

Big Data az időjárás-előrejelzésben és az éghajlatváltozás kutatásában

Szépszó Gabriella
szepso.g@met.hu

Országos Meteorológiai Szolgálat



MAFIHE Téli Iskola
2015. február 2.

TARTALOM

1. Motiváció
2. A numerikus prognosztika alapjai
3. Művelet- és adatigény
4. Gyakorlat
5. Felhasználás
6. Összefoglalás

TARTALOM

1. Motiváció
2. A numerikus prognosztika alapjai
3. Művelet- és adatigény
4. Gyakorlat
5. Felhasználás
6. Összefoglalás

Motiváció

- Az időjárás nemcsak az angolok kedvelt társalgási témája
- Szeretnénk ismerni, kiszámítani a jövőt
- A várható időjárás (és éghajlatváltozás) ismerete nemcsak kényelmi szempontból érdekes – felkészülés (élet- és vagyonvédelem, gazdaság)
- Az időjárás és az éghajlati rendszer viselkedésének tanulmányozására, becslésére egyedüli út a modellezés (spekulatív megközelítéshez a rendszer túl bonyolult)

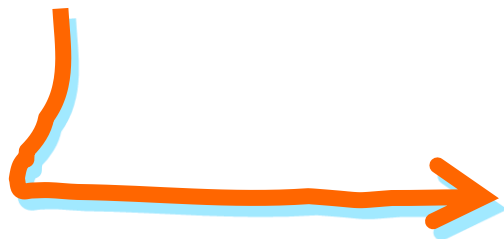


Big Data vonatkozások

- A meteorológiai modellezés számításigényes folyamat
- Elengedhetetlen a szimulációs bizonytalanságok számszerűsítése → ez még költségesebbé teszi a modellezést
- A rendszeres időjárás-előrejelzésekben és már egy éghajlati szimulációban is rengeteg adat keletkezik

Big Data vonatkozások

- A meteorológiai modellezés számításigényes folyamat
- Elengedhetetlen a szimulációs bizonytalanságok számszerűsítése → ez még költségesebbé teszi a modellezést
- A rendszeres időjárás-előrejelzésekben és már egy éghajlati szimulációban is rengeteg adat keletkezik



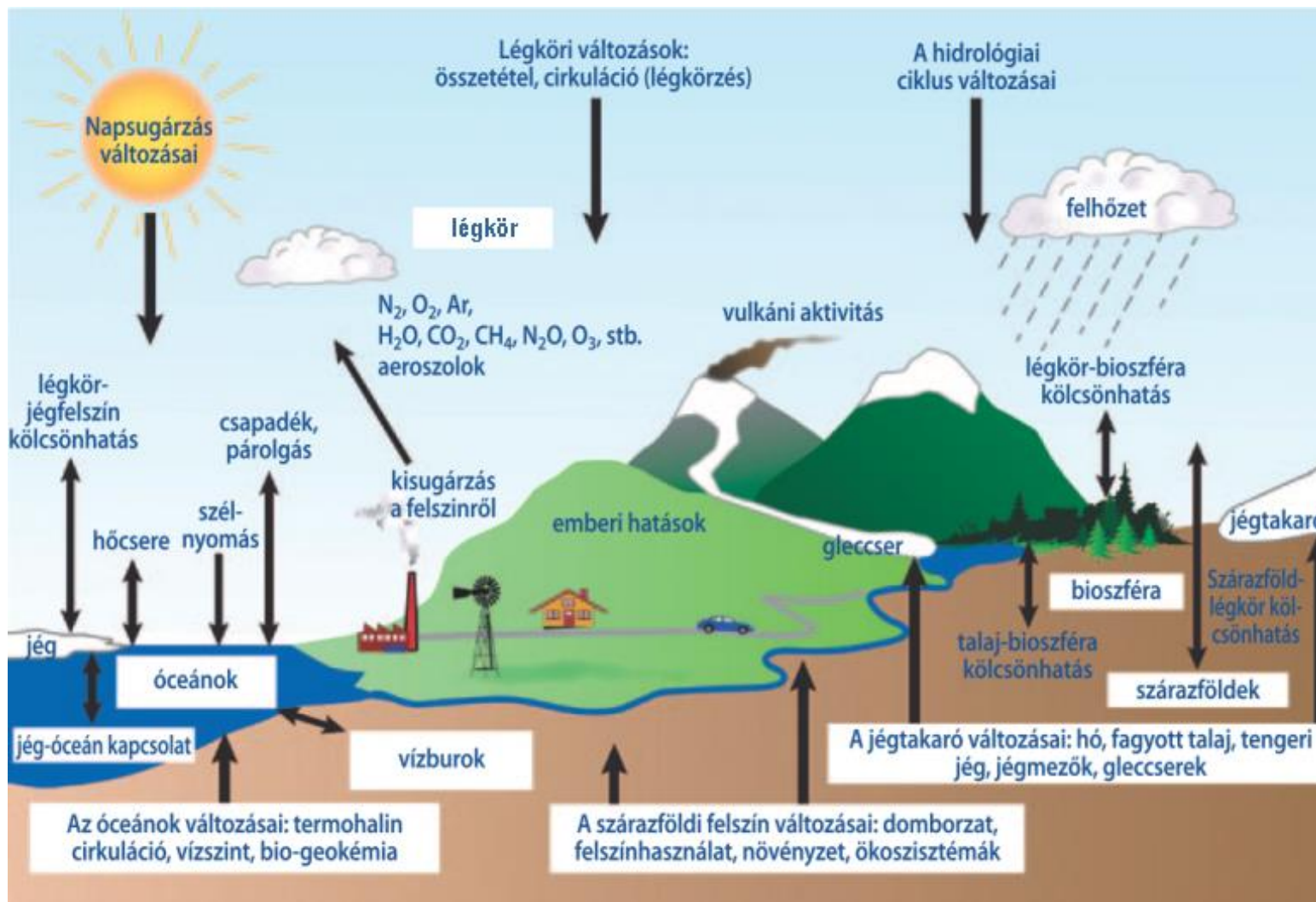
BigData vonatkozások:

1. Számítási kapacitás
2. Adattárolás

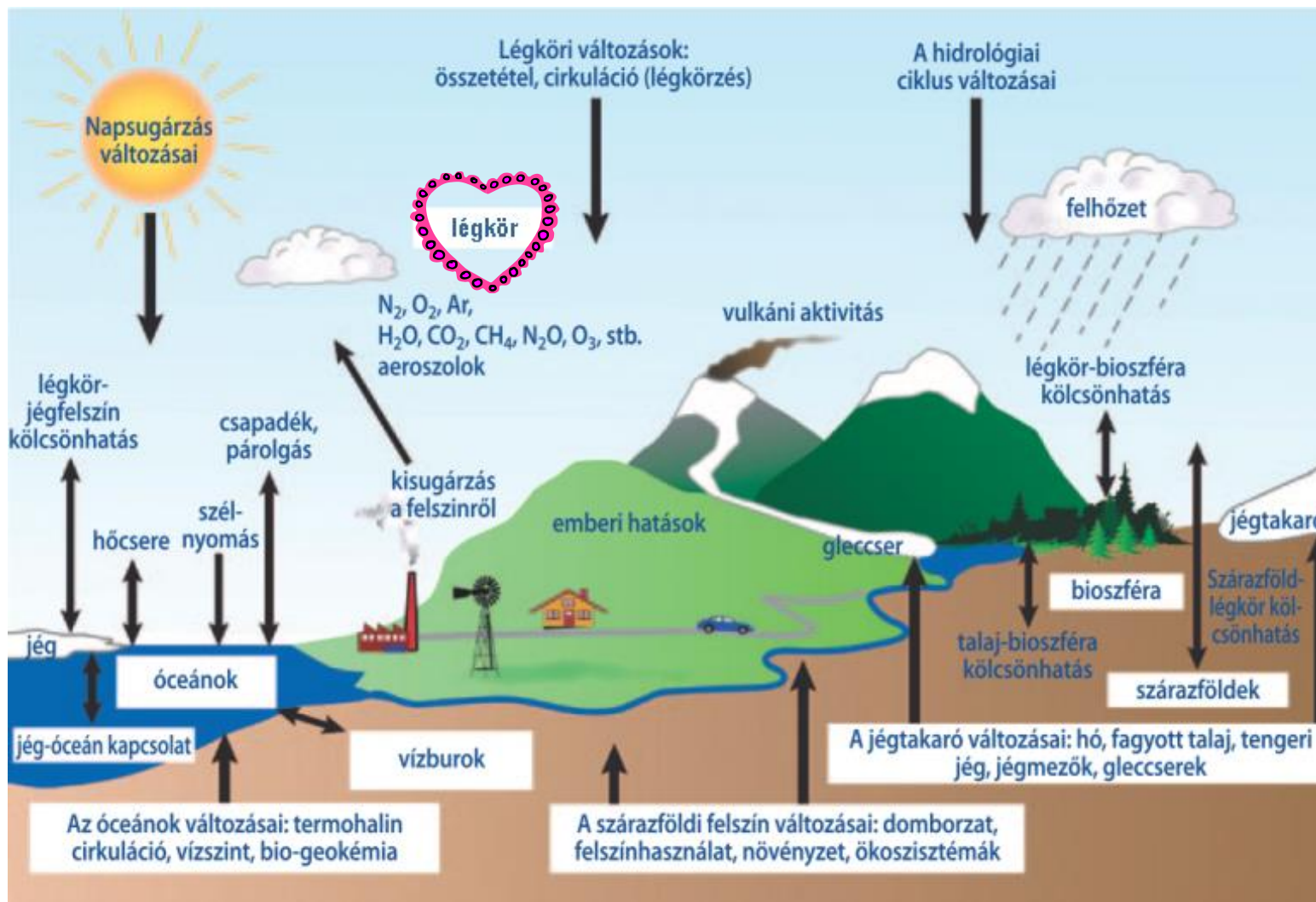
TARTALOM

1. Motiváció
2. A numerikus prognosztika alapjai
3. Művelet- és adatigény
4. Gyakorlat
5. Felhasználás
6. Összefoglalás

A leírni kívánt rendszer



A leírni kívánt rendszer



Időjárás és éghajlat

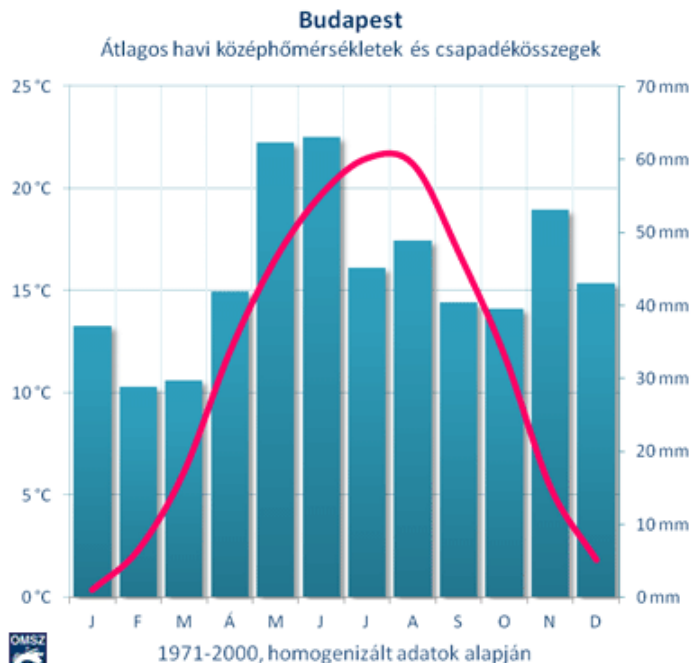
Időjárás:

- A légkör egy adott időponthoz tartozó állapota
- Jellemzése: pillanatnyi értékekkel

Budapest

Február 2., 10:00

1 °C



Éghajlat (klíma):

- Az éghajlati rendszer hosszú idő folyamán tanúsított állandósult viselkedése
- Jellemzése: statisztikai paraméterekkel

A számszerű előrejelzés alapjai

- Mind az időjárási folyamatokat, mind az éghajlatot fizikai törvények alakítják
- A fizikai folyamatok leírhatók egy matematikai egyenletrendszer segítségével
- A numerikus prognosztika a kormányzó fizikai folyamatok leírására alkotott matematikai egyenletrendszer megoldása

Kormányzó egyenletek

- A légkör esetében:

Mozgásegyenletek	$\frac{d\bar{\mathbf{v}}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \bar{\mathbf{g}} - 2\bar{\boldsymbol{\Omega}} \times \bar{\mathbf{v}} + \bar{\mathbf{F}} + \bar{\mathbf{S}}$
Tömeg-megmaradás	$\frac{d\rho}{dt} = -\rho \cdot \text{div} \bar{\mathbf{v}}$
Energia-megmaradás	$\frac{dQ}{dt} = c_p \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dp}{dt}$
Nedvesség tömeg-megmaradása	$\frac{dq}{dt} = -\frac{1}{\rho} \cdot M$
Állapotegyenlet	$p = \rho R T$

- Az óceán esetében:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + L(T) = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + A_H \nabla^2 T$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + L(S) = \kappa \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} + A_H \nabla^2 S$$

A légköri egyenletek

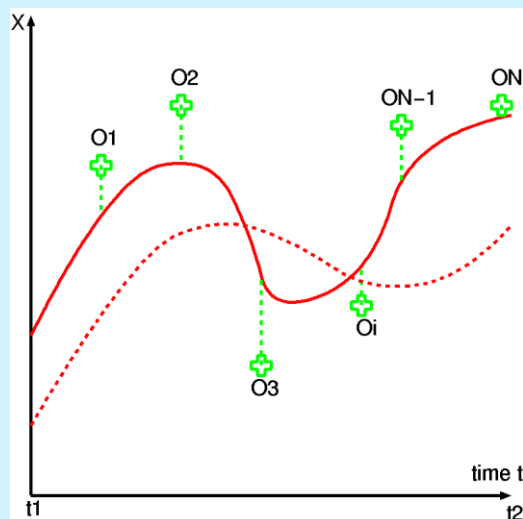
Mozgásegyenletek	$\frac{d\bar{v}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \bar{g} - 2\bar{\Omega} \times \bar{v} + \bar{F} + \bar{S}$
Tömeg-megmaradás	$\frac{d\rho}{dt} = -\rho \cdot \text{div} \bar{v}$
Energia-megmaradás	$\frac{dQ}{dt} = c_p \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dp}{dt}$
Nedvesség tömeg-megmaradása	$\frac{dq}{dt} = -\frac{1}{\rho} \cdot M$
Állapotegyenlet	$p = \rho R T$

- **Prognosztikai és diagnosztikai egyenletek** → nem-lineáris parciális differenciálegyenlet-rendszer:
- 7 egyenlet – 7 változó: (u,v,w), T, p, ρ, ρ_v
- Vegyes feladat: kezdeti- és peremfeltétel probléma
- Analitikusan nem oldható meg → numerikus módszerek

A numerikus megoldás

KEZDETI ÁLLAPOT MEGADÁSA

Mérési információk gyűjtése, ellenőrzése, modellrácsra előállítása (adatasszimiláció)



