

Éghajlati modellezés

2. rész: Regionális éghajlati modellezés

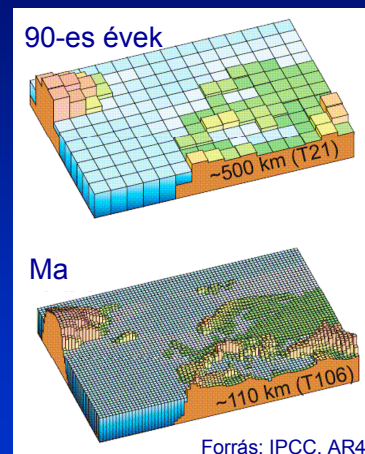
Összeállította:
Szépszó Gabriella
szepszo.g@met.hu

TARTALOM

1. Regionális projekciók
2. Regionális éghajlati modellezés
3. A regionális modellezés kérdései
4. Hazai klímadinamikai tevékenység
5. Kitérő

Regionális sajátosságok

- Globális modellek: 250-100 km-es vízszintes és 1 km-es függőleges rácssűrűség – Magyarország fölé ebből néhány (2-10) pont esik
- A regionális éghajlatváltozás iránya ellentétes lehet a globális tendenciákkal
- A globális információ finomítása szükséges



Regionalizációs technikák

1. Statisztikus-empirikus leskalázás
2. Dinamikai módszerek

1. Statisztikus leskálzás



Egyszerűsített példa:

A múltban: $T_{\text{globális}} = 15 \text{ °C} \rightarrow T_{\text{Keszthely}} = T$
Ezzel a relációval a jövőre: $T_{\text{globális}} = 15 + 6 \text{ °C} \rightarrow T_{\text{Keszthely}} = ?$

Mi az elmélet gyenge pontja?

- Az elmélet feltételezi a globális és a regionális éghajlat közötti kapcsolat változatlanosságát
- Márpedig az éghajlati rendszer folytonosan alkalmazkodik az őt ért kényszerekhez, azaz folytonos változásban van
- Az alkalmazkodás időskálája évszázadoktól évezredekig nyúlik, benne bonyolult visszacsatolásokkal és kölcsönhatásokkal
- Következésképp: a módszer nem alkalmas arra, hogy
 - A regionális éghajlat hosszútávú fejlődését leírjuk;
 - A regionális éghajlat ok-okozati összefüggéseit tanulmányozzuk.

2. Dinamikai módszerek

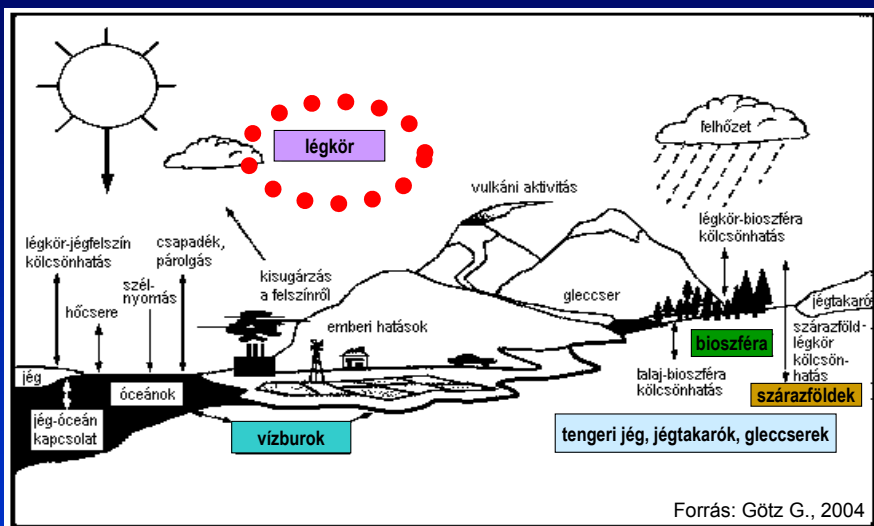
- Finomabb felbontású légköri általános cirkulációs modellek
- Változó felbontású légköri általános cirkulációs modellek
- Dinamikai leskálzás regionális (korlátos tartományú) éghajlati modellek segítségével

Regionális finomítás globális modellekkel

- Finomabb felbontású légköri általános cirkulációs modellek – óceáni kényszerek – időszelletes kísérletek
- Változó felbontású légköri általános cirkulációs modellek
 - Globális modellek, melyek felbontása csak az érdekesebb terület felett nagyobb
 - A felbontás-különbség nem növelhető tetszőlegesen
 - Eltérő fizikai parametrizációk a különböző felbontású területeken
 - Időlépcső kérdése

