

**40. Meteorológiai Tudományos Napok -- Klímaváltozás és következményei:
a globális folyamatoktól a lokális hatásokig
2014. november 20-21. – Budapest**

IPCC AR5

Tények és jövőkép

Globális és regionális változások



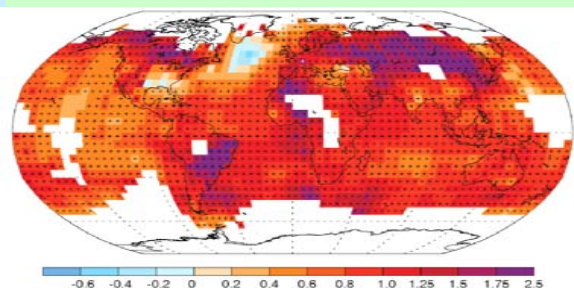
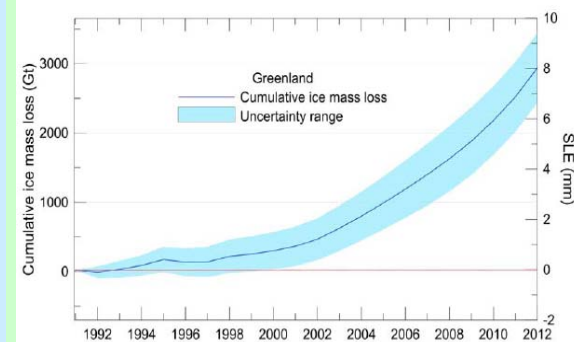
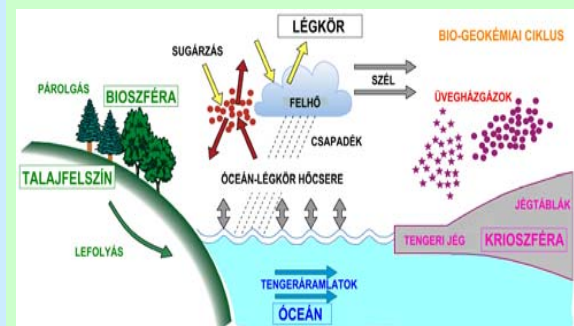
**Bartholy Judit,
Pongrácz Rita**



**Eötvös Loránd Tudományegyetem
Meteorológiai Tanszék, Budapest**

VÁZLAT

1. A közelmúlt detektált változásai
2. Az éghajlati rendszer modellezése, bizonytalanságai
3. Jövőbeli tendenciák és várható következmények (IPCC -- RCM eredmények)
4. Időjárási és éghajlati szélsőségek



Trend (°C a teljes időszakra)

A légkör összetételének változása (1750-2013)

- Légköri szén-dioxid

koncentráció 42%-kal
emelkedett:

278 ppm $\Rightarrow$ 396 ppm

(2014.05.: 402 ppm)

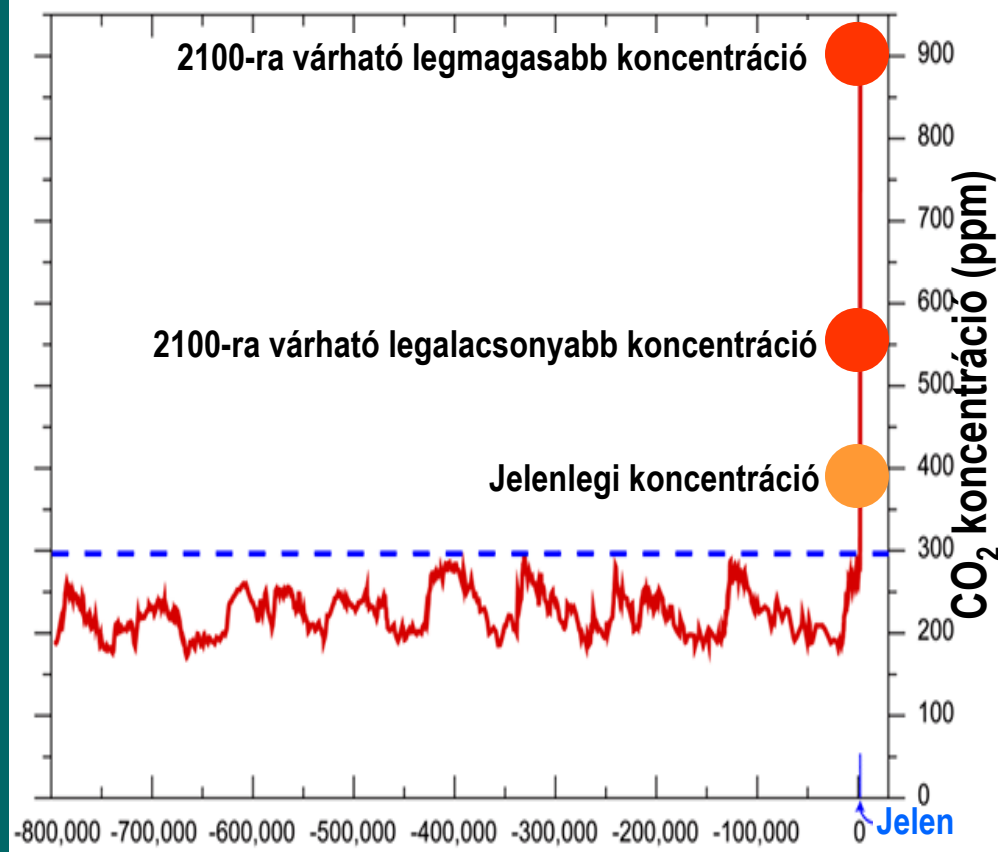
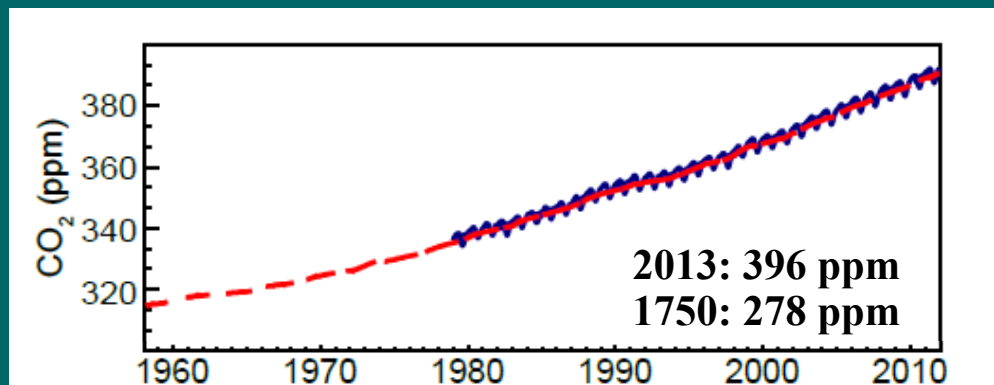
- Légköri metán 153%-kal
emelkedett:

722 ppb $\Rightarrow$ 1824 ppb

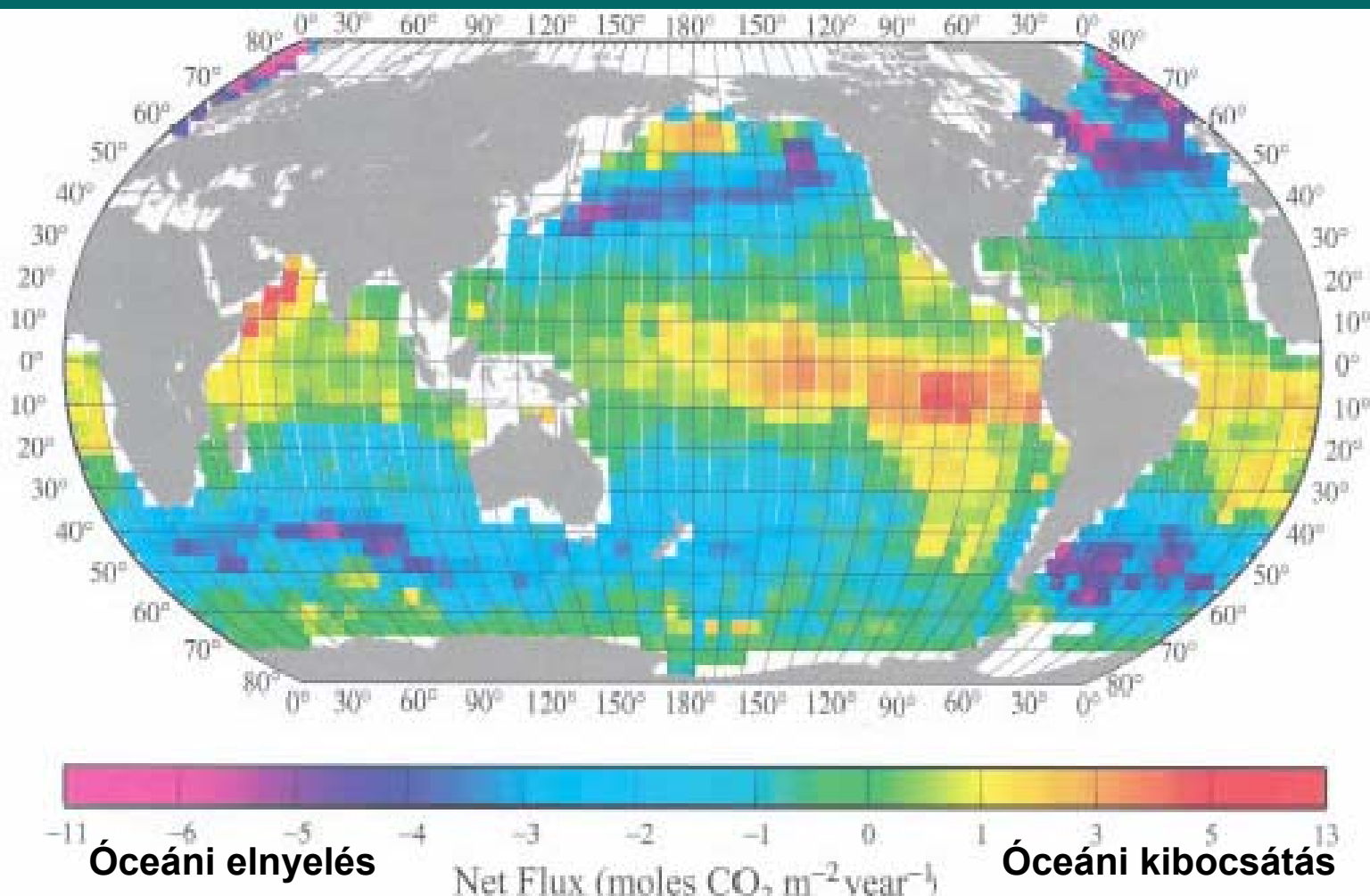
- Légköri N_2O 21%-kal
emelkedett:

270 ppb $\Rightarrow$ 326 ppb

- Antarktiszi jégfuratminták
alapján: az elmúlt 800 ezer
évben nem fordult elő ilyen
magas koncentráció érték



Légkör - óceán rendszer szén-dioxid cserefolyamatai (évi nettó egyenleg: -2 Gt/év)