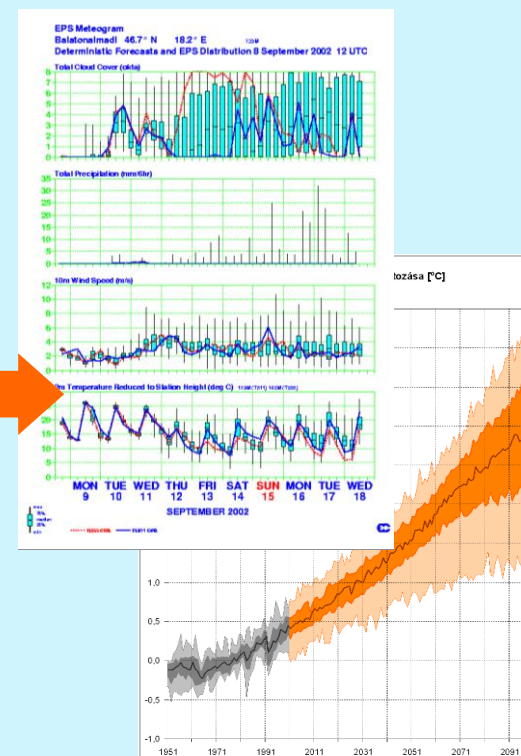
MODELL-INTEGRÁLÁS

A parciális differenciálegyenlet-rendszer közelítő megoldása



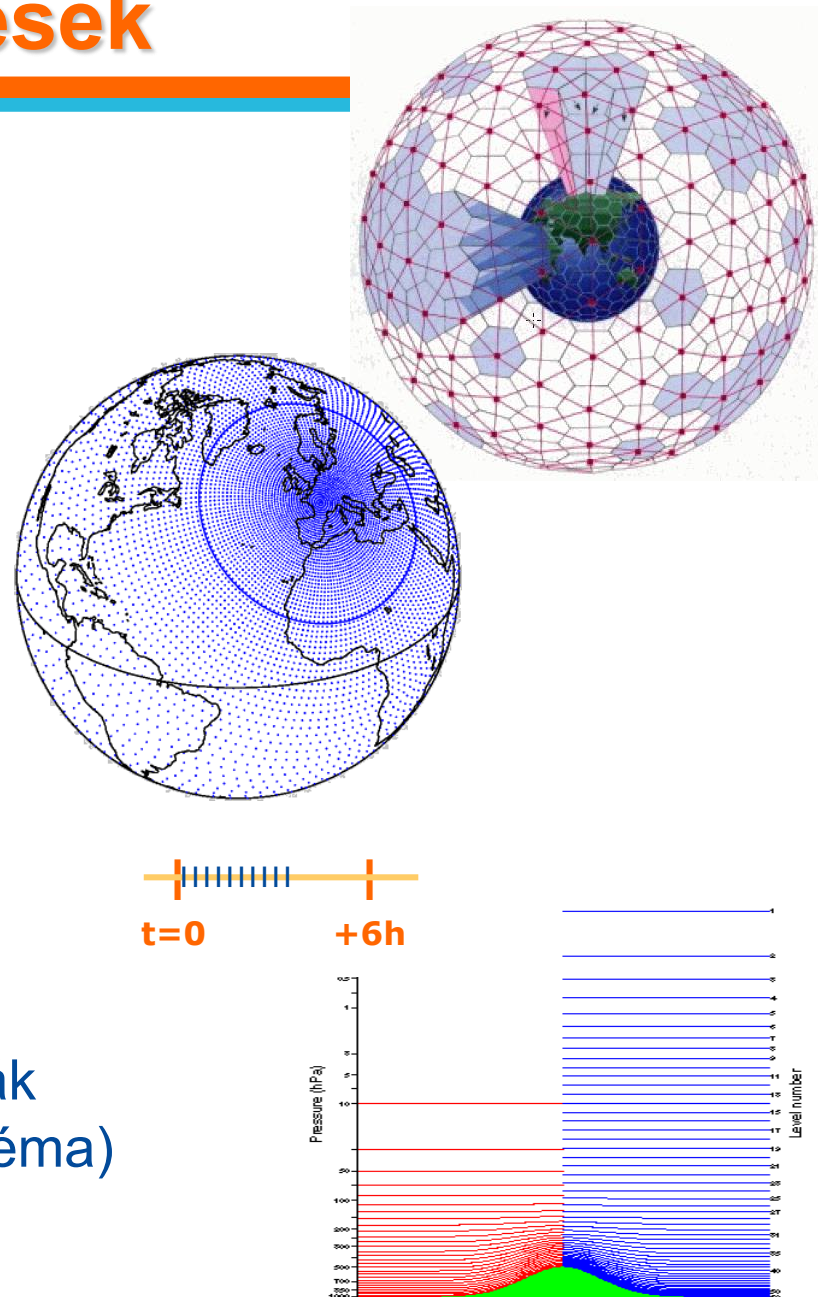
UTÓ-FELDOLGOZÁS

Speciális paraméterek származtatása, bizonytalanságok számszerűsítése, megjelenítés



Numerikus közelítések

- Térbeli diszkretizáció – 3D rács
 - Horizontális koordináták: gömbi koordináták, síkbeli leképezések
 - Deriváltak közelítése (véges különbségekkel vagy spektrális módszerrel)
 - Új vertikális koordináták (felszínkövető, nyomási, hibrid)
- Időbeli diszkretizáció:
 - Időlépések
 - Speciális explicit és implicit sémák (pl. szemi-Lagrange advekciós séma)



Parametrizáció

- Dinamika: explicit módon leírható folyamatok
– számítások csak a rácspontokra → átlagos mezőérték
- Fizikai parametrizációk:
 1. A túl komplex folyamatok,
 2. A rács távolságnál kisebb skálájú folyamatok modellezésére
- Leírás: statisztikus-empirikus módszerekkel a rácspontbeli értékek felhasználásával
- Példák: sugárzás, felhőfizika, diffúzió, turbulencia, planetáris határréteg, stb.



TARTALOM

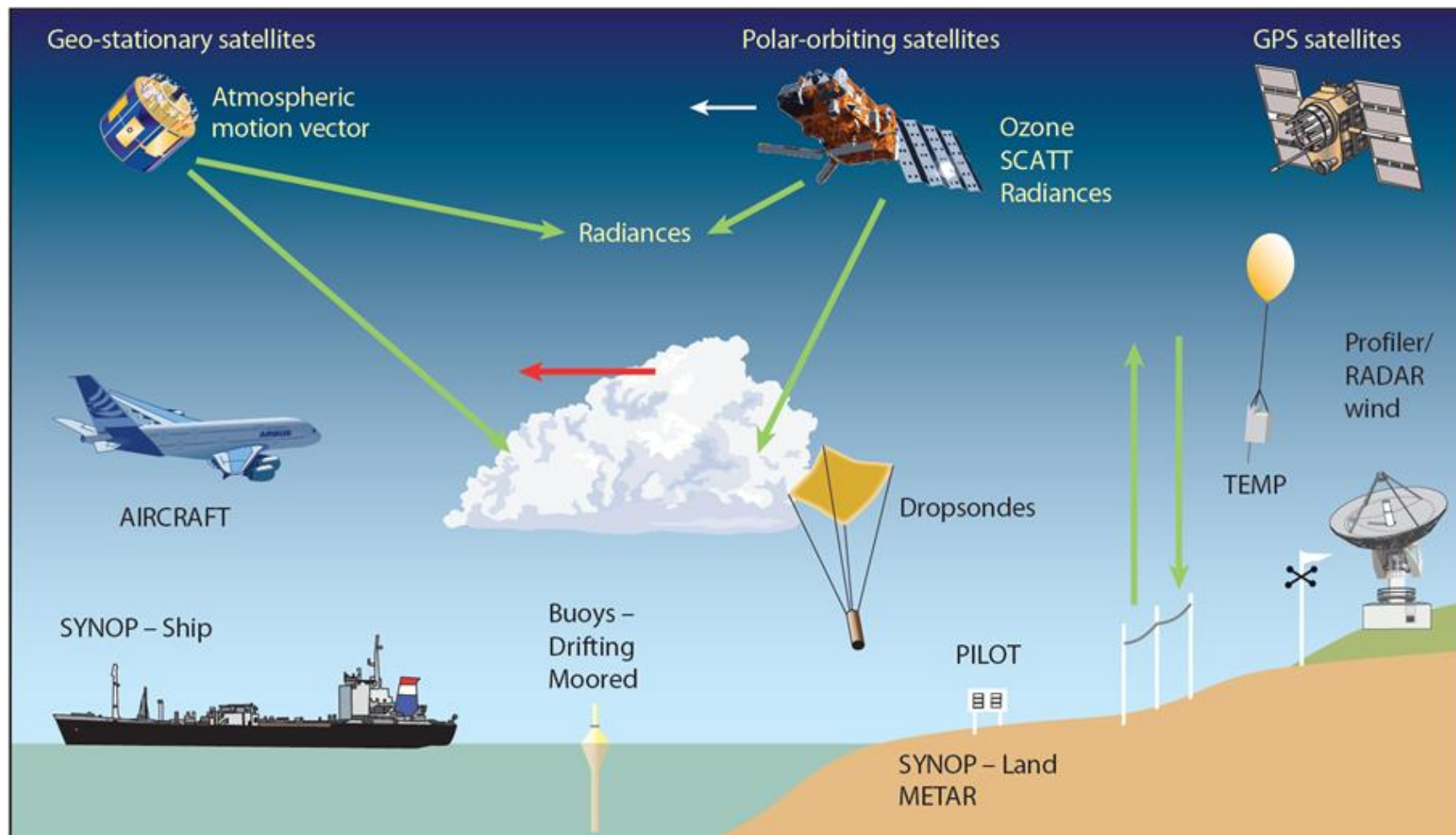
1. Motiváció
2. A numerikus prognosztika alapjai
3. Művelet- és adatigény
4. Gyakorlat
5. Felhasználás
6. Összefoglalás

Kezdeti feltétel meghatározása

Az adatasszimiláció lényege

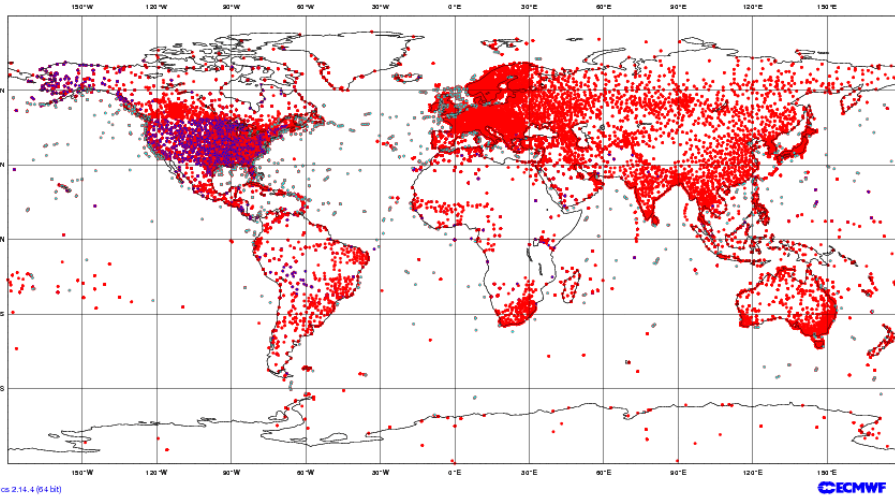
- Cél: a numerikus modellek számára minél pontosabb kezdeti feltétel (analízis) meghatározása (pontosság és konzisztencia)
- Minél pontosabban ismert a kiindulás, annál pontosabb az előrejelzés
- Rendelkezésre álló információk:
 - Megfigyelések
 - A modell korábbi futtatásainak eredményei
 - Egyéb dinamikai és fizikai törvényszerűségek
- A fenti információk optimális kombinációja különböző módszerekkel (optimális interpoláció, variációs módszerek, Kalman-filter)

Milyen megfigyeléseket használunk?

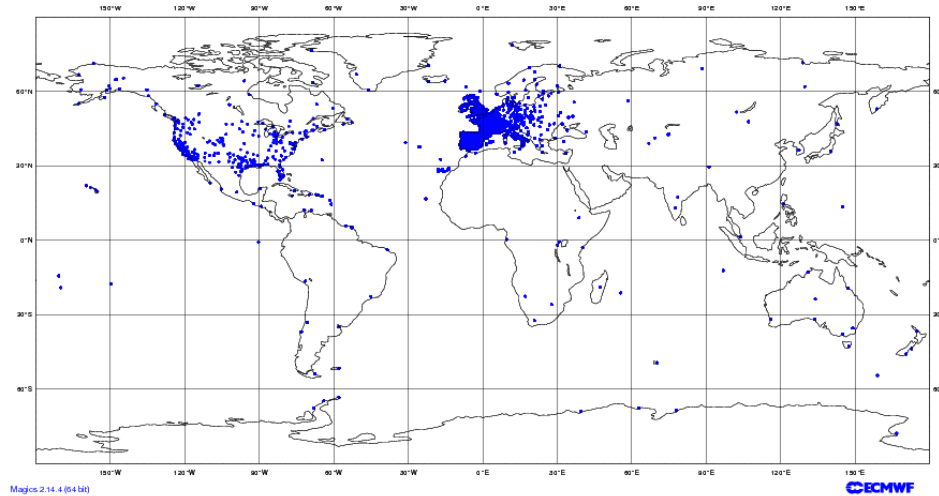


Milyen megfigyeléseket használunk?

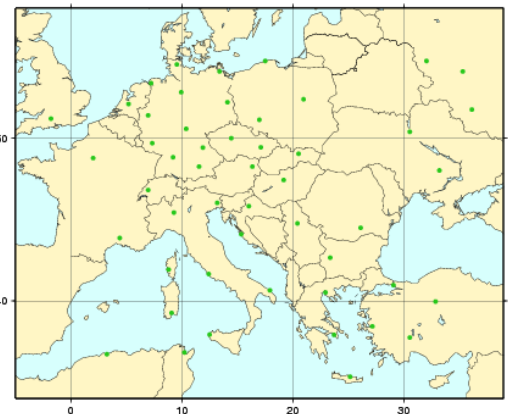
Felszíni



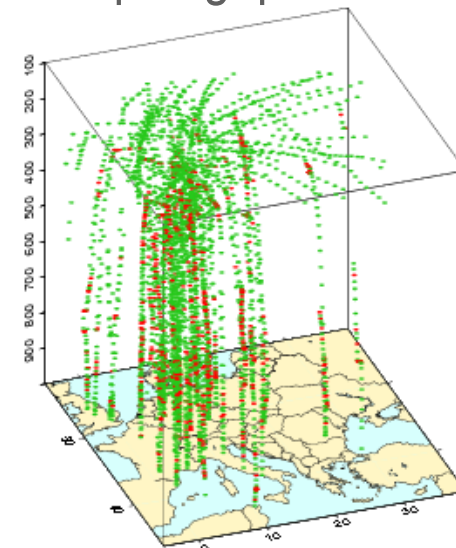
GPS



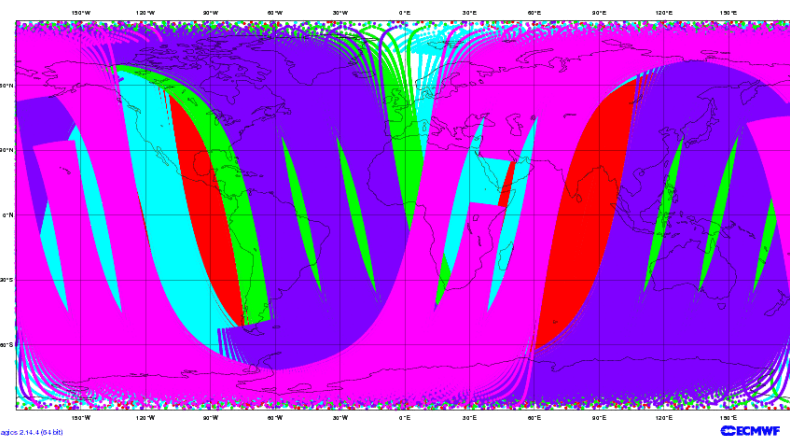
Rádiószondás



Repülőgépes

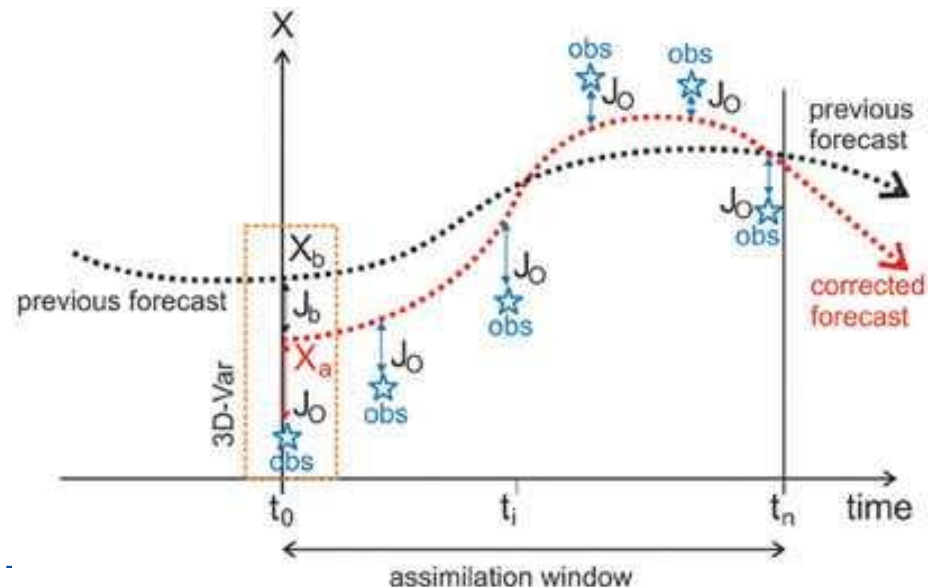


Műholdas



Hogyan állítjuk elő az analízist?