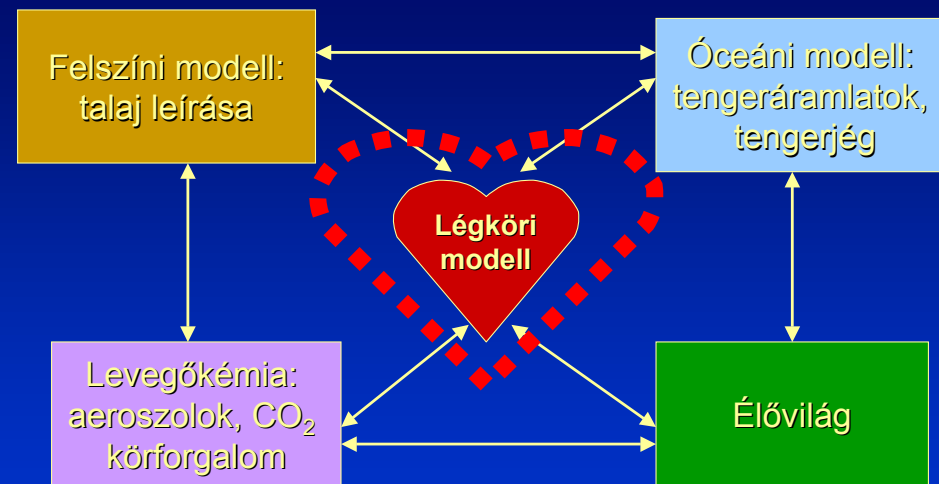


Az éghajlati rendszer elemei



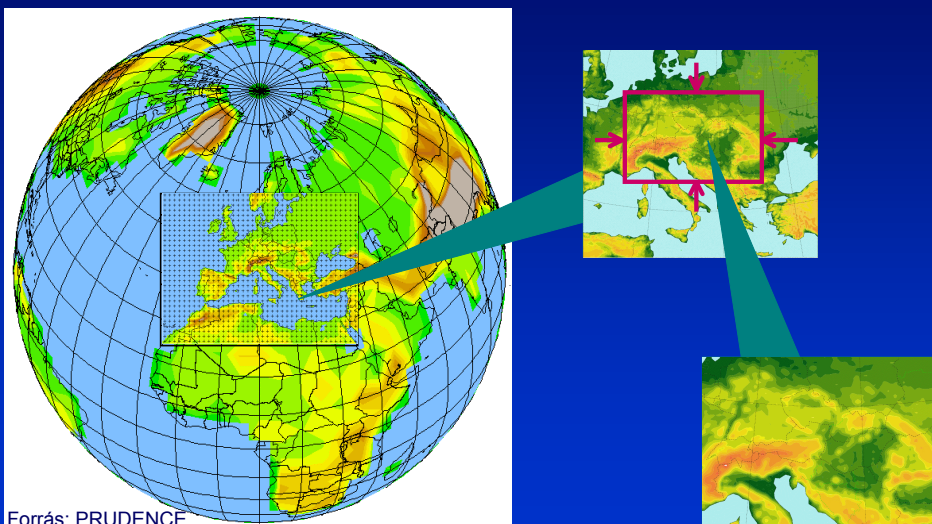
A dinamikus regionális leskálzás során (általában) a léggörre koncentrálunk.

Az éghajlati modellek összetevői



A regionális finomításra használt modellek is lehetnek kapcsolt modellrendszerek – de zömük léggöri modell.

A regionális éghajlati modellek



A regionális modellezés jellemzői

- Kisebb területre koncentráció – finomabb felbontás
- Néhány fizikai folyamat pontosabb, explicit leírása
- A felszíni jellemzők (pl. domborzat, érdesség, albedo) részletesebb figyelembevétele
- Szélsőséges jelenségek megbízhatóbb szimulálása (régén: nagyobb időbeli felbontás, mint globális esetben)
- A információkat és kényszereket a peremfeltételeken keresztül veszi figyelembe a regionális modell

A regionális modellek kifejlesztése

- Globális általános cirkulációs modellekből – a dinamika átalakításával
 - Például a REMO modell – ECHAM GCM modellfizika + egy időjárási modell dinamikája
- Rövidtávú időjárás-előrejelző modellekből – a fizikai parametrizációs eljárások módosításával
 - Például a Csehországban használt ALADIN-Climate: a rövidtávú ALADIN modell klímaváltozata

A modellek alkalmazása

- A modellt először a múltra vonatkozóan teszteljük – eredményeit összehasonlítjuk a múltban összegyűjtött megfigyelésekkel
- Elvart pontosság: az éghajlat átlagos jellemzőinek visszatükrözése – egy éghajlati modell úgy is lehet „tökéletes”, hogy közben egyetlen időjárási eseményt sem jelzett előre
- A feltérképezett gyengeségek alapján a modellt fejlesztik
- A kellően pontos modellel a jövőre vonatkozó projekciókat készítik – feltételes prognózisok: „hipotézisek” az antropogén tevékenység alakulására

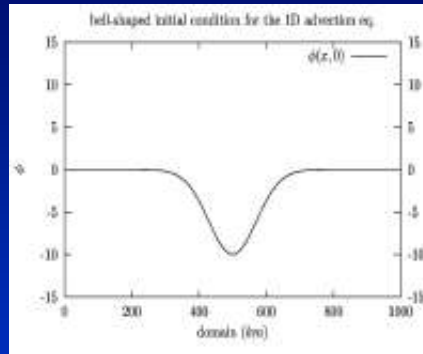
A regionális projekciók sajátosságai

1. A kezdeti feltételek hamar elveszítik hatásukat és a külső kényszerek kormányozzák a rendszert
2. Peremfeltételek jelentősége: csatolás típusa, hibák kioltódása
3. Tartomány és felbontás megválasztásának fontossága: méret, határok és felbontási arány
4. Felpörgési időszak
5. A szimulációs hibák értelmezése és mit tudunk a közelmúlt klímájáról?
6. Többféle bizonytalanság

1. A kezdeti feltételek hatása

A kezdeti feltételek hatása

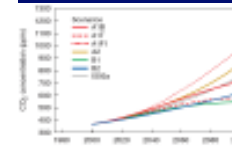
- Korlátos tartományú eset: a kezdeti feltétel adott idő után a tartományon belül már nem bír hatással – az előrejelzést a peremfeltételek határozzák meg
- Mekkora ez az időskála?
- A regionális éghajlati modellt a nagyskálájú kényszerek kormányozzák, azaz ...



