

Az éghajlati modellezés mai kihívásai: fejlesztési és fejlesztendő területek

Szépszó Gabriella

Országos Meteorológiai Szolgálat



Statisztikus fizikai szeminárium
2015. november 18.

TARTALOM

1. Motiváció
2. Klímamodellezés gyakorlata
3. Modellezési kihívások
4. Fejlesztési területek
5. Összefoglalás

TARTALOM

1. Motiváció
2. Klímamodellezés gyakorlata
3. Modellezési kihívások
4. Fejlesztési területek
5. Összefoglalás

Motiváció

- Az időjárás-előrejelzés és az éghajlatváltozás vizsgálata modellek segítségével lehetséges
- Gyakori kritika a meteorológiai „előrejelzésekkel” kapcsolatban a **felhasználók** irányából: „nem elég jók a modellek”
- Mit takar? Nem elég részletesek az előrejelzések, nem írnak le minden „fontos” folyamatot
- Gyakori kritika az **elméleti szakemberek** oldaláról: „nem elég jók a modellek”
- Mit takar? A modellekkel addig nem lehetne előrejelzéseket készíteni, amíg nem adják vissza az alapvető folyamatokat elegendő pontossággal

- A modellek szükségszerűen csak közelítő módon írják le a valóságot (ez a tulajdonság „örök”)
- A fejlesztések folyamatosak
- „Sajnos” a felhasználói igények is folyamatosak és egyre intenzívebbek (a felhasználók „kielégíthetetlenek”)
- A meteorológia „válasza” a kritikákra és az igényekre?

- A modellek szükségszerűen csak közelítő módon írják le a valóságot (ez a tulajdonság „örök”)
- A fejlesztések folyamatosak
- „Sajnos” a felhasználói igények is folyamatosak és egyre intenzívebbek (a felhasználók „kielégíthetetlenek”)
- A meteorológia „válasza” a kritikákra és az igényekre?

**Fejlesztések + valószínűségi előrejelzések –
minden idő- és térszkálán**

TARTALOM

1. Motiváció
2. Klímamodellezés gyakorlata
3. Modellezési kihívások
4. Fejlesztési területek
5. Összefoglalás

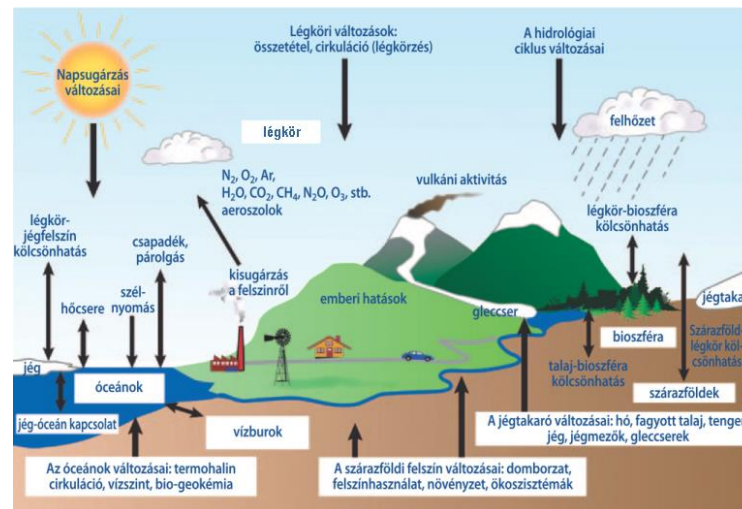
A leírni kívánt rendszer

Gyakorlat

- Éghajlati rendszer: a légkör és a négy geoszféra kölcsönható együttese
- Leírása: modellezési eszközökkel
- Eltérő modellek a különböző célokra: kapcsolt globális, „egyszerűsített”, regionális stb.

Észrevételek

- Az éghajlati rendszer működésének megismerésében számos „fehér folt” van → a modellekkel leírt folyamatok hibákkal terheltek
- Egy olyan modell kellene, ami „mindent tud egyszerre”



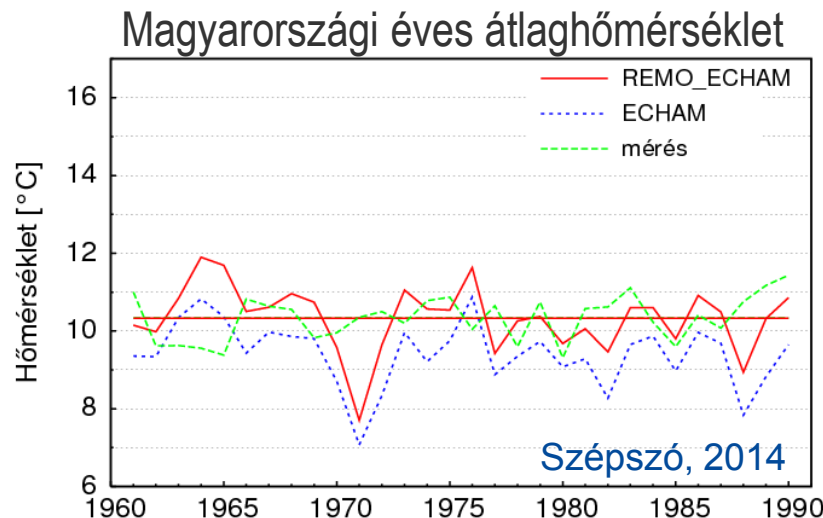
Modellezés folyamata

Gyakorlat

- Először hosszabb múltbeli időszakra történő futtatások
- Validáció mérésekkel
- Elvárás: az adott terület éghajlati jellemzőinek leírása

Észrevételek

- Hogyan lehet olyan modellekkel előrejelzést készíteni, amelyek a múltbeli viszonyokat sem írják le pontosan?
- Lehet, hogy a megfigyelések is rosszak



Jövőbeli szimulációk készítése

Gyakorlat

- Emberi tevékenység számszerűsítése a modellekben: CO₂-koncentráció, sugárzási kényszer → kibocsátási forgatókönyvek a jövőre
- Nem előrejelzés → projekció (ha → akkor)
- Bizonytalanság számszerűsítése több modellszimuláció együttesével (ensemble), pl. IPCC

Észrevételek

- Hogyan lehet 100 évre előrejelzést készíteni, ha még a másnapi időjárás-előrejelzés is bizonytalan?
- Rossz vizsgálati módszertan, pl. a 30-éves átlagok nem jellemzik az éghajlatot (IPCC: 20!)
- Az IPCC rossz és mainstream modellek gyűjteménye, torz képet ad



Regionális éghajlatváltozás

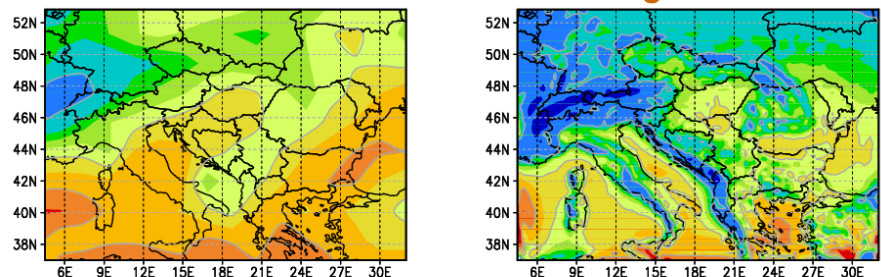
Gyakorlat

- 100-500 km-es felbontású globális modelleredmények → finomítás szükséges
- Leskálázás 10-25 km-es felbontásra regionális klímamodellekkel
- Oldalsó határfeltételeket igényelnek
- Folyamatok részletesebb leírása

Észrevételek

- Eleve rossz kiindulási információk (határfeltételek)
- Több → jobb? (folyamatok leírása)
- Az IPCC nem közöl regionális modelleredményeket 😊

Átlagos évi csapadék [mm/hó], 1961–1990
Globális Regionális



Lokális hatások vizsgálata

Gyakorlat

- Meteorológiai hatások → további közvetett hatások
- A klímamodellek eredményei számszerű információt szolgáltatnak az **objektív** hatásvizsgálatokhoz
- Bizonytalanságok (projekciókból **és** hatásvizsgálati módszerből) figyelembevétele elengedhetetlen

Észrevételek

- Eleve rossz kiindulási információk
- Gyakran empirikus hatásvizsgálati módszertan

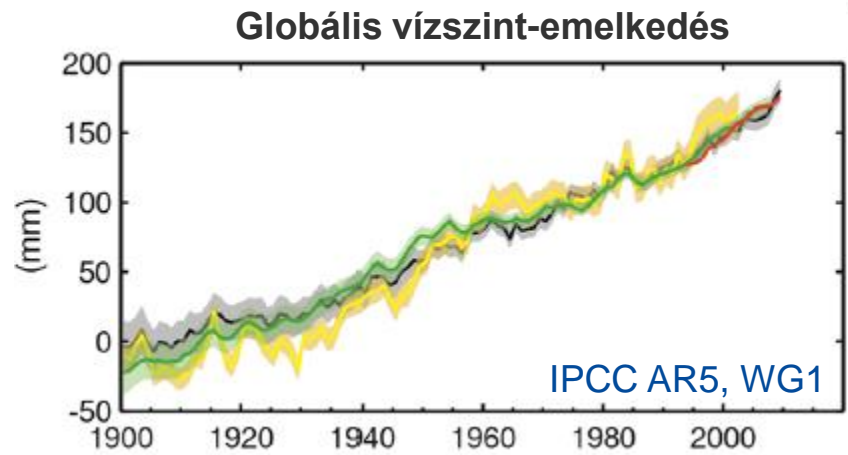


- Bizonytalan adatok és bizonytalan módszerek alapján előálló információkkal készülünk a klímaváltozásra



Akkor mégis miért?

- Az éghajlatváltozás hatásai napjainkban is mérhetőek
- Ezek néhány évtizeden belül drámaiak lehetnek egyes területeken



- A felkészüléssel nem lehet megvárni azt, amikor már „elég jó” eszközökkel rendelkezünk a várható hatások „elég pontos” feltérképezéséhez

Dilemma

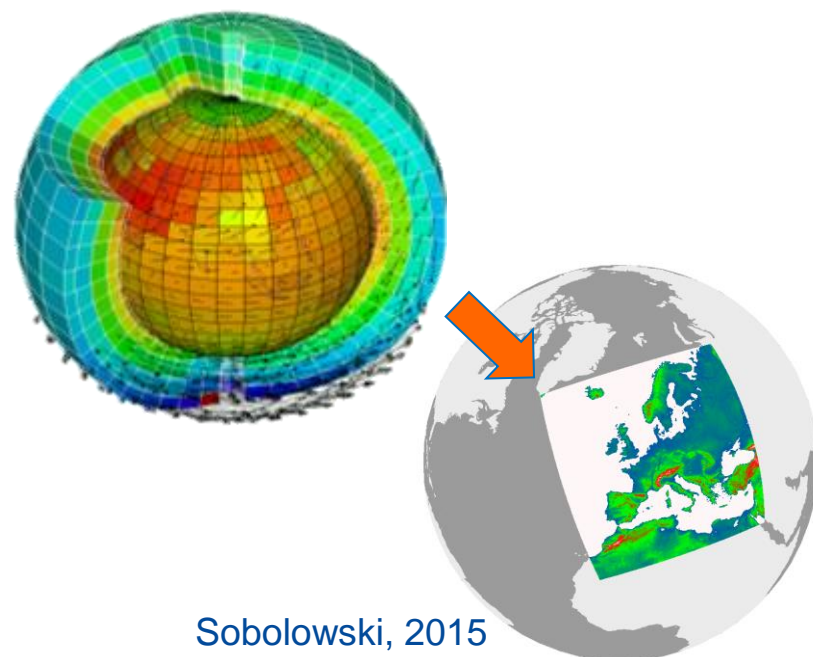
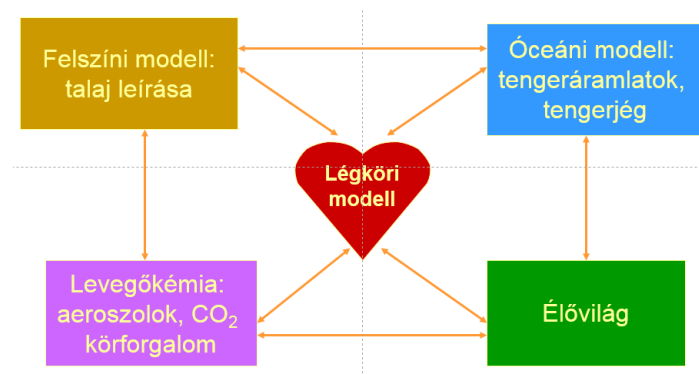
- Választási lehetőség:
 1. Tökéletlen eszközökkel jelenlegi tudásunkhoz mérten kutatjuk az éghajlatváltozást
 2. Addig fejlesztünk, amíg a modellünk elegendően jó közelítése nem lesz a valóságnak, és csak ezután készítünk projekciókat
- Problémák:
 - Ki fogja a jóság kritériumát felállítani?
 - Hogyan lehet ezt nemzetközi szinten összehangolni?
(Párhuzam: a *fejlesztett* AROME és az *adaptált* WRF „csatája” az OMSZ-nál)
 - A modellfejlesztések sosem érik utol a felhasználói igényeket
- „Megoldás”: folyamatos **fejlesztés** és a bizonytalanságok számszerűsítésére **valószínűségi megközelítés**