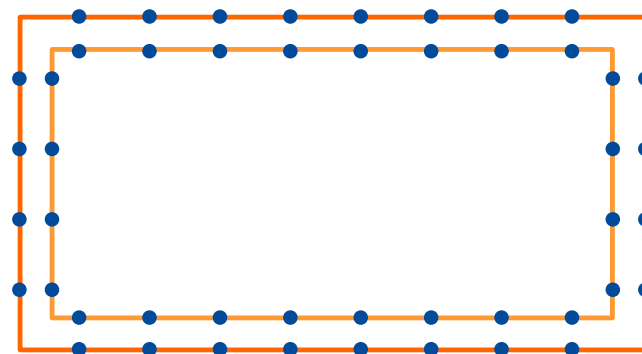
- A megfigyelési és az előrejelzési információkat a megbízhatóságukkal arányosan vesszük figyelembe
- Az információk ötvözésére többféle adatasszimilációs módszer létezik
 - Optimális interpoláció: a legkisebb négyzetek módszerén alapuló lineáris becslés (nem használható pl. távérzékelési adatoknál)
 - Variációs módszer: maximum likelihood módszerén alapul
 - Kálmán-filter: figyelembe veszi az előrejelzési hiba időbeli fejlődését



Modellintegrálás

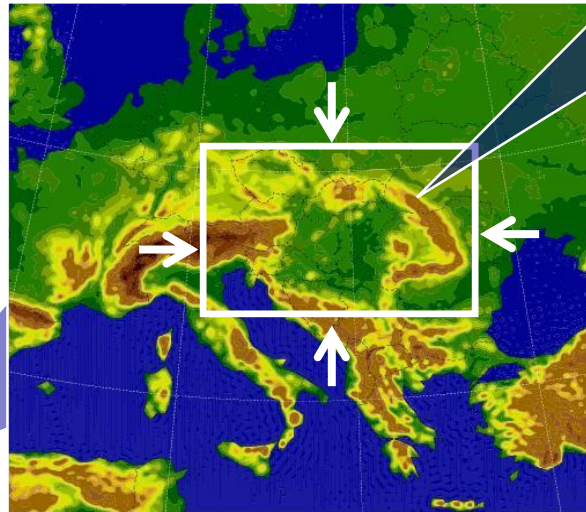
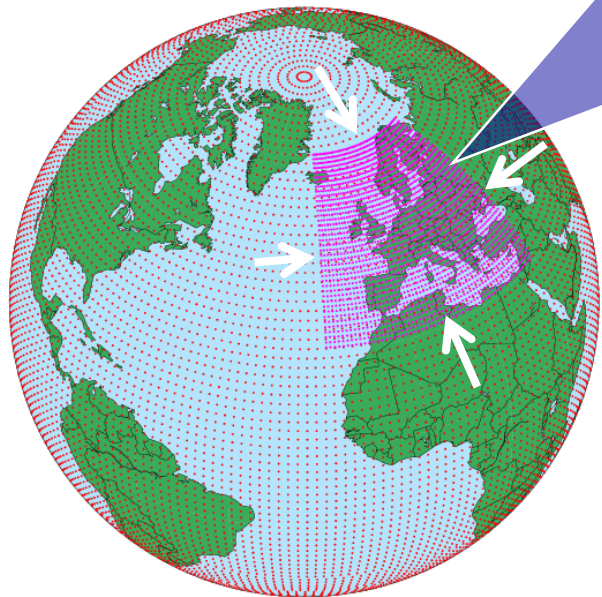
Határfeltételek

- Alsó, felső és oldalsó peremfeltételek (a modelltartomány pereme néha nem egy fizikai határ)
- **Korlátos tartományú modellek** (LAM):
 - Mezoskálájú és lokális jelenségek leírására
 - Kisebb terület, részletes felbontás → lehetővé válik a helyi modellfuttatás és fejlesztés
 - Oldalsó határfeltételeket igényelnek
- Ezeket gyakran globális modellek biztosítják: a tartomány oldalsó peremén prognosztikai változók időben változó értékei

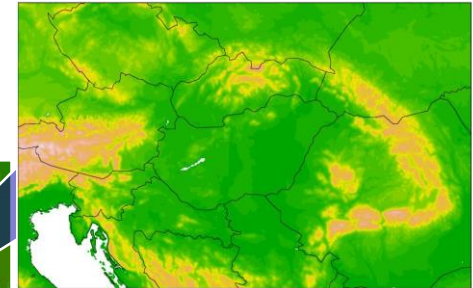


Egymásba ágyazott előrejelzések

Globális modell



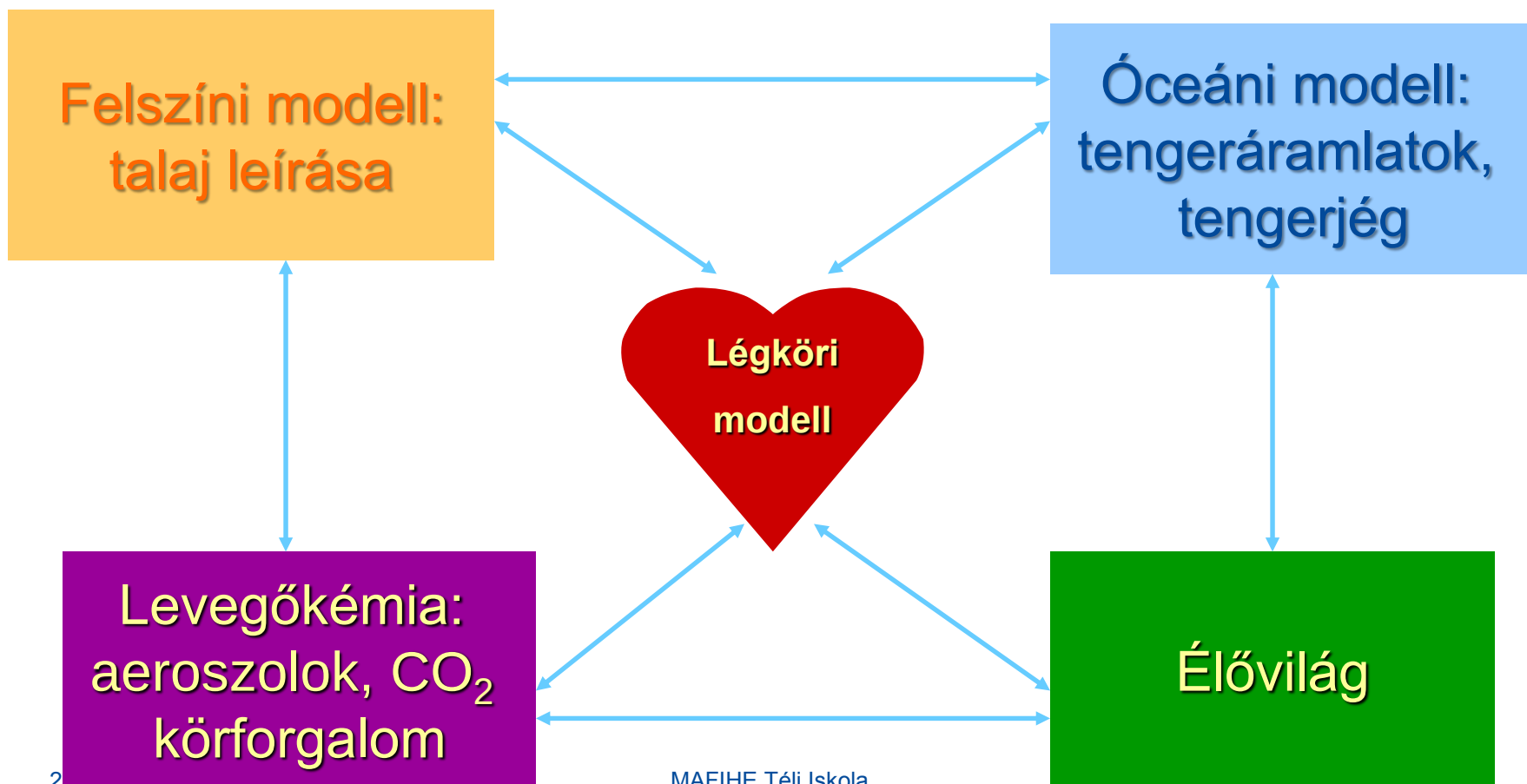
Regionális modell



Lokális modell

Kapcsolt modellrendszerek

Főként hosszabb időtávon használatos, a komponensek alsó, felső határfeltételeket vagy kényszerfeltételeket biztosít(h)a(t)nak egymásnak



Éghajlati modellek alkalmazása

1. Múltra vonatkozó tesztelés

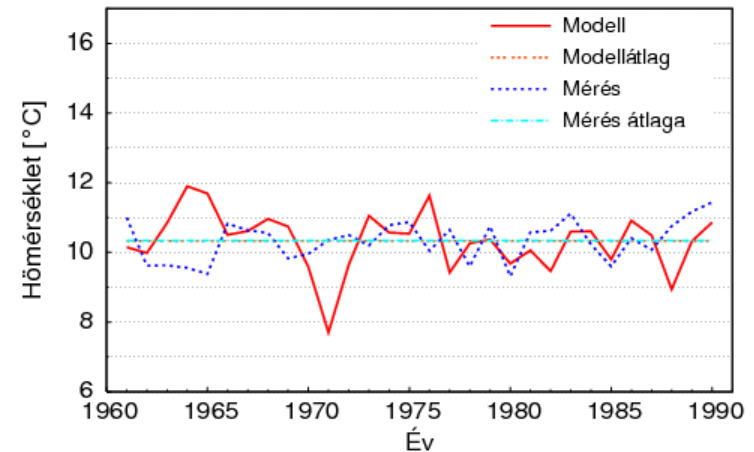
Elvárt pontosság: az éghajlat átlagos jellemzői több évtizedes (30-éves) skálán

2. Modellfejlesztés

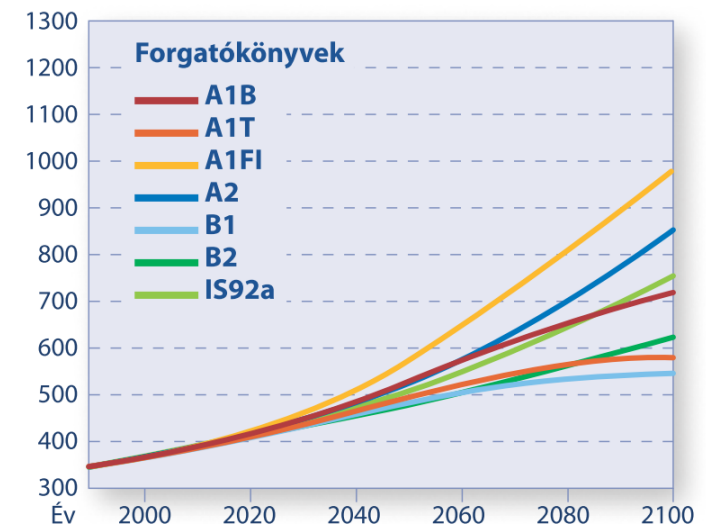
3. Jövőre vonatkozó projekciók – feltételes prognózisok

Szignifikáns éghajlatváltozási jel
→ a referencia- és a jövőbeli célidőszak „távolsága”

Magyarországi éves átlaghőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]



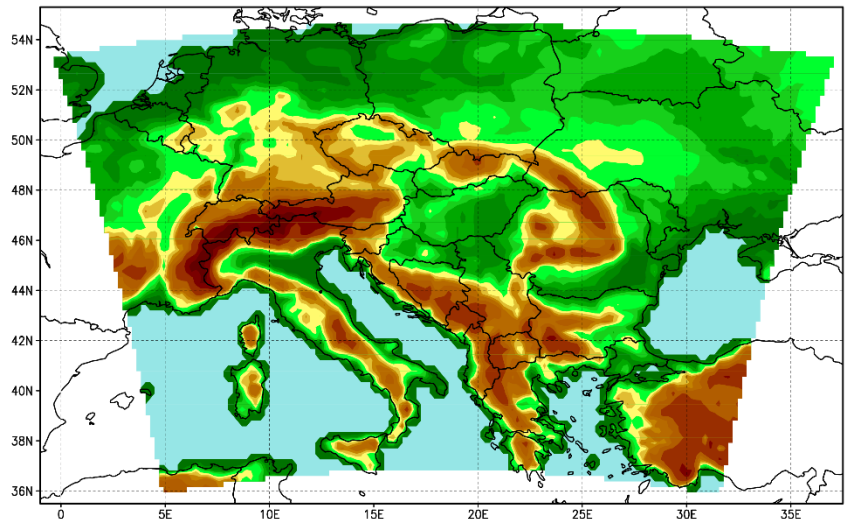
CO₂ koncentráció (ppm)



Éghajlati szimulációk számításigénye

- Az OMSZ-ban két jövőbeli időszakot vizsgálunk: 2021–2050 és 2071–2100; a referencia-időszak: 1961–1990
- Éghajlati szimulációk az **1951–2100 időszakra** (globális modellek: 1860-tól)
- Az OMSZ-ban néhány évvel ezelőtt egy nagyobb tartományra és **25 km-es felbontás** alkalmazására volt lehetőség:

$$\begin{array}{rcl} 81 \text{ pont} & & \\ \times & & \\ 101 \text{ pont} & & \\ \times & & \\ 20 \text{ szint} & & \\ = & & \\ 163\,620 \text{ rácspont} & & \end{array}$$



Időbeli lépések

- A meteorológiai előrejelzéseknél legalább **5 változót** (hőmérséklet, nedvesség, légnyomás, áramlási sebesség horizontális komponensei) írunk le a kiválasztott tartomány minden rácspontjában
- A differenciál-egyenletek integrálása **kis lépésekben** történik (lépéshossz $\sim$ stabilitás):

Időbeli lépések

- A meteorológiai előrejelzéseknek legalább **5 változót** (hőmérséklet, nedvesség, légnyomás, áramlási sebesség horizontális komponensei) írunk le a kiválasztott tartomány minden rácspontjában
- A differenciál-egyenletek integrálása **kis lépésekben** történik (lépéshossz ~ stabilitás):

Időjárás: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
0h 1h

24 óra:
720 lépés

Időbeli lépések

- A meteorológiai előrejelzéseknek legalább **5 változót** (hőmérséklet, nedvesség, légnyomás, áramlási sebesség horizontális komponensei) írunk le a kiválasztott tartomány minden rácspontjában
- A differenciál-egyenletek integrálása **kis lépésekben** történik (lépéshossz ~ stabilitás):