A regionális éghajlatváltozás

Globális kényszer

Például: légköri szén-dioxid koncentráció megváltozása



Globális modell

Az éghajlati rendszer válasza

Például: hőmérsékletváltozás az egész Földön minden rácspontban

Regionális modell

A regionális cirkuláció által kialakított reakció

Például: hőmérsékletváltozás az európai rácspontokban

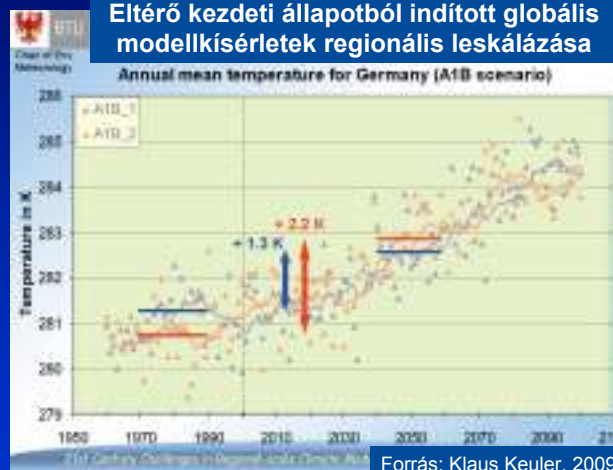
Természetes belső változékonyság

- Globális modellkísérletek: eltérő kiindulás → bizonytalan jel
- Kérdés:

Ugyanaz a globális modell, de eltérő kiindulási feltételekből

↓
Regionális kísérletek kiindulása eltérő

↓
Milyen mértékű bizonytalanságot hoz be az eredményekbe?



Valójában itt eltérő a globális válasz (peremfeltétel), amelyet a regionális modellel leskáláznak.

2. A határfeltételek megválasztása

Az oldalsó peremfeltételek

- A „klasszikus” kezdeti feltétel a hosszú integrálás során elveszíti jelentőségét (nem \exists hosszútávú előrejelezhetőség) – az oldalsó peremfeltételek hatása döntő
- Alkalmazható határfeltételek:
 1. „Tökéletes” peremfeltételek – re-analízisek (megfigyelések figyelembevételével) – múltira
 2. Szimulált peremfeltételek – pl. globális modellkísérletek

2010. április 22.

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

21

Re-analízisek

- Meteorológiai változók egy egész Földet lefedő 3-dimenziós rácson
- Előállításukhoz mérési információkat és pontos modell-előrejelzéseket használtak fel
- Többféle: NCEP/NCAR re-analízisei, ECMWF re-analízisei:
 - Térbeli felbontás: 125 km
 - 60 függőleges szint
 - Hatórás időbeli bontás az 1957–2002 időszakra
- Csak az áramlás nagyságát jellemzőit írják le

2010. április 22.

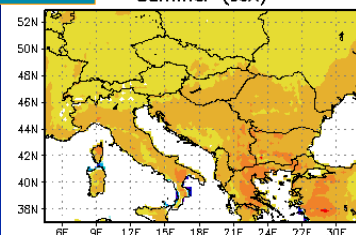
<http://nimbus.elte.hu/~numelo/mat/>

22

Példa: átlaghőmérséklet validáció

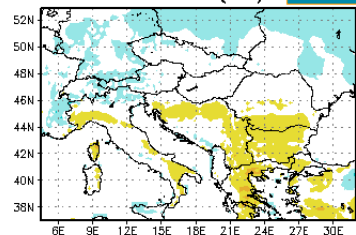
LBC: ERA40

Summer (JJA)



LBC: GCM

Summer (JJA)



- A határfeltételtől függően különböző nagyságú hibát kapunk
- A két kísérlet hibája különböző hibatagokból áll elő:
 1. „Tökéletes” LBC: (elvileg) csak a regionális modell hibája
 2. Szimulált LBC: GCM + RCM hibája – nem különíthető el

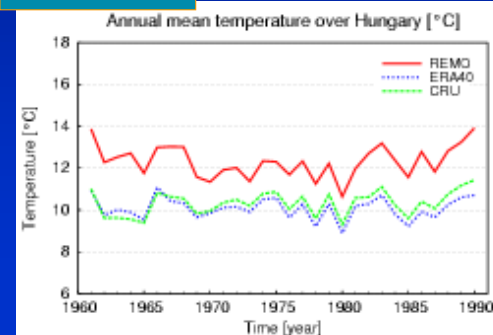
Melyik kísérlet alapján fejlesztik a a regionális modellt?

Elvárt pontosság

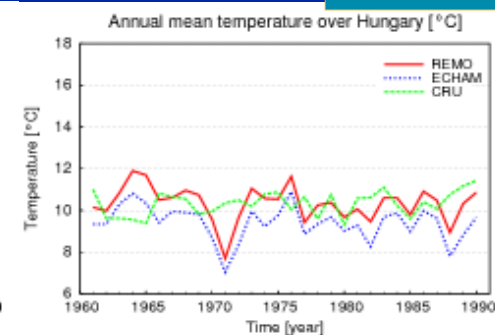
A határfeltételtől függően eltérő „pontosságot” várunk el:

1. Tökéletes LBC: a megfigyelésekkel „szinkron” átlagos viselkedés – az egyes évek beazonosíthatók
2. GCM LBC: harmincéves (vagy hosszabb) időszakok átlaga, nincs szinkronitás – az egyes évek nem azonosíthatók be

LBC: ERA40

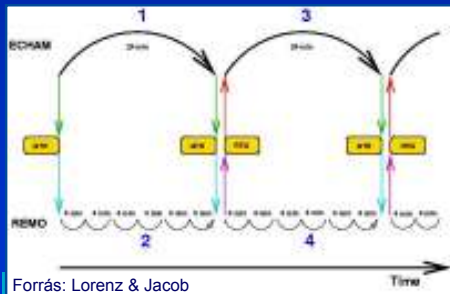
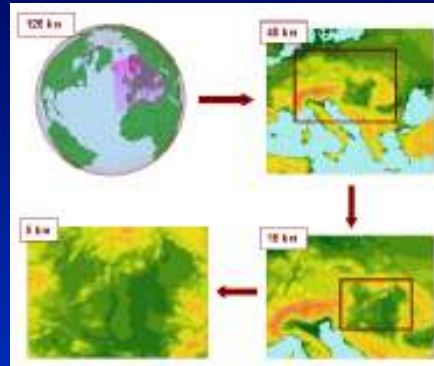


LBC: GCM



Speciális peremfeltételek

- Nem a globális eredmények egyszerű leskálázása, hanem: dupla vagy többszörös csatolás
- Hagyományosan: egyirányú csatolás – ideális: kétirányú csatolás