TARTALOM

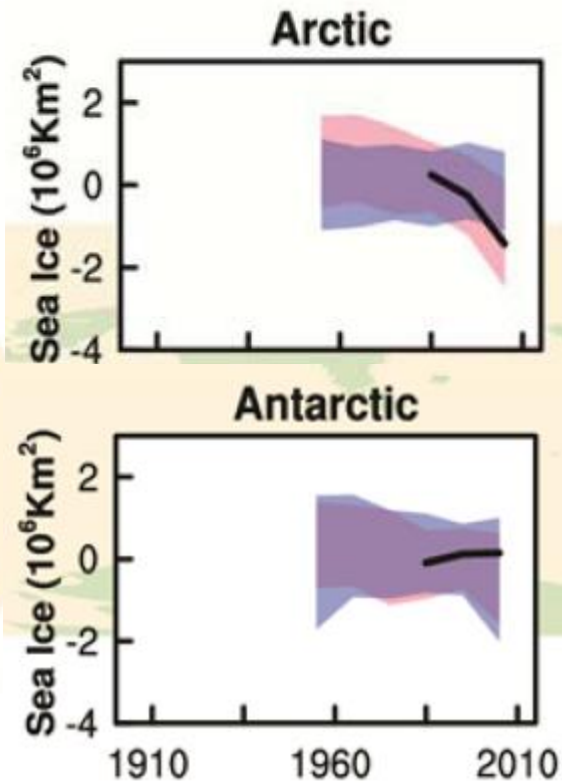
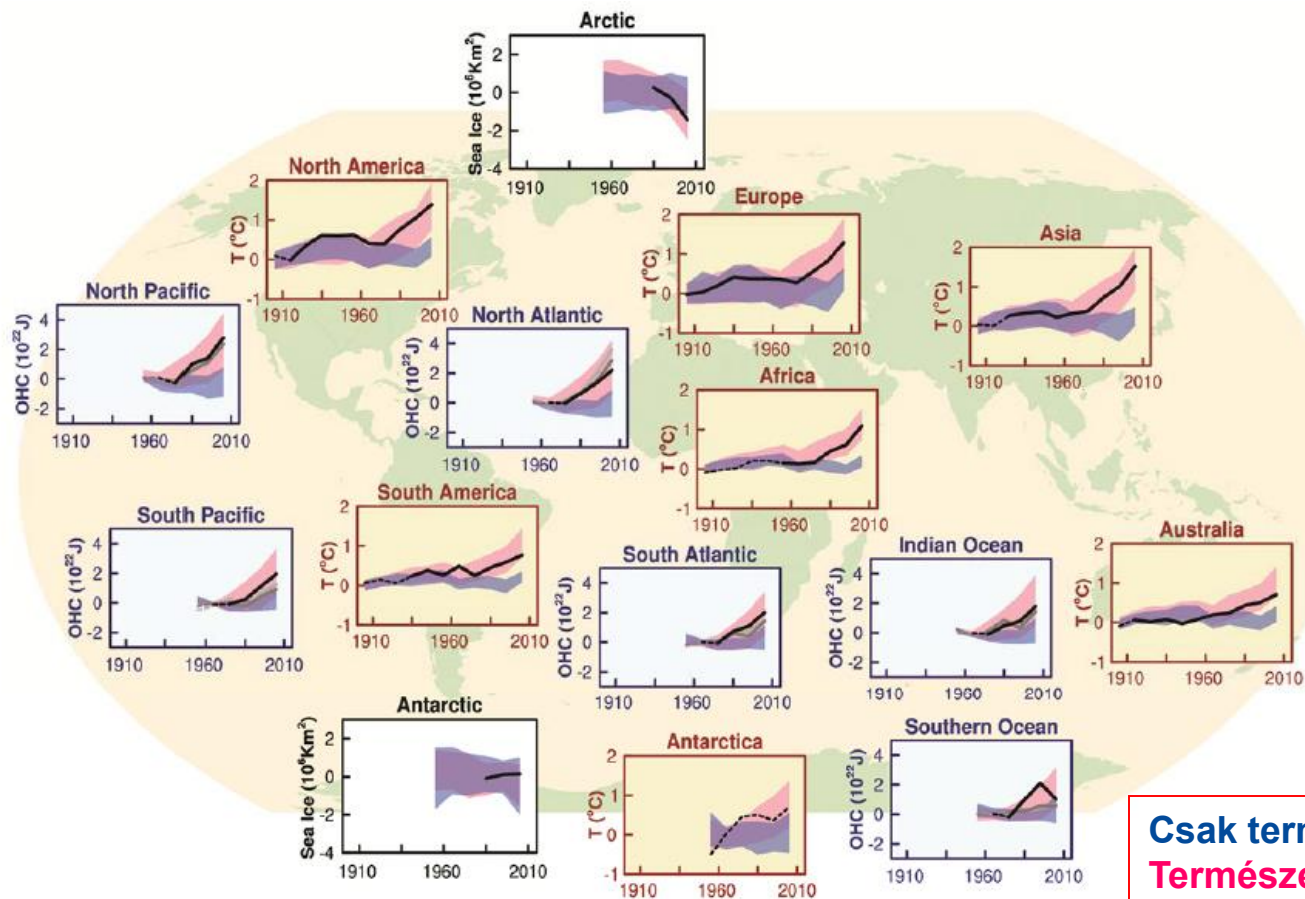
1. Motiváció
2. Klímamodellezés gyakorlata
3. Modellezési kihívások
4. Fejlesztési területek
5. Összefoglalás

Model családok

- Kapcsolt globális előrejelző modellek
- Kapcsolt globális éghajlati modellek
- Globális légköri modellek
- Regionális modellek
- Kapcsolt regionális modellek
- Models with intermediate complexity
- Játékmodellek

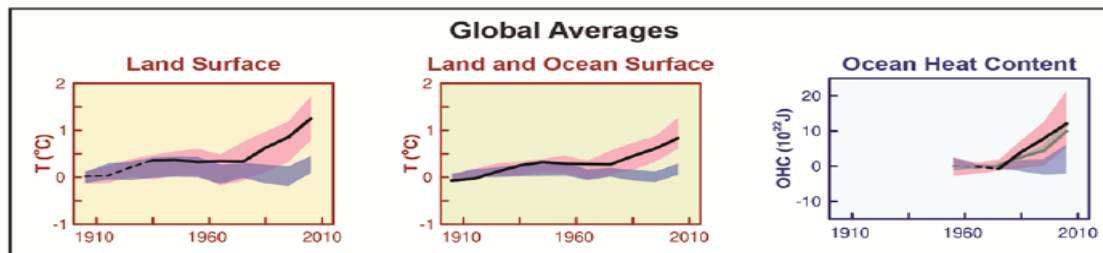


Az emberi tevékenység hatása



Csak természetes kényszerek
Természetes + antropogén kényszerek

- Az emberi tevékenység hatása 95–100 %-os bizonyosságú



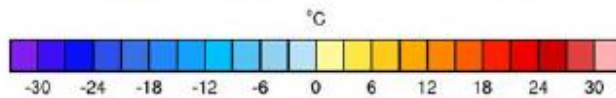
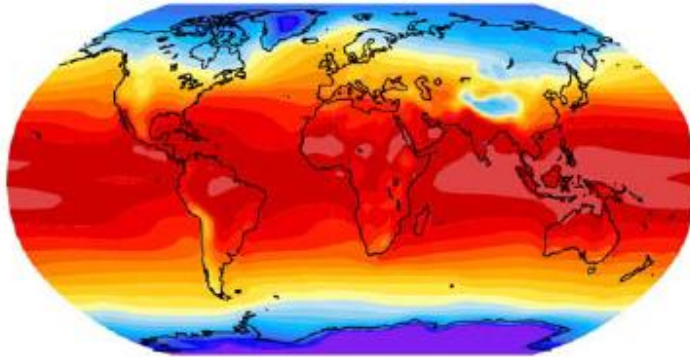
— Observations

■ Models using only natural forcings

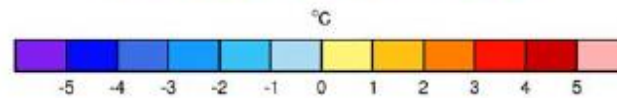
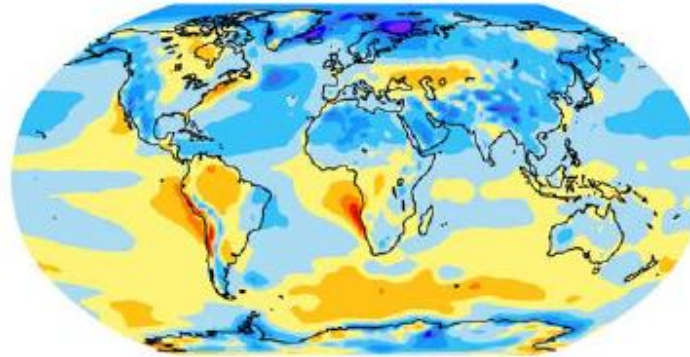
■ Models using both natural and anthropogenic forcings

Hőmérséklet – 1980–2005

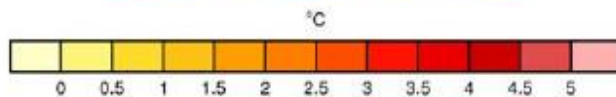
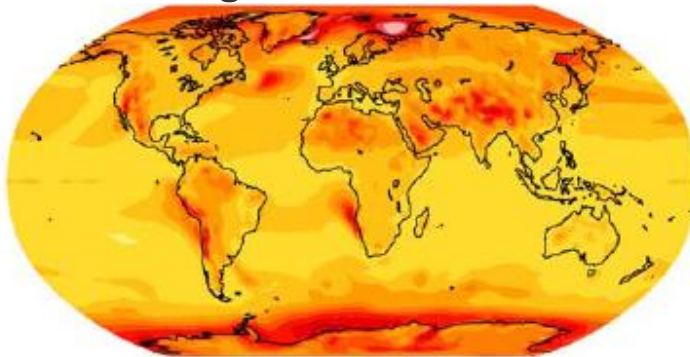
Multi-modell átlag



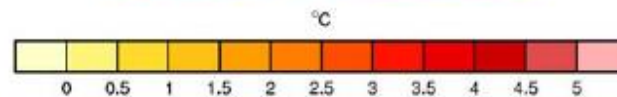
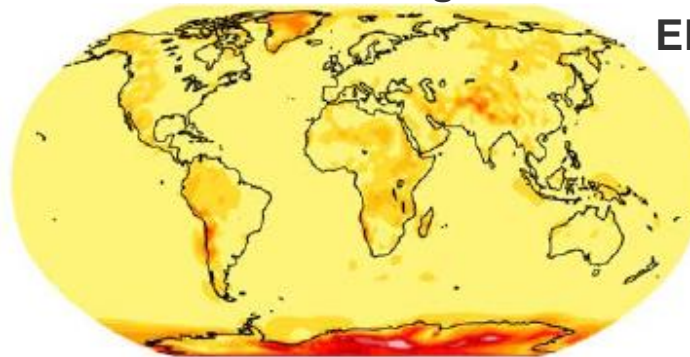
Átlagos szisztematikus hiba



Átlagos abszolút hiba

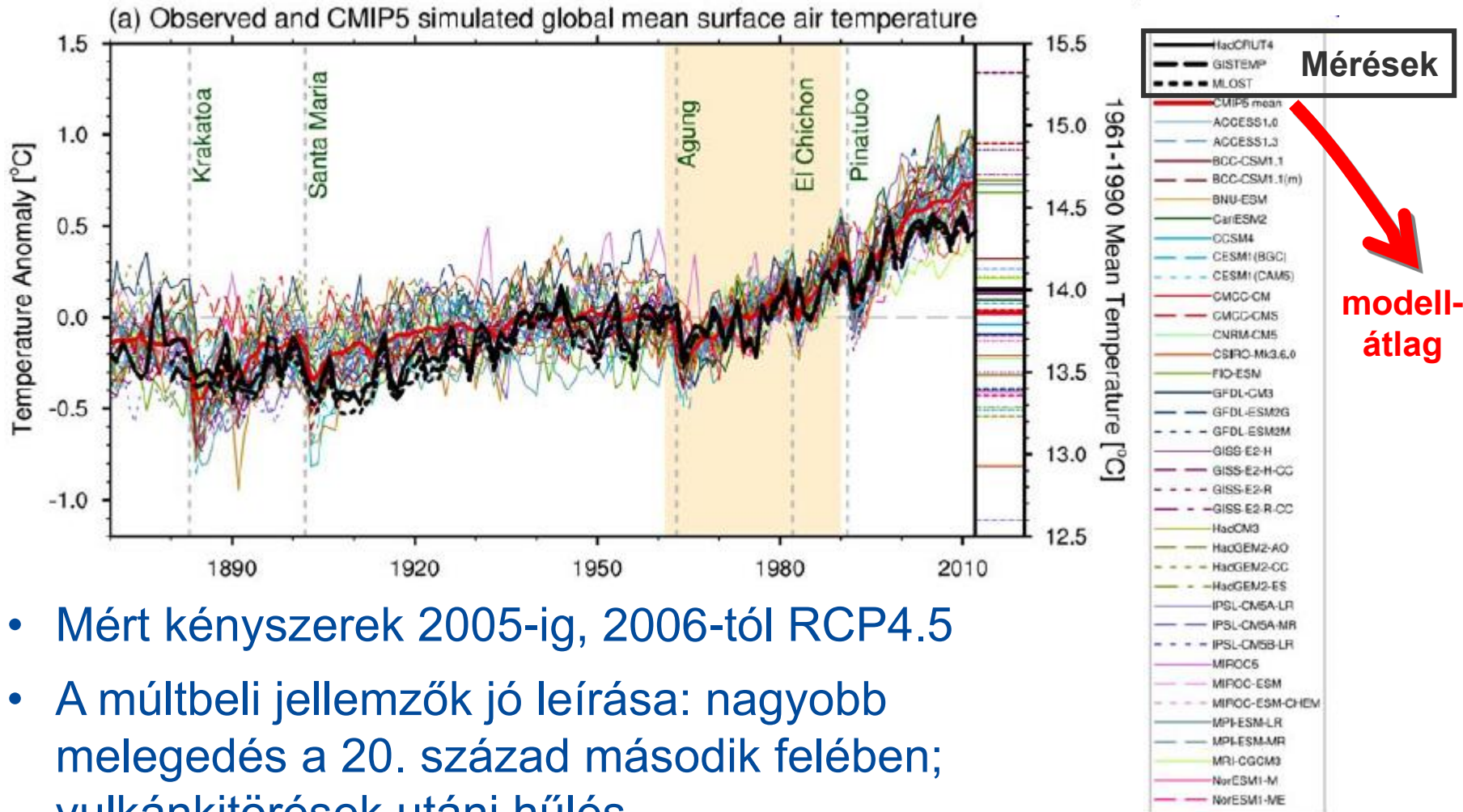


Re-analízisek átlagos eltérése: ERA40, ERA-Interim, JRA



Nagyobb szisztematikus hiba: egyenlítői feláramlás, észak-atlanti térség északi részén, magas hegységek