Időjárás: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
0h 1h

24 óra:
720 lépés

Éghajlat: |
0h 150 év

150 év:
~40 millió lépés

Időbeli lépések

- A meteorológiai előrejelzéseknek legalább **5 változót** (hőmérséklet, nedvesség, légnyomás, áramlási sebesség horizontális komponensei) írunk le a kiválasztott tartomány minden rácspontjában
- A differenciál-egyenletek integrálása **kis lépésekben** történik (lépéshossz ~ stabilitás):

Időjárás: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
0h 1h

24 óra:
720 lépés

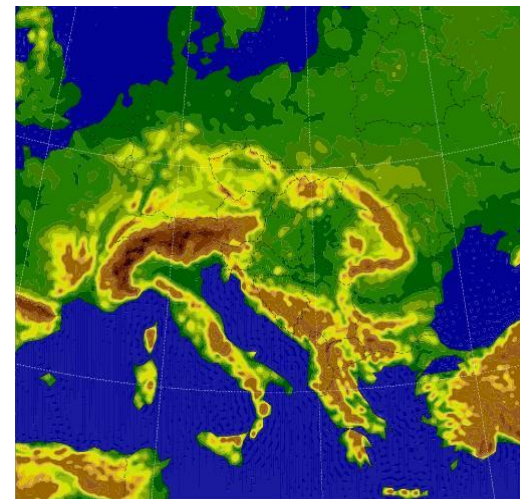
Éghajlat: |
0h 150 év

150 év:
~40 millió lépés

- Lépésenként összesen ~800 000, **szimulációnként ~ 10^{13} adat**

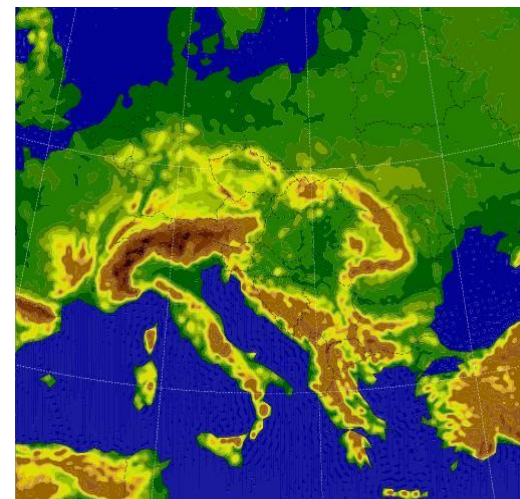
Időjárás-előrejelzések számításigénye

- Korlátos tartományú modell
 - Európai tartomány (3000 km x 2500 km)
 - 8 km-es felbontás (360x320 pont)
 - 49 függőleges szint
 - 5 prognosztikai változó (hőmérséklet, nedvesség, zonális és meridionális szélkomponensek, felszíni nyomás)
 - 5 perces időlépcső
 - 48 órás előrejelzés (576 lépés)



Időjárás-előrejelzések számításigénye

- Korlátos tartományú modell
 - Európai tartomány (3000 km x 2500 km)
 - 8 km-es felbontás (360x320 pont)
 - 49 függőleges szint
 - 5 prognosztikai változó (hőmérséklet, nedvesség, zonális és meridionális szélkomponensek, felszíni nyomás)
 - 5 perces időlépcső
 - 48 órás előrejelzés (576 lépés)



Összesen $\sim 10^{10}$ adat előrejelzésenként

Utó-feldolgozás

Eltárolt információk

- Mit tartunk meg? Szempontok:
 - Mit szeretnénk vizsgálni?
 - Fel szeretnénk-e még használni az ebből kiinduló futtatásokhoz (további leskálázáshoz)?
 - Szükséges-e részleges/teljes újrafuttatás?



Előrejelzéseknél 1-3, éghajlati szimulációknál 3-6 óránkénti közbülső file-ok + nyers outputok

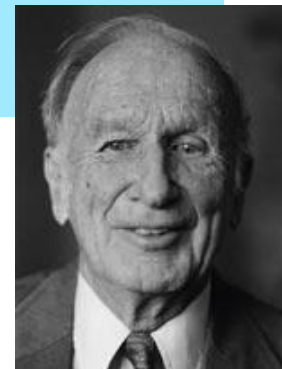
- Tárolni kell még:
 - Megfigyelések
 - Határfeltételek (globális mezők)
 - Egyéb változók
 - Feldolgozott adatok



4-5 TB

Előrejelzési és projekciós bizonytalanságok

Probléma-felvetés

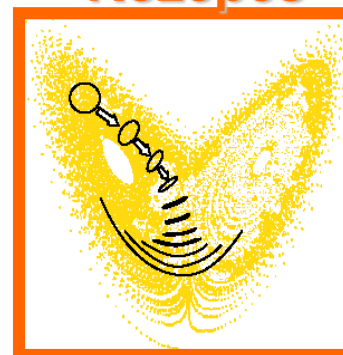


- Edward Lorenz (1972): “Okozhat-e egy braziliai pillangó szárnycsapása tornádót Texasban?”
- A légkör bonyolult turbulens rendszer, nagyfokú érzékenységet mutat a kiindulási állapotára (akárcsak a kaotikus rendszerek)
- Lorenz egy egyszerűsített modellel igazolta, hogy egy meteorológiai folyamat előrejelezhetősége nagyban függ annak kiindulási feltételeitől
- Egy előrejelzés csak akkor teljes, ha hozzá tudunk rendelni megbízhatósági mutatókat (a beválás valószínűségét)

Magas



Közepes



Alacsony

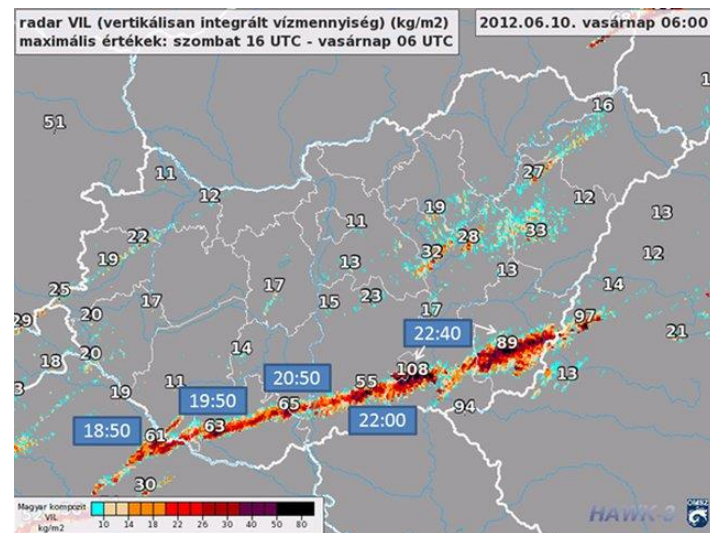


Időjárás-előrejelzések bizonytalanságai

1. Kezdeti feltételek bizonytalansága: a kiindulási feltétel nem határozható meg pontosan (a jelen állapot mérése is hibával terhelt)
2. Modellekből eredő bizonytalanság: eltérő közelítő módszerek a modellekben, ami az eredményekben is különbségekhez vezet

+ A légkör kaotikus tulajdonságokkal bír: a fenti hibák növekedése erősen függ az időjárási helyzettől

Pl. könnyebb előrejelezni egy anticiklonális helyzetet, mint egy zivatarrendszer fejlődését

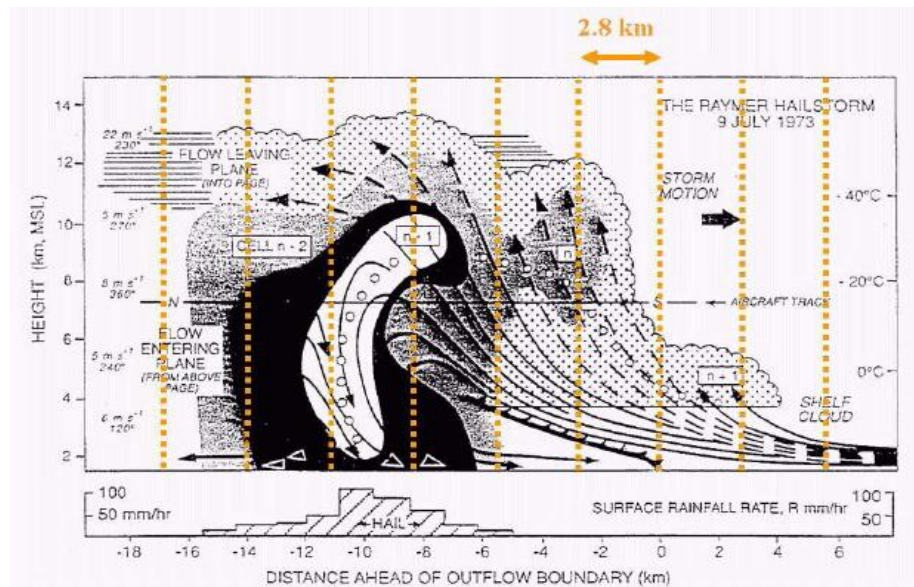


Ha kategorikus előrejelzést adunk és a fenti bizonytalanságokat

- nem érzékeltetjük, azzal a tökéletes előrejelzés látszatát keltjük;
- nem számszerűsítjük, azzal a felhasználót információtól fosztjuk meg

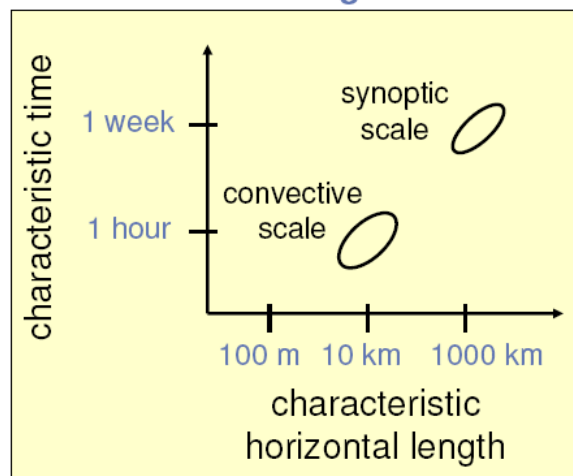
Speciális eset – konvektív skála

- Intenzív hiba-növekedés
- Korlátozott előrejelezhetőség
- „Csak” a modellfejlesztés és a felbontás növelése egy határon túl már nem növeli az előrejelzés értékét
- Különösen indokolt a bizonytalanságok számszerűsítése
- Igényli a felhasználók és a szakemberek felkészítését

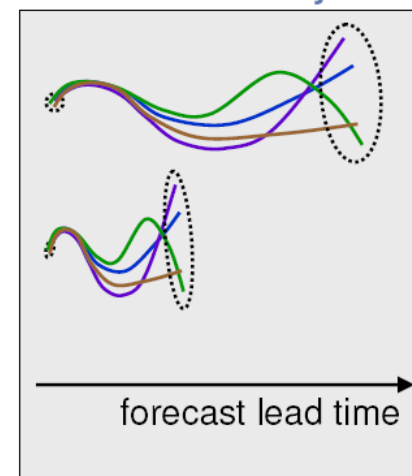


Becker, 2010

Scale Diagram



Predictability

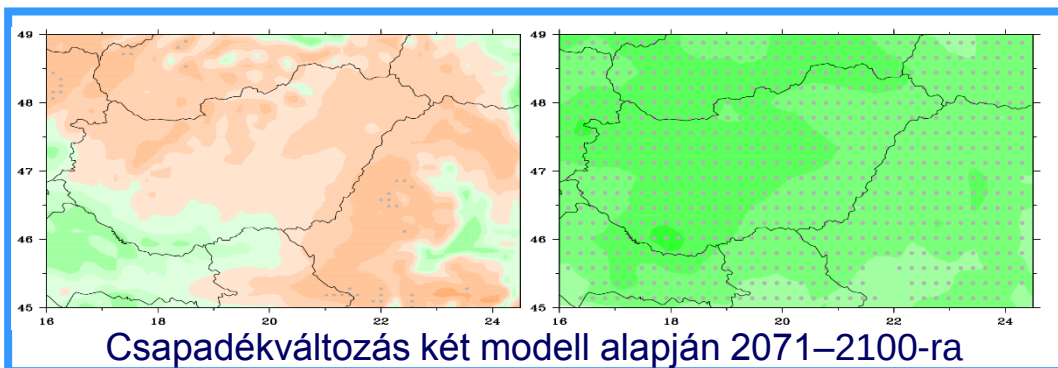
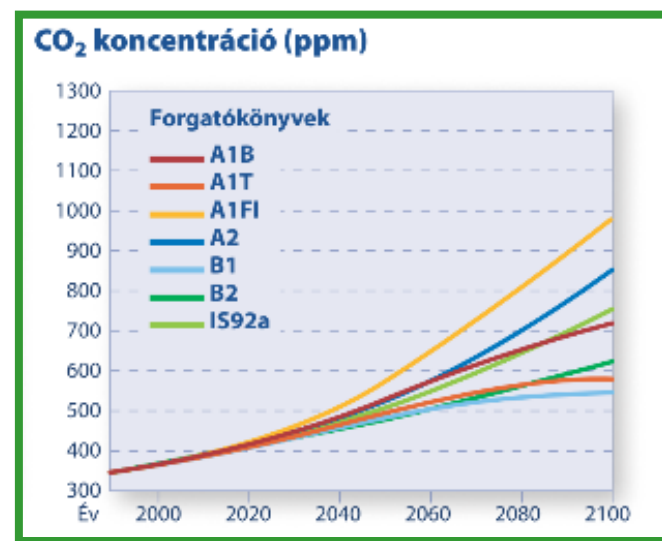
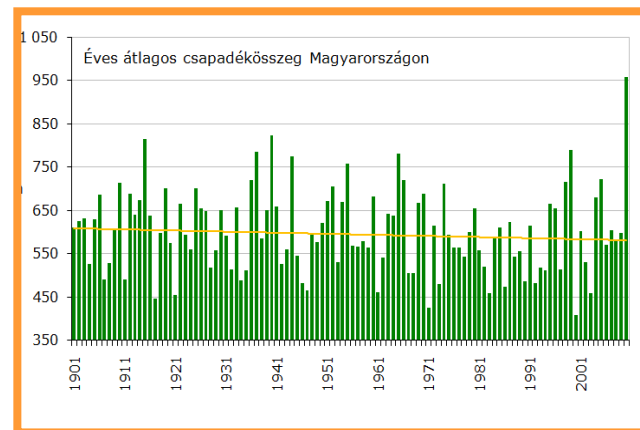


Éghajlati szimulációk bizonytalanságai

1. **Természetes változékonyság:**
minden külső hatás, kényszer
nélkül létezik

2. **Emberi tevékenység**
bizonytalansága: forgatókönyvek

3. **Modellek eltéréseiből** eredő
bizonytalanság: a modellek eltérő
közelítő módszereket használnak
→ ez az eredményekben is
különbségekhez vezet