Óceáni elnyelési zónák

Óceáni kibocsátás

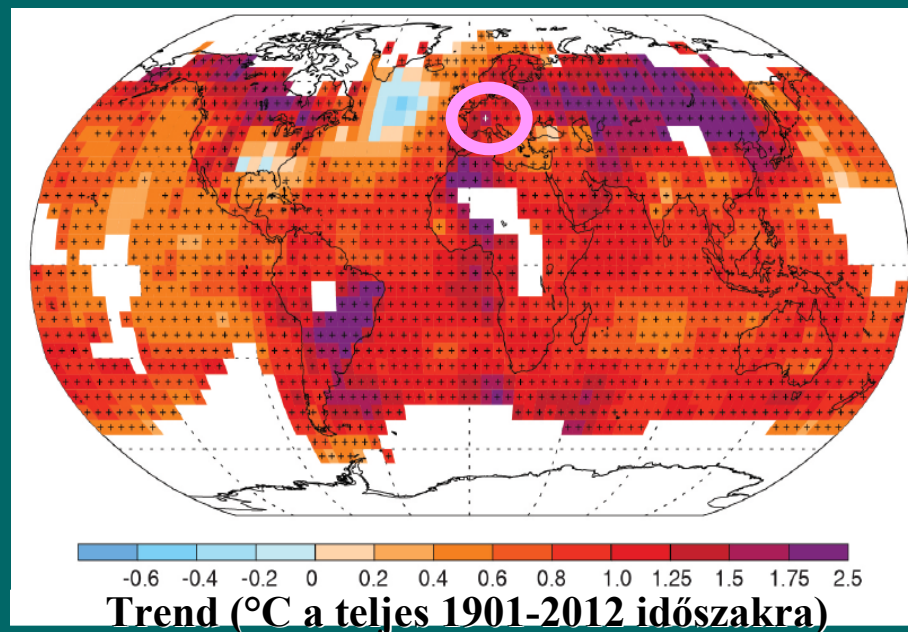
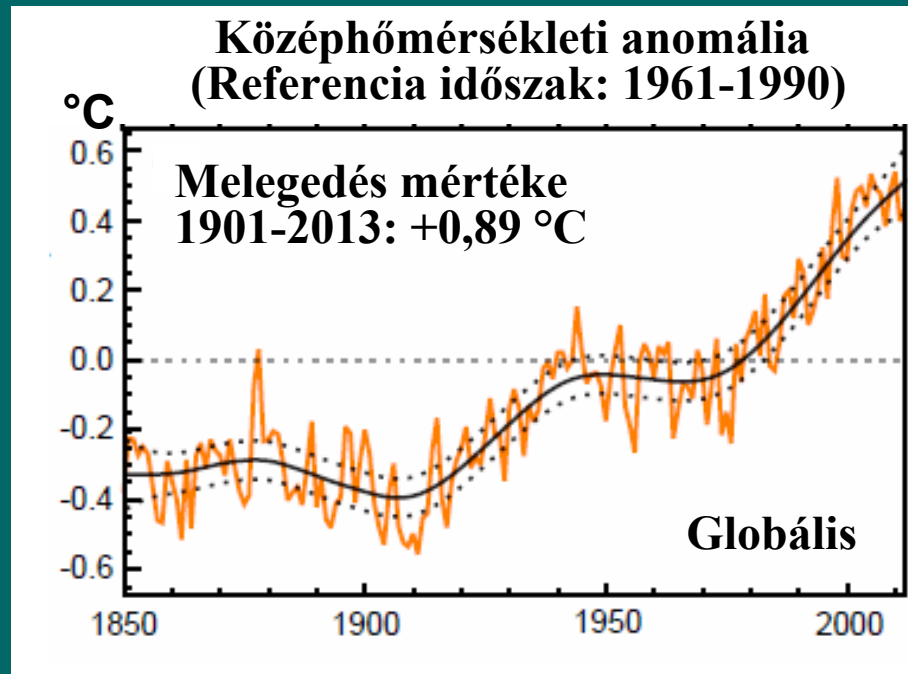
Óceáni elnyelési zónák

A CO₂ óceáni
 $\begin{cases} \text{elnyelődése -- a hidegebb} \\ \text{kibocsátása -- a melegebb} \end{cases}$
 $\begin{cases} \text{vizek esetén jellemző} \end{cases}$

AZ ÓCEÁNOK A CO₂ GÁZ NETTÓ NYELŐI

Hőmérséklet emelkedés: 1851-2013

- A globális átlaghőmérséklet a XIX. század vége óta **0,89 °C-kal emelkedett**, a szárazföldre átlaghőmérséklete **1,3 °C-kal**
- Minden évtized átlaghőmérséklete **nagyobb** volt, mint az azt megelőző 3 évtizedé
- A melegedés mértéke a Kárpát-medencében **1,0-1,25 °C**
- Valószínű, hogy a városi hősziget hatás és a földhasználat változások együttesen több mint 10%-át adnák a detektált melegedési trendeknek



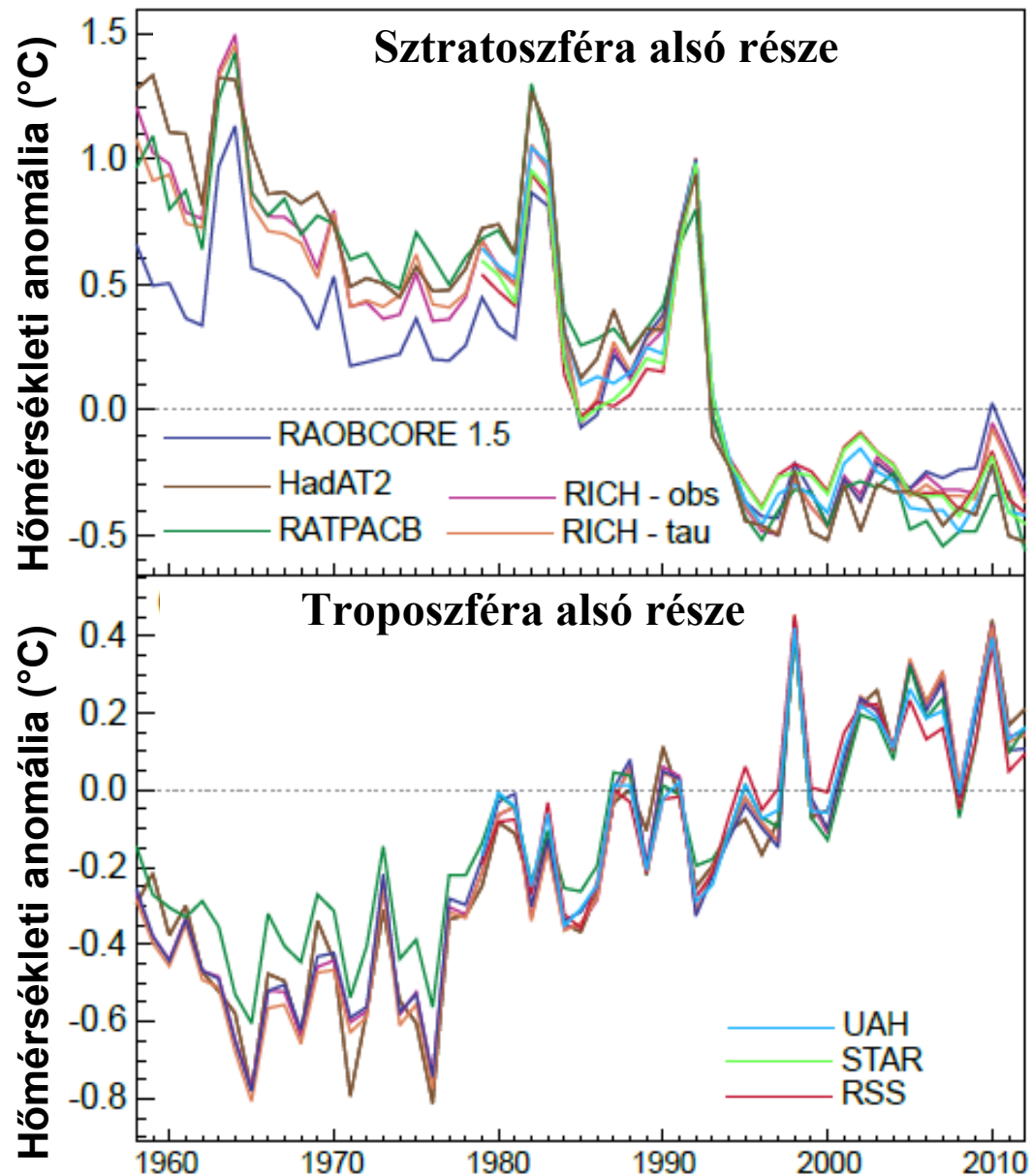
Ellentétes vertikális trendek a légkörben