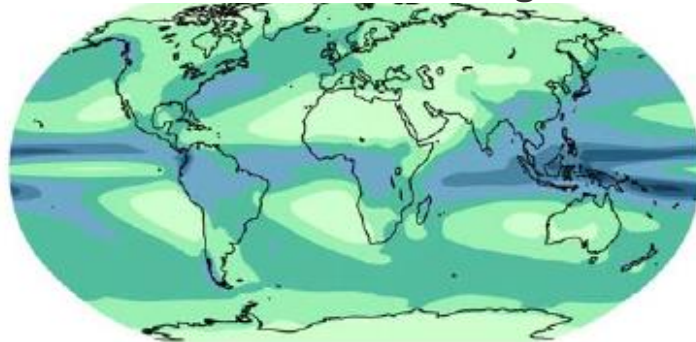
Éves átlaghőmérséklet alakulása



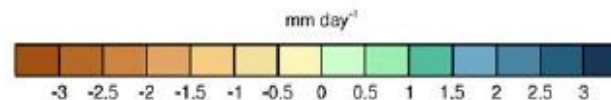
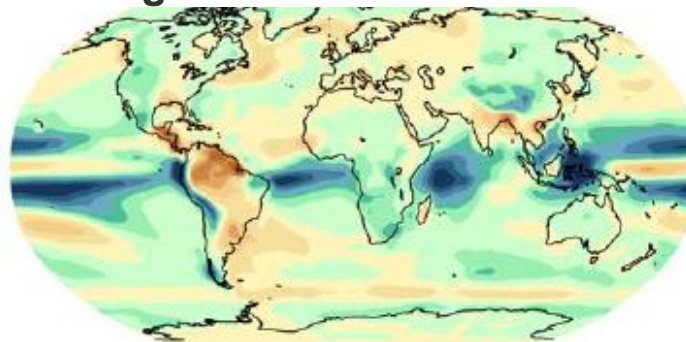
- Mért kényszerek 2005-ig, 2006-tól RCP4.5
- A múltbeli jellemzők jó leírása: nagyobb melegedés a 20. század második felében; vulkánkitörések utáni hűlés
- Az utóbbi 10-15 év „visszaesett” melegedését a nem mutatják a szimulációk

Csapadék – 1980–2005

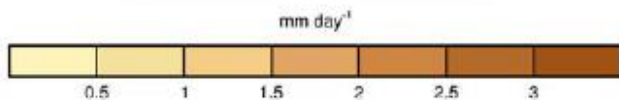
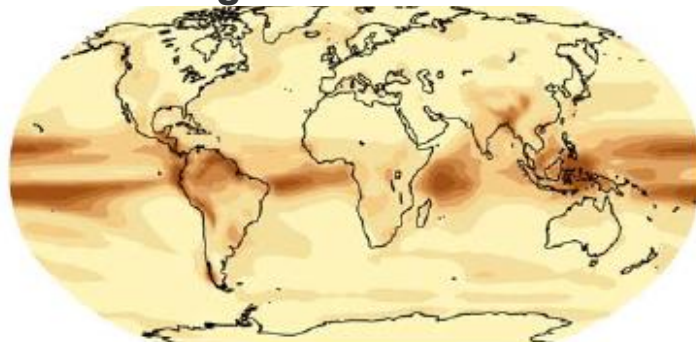
Multi-modell átlag



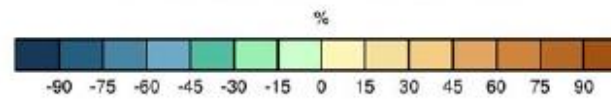
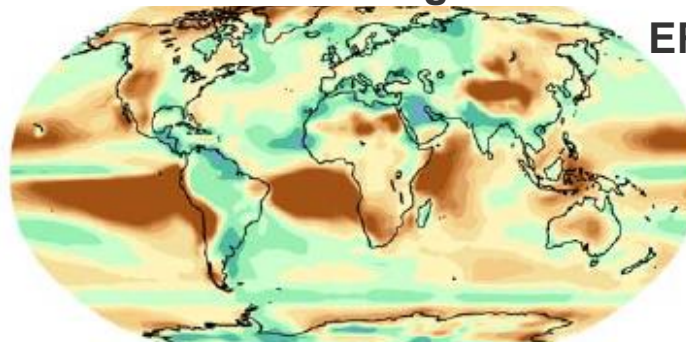
Átlagos szisztematikus hiba



Átlagos abszolút hiba



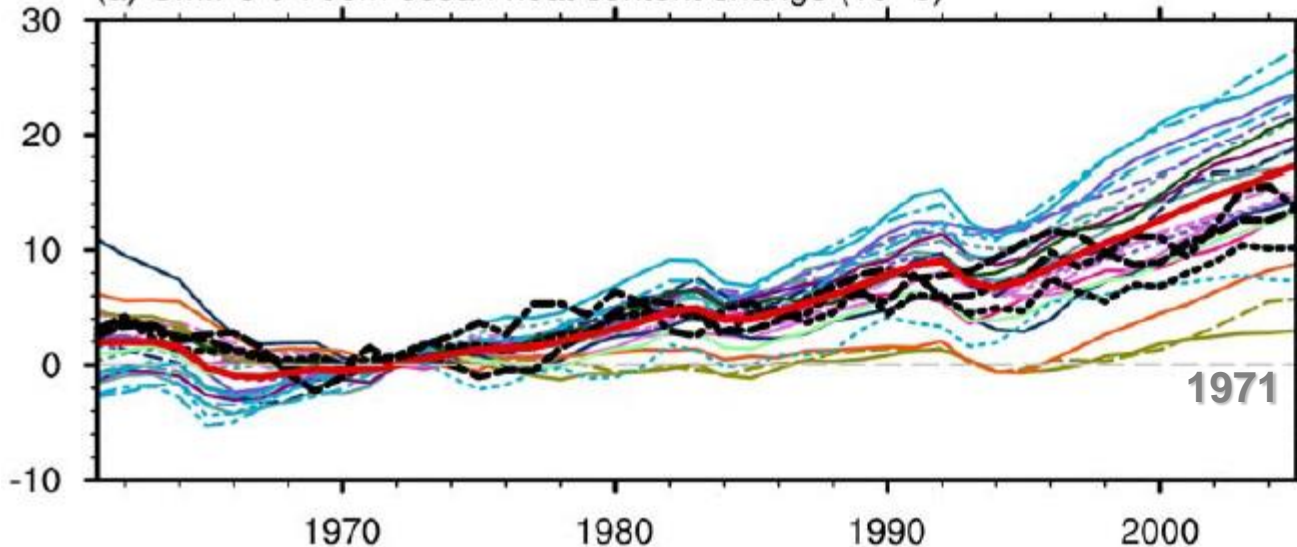
Re-analízisek átlagos eltérése: ERA40, ERA-Interim, JRA



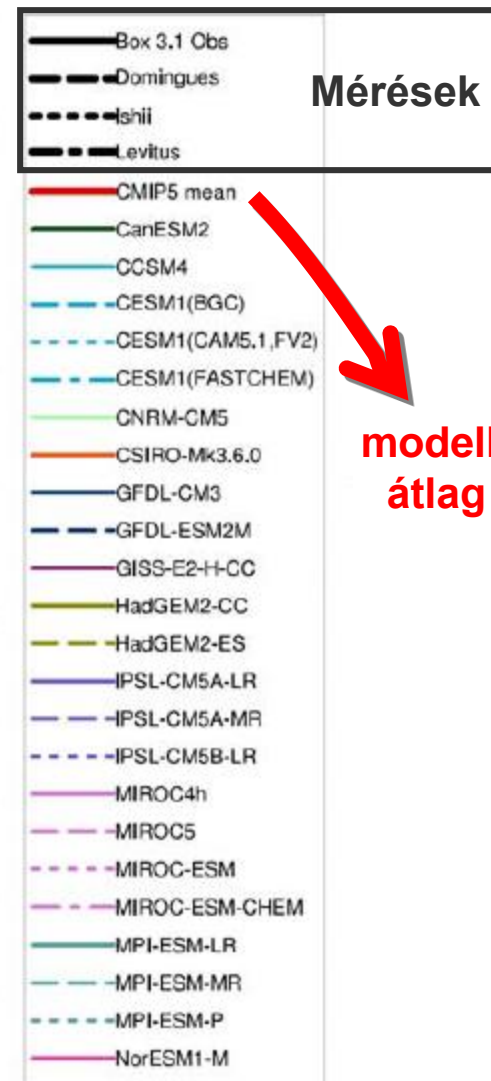
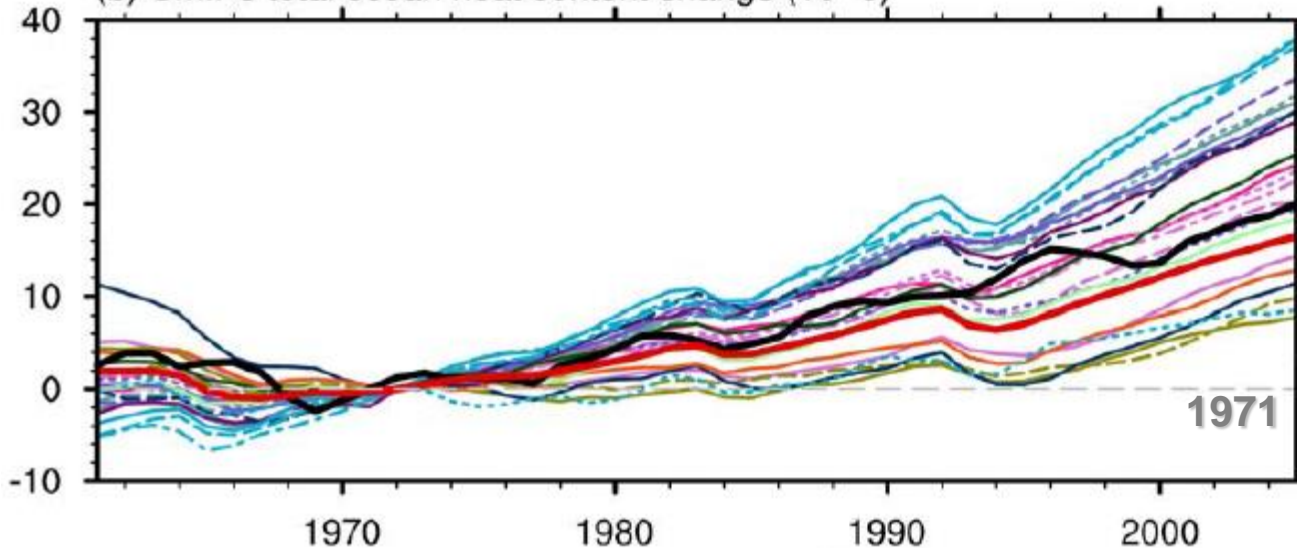
A nagyskálájú jellemzők jó leírása, regionálisan bizonytalanságok

Óceáni hőtárolás

(a) CMIP5 0-700m ocean heat content change (10^{22} J)

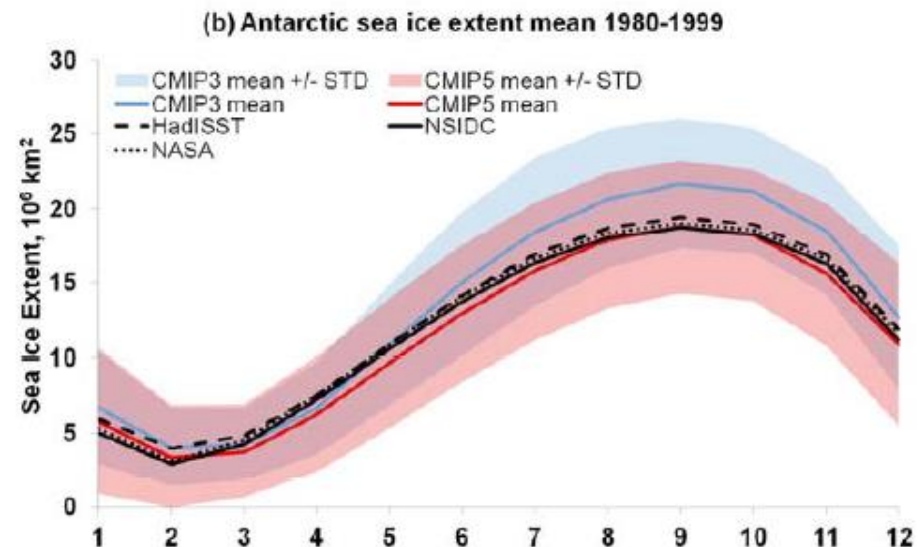
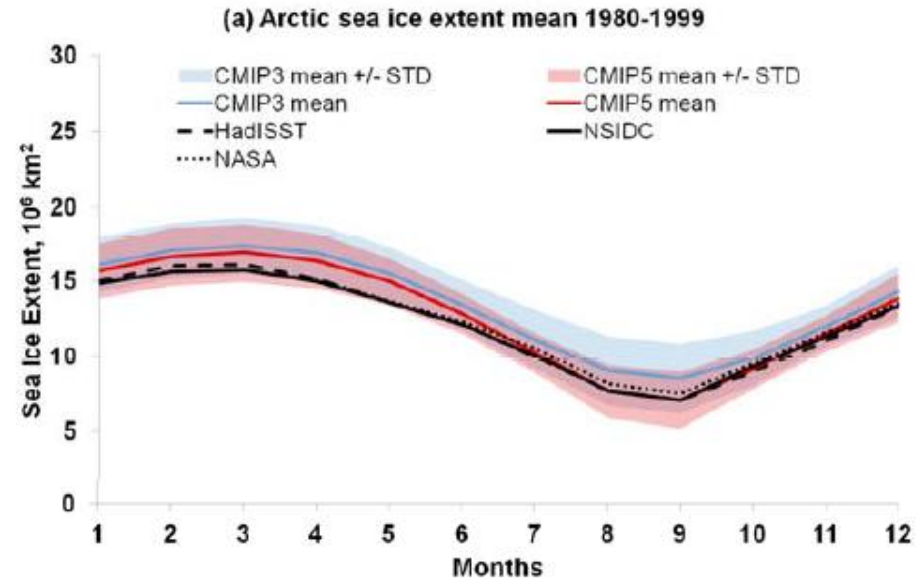