Tartomány megválasztásának szempontjai

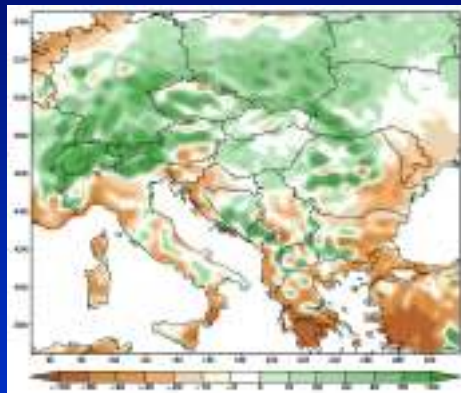
- Cél: nagyskálájú információk figyelembevétele + kiskálájú cirkuláció „kifejlesztése”
- Tartomány mérete:
 - Ha a tartomány túl nagy – a peremfeltételek hatása nem érvényesül a tartomány belsejében
 - Ha a tartomány túl kicsi – a peremfeltételek uralják a regionális modellt, nincs mód önálló cirkuláció kialakulására

3. A tartomány és felbontás megválasztása

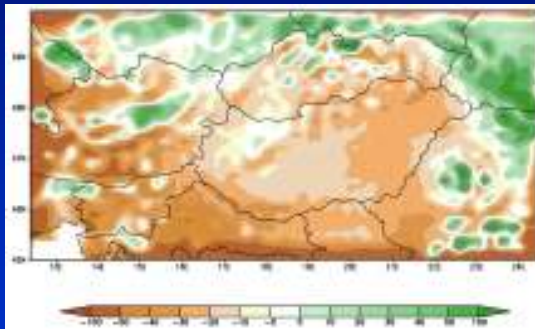
Tartomány peremei

- A peremfeltételek következtében hamis hullámok a határ közelében
- Ha túl keskeny a relaxációs zóna, akkor ez hatással lehet a belső területekre is
- Ezt erősíti, ha a határok gyorsan változó domborzat felett húzódnak

Példa: túl kis tartomány + peremek a hegyeken keresztül



Őszi csapadékhibák



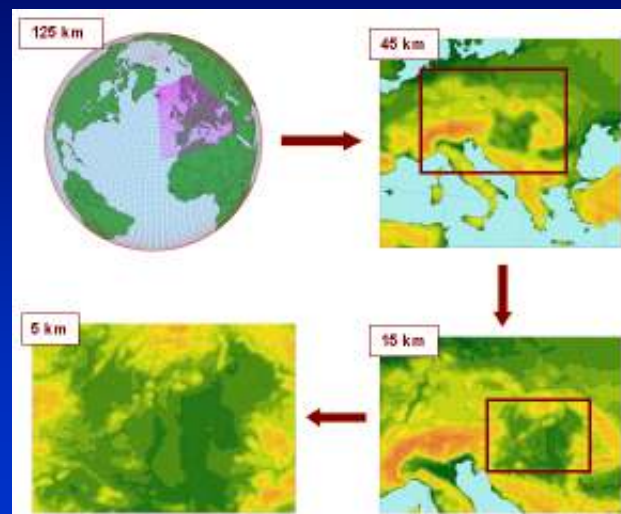
Forrás: Csima G.

Mesterséges mintázatok a
tartomány peremén

Felbontás megválasztásának szempontjai

- „Fizikai” határ: számítási kapacitás és modelljellemzők (dinamika + fizikai parametrizációk)
- A leskálázandó és leskálázott információ felbontásának aránya nem lehet tetszőlegesen nagy
- Optimális: a felbontási arány nem haladja meg a 8-12-t

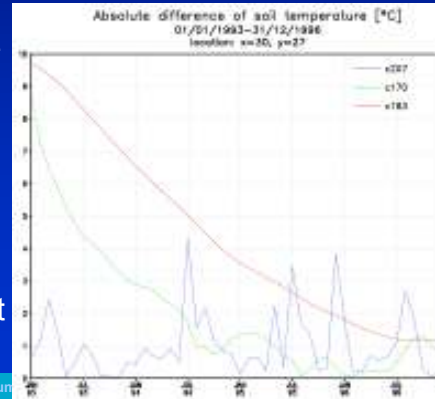
Példa



4. A felpörgési időszak

Felpörgési időszak

- Egyensúlyba kerülés
- Globális modellnél: külső kényszer – az éghajlati rendszer alkalmazkodása – az egyes komponensek igazodási ideje eltérő 10 nap – 1000 év
- Regionális modellnél: a finom-felbontású alsó határfeltételekhez való igazodás (talajnedvesség, hőborítottság)
- A különböző modellrészek alkalmazkodási ideje:
 - Légkör: néhány nap
 - Talajnedvesség, -hőmérséklet (1-2 m): néhány év



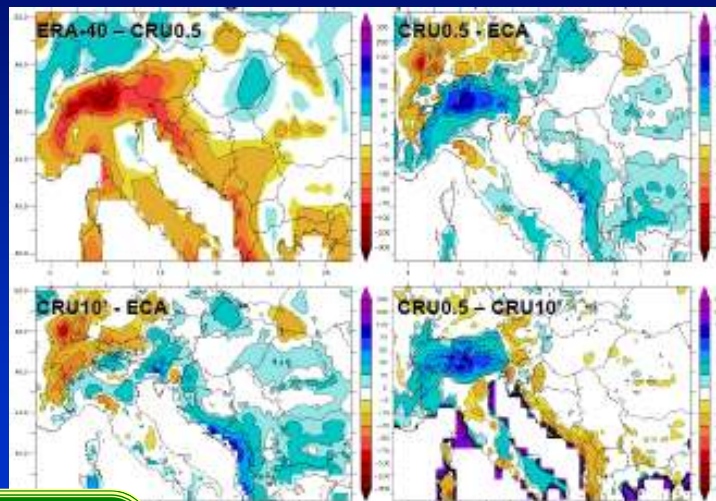
2010. április 22.

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

5. Szimulációs hibák értelmezése

Pontosan ismerjük-e a közelmúltat?