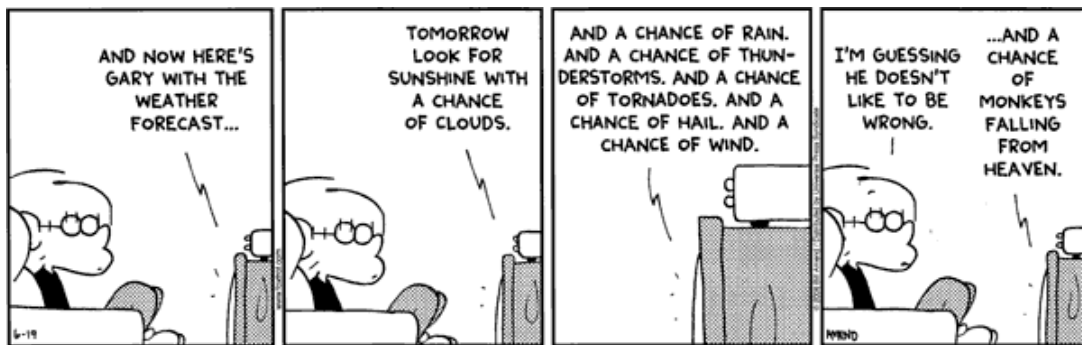
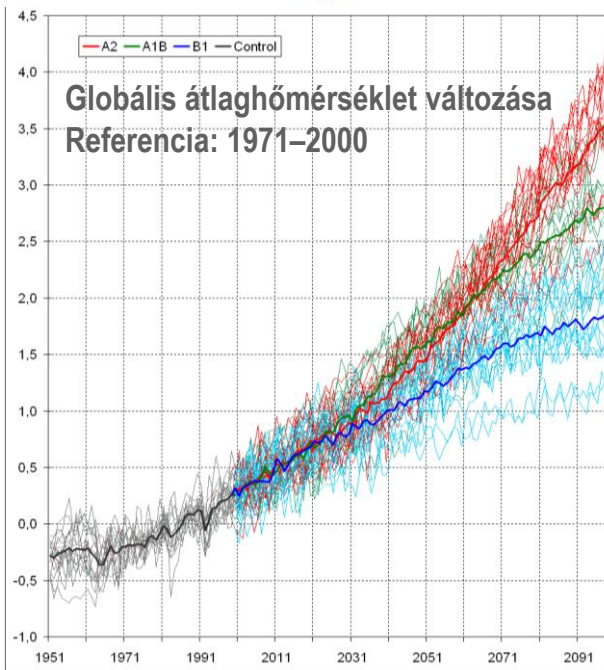
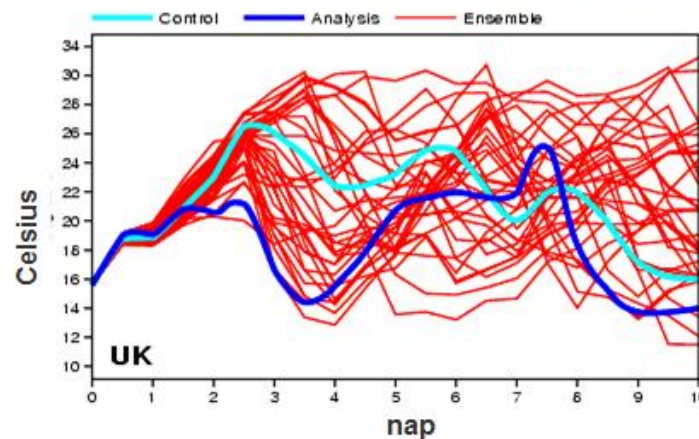
Mi van még ezeken kívül?

	Időjárás- előrejelzés	Szezonális előrejelzés	Éghajlati előrejelzés	Éghajlati projekció
Időtáv	1 óra – 15 nap	1 hónap – 1 év	1–10 év	30 év –
Leírt folyamatok és használt modell- komponensek	Légköri (és felszíni)	Légköri, felszíni, óceáni és jég- felszíni	Teljes éghajlati rendszer	Teljes éghajlati rendszer
Meghatározó kényszer	Kezdeti feltétel	Kezdeti feltétel, felszíni határfeltétel	Kezdeti feltétel, felszíni határfeltétel, emberi tevékenység	Emberi tevékenység
Előrejelzés interpretációja	Adott időpontra és helyre vonatkozik	Adott hónap eltérése az éghajlati átlagér- tékektől, nagyobb területen	Néhány hónap, év eltérése az éghajlati átlagértékektől, nagyobb területen	Több évtizedes időszak átlagértéke- inek eltérése egy referencia-időszak átlagos jellemzőitől, nagyobb területen
Példa	Front-átvonulás, konvektív helyzet	Trópusi ciklon- aktivitás, El Nino események	El Nino események	Tartós klímaváltozás

Bizonytalanságok számszerűsítése

- Ensemble módszer: egyetlen előrejelzés, projekció helyett több
- Módszerek a különböző bizonytalanságok leírására:
 - Perturbációs módszerek
 - Multi-módszerek
- Az ezekből készített előrejelzések, projekciók egyformán lehetségesek
→ valószínűségek

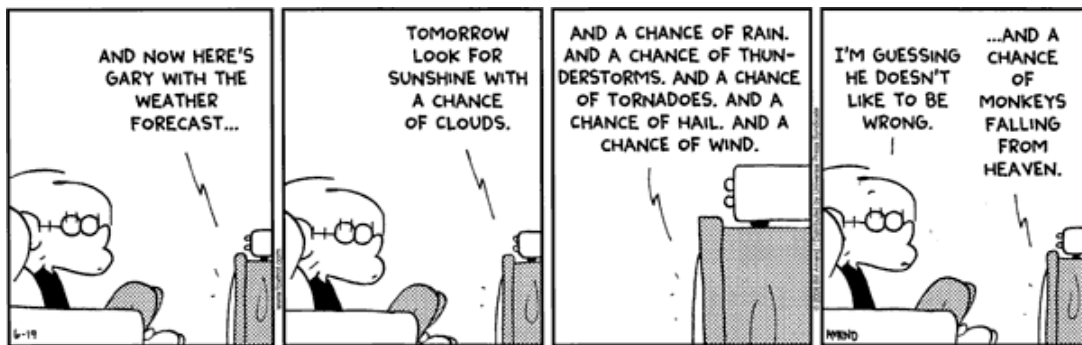
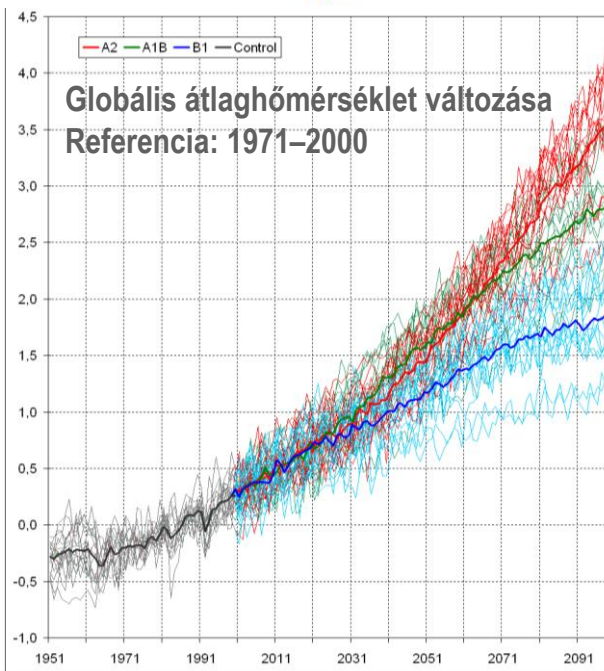
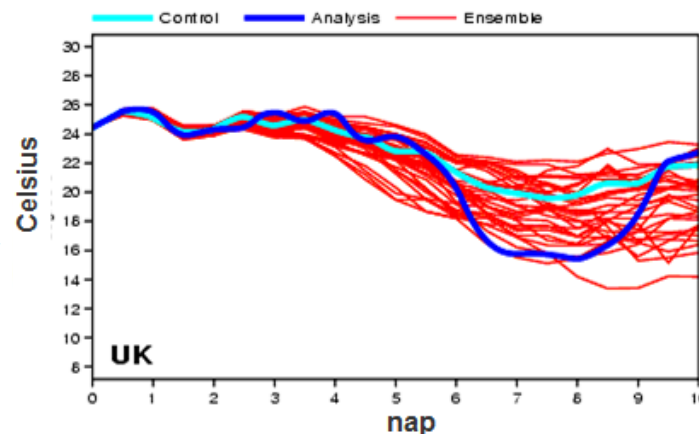
1994/06/26, London, hőmérséklet-előrejelzés



Bizonytalanságok számszerűsítése

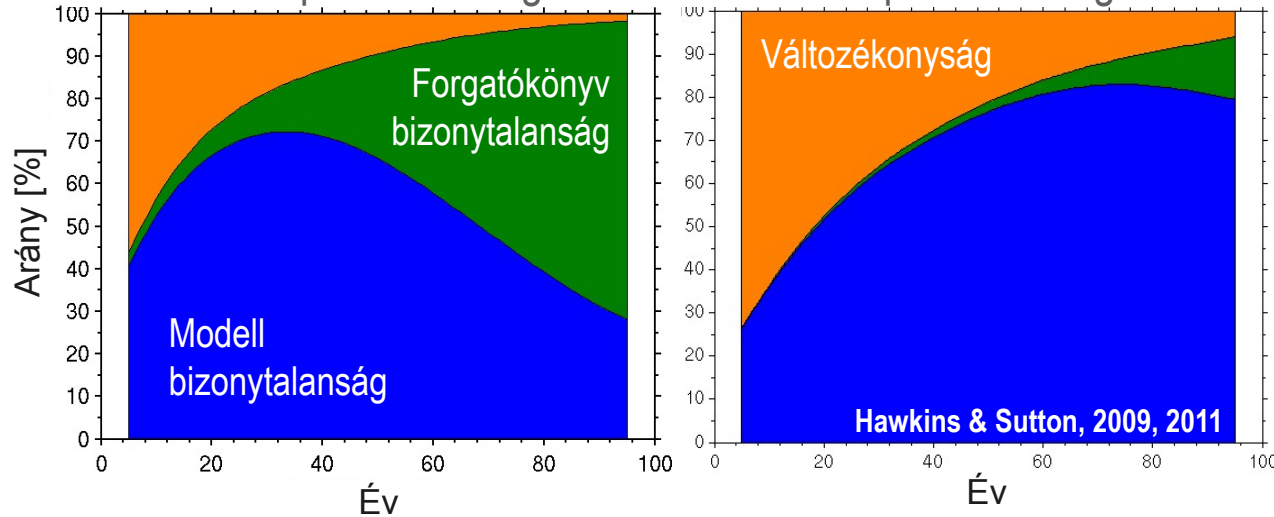
- **Ensemble módszer:** egyetlen előrejelzés, projekció helyett több
- Módszerek a különböző bizonytalanságok leírására:
 - Perturbációs módszerek
 - Multi-módszerek
- Az ezekből készített előrejelzések, projekciók egyformán lehetségesek
→ valószínűségek

1995/06/26, London, hőmérséklet-előrejelzés



A különböző bizonytalanságok szerepe

Európai éves átlaghőmérséklet és csapadékösszeg



- Éghajlati skálán a légtöri kezdeti feltétel hatása hamar elvész

- Az **emberi tevékenység** bizonytalansága hosszú távon hat, a csapadék esetében nem is lényeges
- A **modell-bizonytalanság** minden idő- és térskálán számottevő – modellfejlesztéssel csökkenthető
- A csapadékprojekcióknál a bizonytalanság fontos összetevője a **belső változékonyság**

TARTALOM

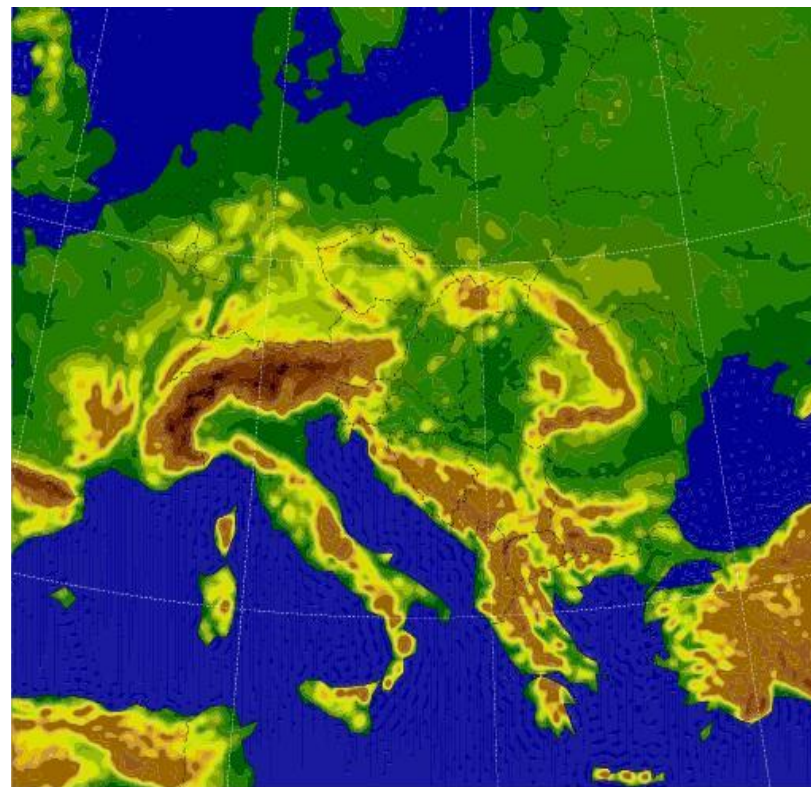
1. Motiváció
2. A numerikus prognosztika alapjai
3. Művelet- és adatigény
4. Gyakorlat
5. Felhasználás
6. Összefoglalás

Hazai és nemzetközi példák

- Rövidtávú előrejelzés
- Ultra-rövidtávú előrejelzés
- Középtávú és szezonális előrejelzés
- Rövid- és középtávú ensemble előrejelző rendszerek
- Éghajlati projekciók
- Éghajlati skálájú globális és regionális „ensemble rendszerek”

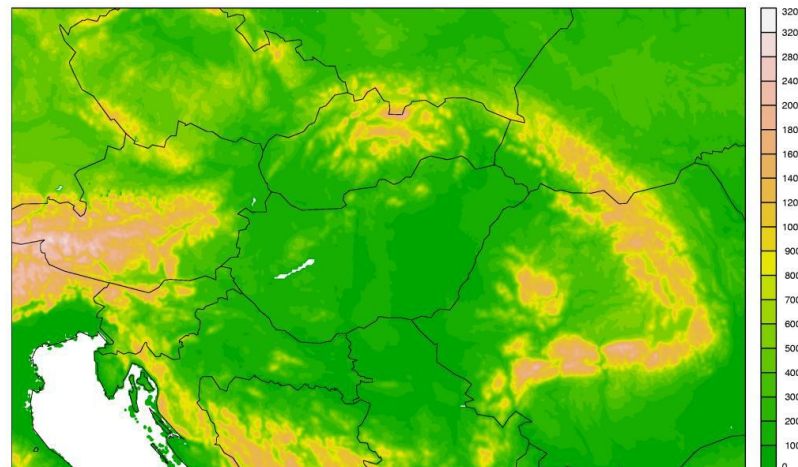
Az OMSZ operatív rövidtávú modellje

- ALADIN/HU modell az ALADIN nemzetközi együttműködésből
- 8 km-es horizontális felbontás
- 49 vertikális modellszint
- Kezdeti feltételek: variációs adatasszimiláció
- Határfeltételek 3 óránként az Európai Középtávú Előrejelző Központ (ECMWF) globális modelljéből
- Modellfuttatás operatíván naponta négyszer két napra
- Utófeldolgozás óránként (negyedóránként, ha van rá igény)