Hőmérséklet:

-- A XX. század közepétől
a troposzféra melegedett,
a sztratoszféra hűlt
a rádiószondás és
műholdas mérések alapján

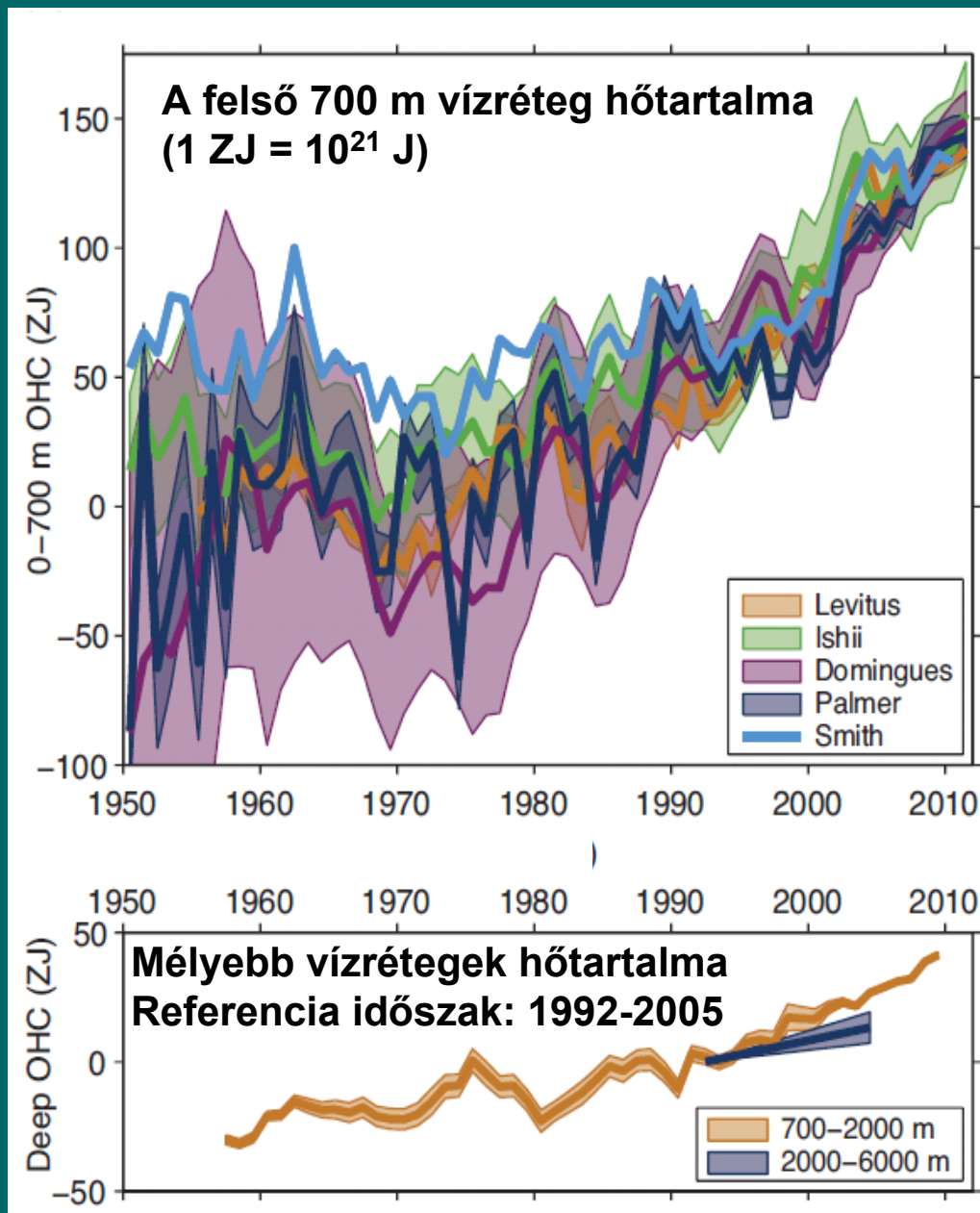
Felmérés:

A klímakutatók 97-98%-a
elfogadja: az antropogén
eredetű üvegházhatású
gázok okozzák a globális
melegedést