Téli csapadékelterések (1961–2000)



Különböző „megfigyelési” adatbázisok:

- Re-analízisek
- CRU
- ECA
- Magyarországi adatok

Melyik A referencia?

Forrás: Szabó P.

35

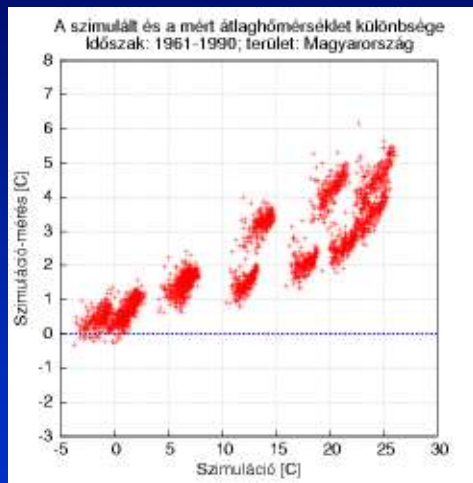
Példa: a hibák időbeli állandósága

LBC: ERA-40, hőmérsékleti hibák [°C]



Feltételezés: a hiba-tulajdonságok időben állandók – igaz-e, milyen időtávon tartható ez a feltételezés?

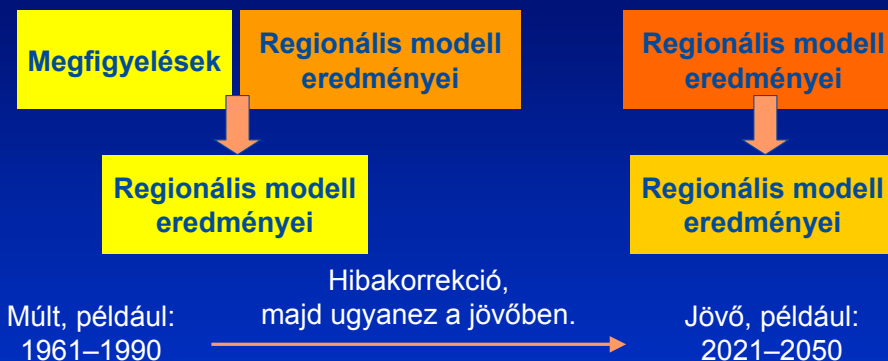
Példa: a hibák értéktől való függése



Nagyobb szimulált érték esetén nagyobb hiba (nem szabály!)

Mit tegyünk a hibákkal?

- Korrigáljuk őket?



- Modellezői megközelítés: a cél a hibák fizikai okainak kutatása és ezek alapján a modellek fejlesztése

- Addig is: delta-módszer

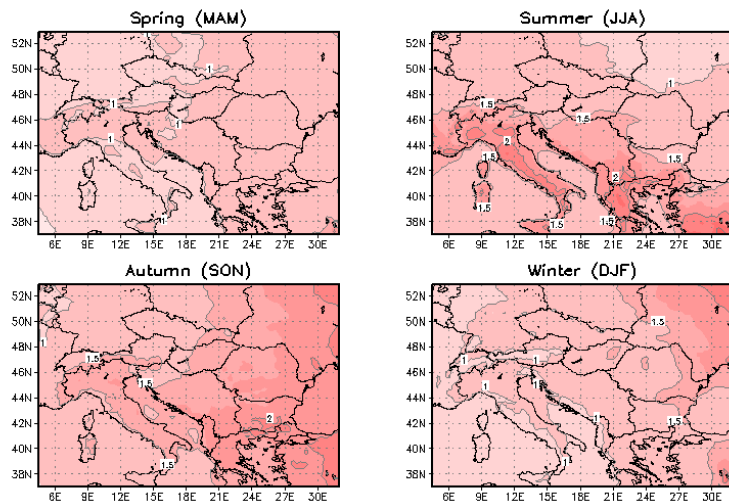
2010. április 22.

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

38

Delta módszer: csak változás

Change of seasonal mean temperature in REMO for 2021–2050 [°C]
Reference: 1961–1990; model resolution: 0.22 deg.



6. A modell-szimulációkban rejlő bizonytalanságok

2010

39

Mi a bizonytalanság?



Hibás tudás?



Hiányos tudás?

Információ az információink korlátairól?



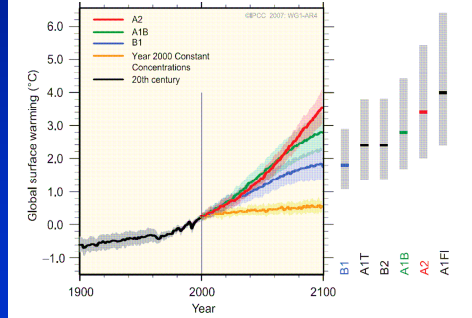
Bizonytalanságok típusai

Az éghajlati modellezésben:

1. Természetes változékonyság – a kezdeti feltételek bizonytalansága
2. Modellek eltéréseiből adódó bizonytalanság
3. Az emberi tevékenység bizonytalansága

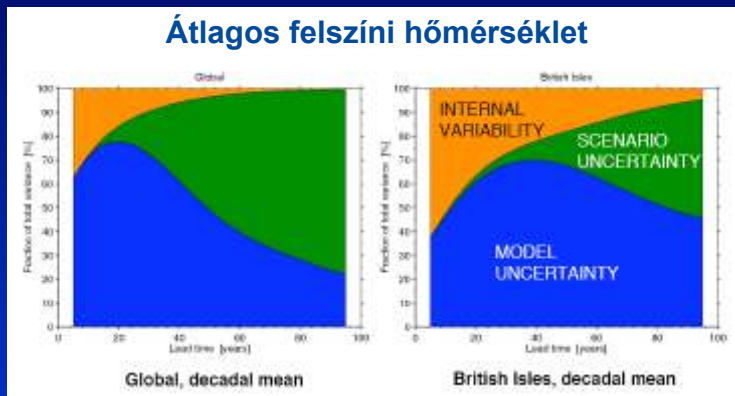
Egy tipikus éghajlati projekció – több modellkísérlet együttese