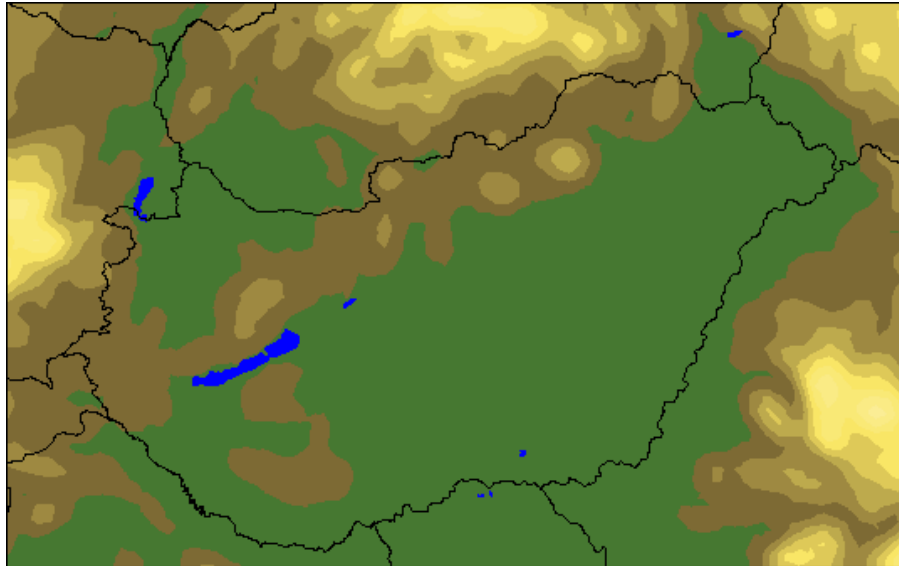


Az OMSZ operatív ultra-rövidtávú modellje

- AROME modell (az ALADIN modellcsalád tagja)
- 2,5 km-es horizontális felbontás
- 60 vertikális modellszint
- Határfeltételek az ECMWF-től
- Lokális variációs adatasszimiláció (rapid update cycle, napi 8 analízis)
- Modellfuttatás operatíván naponta négyszer 39-48 órára
- Nem-hidrosztatikus modell (felbontás)
 - Új prognosztikai változók
 - Konvekció explicit leírása

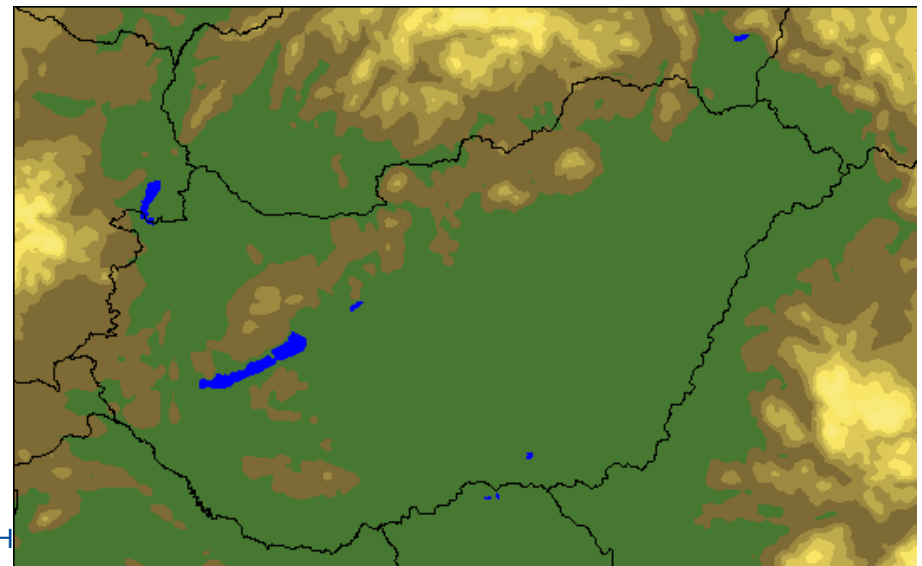


Domborzat a felbontás függvényében



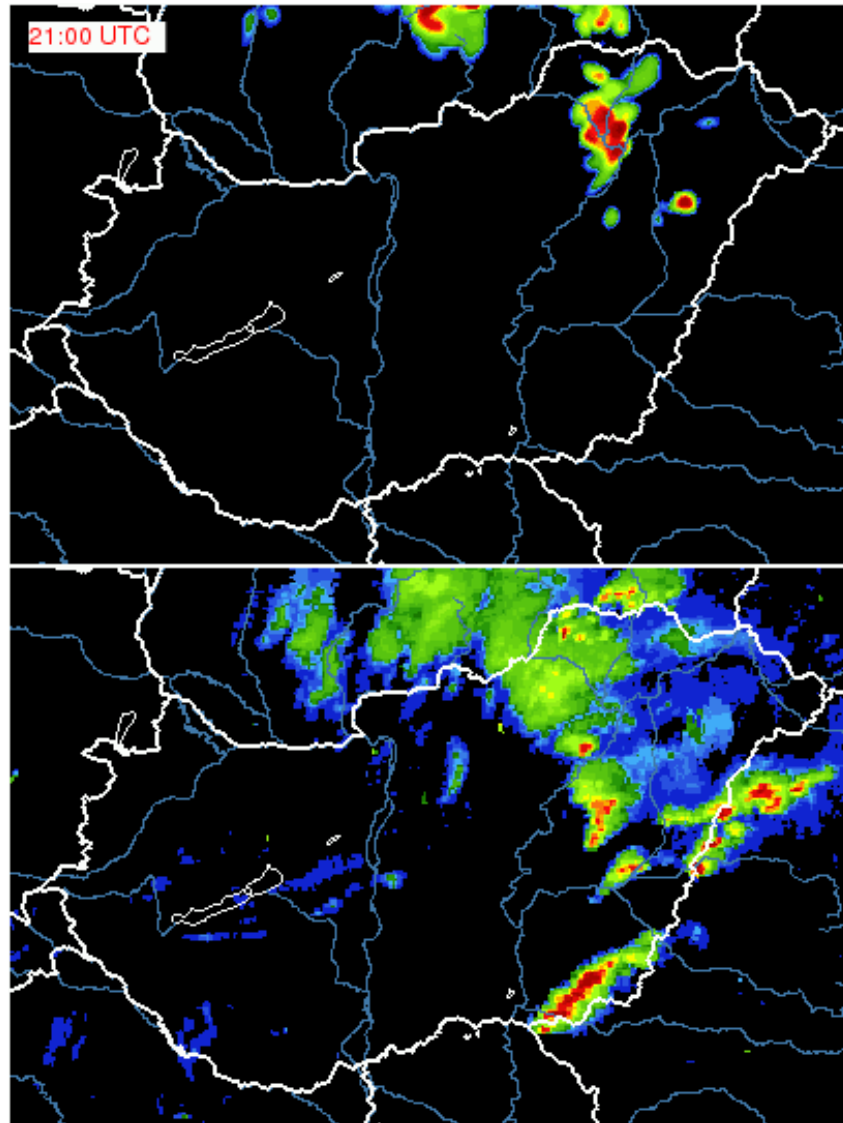
ALADIN: 8km

AROME: 2,5 km



2006. augusztus 20.

AROME



Radar

Középtávú és szezonális előrejelzések (ECMWF)

ECMWF

- European Centre for Medium Range-Weather Forecasts (Reading, UK)
- Nemzetközi együttműködés 34 ország részvételével
- Legfontosabb cél: globális középtávú (~10 napig) számszerű előrejelzési modell operatív futtatása, valamint fejlesztése és kutatása
- Magyarország társult tag: a produktumok széles skálájához hozzájutunk

ECMWF előrejelzések

- Globális (spektrális) modell
- Négydimenziós variációs adatasszimiláció
- 10 napos előrejelzések: 16 km-es horizontális felbontás, 137 vertikális szint
- **Ensemble Prediction System** (EPS, 10 napig 32, 15 napig 65 km-es felbontás)
- 32 napos előrejelzés (65 km-es felbontás; **ensemble**)
- Speciális előrejelzések: szezonális (1-7 havi) előrejelzések, kapcsolt óceán-légkör modell (**ensemble**)
- Re-analízisek (ERA-15, ERA-40, ERA-Interim, ERA-CLIM, ERA20C)

Számítógéppark



További ensemble rendszerek

Középtávú és szezonális EPS-ek

ECMWF

- Kezdeti feltételek + modellhiba
- 50+1 ensemble tag
- 32 km-es horizontális felbontás
- Operatíván fut naponta kétszer

Météo France

- Kezdeti feltételek + modellhiba
- 35 ensemble tag
- 32 km-es horizontális felbontás
- Operatíván fut naponta kétszer

- TIGGE:

- Globális középtávú ensemble rendszerek fejlesztése, adatbázis
- Ausztrália, Brazília, Kína, ECMWF, Japán, Korea, Kanada, Franciaország, UK, USA

- EUROSIP:

- Szezonális ensemble rendszerek adatbázisa
- ECMWF, Franciaország, UK, USA

Rövid és ultra-rövidtávú EPS rendszerek

- **Az OMSZ-ban futtatott rendszerek:**

- ALADIN modellen alapuló operatív EPS

- A francia szolgálat globális EPS-ét skálázza le
 - 10+1 ensemble tag, 8 km-es horizontális felbontás
 - Naponta egyszer fut (18 UTC-kor) 60 órára – ~0,5 óra/tag

- AROME modellen alapul kísérleti EPS

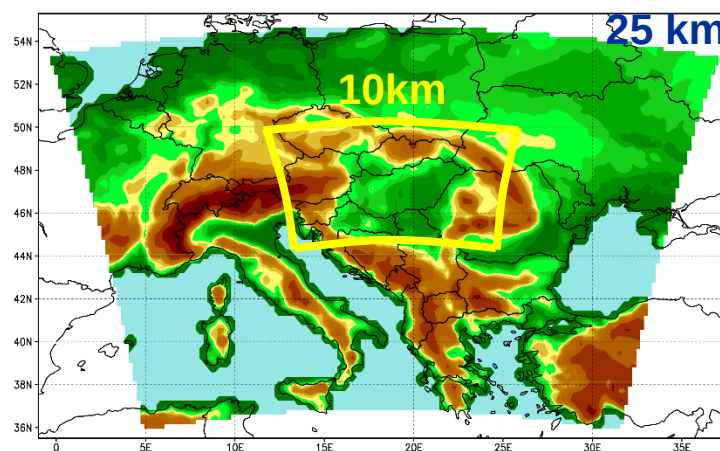
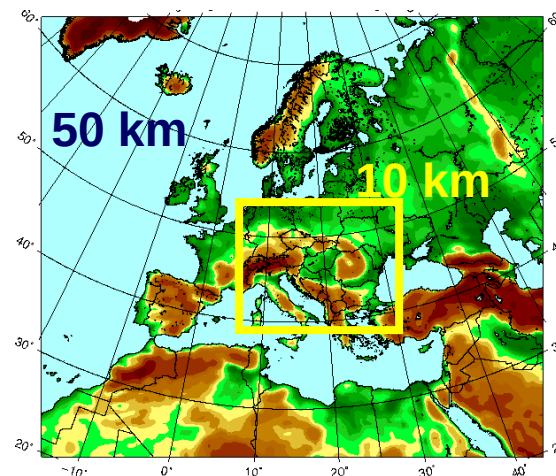
- 10+1 ensemble tag, 2,5 km-es horizontális felbontás (nem-hidrosztatikus)
 - Kísérleti jelleggel fut 36 órára: ~1,5 óra/tag

- **TIGGE-LAM:**

- Korlátos tartományú, rövidtávú EPS előrejelzések fejlesztése és adatbázis
 - A, D, DK, I, H, UK

Az OMSZ-ban futtatott klímamodellek

- Magyarországon összesen négy, az OMSZ-ban két regionális klímamodellel folynak szimulációk: ALADIN-Climate és REMO (Max Planck Intézet)
- 10, 25, 50 km-es felbontás
- 1961–2100 időszak
- Közepes és pesszimista kibocsátási forgatókönyvek



Éghajlati skálájú ensemble rendszerek

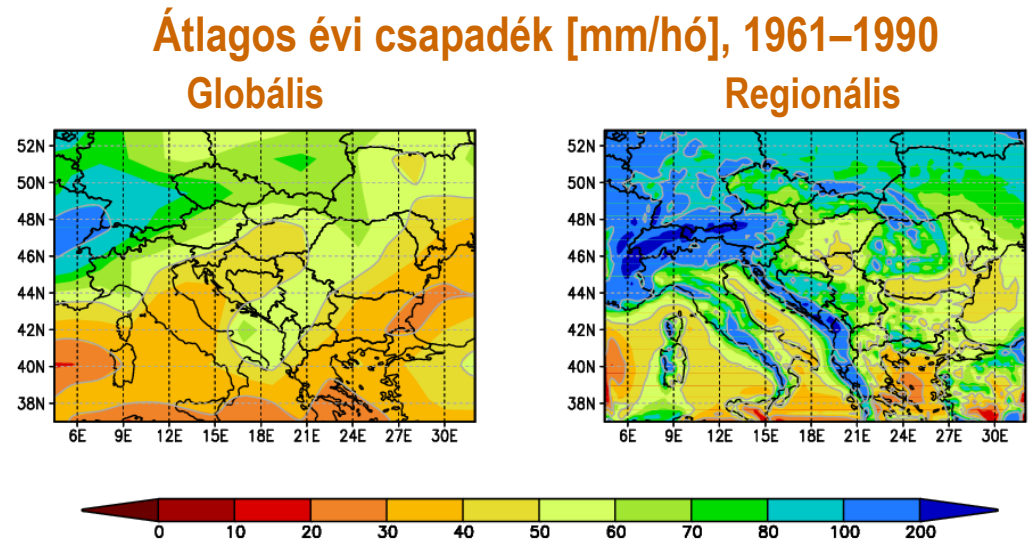
- Nagy számításigény → nemzetközi együttműködések
- **Globális modellek:**
 - CMIP3, CMIP5 modellszimulációk különböző forgatókönyv-családokkal
 - 100-500 km-es térbeli felbontás
 - Ezek szolgáltatják az IPCC jelentések alapjait
- **Regionális modellek:**
 - PRUDENCE: 50 km-es térbeli felbontás Európára 2 szélsőséges forgatókönyvvel
 - ENSEMBLES: 25 km-es térbeli felbontás Európára 1 átlagos forgatókönyvvel
 - CORDEX: 10-50 km-es felbontás a Föld minden régiójára (általában kontinentális) új kibocsátási forgatókönyvekkel

A regionális modellek jelentősége

- Globális modellek: 250-100 km-es rácssűrűség
- A regionális változások ellentétesek is lehetnek a globális tendenciákkal
- Globális információ finomítása regionális éghajlati modellekkel:
 - Kisebb terület,
tipikus felbontás:
10-25-50 km
 - Fizikai folyamatok
és felszíni
jellemzők
pontosabb leírása

A regionális modellek jelentősége

- Globális modellek: 250-100 km-es rácssűrűség
- A regionális változások ellentétesek is lehetnek a globális tendenciákkal
- Globális információ finomítása regionális éghajlati modellekkel:
 - Kisebb terület, tipikus felbontás: 10-25-50 km
 - Fizikai folyamatok és felszíni jellemzők pontosabb leírása

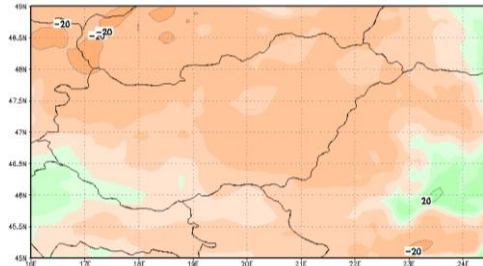


Hazai éghajlati eredmények

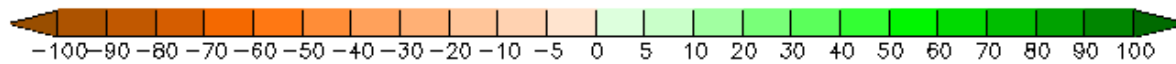
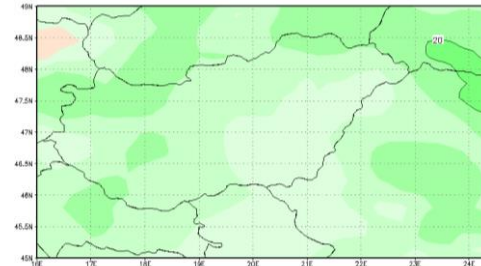
Hazai éghajlati eredmények

