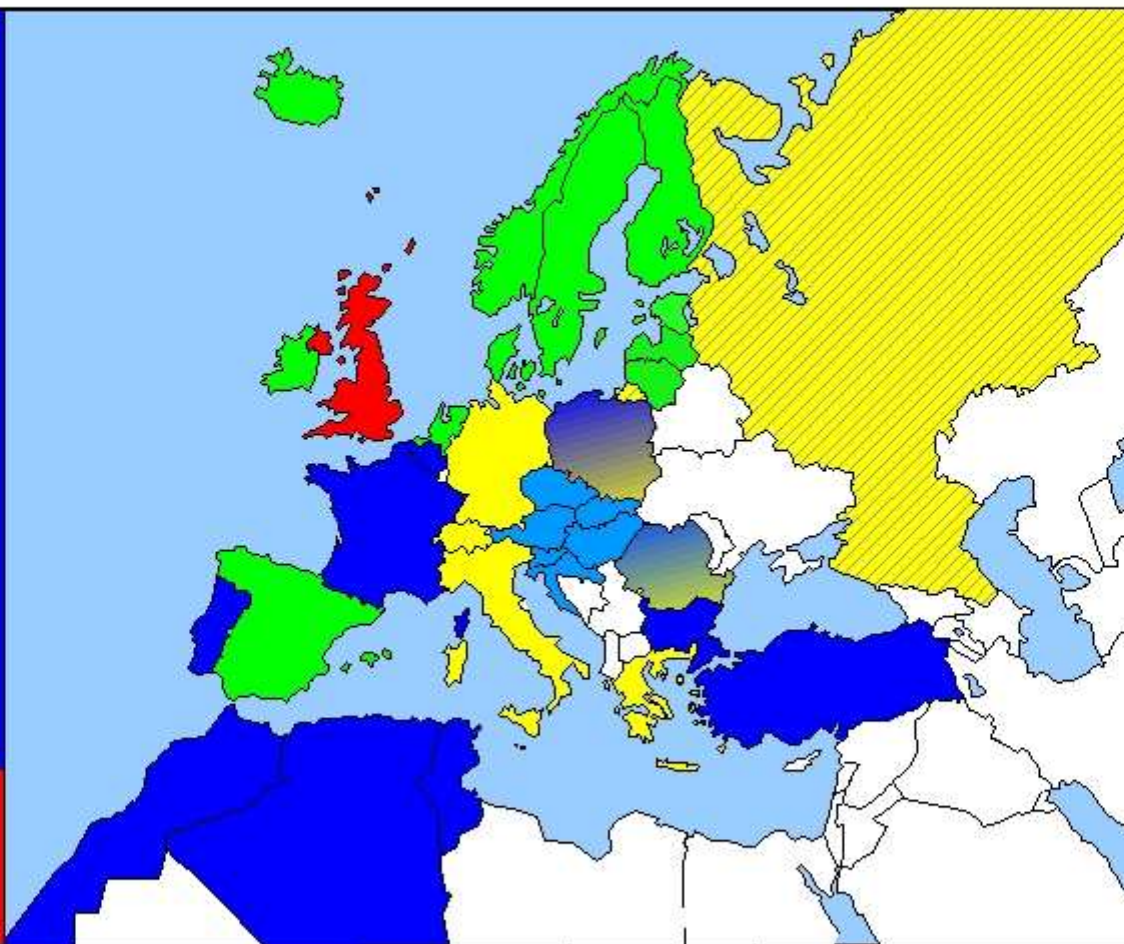
## ALADIN

Algeria  
Belgium  
Bulgaria  
France  
Morocco  
Poland  
Portugal  
Tunisia  
Turkey

Austria  
Croatia  
Czech Rep.  
Hungary  
Romania  
Slovakia  
Slovenia



**UKMO**  
United Kingdom



## HIRLAM

Denmark  
Estonia  
Finland  
Iceland  
Ireland  
Netherlands  
Norway  
Spain  
Sweden  
(Latvia)  
(Lithuania)

## COSMO

Germany  
Greece  
Italy  
Poland  
Romania  
Switzerland  
(Russia)



***Köszönöm szépen a  
figyelmet!***