A globális modellek által jelzett globális hőmérsékletváltozás



Térbeli sajátosságok

Átlagos felszíni hőmérséklet

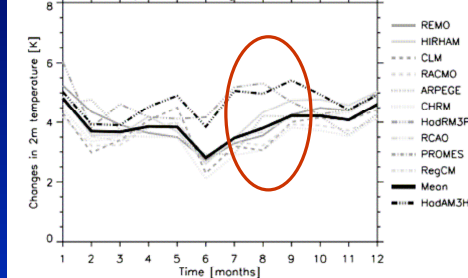


Forrás: Hawkins and Sutton

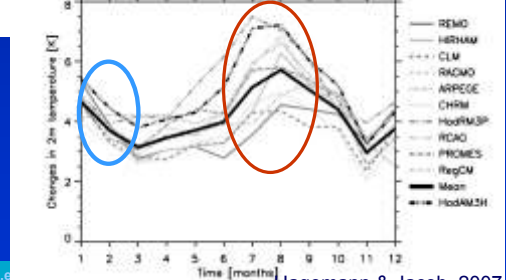
Az egyes bizonytalanság típusok egymáshoz viszonyított aránya függ a vizsgált területtől.

Térbeli sajátosságok

2071–2100 Temperature changes over the Baltic Sea cat.



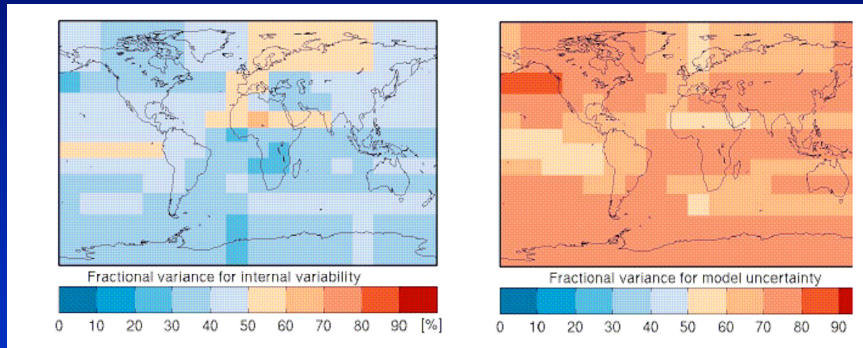
2071–2100 Temperature changes over the Danube catchment



Időbeli változás

Első évtized:
belső változékonyság

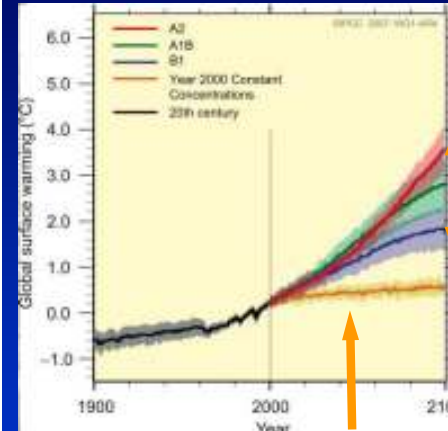
Második évtized:
modellek bizonytalansága



Forrás: Hawkins and Sutton

Az egyes bizonytalanságok egymáshoz viszonyított aránya függ az integrálási időszaktól.

Időbeli változás



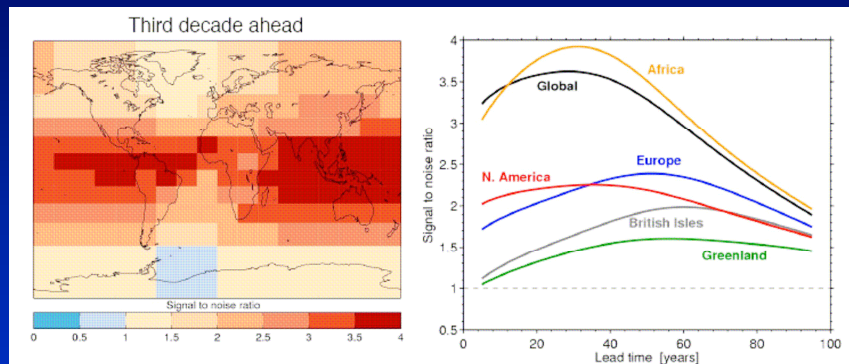
Évszázad vége: nagyobb a forgatókönyvekből adódó bizonytalanság

2021–2050: nagyobb eltérések a GCM-ek különbségeinek okán



Jel-zaj arány

Jel: átlagos változás, zaj: szórás



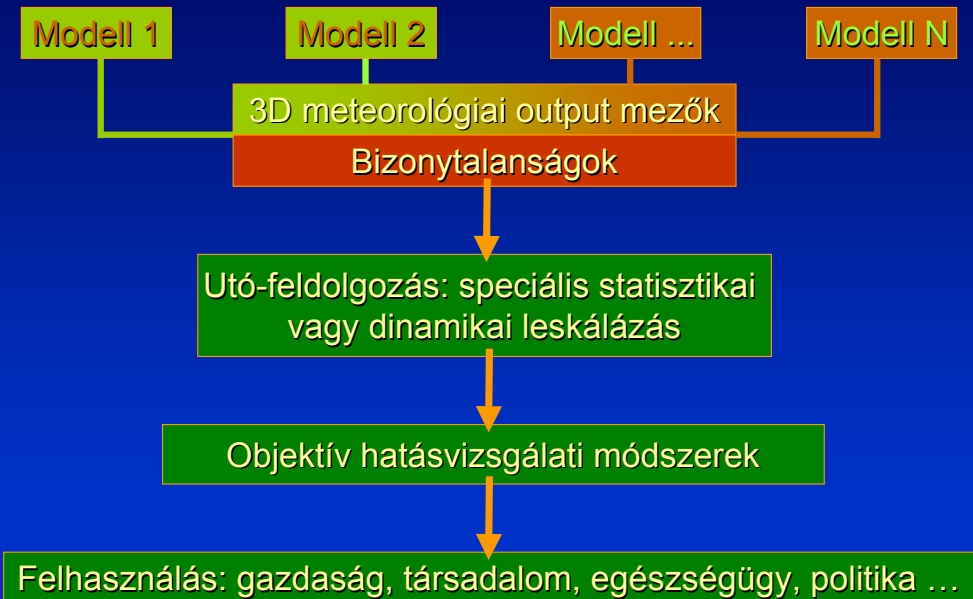
Forrás: Hawkins and Sutton

- Maximum a trópusokon, ettől távolodva csökken
- Van egy maximum az időbeli menetben (30-80 év)
- Mindenütt meghaladja az 1-et