(b) CMIP5 total ocean heat content change (10^{22} J)



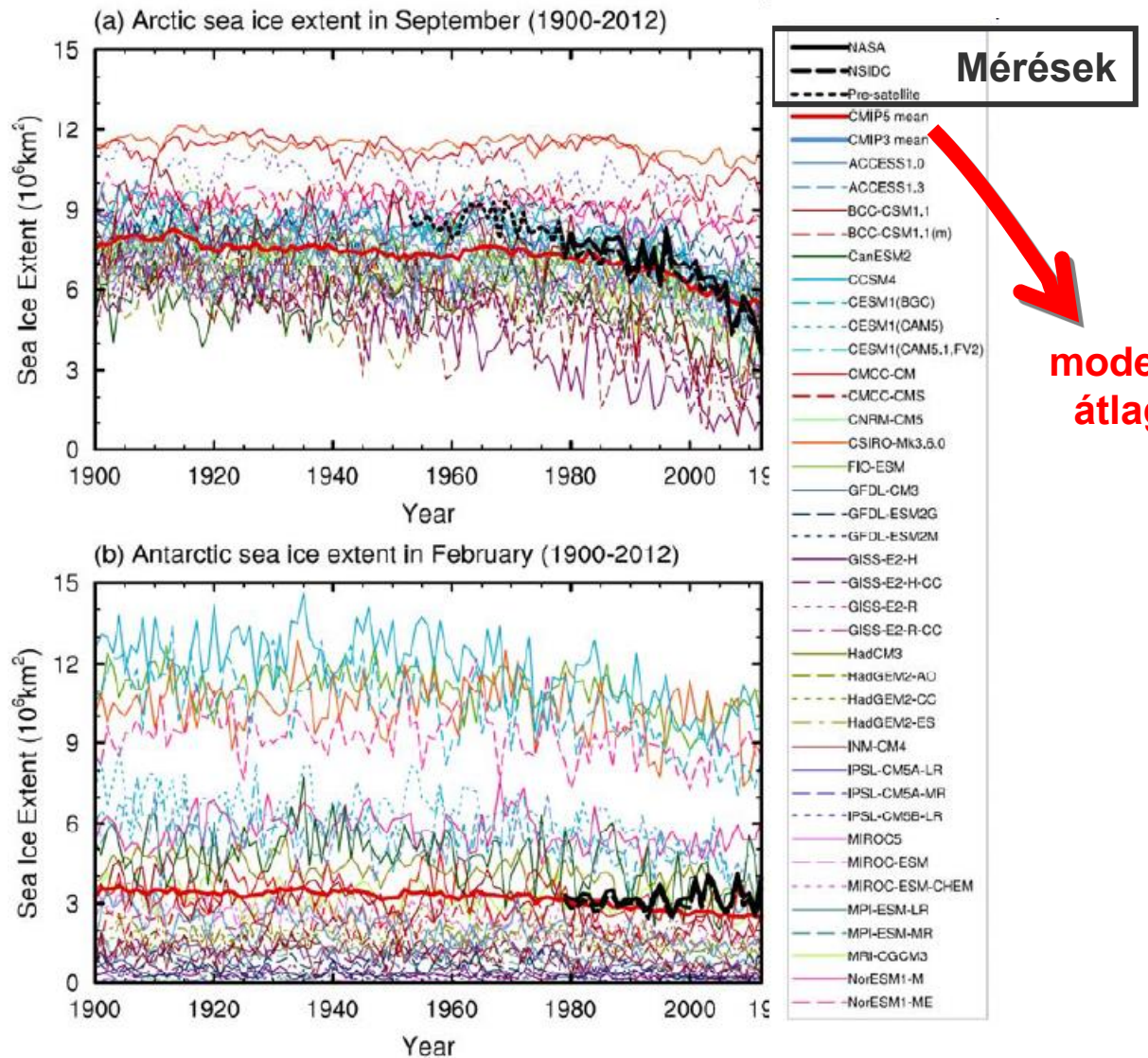
A jég évszakos kiterjedése

- Az északi-sarki jégtakaró évszakos változásának leírása javult
- Tavaszi és téli kiterjedés fölébecslése az Északi-sarknál
- Az antarktisi jégtakaró évszakos változásait átlagosan jól jellemzik a modellek
- De nagyobb szórás az egyes modellek között

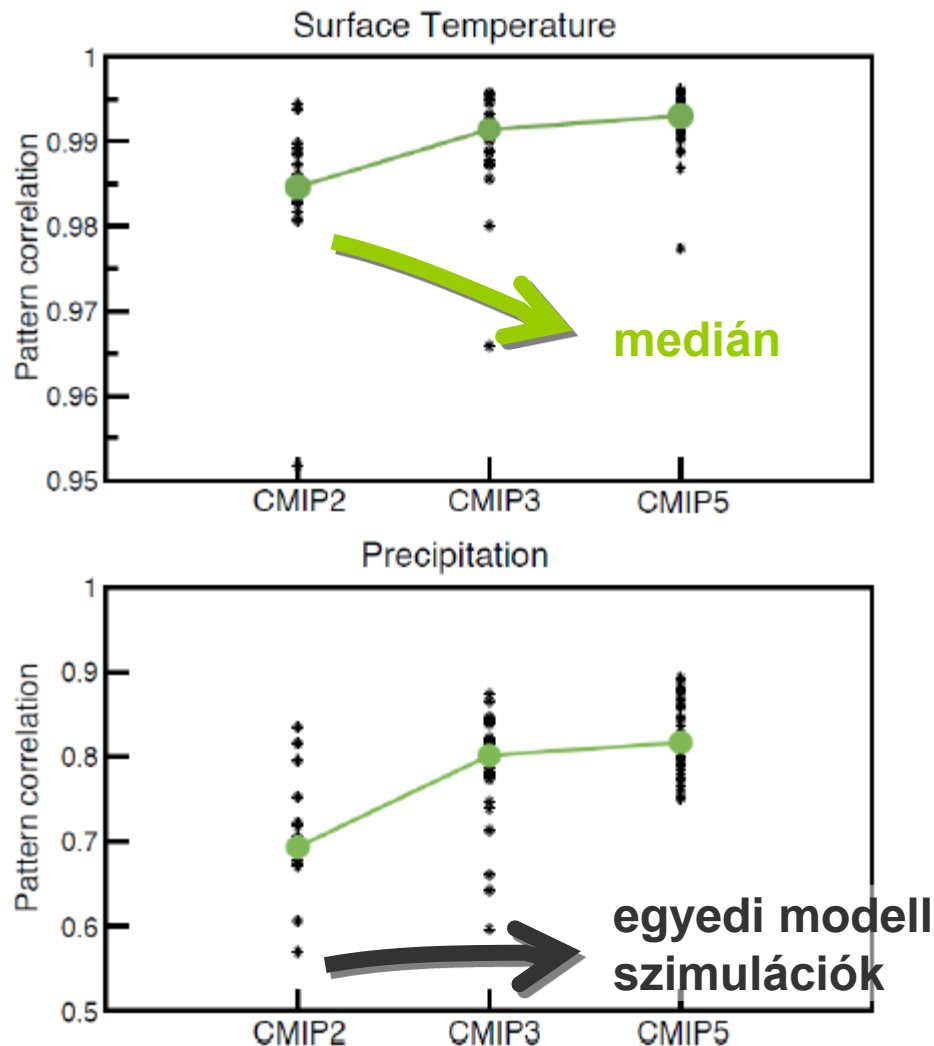


A jég kiterjedésének alakulása

- Nagy szórás a modellek között
- Északi-sark: csökkenő trend (mérésben és szimulációkban)
- Antarktisz: mérés: gyenge ↑; szimulációk: gyenge ↓



A globális klímamodellek fejlődése



- Továbbra is a felhőzeti szimulációk bizonytalansága a legnagyobb → különbségek a modellek érzékenysége között
- Jobb leírás: ENSO, monszun, blocking, északi félteke jégkiterjedése, csapadék-szélsőségek, stb.
- Változatlan leírás: antarktisi jég kiterjedése, hőmérsékleti szélsőségek, stb.

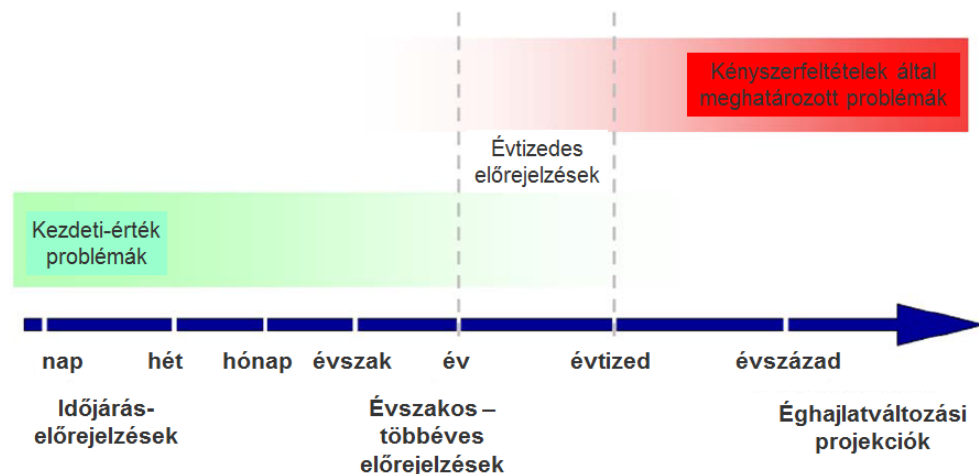
TARTALOM

1. Motiváció
2. Klímamodellezés gyakorlata
3. Modellezési kihívások
4. Fejlesztési területek
5. Összefoglalás

Éghajlati előrejelzések és projekciók

climate simulation, prediction, forecast, projection

- Az éghajlat változását alapvetően két tényező határozza meg:
 1. Az emberi tevékenység
 2. A természetes változékonyság
- **Éghajlati előrejelzés:** a változékonyság és az antropogén tevékenység hatására néhány éven-évtizeden belül bekövetkező változások leírása – minél pontosabb kiindulási feltételek
- **Éghajlati projekció:** az emberi tevékenység hatására hosszú távon bekövetkező éghajlatváltozás leírása – a kezdeti feltételek rövid idő után elveszítik jelentőségüket



Globális modellek fejlesztése

Éghajlat

- Több modell és modellfejlesztő központ, általános célkitűzések, egyéni fejlesztési területek, csak a szimulációk koordinálása
- CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) programok: 1995-től modellszimulációk kapcsolt globális modellekkel
- Koordináció és finanszírozás: World Climate Research Programme (WCRP) és AIMES (International Geosphere-Biosphere Program része)
- Az IPCC jelentéseihez adatot szolgáltatnak, de nem az IPCC „igényei” vezérlik!

Időjárás

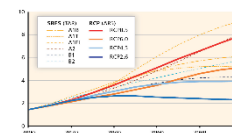
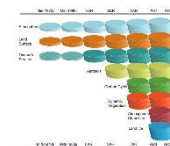
Például

- ECMWF (European Centre for Medium Range-Weather Forecasts) 1975 óta
- Finanszírozás: 34 résztvevő ország
- Világos stratégia és konkrét célkitűzések 5- és 10-éves távlatban
- Legfontosabb cél: egy globális középtávú számszerű előrejelzési modell operatív futtatása, fejlesztése, kutatása

CMIP5 és CMIP6

- CMIP5:

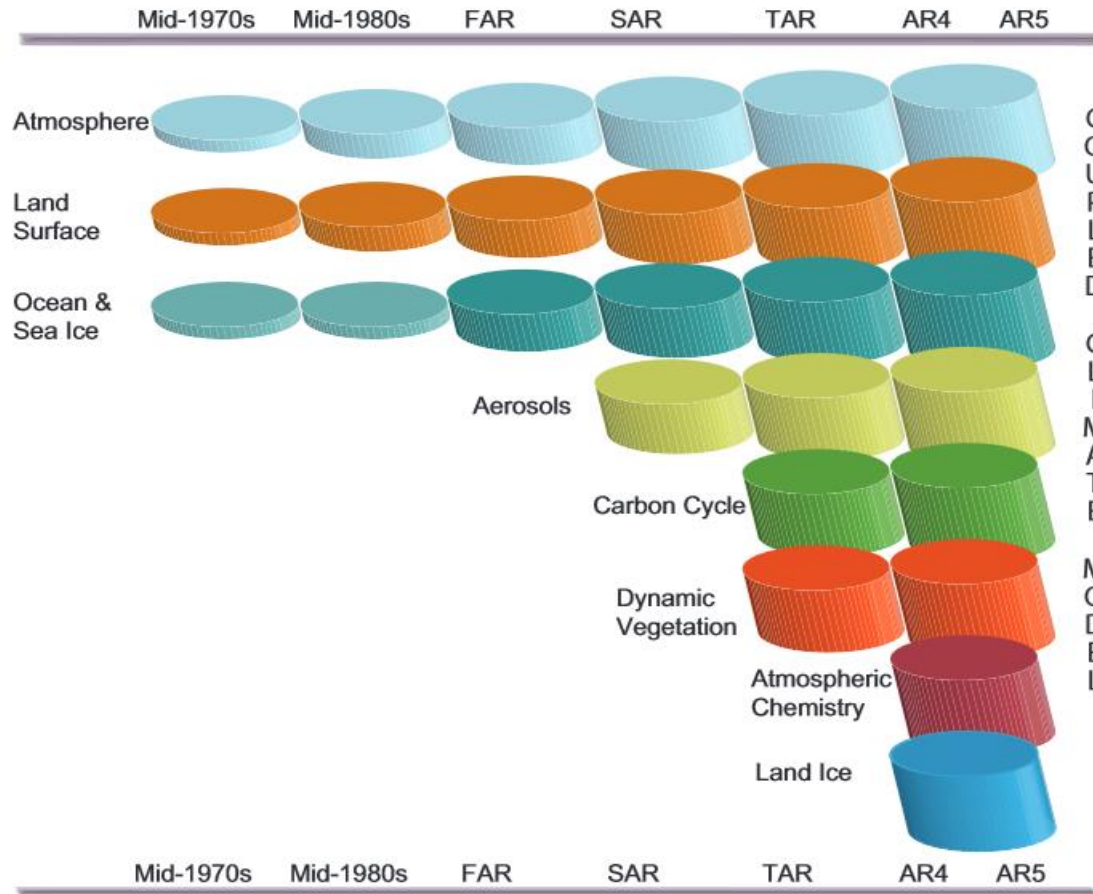
- Az AOGCM-ek mellett első-generációs Earth System modellek (több komponens); 100 km nagyságrendű felbontás
- Mitigációs forgatókönyvek; a jövő 2006-tól kezdődik
- Nemcsak éghajlati projekciók, éghajlati előrejelzések is (decadal predictions)
- Szorosabb együttműködés a különböző klímakutató közösségekkel (input adatok a regionális modellezéshez)



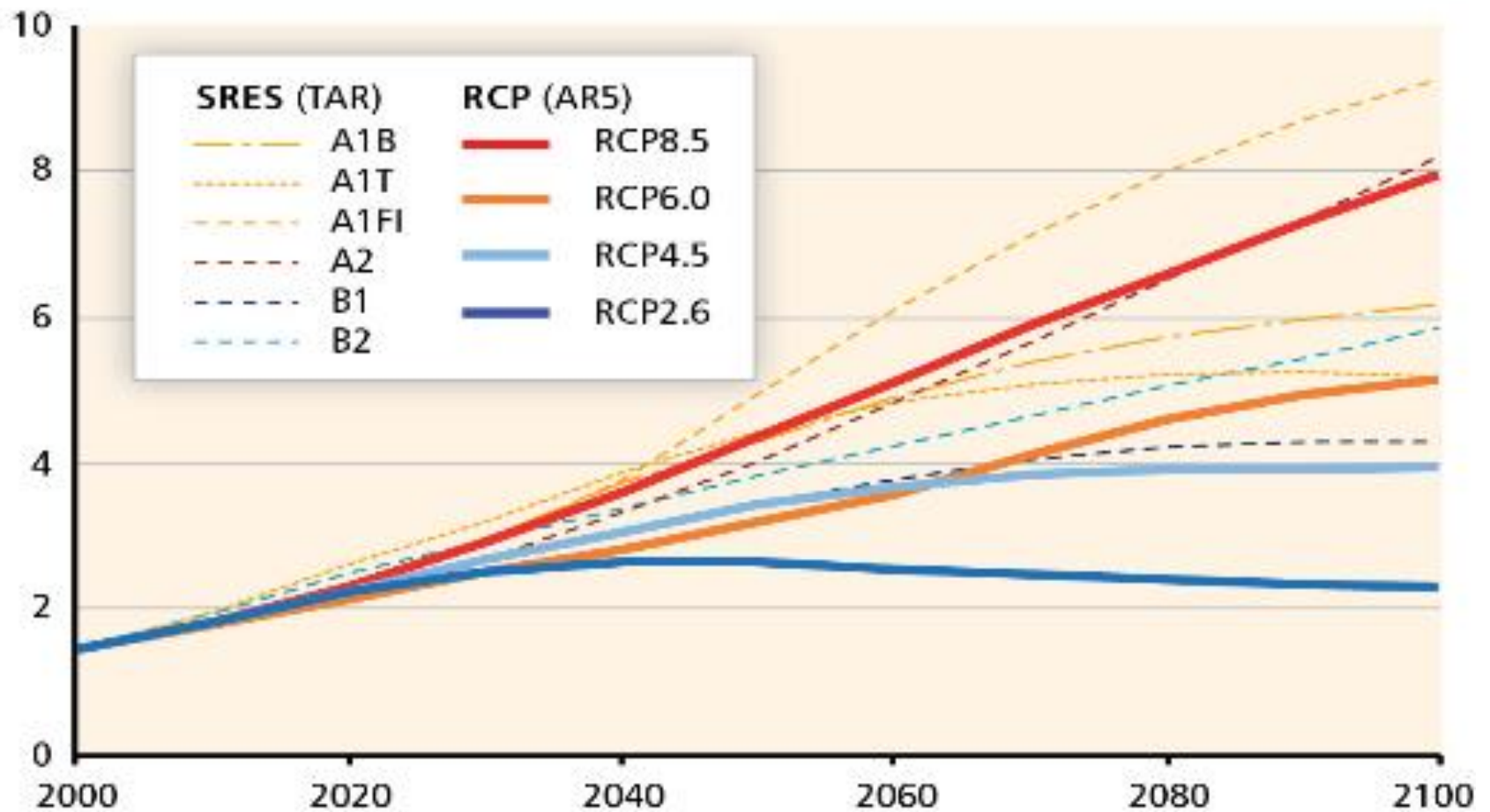
- CMIP6:

- További mitigációs forgatókönyvek; a jövő 2015-től kezdődik
- Kiemelt forgatókönyvek: RCP8.5, 6.0, 2.6
- Outputok sűrűsége: továbbra is 6 óra (csatolás regionális modellekhez)
- Az éghajlatkutatás 6 legfontosabb kihívása: (i) regionális éghajlati információk, (ii) tengerszint-emelkedés és hatásai, (iii) krioszféra változásai, (iv) elérhető vízmennyiség, (v) szélsőségek leírása, (vi) felhőzet, cirkuláció és klímaérzékenység

CMIP5 és CMIP6



CMIP5 és CMIP6



Globális modellek fejlesztési területei

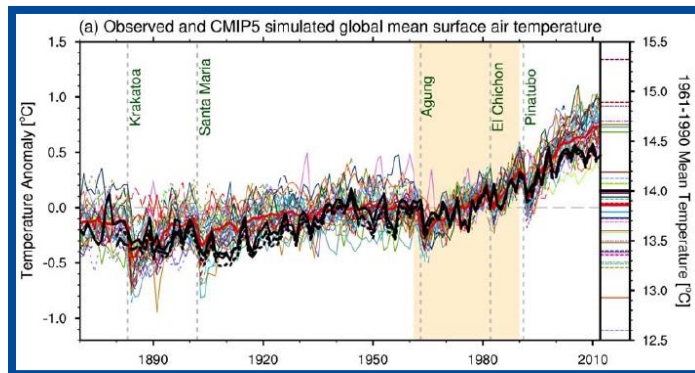
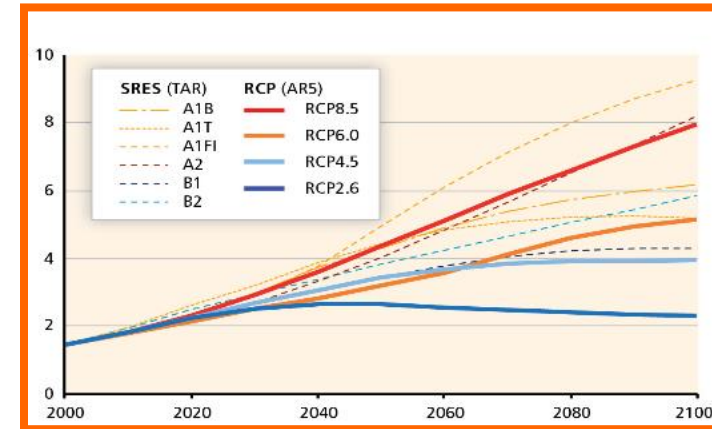
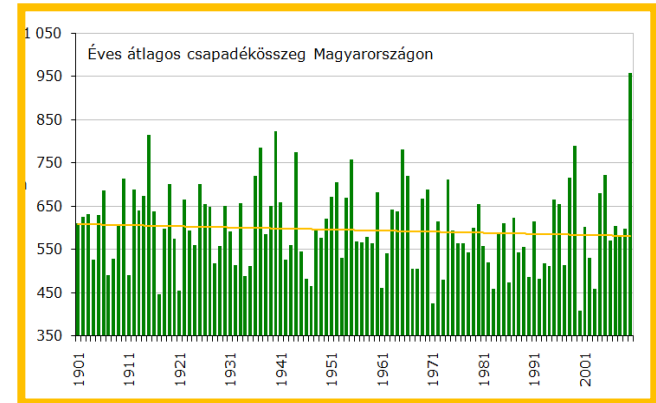
- Honnan lehet tudni, mik a fejlesztési területek? Futó pályázatok, kiírt állásajánlatok és projektfelhívások:
 - Évszakos és évszakosnál rövidebb skálájú előrejelzések (seasonal 2 subseasonal forecasts – Copernicus)
 - Évtizedes előrejelzések (decadal predictions – PRIMAVERA H2020)
 - Óceán-légkör kölcsönhatások, változékonyság (PRIMAVERA H2020)
 - Változékonyság: monszun, El Nino
 - Óceáni folyamatok (dinamikai, biokémia, szénkörforgalom – CRESCENDO H2020)
 - Sztochatikus parametrizáció (PRIMAVERA H2020)
 - Seamless predictions
 - Finom térbeli felbontás (PRIMAVERA H2020, IMPREX H2020)
 - Különböző bizonytalanságok szerepe, időbeli fejlődése
 - [Emberi tevékenység hatása (Miskolczi)]

Globális modellek fejlesztési területei

- Honnan lehet tudni, mik a fejlesztési területek? Futó pályázatok, kiírt állásajánlatok és projektfelhívások:
 - Évszakos és évszakosnál rövidebb skálájú előrejelzések (seasonal 2 subseasonal forecasts – Copernicus)
 - Évtizedes előrejelzések (decadal predictions – PRIMAVERA H2020)
 - Óceán-légkör kölcsönhatások, változékonyság (PRIMAVERA H2020)
 - Változékonyság: monszun, El Nino
 - Óceáni folyamatok (dinamikai, biokémia, szénkörforgalom – CRESCENDO H2020)
 - Sztochatikus parametrizáció (PRIMAVERA H2020)
 - Seamless predictions
 - Finom térbeli felbontás (PRIMAVERA H2020, IMPREX H2020)
 - Különböző bizonytalanságok szerepe, időbeli fejlődése
 - [Emberi tevékenység hatása (Miskolczi)]

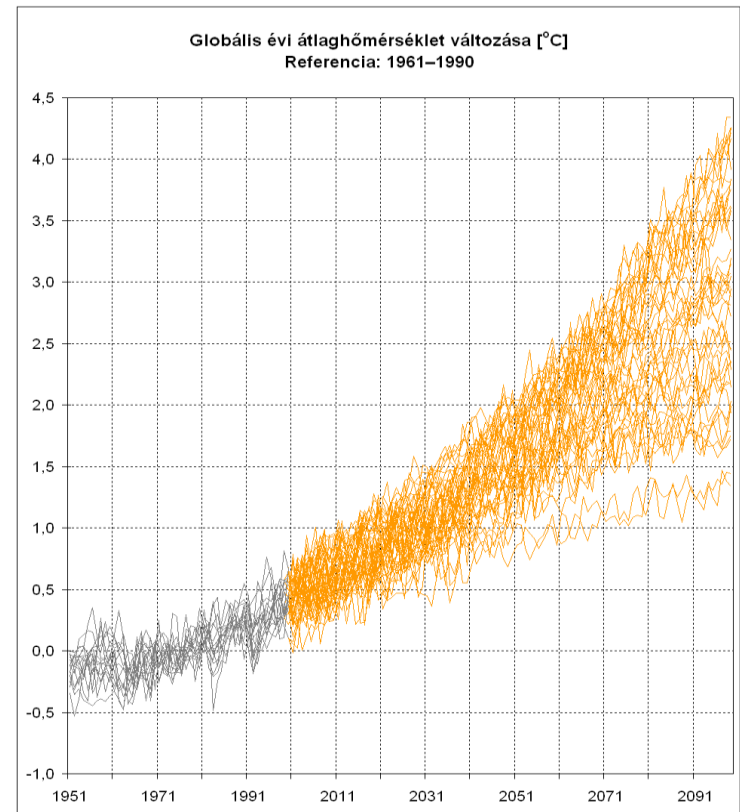
Éghajlati szimulációk bizonytalanságai

- 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



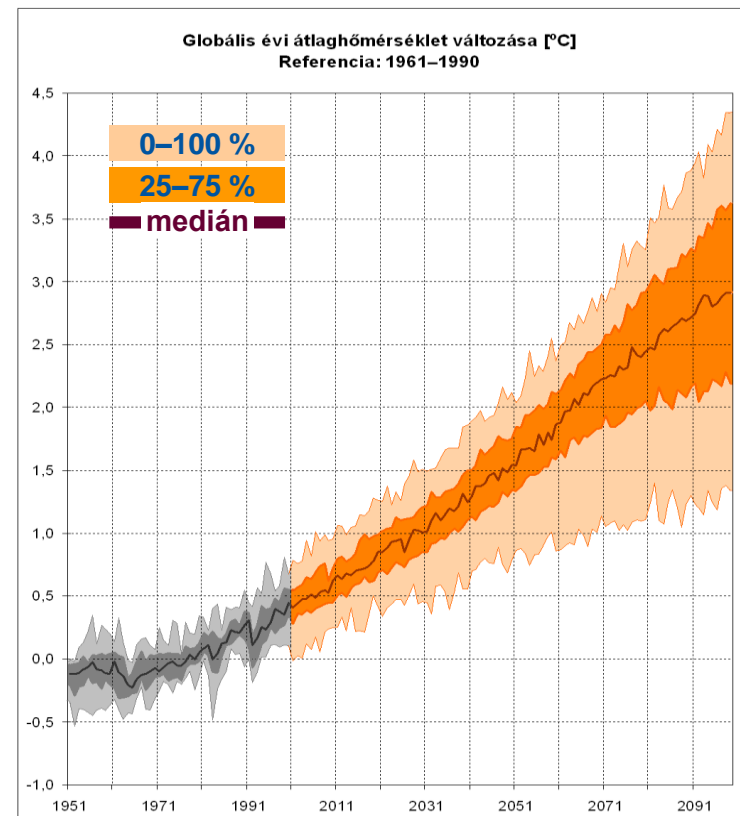
Bizonytalanságok számszerűsítése

- **Ensemble** technika: egy modellkísérlet helyett több, kismértékben különböző szimuláció
- Több forgatókönyv, több globális és regionális modell
- Az így készített projekciók egyformán lehetségesek → valószínűségek az egyes kimenetekhez
- A különböző bizonytalanságok szerepe időben és meteorológiai elemenként is változó
- Hawkins & Sutton, 2009, 2011:
15 GCM x 3 forgatókönyv = 45 globális modellkísérlet