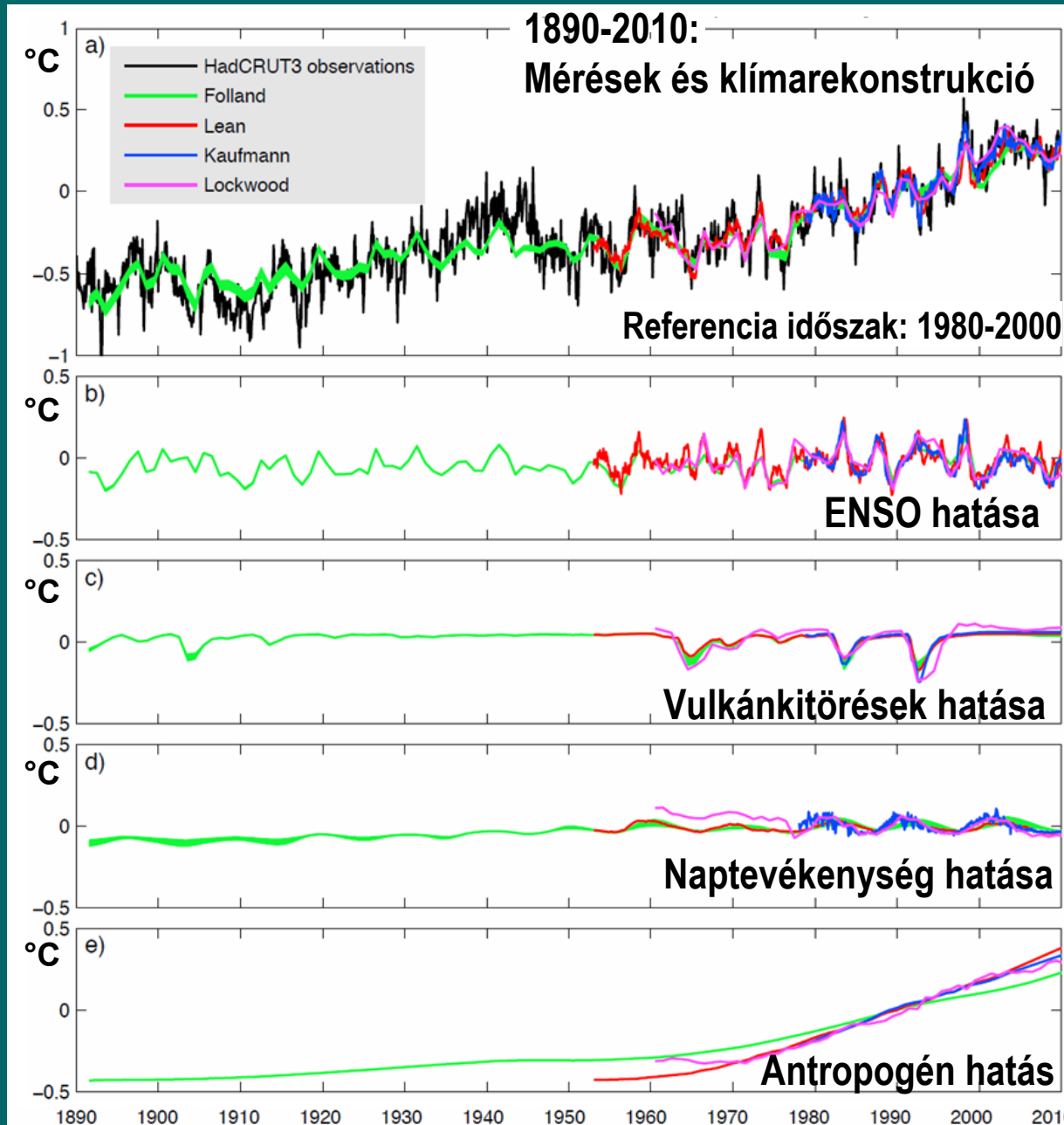
Óceáni megfigyelések: hőtartalom és sókoncentráció

- A légkörben kumulálódott energia **90%-át** az óceánok nyelték el (10% - légkör)
- Az óceánok felső 700 m-es rétegének **hőtartalma** **növekedett** az 1970-2010 időszakban
- Az óceánok melegedése kb. **93%-ban** járult hozzá a Föld **energiamérlegének** 1971 és 2010 közötti növekedéséhez
- A légköri CO_2 többlet jelentős hányadát az óceánok nyelték el: az óceánok vize **savasodik** (pH értékük csökken)



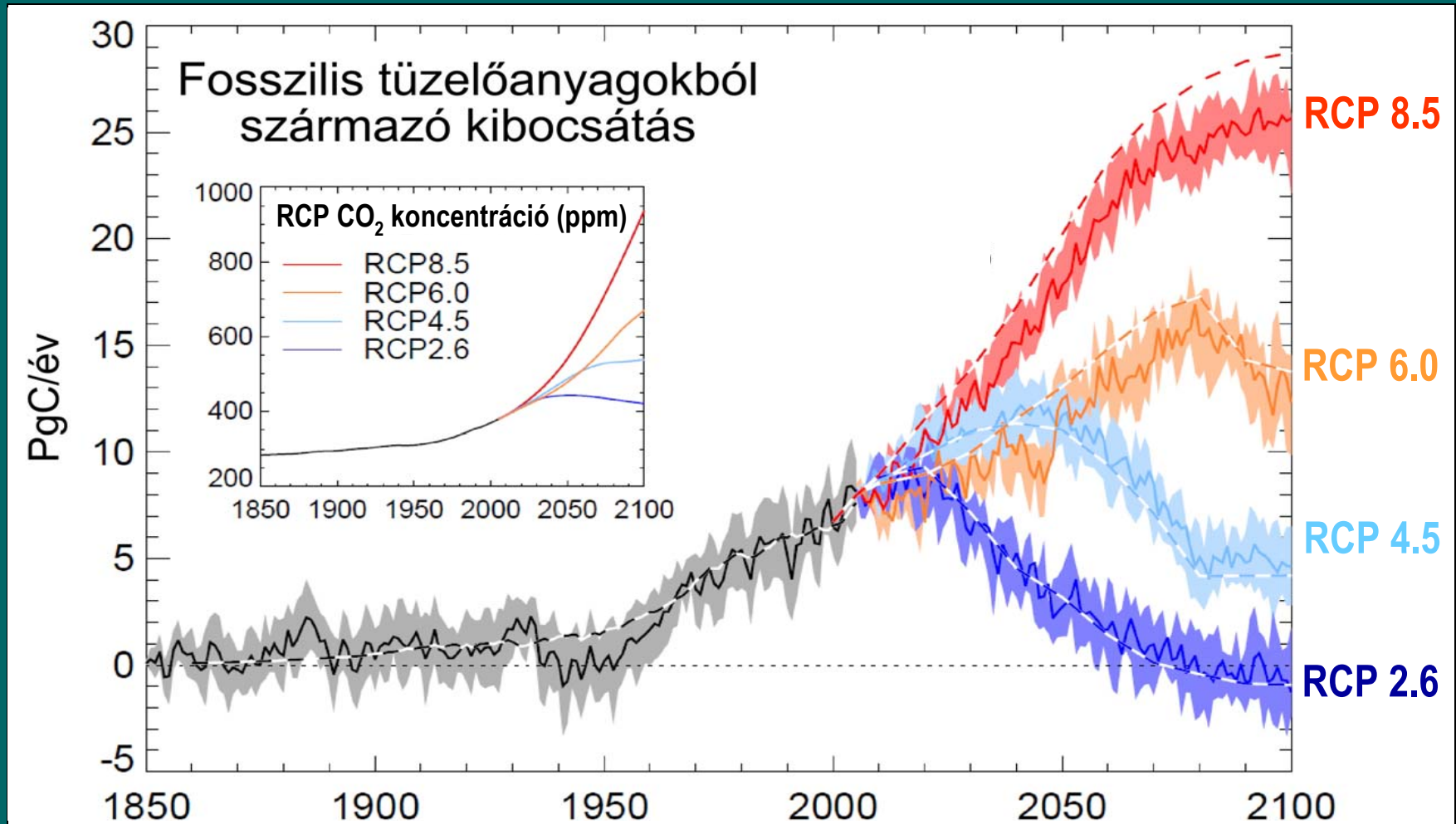
A melegedést befolyásoló kényszerek: 1890-2010