Bizonytalanságok számszerűsítése

- Valószínűségi (ensemble) előrejelzések
- Rövidtávon a legelterjedtebb a kezdeti feltétel hibáira való érzékenység számszerűsítése
- Hosszú távon figyelembe kell venni:
 - A különböző modellek dinamikájának és fizikai parametrizációinak eltéréseit
 - Az emberi tevékenység jövőbeli alakulásának bizonytalanságait
- Tehát: éghajlati skálán multi-modell projekciók
- Az egyes tagok egyforma súllyal szerepelnek?

Éghajlati projekciók felhasználása



Hazai klímadinamikai tevékenység

OMSZ

Modell	LBC	Felbontás	Szcenárió	Időszakok
ALADIN	ERA40	25 és 10 km	-	1961–2000
ALADIN	ARPEGE	10 km	A1B	1961–2100
REMO	ERA40	25 km	-	1961–2000
REMO	ECHAM5/MPI-OM	25 km	A1B	1951–2100
PRECIS	ERA40	25 km	-	1961–1990
PRECIS	HadCM3	25 km	A2, B2	1961–1990 2071–2100
RegCM	ERA40	10 km	-	1961–1990
RegCM	ECHAM5/MPI-OM → RegCM_25	10 km	A1B	1961–1990 2021–2050 2071–2100

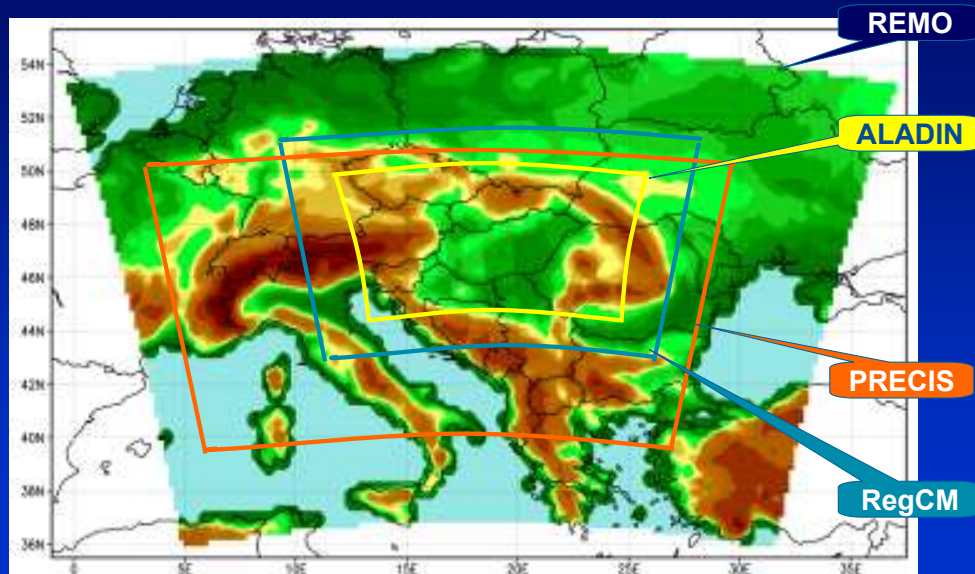
ELTE

2010. április 22.

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

50

Modelltartományok



2010. április 22.

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

51

Kitérő



- Egyéb klíma-alkalmazás: szélklimatológia
- Motiváció: szél-erőművek telepítéséhez – pontos felszínközeli szél-információ az erőművek rotor-magasságában (75-150 m)
- Módszer: a durvább térbeli felbontású globális mezők dinamikai leskálázása egy korlátos tartományú modell (LAM) segítségével
- Kérdés: miért nem méréseket használunk erre?
- A globális mezők időfüggő peremfeltételt szolgáltatnak a LAM számára – nagyskálájú információ
- Előny: a LAM finomabb felbontása, a fizikai folyamatok és felszíni jellemzők (pl. domborzat) pontosabb leírása

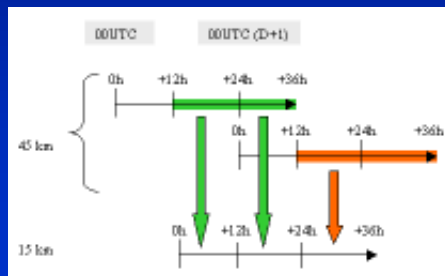
2010. április 22.