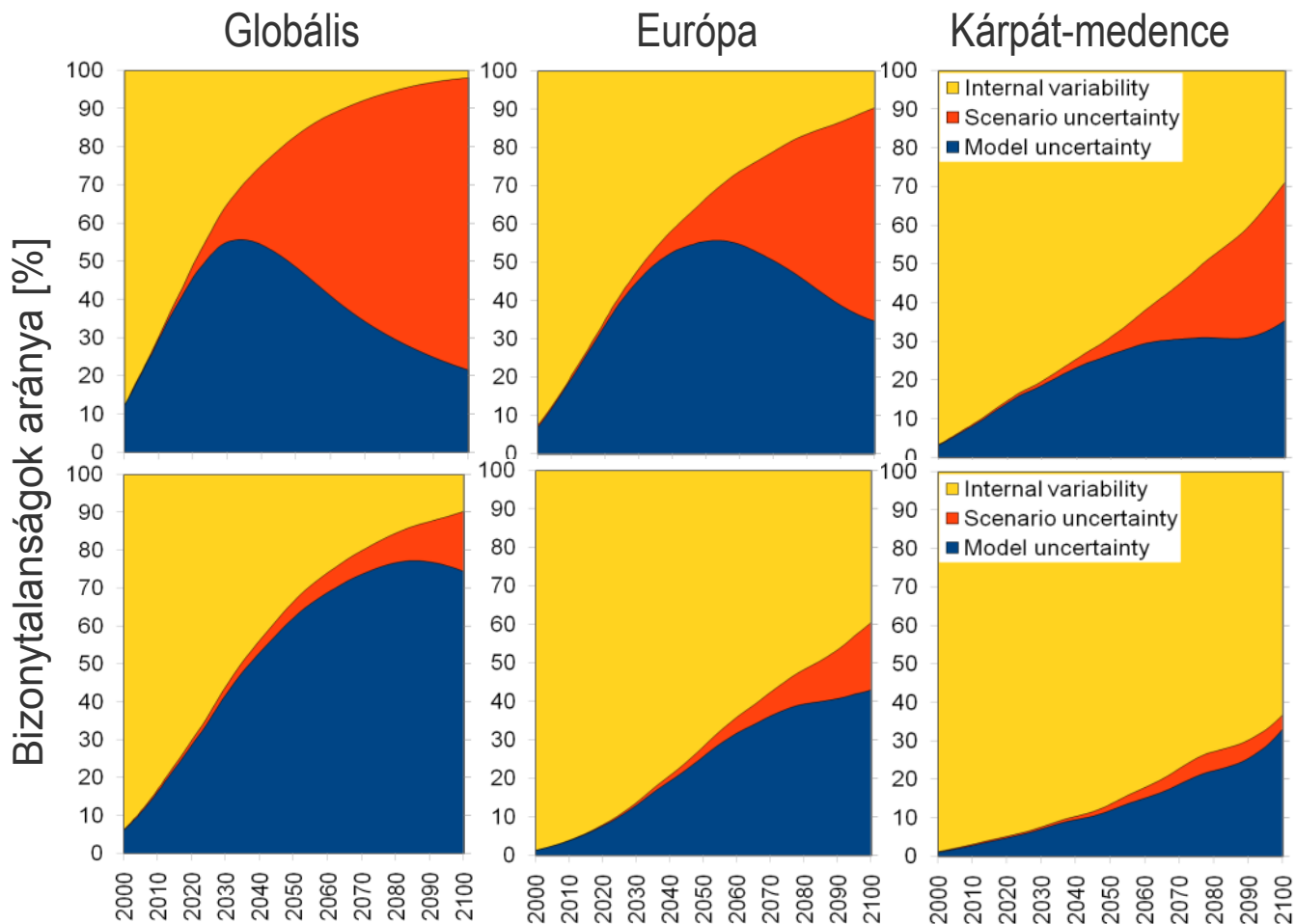
Bizonytalanságok számszerűsítése

- **Ensemble** technika: egy modellkísérlet helyett több, kismértékben különböző szimuláció
- Több forgatókönyv, több globális és regionális modell
- Az így készített projekciók egyformán lehetségesek → valószínűségek az egyes kimenetekhez
- A különböző bizonytalanságok szerepe időben és meteorológiai elemenként is változó
- Hawkins & Sutton, 2009, 2011:
15 GCM x 3 forgatókönyv = 45 globális modellkísérlet



Bizonytalanságok aránya

HŐMÉRŐSÉKLET
NYÁRI
CSAPADÉK



■ Belső változékonyság
■ Forgatókönyvek
■ Modellek

Szabó & Szépszó, 2015

Emberi tevékenység: hosszú távon, a csapadék esetében nem lényeges

Modell-bizonytalanság: minden idő-és térskálán, modellfejlesztéssel csökkenthető bizonyos mértékig (!)

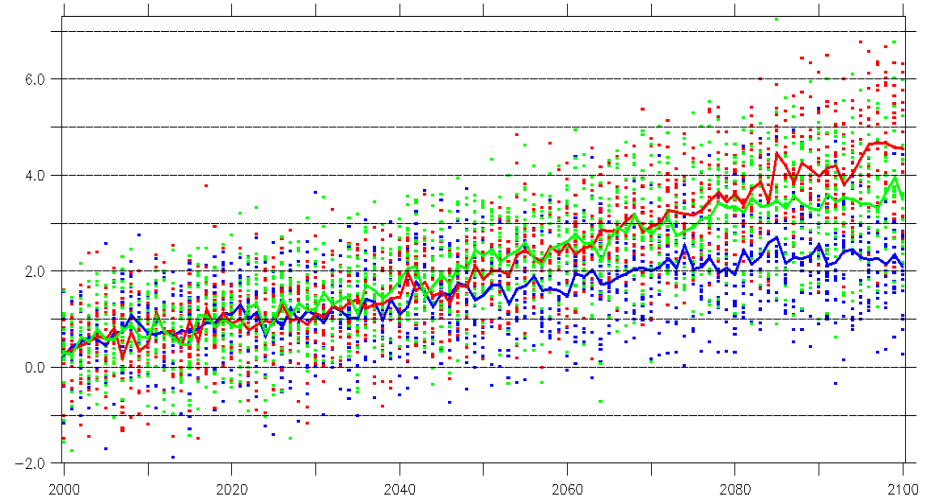
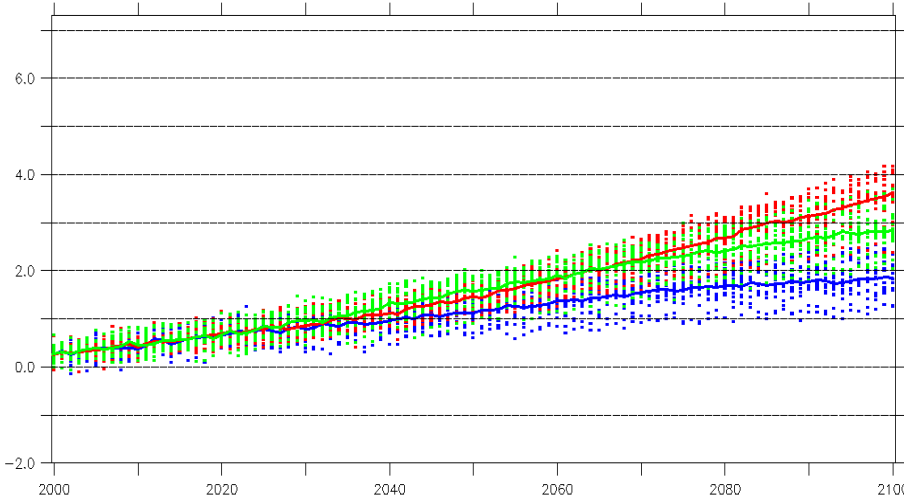
Belső változékonyság: csapadékprojekcióknál jelentős, és minél szűkebb területet vizsgálunk

Konkrét projekciók

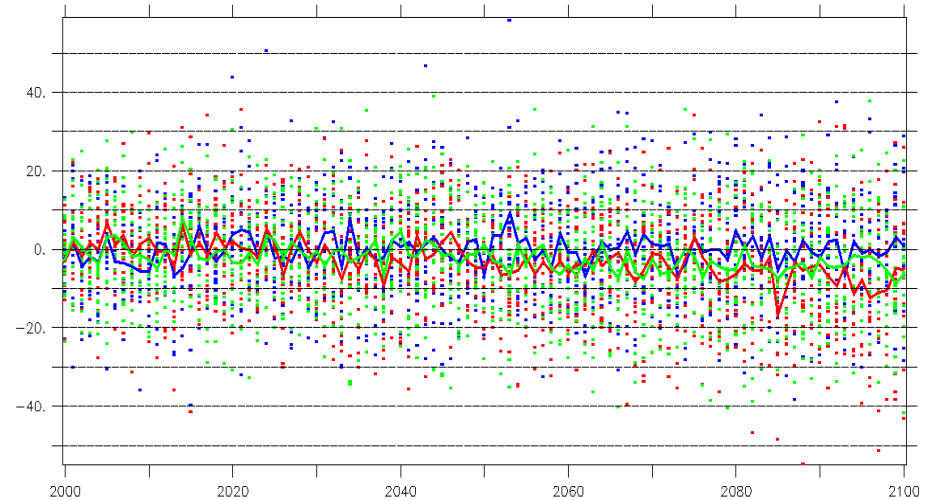
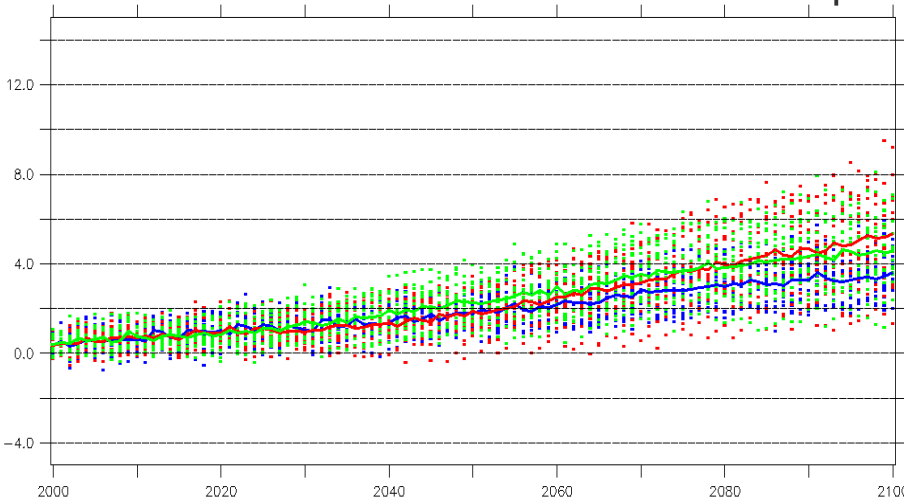
Globális

Hőmérsékletváltozás

Kárpát-medence



Csapadékváltozás



Regionális modellek fejlesztése

Éghajlat

Például: Európa

- Mintegy **20 regionális klímamodell** és több modellfejlesztő központ
- Finanszírozás: korábban Európai Unió (FP5, FP6 projektek), jelenleg nem megoldott
- Általános célkitűzések, egyéni fejlesztési területek, csak a szimulációk koordinálása
- Legfontosabb együttműködések: CORDEX (EURO- és MED-CORDEX)
- Ma inkább a felhasználók kiszolgálása

Időjárás

Például: Európa

- 5-6 regionális modell, melyeket konzorciumok közösen fejlesztenek (pl. HARMONIE/ALADIN, COSMO)
- Finanszírozás: résztvevő országok
- Világos stratégia és konkrét célkitűzések
- Legfontosabb cél: a konzorciumokban „**egy**” közös korlátos tartományú előrejelzési **modell** operatív futtatása, fejlesztése, kutatása
- Egyeztetés a konzorciumok között: SRNWP