Átlagos téli csapadékváltozás [%] 2021–2050-re

Modell 1



Modell 2

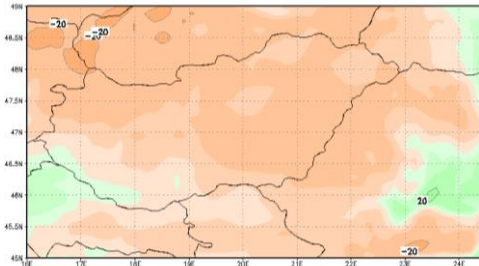


csökkenés : növekedés = 1 : 1

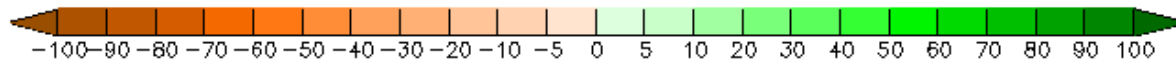
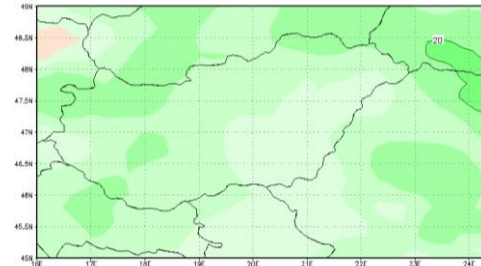
Hazai éghajlati eredmények

Átlagos téli csapadékváltozás [%] 2021–2050-re

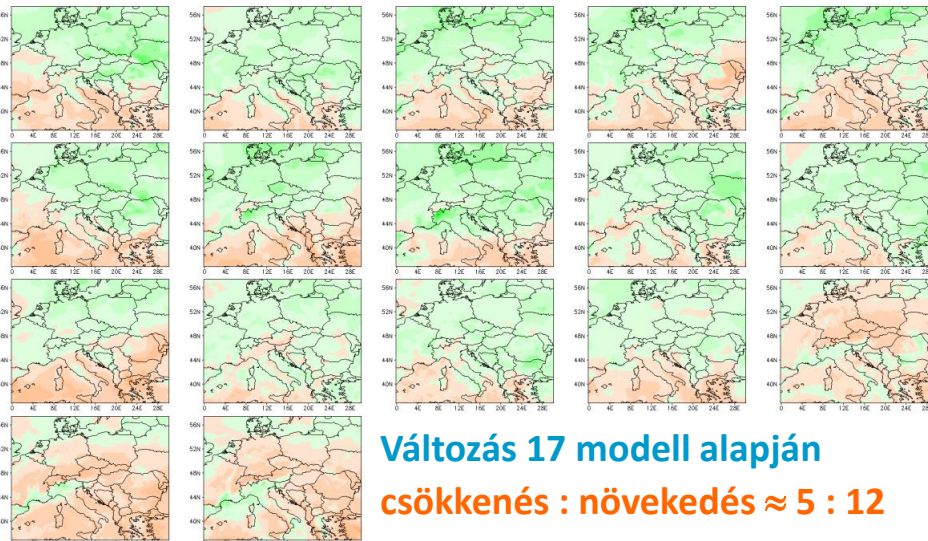
Modell 1



Modell 2

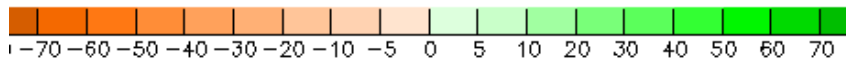


csökkenés : növekedés = 1 : 1



Változás 17 modell alapján

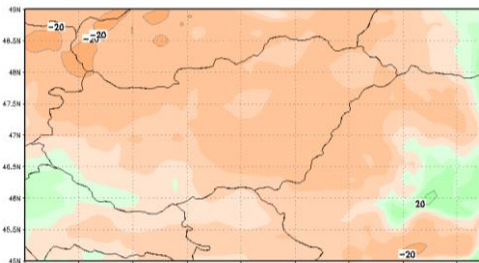
csökkenés : növekedés $\approx$ 5 : 12



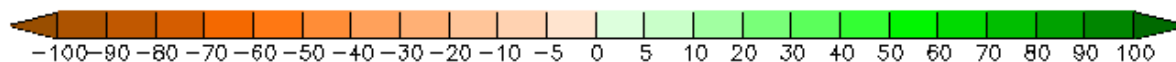
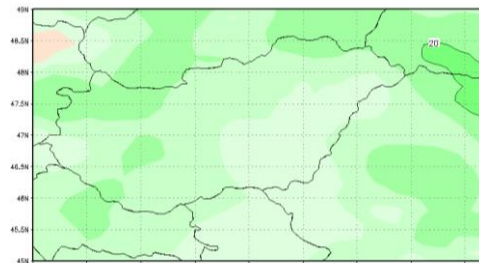
Hazai éghajlati eredmények

Átlagos téli csapadékváltozás [%] 2021–2050-re

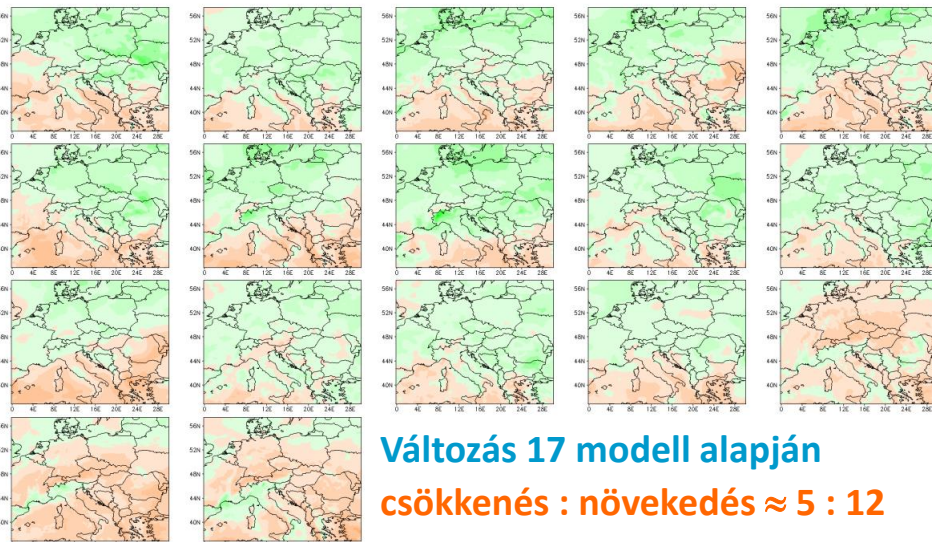
Modell 1



Modell 2

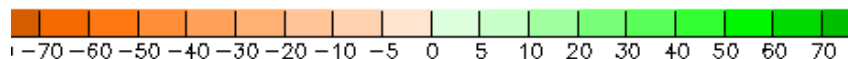


csökkenés : növekedés = 1 : 1



Változás 17 modell alapján

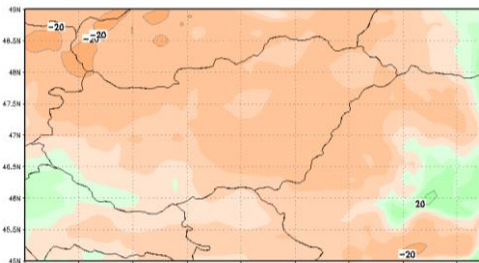
csökkenés : növekedés $\approx$ 5 : 12



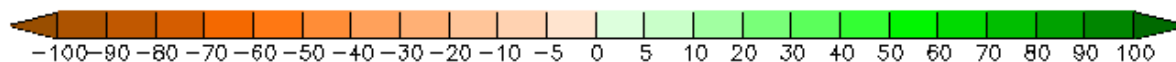
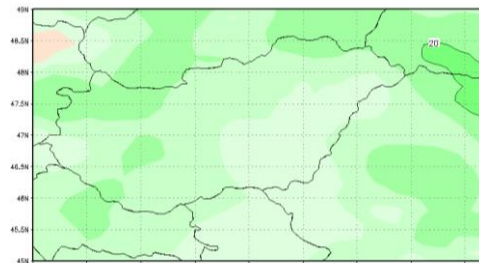
Hazai éghajlati eredmények

Átlagos téli csapadékváltozás [%] 2021–2050-re

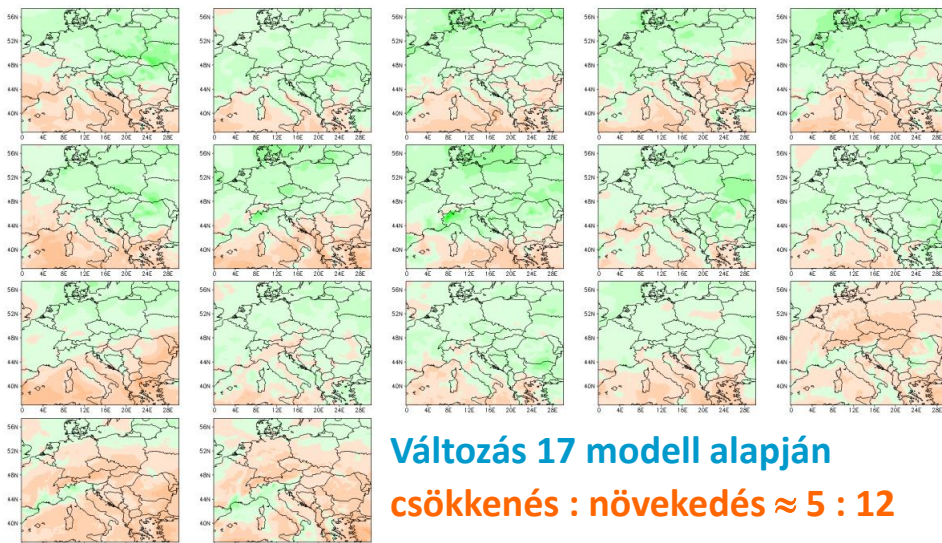
Modell 1



Modell 2

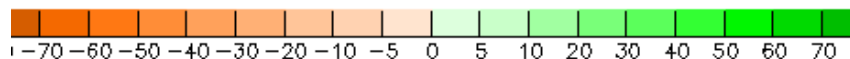


csökkenés : növekedés = 1 : 1

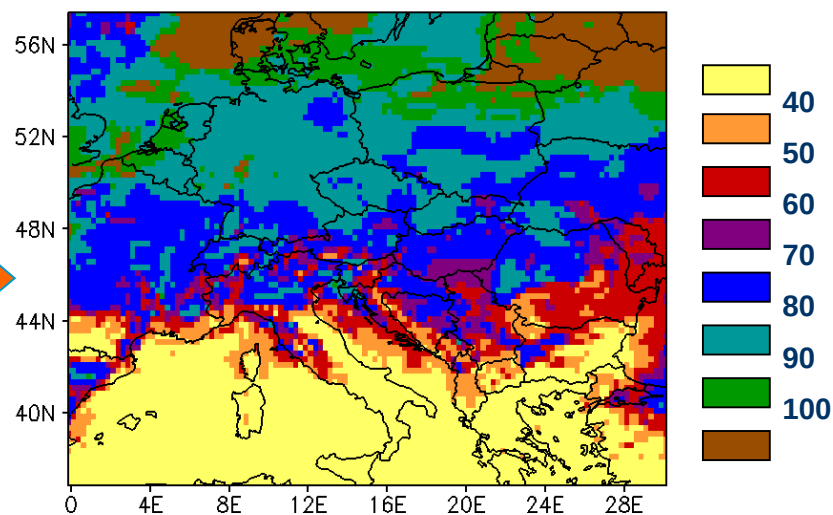


Változás 17 modell alapján

csökkenés : növekedés $\approx$ 5 : 12



Növekedés valószínűsége [%], 17 modell



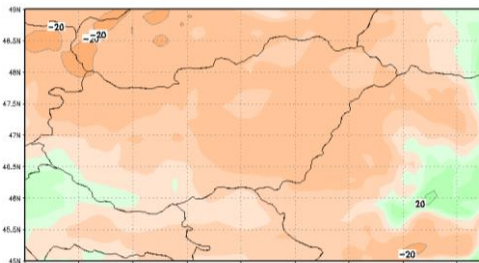
növekedés $\approx$ 60–80 %

(S)

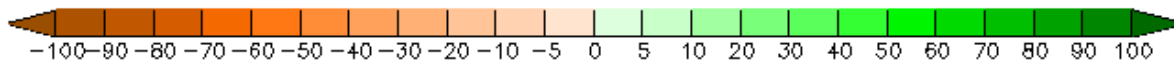
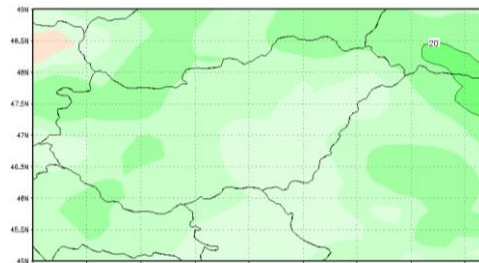
Hazai éghajlati eredmények

Átlagos téli csapadékváltozás [%] 2021–2050-re

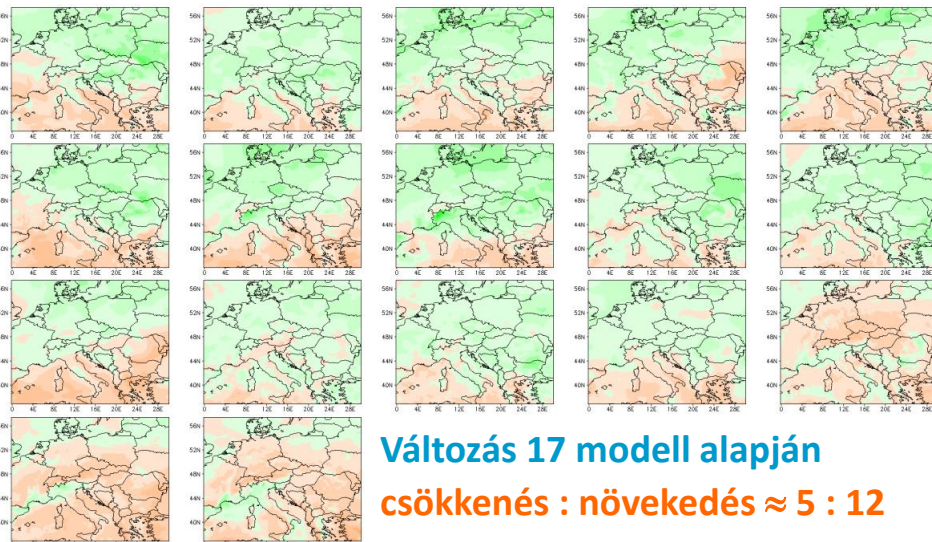
Modell 1



Modell 2

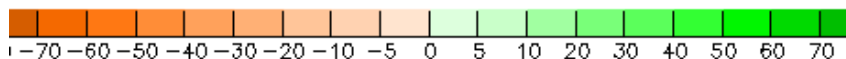


csökkenés : növekedés = 1 : 1

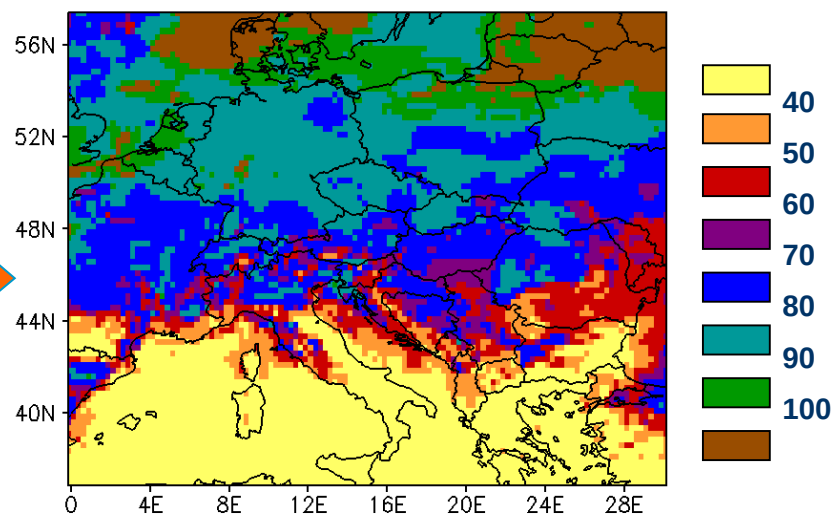


Változás 17 modell alapján

csökkenés : növekedés $\approx$ 5 : 12



Növekedés valószínűsége [%], 17 modell



növekedés $\approx$ 60–80 %

Az OMSZ számítástechnikai kapacitása

Szuperszámítógépek

- Szempontok:
 - Az időjárás-előrejelzés és éghajlati modellezés céljára külön, dedikált számítógépek
 - Gyors számítási sebesség
- IBM System x iDataPlex szerver, 280 Intel Xeon 5500-as, 4-magos processzor, 3,2 TB RAM: időjárás-előrejelzés → 1-2 óra
- SGI Altix 3700 cluster, 92 Intel Itanium-2 CPU, 2 GB RAM/CPU: éghajlati szimulációk → 5-6 hónap – 1 év