- Egyik természetes hatásnál sem észlelhető pozitív trend
- Így a felszín-közelbeli globális **melegedés** (1951-2010 időszak) alapvetően **antropogén eredetű**
- Az éghajlati változékonyság + külső kényszerek (Nap) **elenyésző** ($< 0,1\text{ °C}$) részben járultak hozzá a melegedéshez



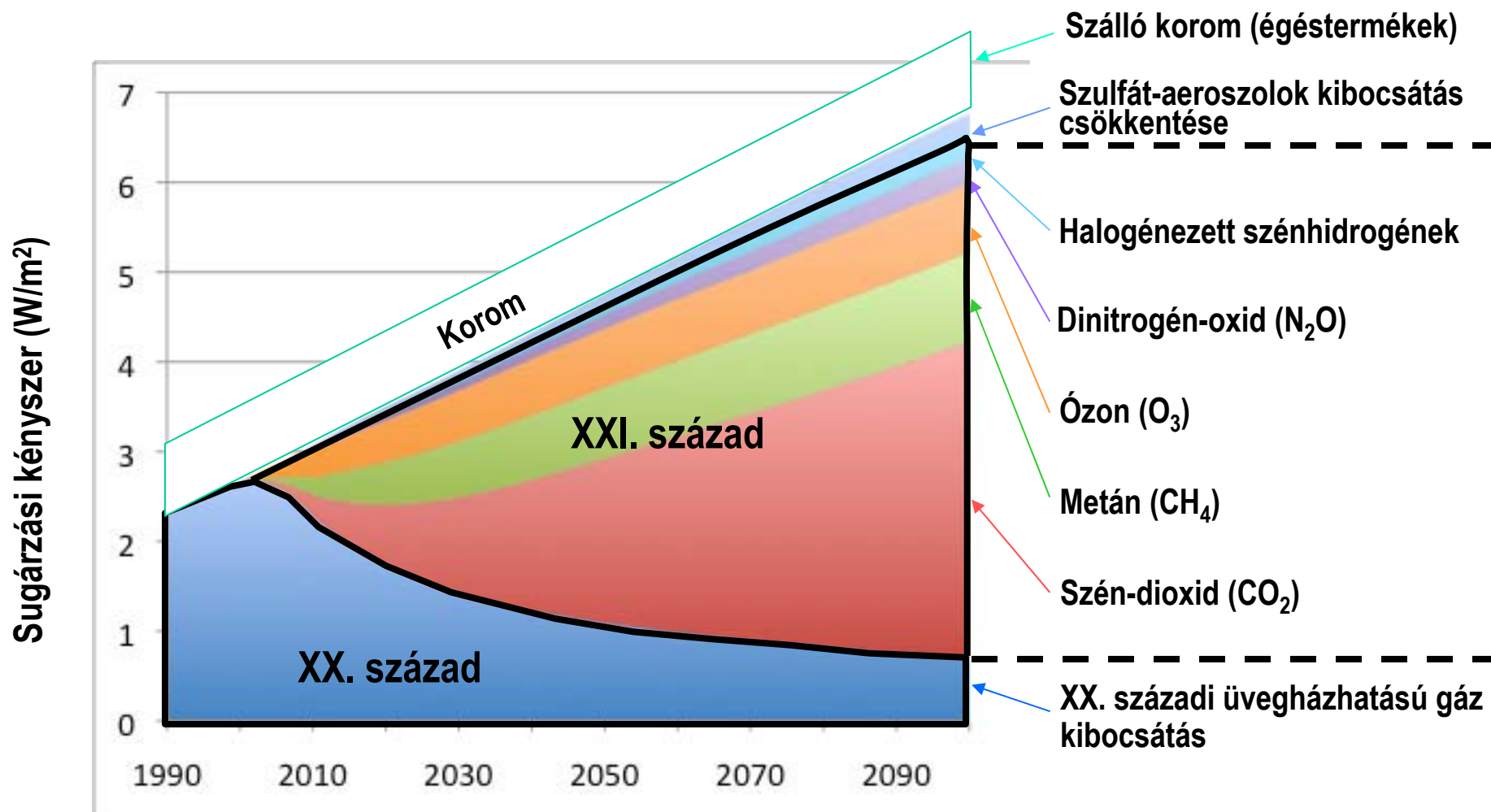
Új éghajlati scénáriók alapja:

éghajlati rendszert irányító sugárzási kényszer jövőbeni változása
 $2,6 \text{ W/m}^2$, $4,5 \text{ W/m}^2$, $6,0 \text{ W/m}^2$, $8,5 \text{ W/m}^2$



RCP2.6 scénárió: nagyon radikális kibocsátás csökkentés (>50%)
(cél: 2100-ra - ipari forradalom előtti kibocsátási szint, $< 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