Regionális modellek fejlesztési területei

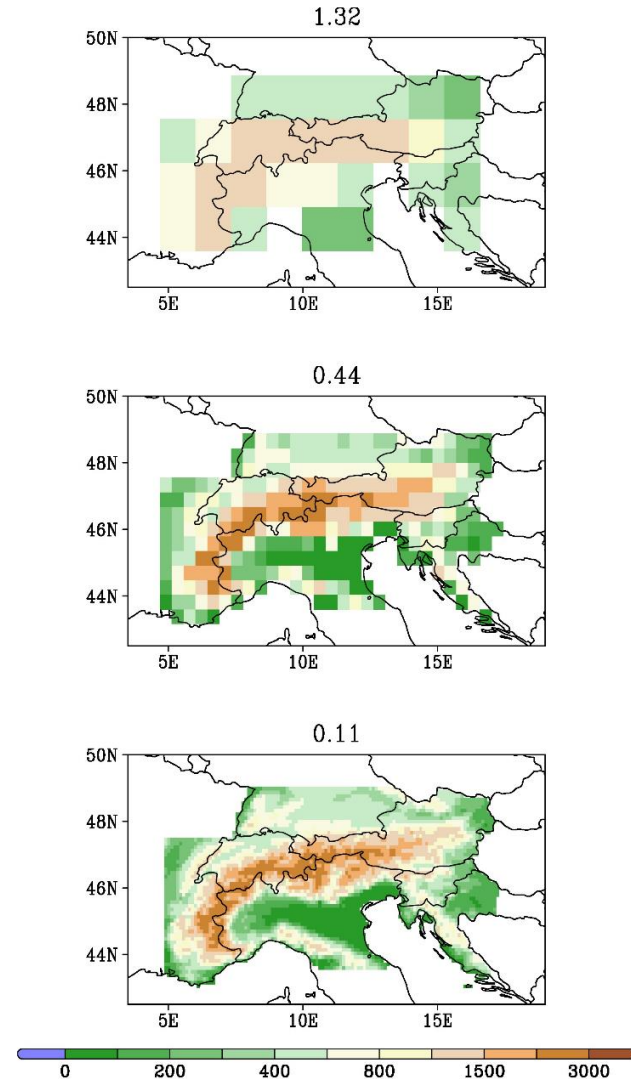
- A globális modelleredményekhez a regionális modellek által hozzáadott érték (CORDEX)
- Felszín-légkör kölcsönhatás (CORDEX)
- Légszennyezés, levegőkémia (CORDEX, TROPOS)
- Hóval kapcsolatos vizsgálatok (CORDEX)
- Ciklonok vizsgálata (CORDEX)
- Hidrológiai szélsőségek (CORDEX, IMPREX H2020)

Regionális modellek fejlesztési területei

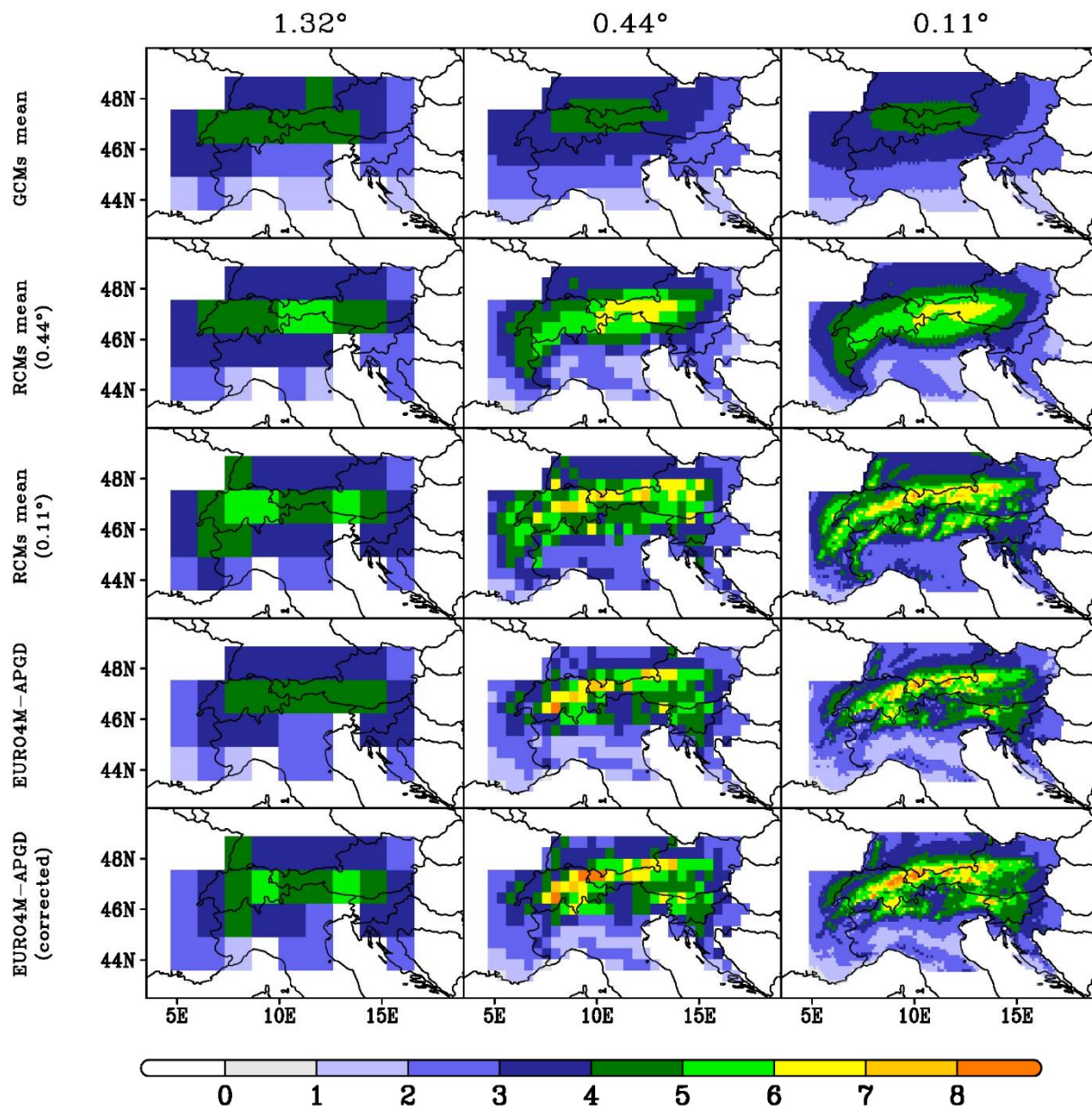
- A globális modelleredményekhez a regionális modellek által hozzáadott érték (CORDEX)
- Felszín-légkör kölcsönhatás (CORDEX)
- Légszennyezés, levegőkémia (CORDEX, TROPOS)
- Hóval kapcsolatos vizsgálatok (CORDEX)
- Ciklonok vizsgálata (CORDEX)
- Hidrológiai szélsőségek (CORDEX, IMPREX H2020)

Hozzáadott érték

- A regionális klímamodellek hozzáadott értéke a globális modelleredményekhez még ma is kutatott téma (Giorgi, 1989!)
- Torma et al., 2015
- 4 GCM, 5 RCM
- 3 felbontás
- Validációs időszak: 1976–2005
- Referencia: regionális re-analízisek



Nyári csapadék [mm/nap]



Nagyobb felbontás



Részletesebb
csapadékmezők



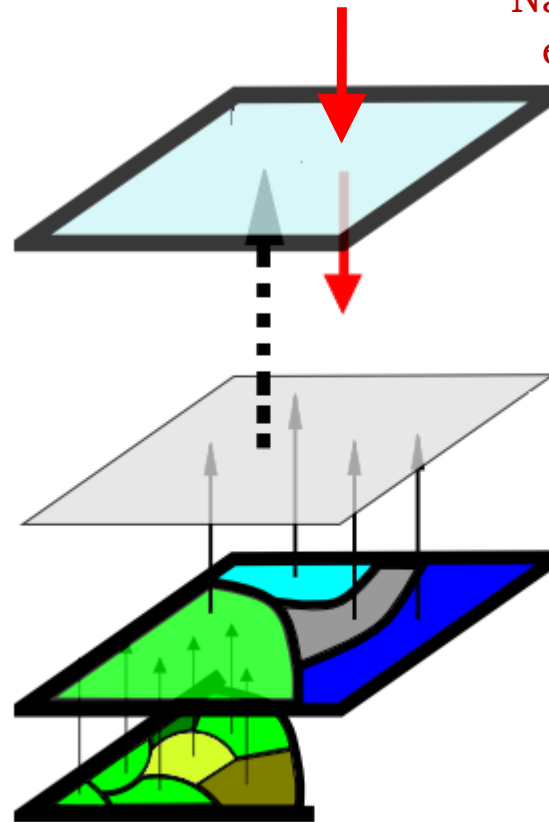
Kisskálájú jellemzők

- Ez multi-modell átlag, de modellenként is igazolták
- Nemcsak részletesebb, de pontosabb is

Felszín-légkör kölcsönhatás

- A klímaváltozás a városokat különösen érinti (lakosság, döntéshozók) →
- Az éghajlatváltozás városi jellemzőinek vizsgálata dinamikus módszerekkel
- Eszköz: SURFEX externalizált modell TEB (Town Energy Balance) városi sémája
- A felszín és a légkör közötti kölcsönhatást írja le

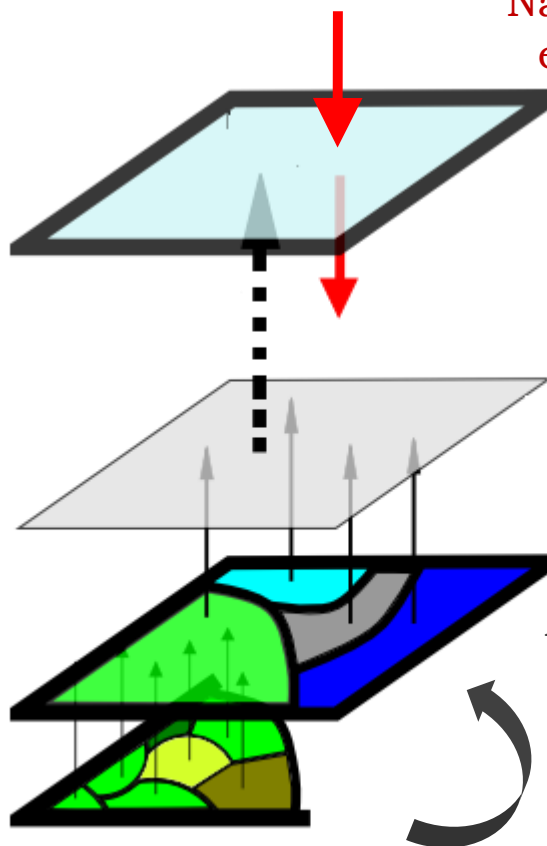
SURFEX modell



Nagyskálájú folyamatok egy **légköri modellből** (ALADIN-Climate)

Felszíni viszonyok egy **felszíni adatbázisból** (ECOCLIMAP)

SURFEX modell

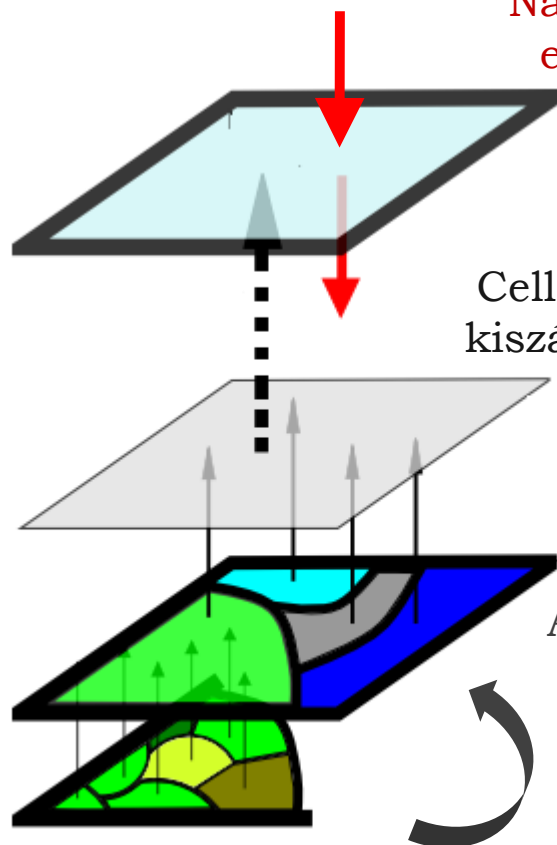


Nagyskálájú folyamatok egy **légtéri modellből** (ALADIN-Climate)

A cellán belüli felszín-típusok arányának meghatározása, s azok **turbulens fluxusainak** kiszámítása

Felszíni viszonyok egy **felszíni adatbázisból** (ECOCLIMAP)