Archiváló rendszer

- Szempont: viszonylag gyors elérés
- Szalagos archiváló rendszer
- Kapacitás: ~200 TB
- Folyamatos bővítés

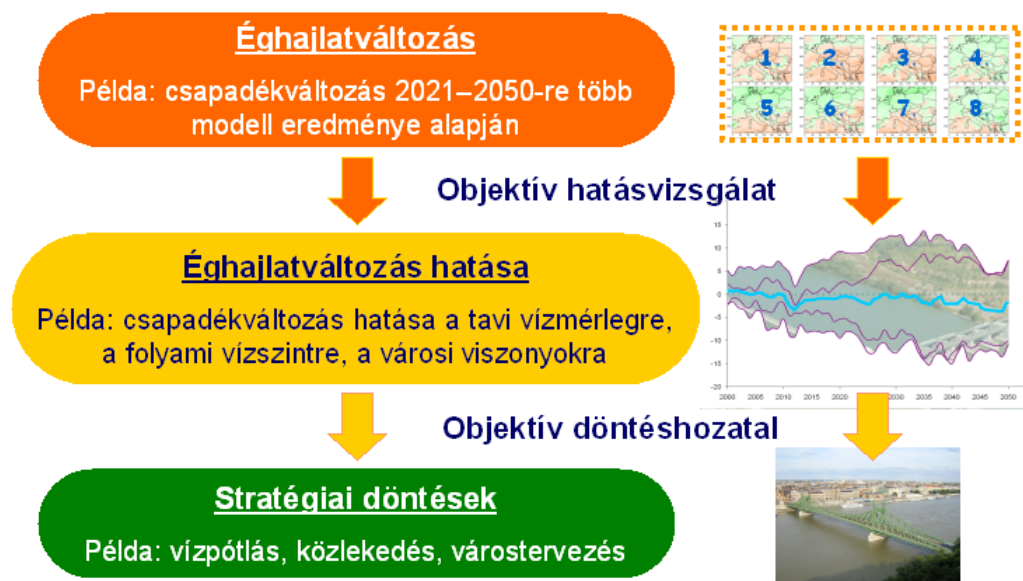


TARTALOM

1. Motiváció
2. A numerikus prognosztika alapjai
3. Művelet- és adatigény
4. Gyakorlat
5. Felhasználás
6. Összefoglalás

Hogyan kell felhasználni ezeket?

- Az időjárás vagy az éghajlatváltozás jellemzőinek objektív ismerete szükséges ahhoz, hogy hatásaikra fel tudjunk készülni
- A meteorológiai adatok számszerű kiindulási információt nyújtanak
- A bizonytalanságokat leíró valószínűségi információkat be kell építeni a hatásvizsgálatokba és a döntéshozatalba



Példa felhasználásra I.

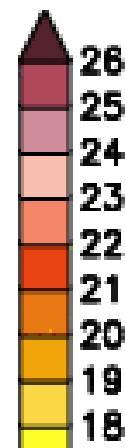
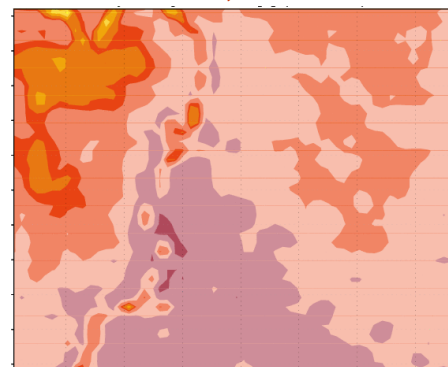
- Városi folyamatok dinamikus modellezése
- Légköri kényszer egy légköri modellből a felszíni folyamatokat leíró modell (SURFEX/TEB) számára
- Felszíni momentum-, hő- és nedvességáramok kiszámítása
- Tesztelés Budapestre és Szegedre 1 km-es felbontással

Nyári átlaghőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
Időszak: 2001–2010

ALADIN-Climate, 10 km

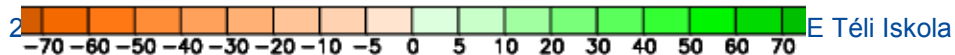
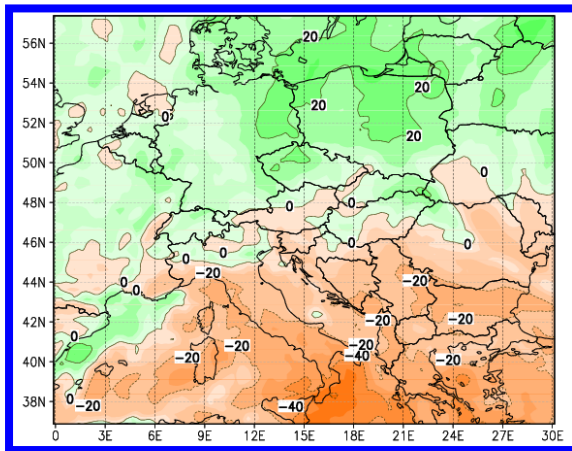
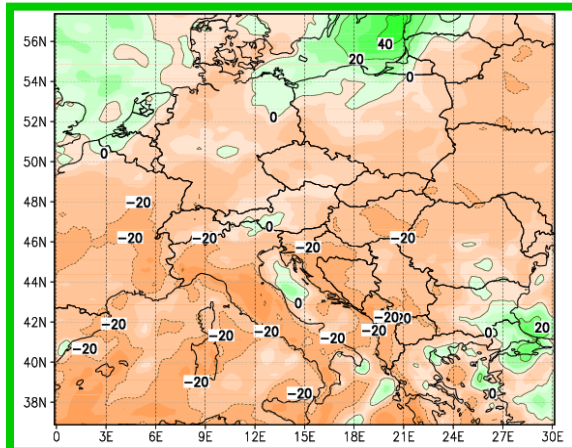


TEB, 1 km



Példa felhasználásra II.

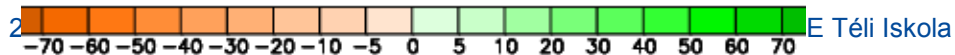
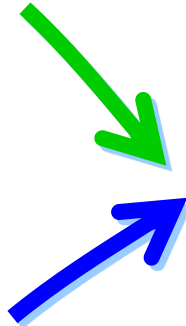
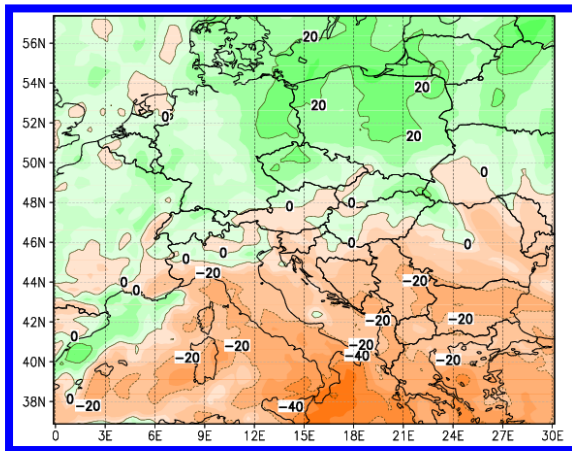
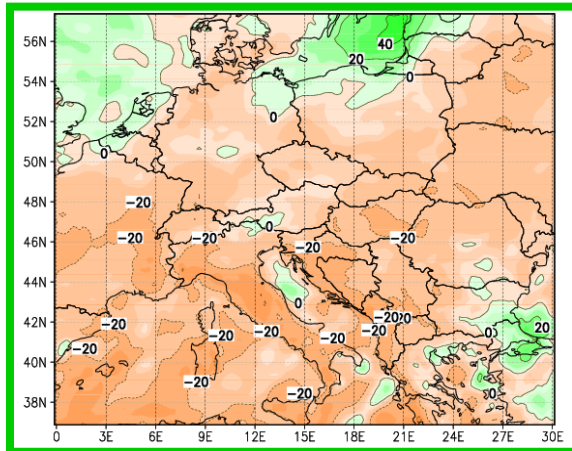
Reprezentatív projekciók a
nyári csapadékváltozásra [%]
Időszak: 2021–2050



Szépszó et al., 2014

Példa felhasználásra II.

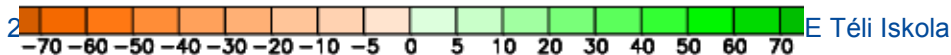
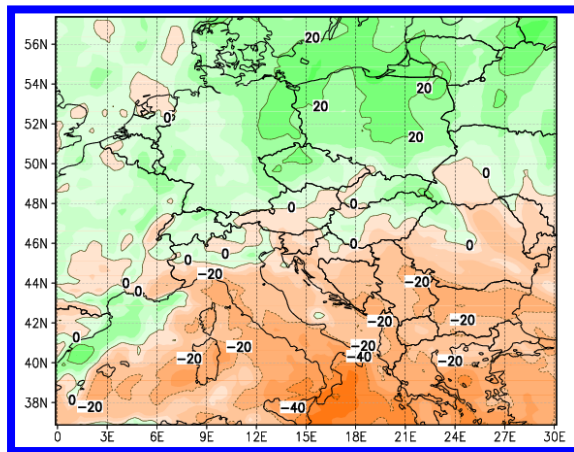
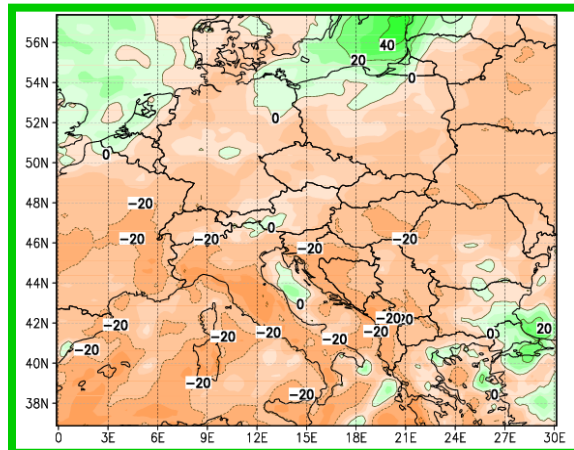
Reprezentatív projekciók a
nyári csapadékváltozásra [%]
Időszak: 2021–2050



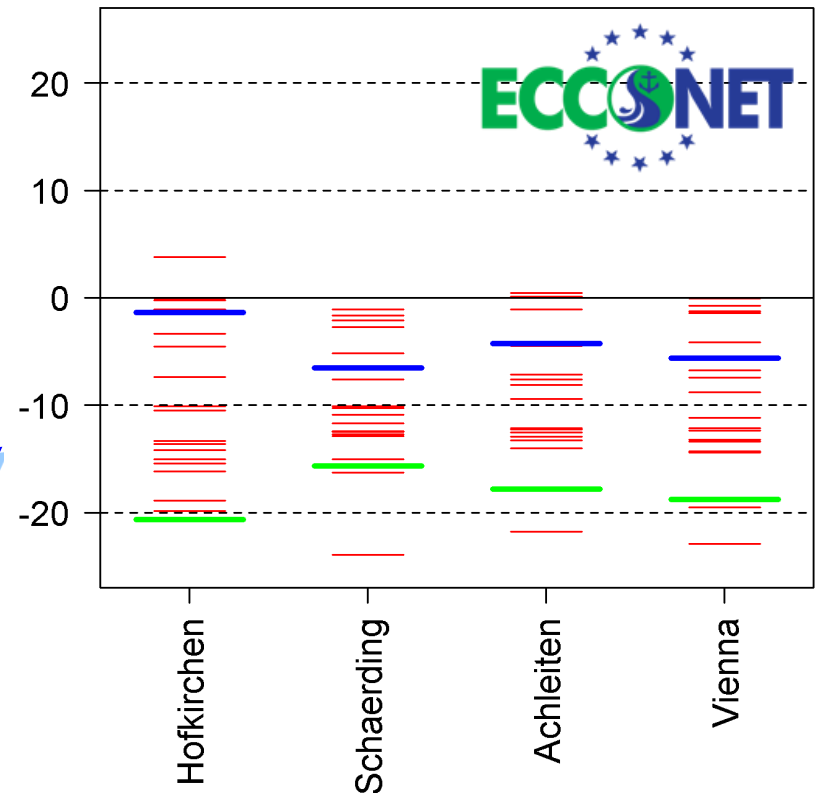
Szépszó et al., 2014

Példa felhasználásra II.

Reprezentatív projekciók a
nyári csapadékváltozásra [%]
Időszak: 2021–2050



Nyári félév lefolyásának
változása [%] 2021–2050-re



Szépszó et al., 2014

TARTALOM

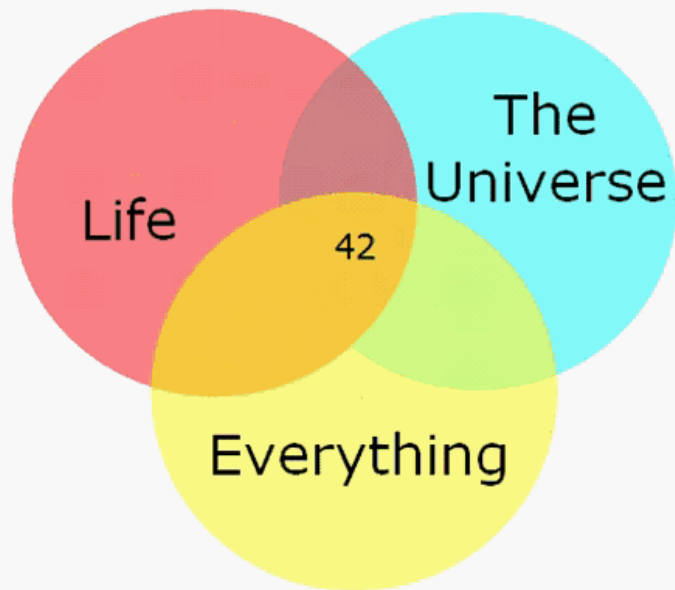
1. Motiváció
2. A numerikus prognosztika alapjai
3. Művelet- és adatigény
4. Gyakorlat
5. Felhasználás
6. Összefoglalás

Összefoglalás

- Az időjárási és éghajlati folyamatok „előrejelzése” modellekkel lehetséges (gondolati úthoz a rendszer túl komplex)
- Az előrejelzések elengedhetetlenek az élet- és vagyonvédelem (pl. viharjelzés), a gazdasági élet számos területén (közlekedés, energiaszektor stb.), s az éghajlatváltozás hatásaira való felkészülés során
- A modellszimulációk bizonytalanságai valószínűségi információk formájában számszerűsíthetők – egy előrejelzés ezekkel együtt teljes
- A valószínűségi előrejelzések segítik a felhasználói döntéshozatalt, mivel a meteorológiai helyzettel összefüggő döntését így a felhasználó személyre szabottan maga tudja meghozni a valószínűségek (esélyek) mérlegelésével

Köszönöm szépen a figyelmet
és a meghívást!

The Answer To:



E-mail: szepszo.g@met.hu

Információ:

<http://nimbus.elte.hu/~numelo>

<http://www.met.hu/RCM>