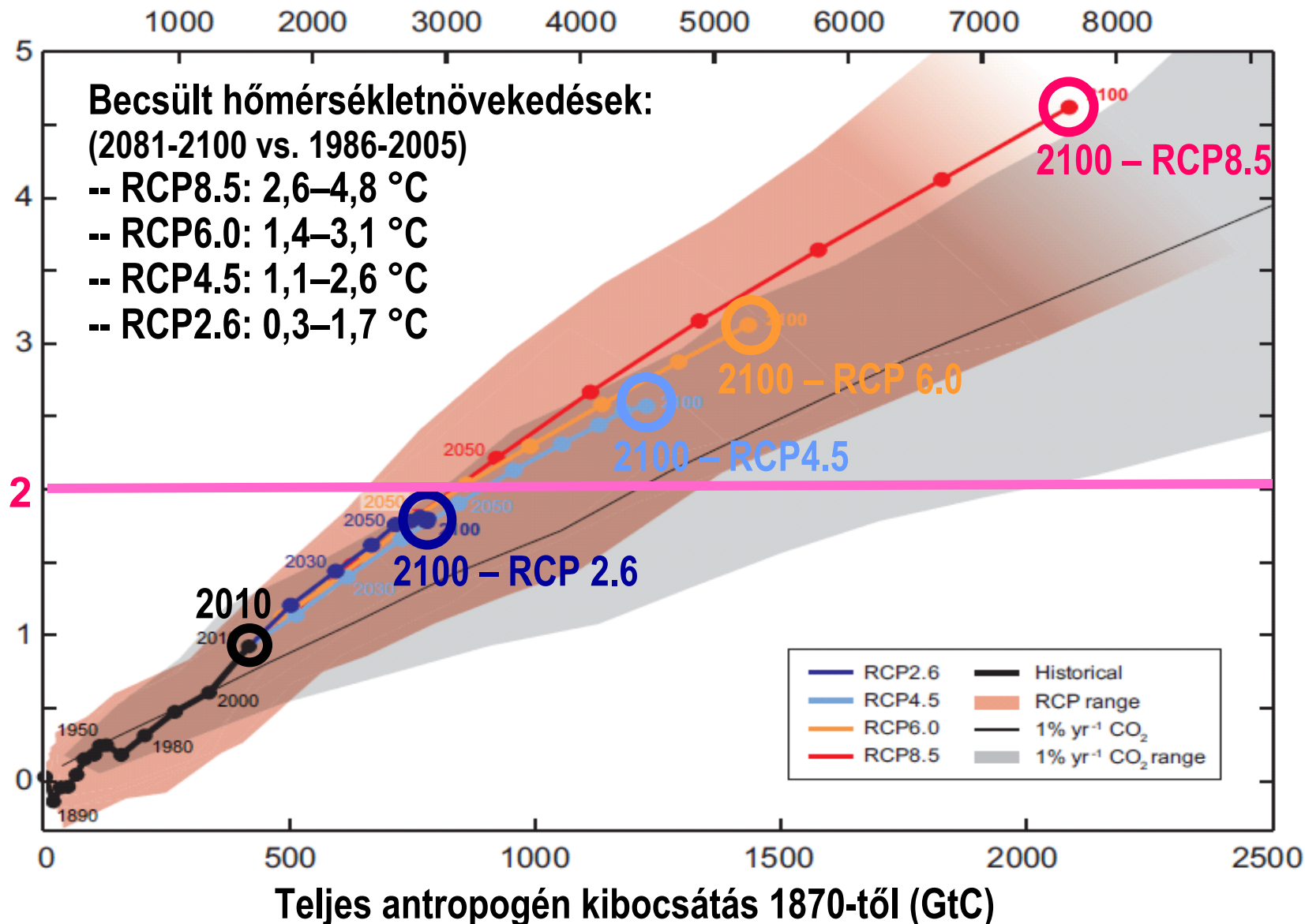
Az üvegházhatású gázok XX. századi és XXI. századi antropogén kibocsátásának hatása: sugárzási kényszer növekedés



A globális melegedés és az antropogén eredetű CO₂-kibocsátás kapcsolata

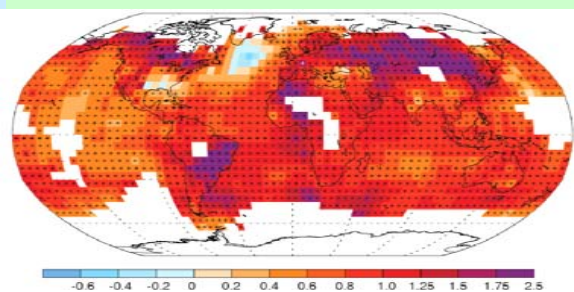
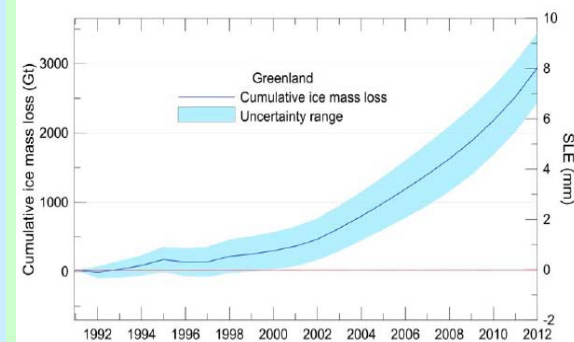
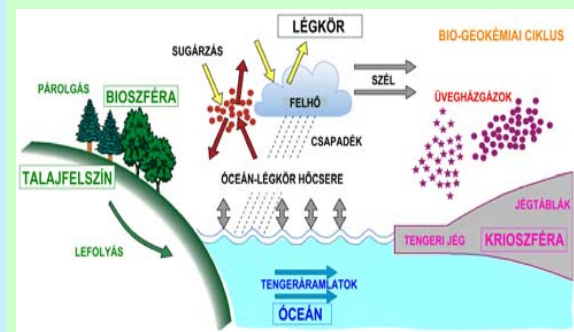
Teljes antropogén kibocsátás 1870-től (GtCO₂)