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

52

A módszer

- Kiindulási adatok: ERA-40 re-analízisek – 3D meteorológiai mezők az egész Földet lefedő rácson
- Ezek az áramlás nagyskálájú jellemzőit írják le
- Több lépésben történő leskálzás a rövidtávú ALADIN modellel – rövidtávú előrejelzések készítése
- Utolsó lépés: speciális dinamikai adaptáció (Zagar et al., 1999) – 5 km-es felbontáson

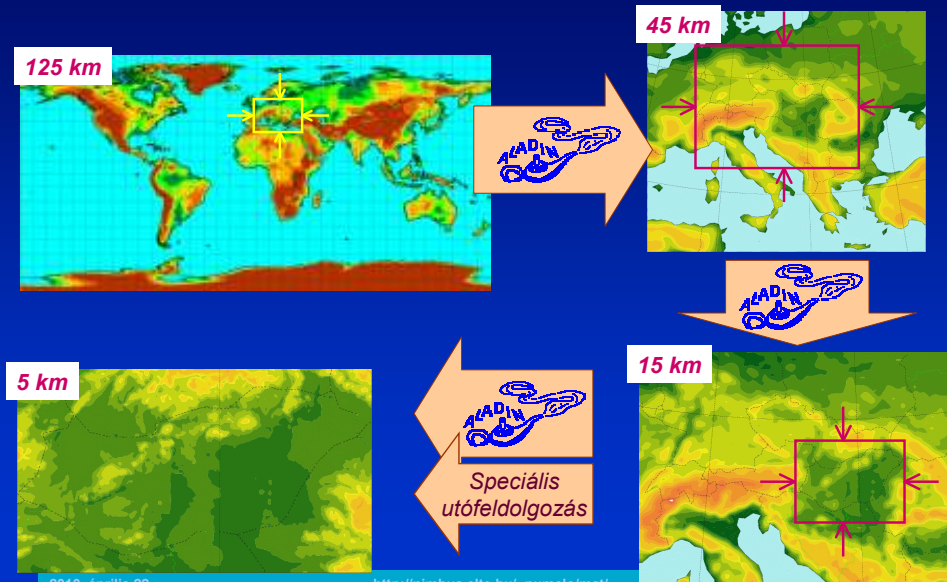


2010. április 22.

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

53

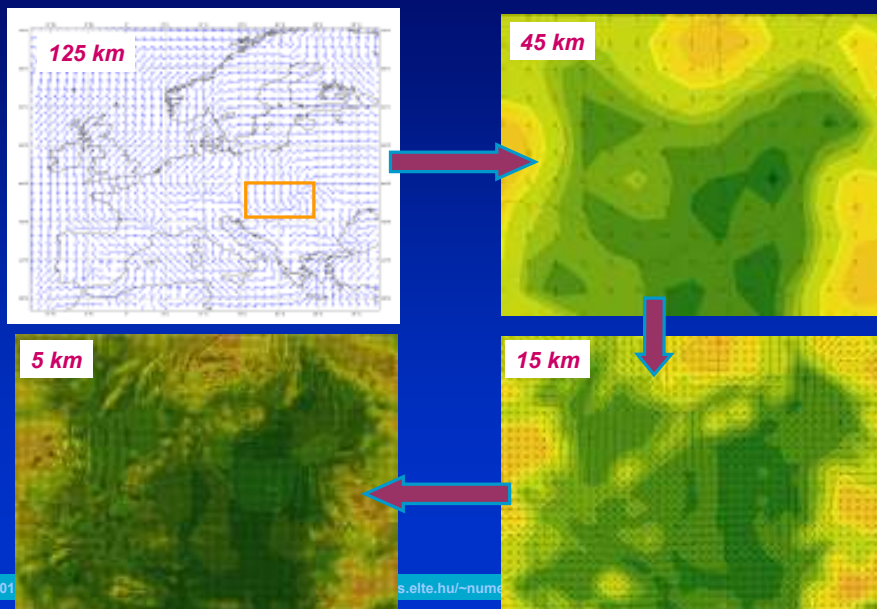
A leskálzás lépései



2010. április 22.

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

A leskálzás hatása a pillanatnyi szélmezőre



2010. április 22.

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

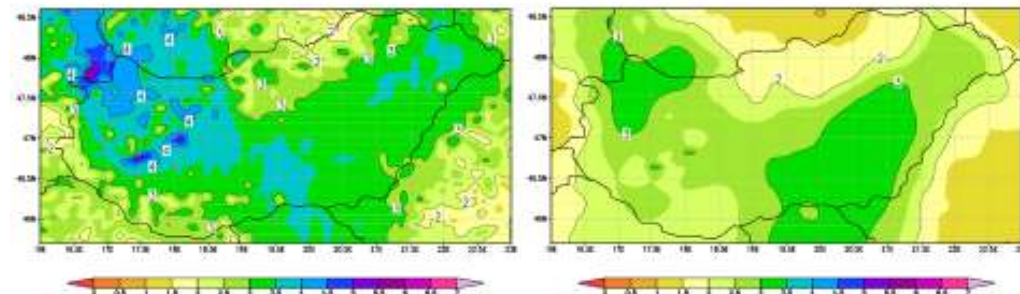
Eredmény és összehasonlítás (10 m)

Klimatológiai leskálzás:
ALADIN_DADA, 5 km, LBC: ERA40

„Igazi” klíma-szimuláció:
ALADIN-Climate, 10 km, LBC: ERA40

Eves átlagos szélesség 10-metres magasságban [m/s]
Időszak: 1961–1990; modell felbontás: 5 km

Eves átlagos szélesség 10-metres magasságban [m/s]
Időszak: 1961–1990; modell felbontás: 10 km



A rövidtávú modell nagyobb átlagos szélességeket jelez.

2010. április 22.

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

56

Összefoglalás

- A globális éghajlati rendszer fejlődésének leírása globális modellekkel
- Két fontos eltérés a rövidtávú időjárási modellezéstől:
 - Aszimptotikus, állandósult viselkedés leírása a cél
 - Csatolt modellrendszer, mely az éghajlati rendszer minden komponensét és kölcsönhatását együttesen célozza leírni
- Projekciók (nem előrejelzések) – hipotetikus kényszerek
- Globális modellezés: nagyskálájú információk pontos leírása
- De: a regionális változások iránya eltérhet a globálistól

- Cél: globális projekciók finomítása – regionalizációs technikák
- Regionális éghajlati modellezés (Magyarországon is)
- A korlátos tartományú klímamodellezés újabb kérdéseket vet fel:
 - Elvárt pontosság
 - Határfeltételek szerepe
 - Tartomány és felbontás megválasztása (nem új probléma)
 - Hibák értelmezése
 - Bizonytalanságok számszerűsítése