SURFEX modell



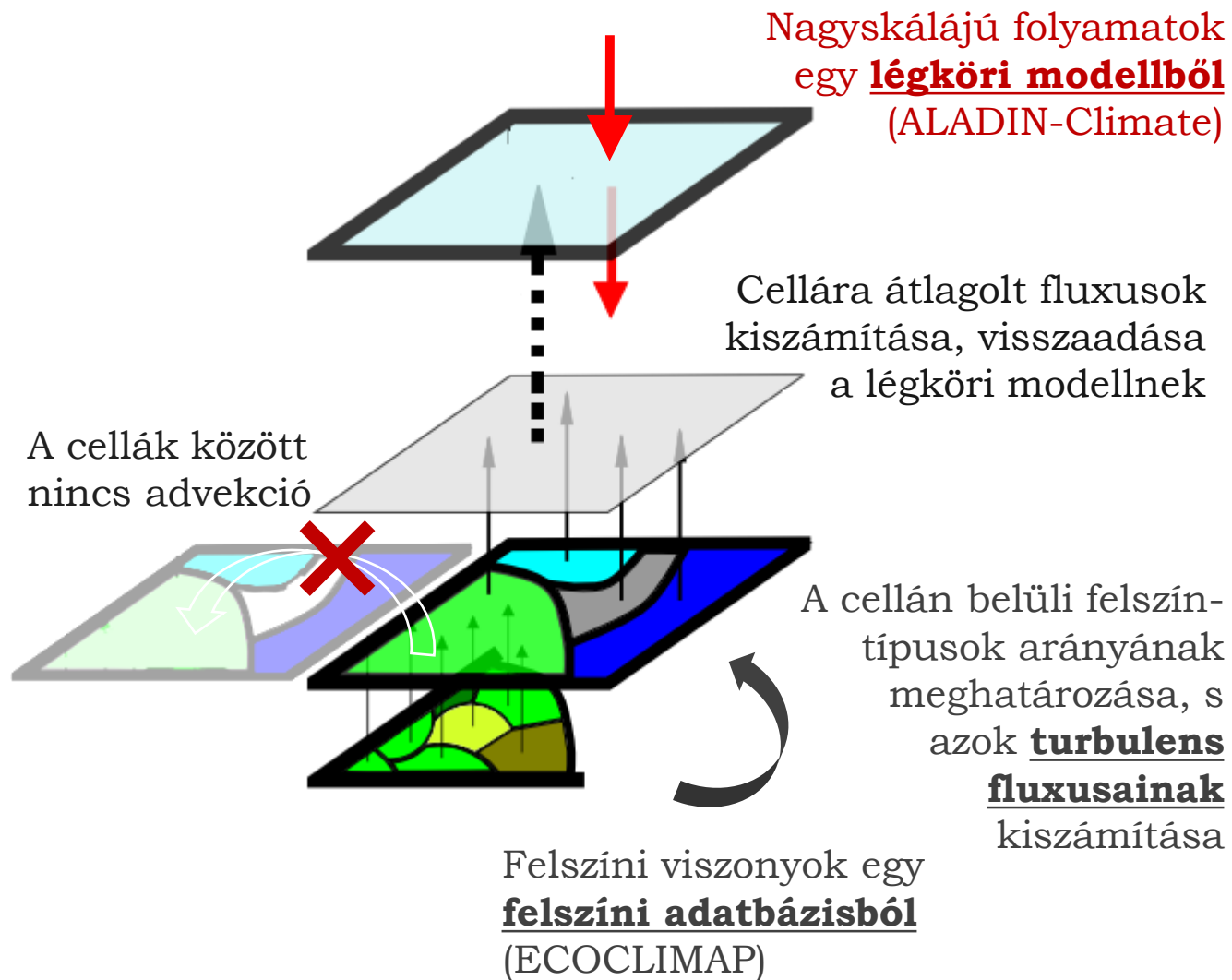
Nagyskálájú folyamatok egy **légköri modellből** (ALADIN-Climate)

Cellára átlagolt fluxusok kiszámítása, visszaadása a légköri modellnek

A cellán belüli felszín-típusok arányának meghatározása, s azok **turbulens fluxusainak** kiszámítása

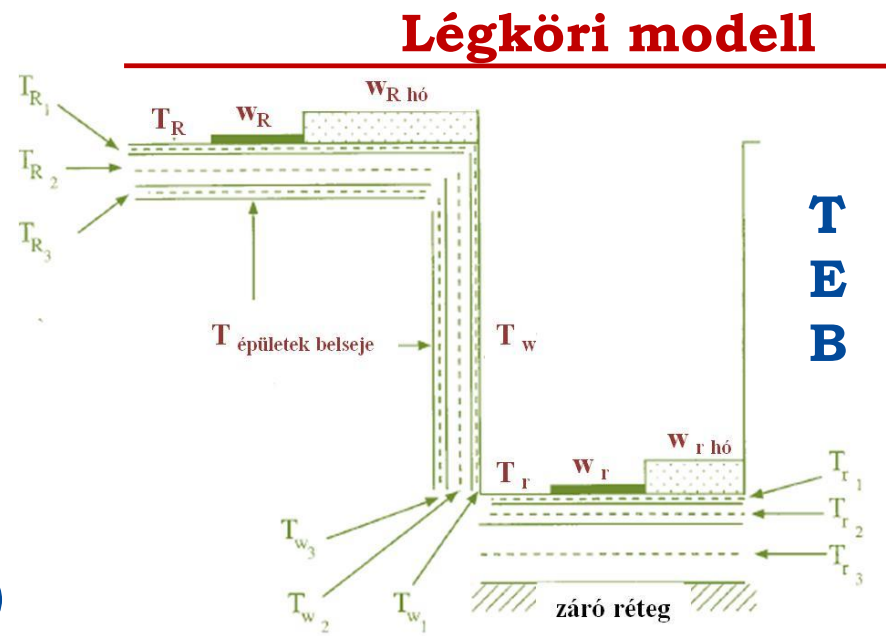
Felszíni viszonyok egy **felszíni adatbázisból** (ECOCLIMAP)

SURFEX modell

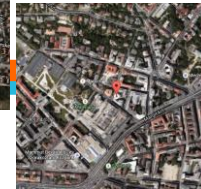
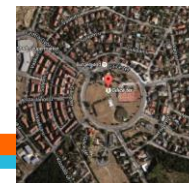


SURFEX modell

- A várost kanyonként írja le: az utat két magas fal zárja közre, figyelmen kívül hagyva az épületek alakja közti különbségeket
- 3 felület: tető, fal, út – további 3 réteg (hővezetés)
- Felszíni nedvesség-, hő- és momentumfluxusok számítása
- Antropogén eredetű hő- és nedvességfluxusok (forrás: lakossági fűtés, közlekedés, ipar)

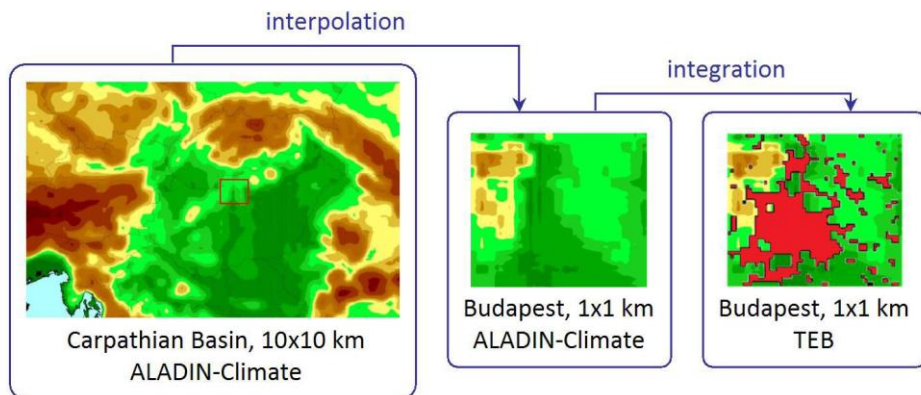


Vizsgálatok

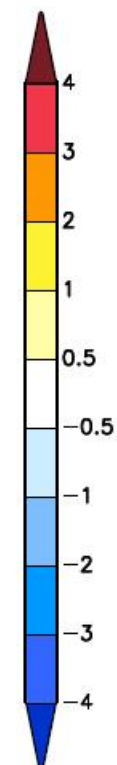
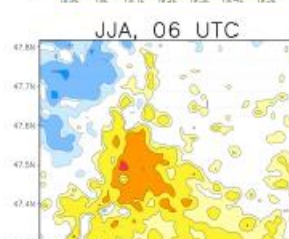
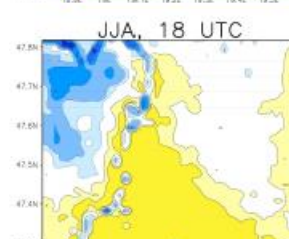
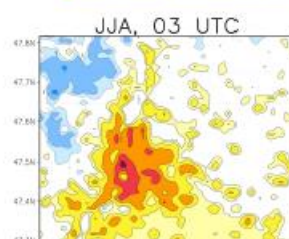
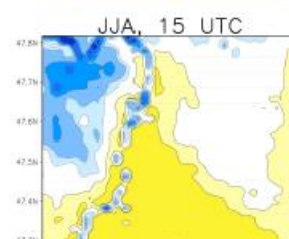
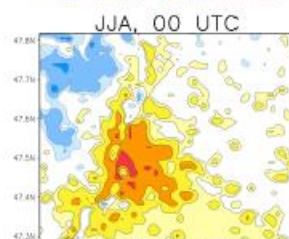
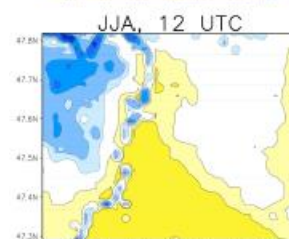
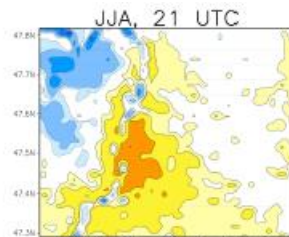
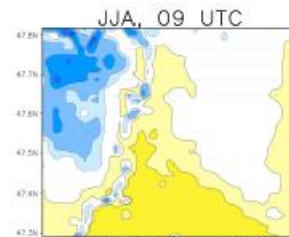


Klimatológiai kísérletek:

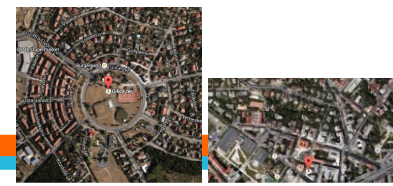
- Rövid (10-éves) időszakokon vizsgáljuk a SURFEX viselkedését
- 1 km-es felbontású kísérletek Budapestre és Szegedre
- Határfeltételek: ALADIN-Climate, megfigyelések
- Validáció állomási mérésekkel



Hősziget-intenzitás [K] Budapest



Vizsgálatok

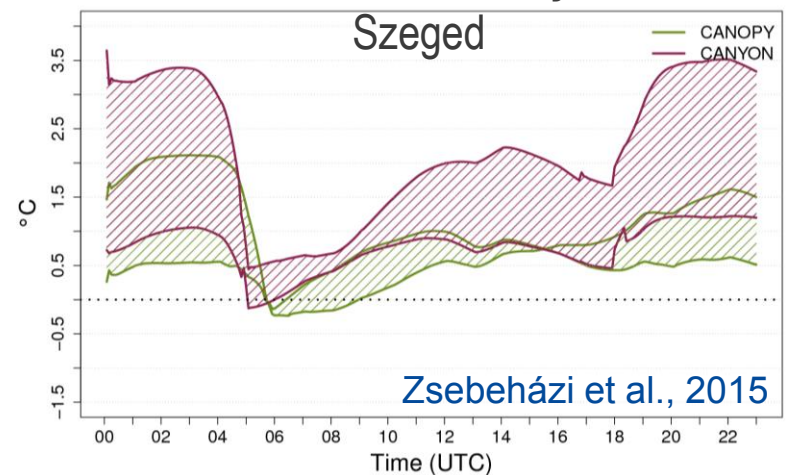


Vizsgálatok

Érzékenységi vizsgálatok:

- Néhány napos szimulációkkal vizsgáljuk a SURFEX érzékenységét különböző beállításokra, paraméterekre
- 1 km-es felbontású kísérletek Szegedre
- Határfeltételek: AROME

Hősziget-intenzitás érzékenysége a városi felszín arányára



PhD kutatás: A városi éghajlatváltozás becslése a SURFEX/TEB dinamikus felszíni modell segítségével (2015–)

TARTALOM

1. Motiváció
2. Klímamodellezés gyakorlata
3. Modellezési kihívások
4. Fejlesztési területek
5. Összefoglalás

Összefoglalás

- A teljes éghajlati rendszer folyamatainak tanulmányozására a modellezés nyújt eszközt
- A modellek számos gyengeséggel küzdenek → folyamatos és intenzív fejlesztés
- Ugyanakkor valódi igény van a várható változások és hatások felderítésére → folyamatos felhasználás
- „Királyi” út: valószínűségi (jellegű) előrejelzési információk
- Bizonytalanságok közlése és a számszerű információk felhasználása (korlátai, módszerei) – ugyancsak fejlesztési kihívás!

Összefoglalás

- A teljes éghajlati rendszer folyamatainak tanulmányozására a modellezés nyújt eszközt
- A modellek számos gyengeséggel küzdenek → folyamatos és intenzív fejlesztés
- Ugyanakkor valódi igény van a várható változások és hatások felderítésére → folyamatos felhasználás
- „Királyi” út: valószínűségi (jellegű) előrejelzési információk
- Bizonytalanságok közlése és a számszerű információk felhasználása (korlátai, módszerei) – ugyancsak fejlesztési kihívás!

Köszönöm a figyelmet!

E-mail: szepszo.g@met.hu

Hivatkozások

- Sobolowski, S., 2015: Climate Services and Impacts Relevant Research at Uni Research Climate and the Bjerknes Centre. Előadás, MMT Léggördinamikai Szakosztályának ülése. www.mettars.hu/wp-content/uploads/2015/11/Eloadas151021.pdf
- Szabó, P. Szabó, P., Szépszó, G., 2015: Quantifying sources of uncertainty in precipitation and temperature projections over Central Europe. A European Consortium for Mathematics in Industry (ECMI) numerikus modellezéssel kapcsolatos csoportjának különszáma, Springer, benyújtva.
- Zsebeházi, G., Hamdi, R., Szépszó, G., 2015: Sensitivity study of the UHI in the city of Szeged (Hungary) to different offline simulation set-up using SURFEX/TEB. Poszter, European Geosciences Union General Assembly, Bécs, Ausztria. presentations.copernicus.org/EGU2015-6101_presentation.pdf
- Zsebeházi, G., Szépszó G., 2015: Investigating the urban climate characteristics of Budapest with SURFEX/TEB land surface model. Előadás, 9th International Conference on Urban Climate konferencia, Toulouse, Franciaország.
- Torma, Cs., Giorgi, F., Coppola, E., 2015: Added value of regional climate modeling over areas characterized by complex terrain—Precipitation over the Alps. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 120(9), 3957–3972, DOI:10.1002/2014JD022781.
- IPCC AR5 WG1, 2013: ipcc.ch/report/ar5/wg1
- PRIMAVERA: www.primavera-h2020.eu
- TROPOS: Leibniz Institute for Tropospheric Research, www.tropos.de/en
- IMPREX: www.imprex.eu
- Copernicus: climate.copernicus.eu, atmosphere.copernicus.eu