Globális átlaghőmérsékleti anomália (°C)
az 1861-1880 időszakhoz viszonyítva



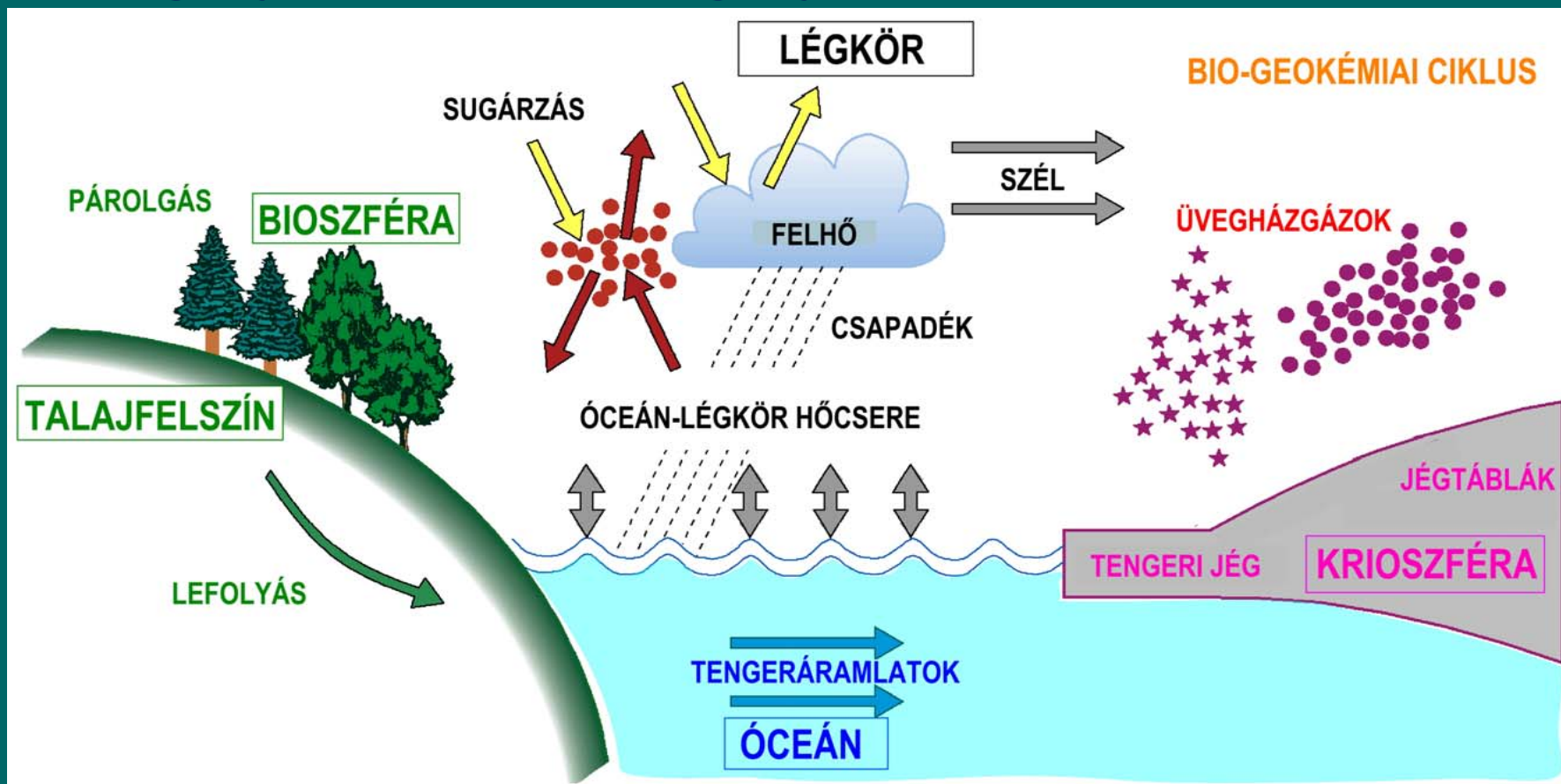
VÁZLAT

1. A közelmúlt detektált változásai
2. Az éghajlati rendszer modellezése, bizonytalanságai
3. Jövőbeli tendenciák és várható következmények
4. Időjárási és éghajlati szélsőségek

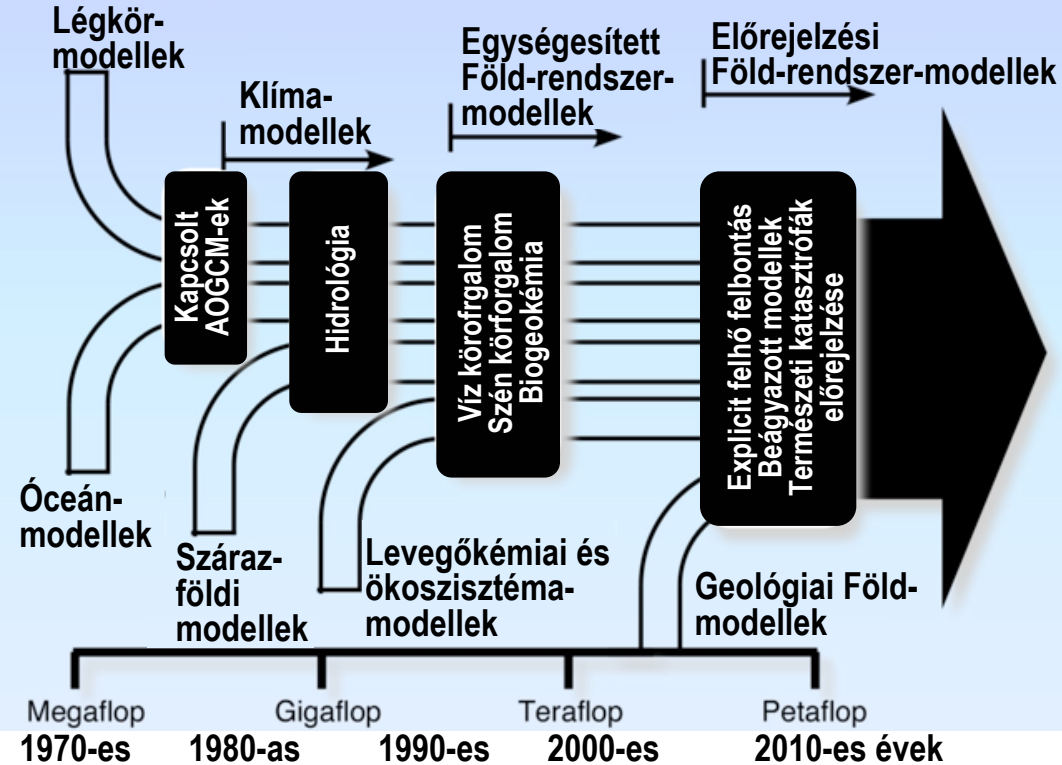


Trend (°C a teljes időszakra)

Az éghajlati rendszer – éghajlati modellek komplexitása



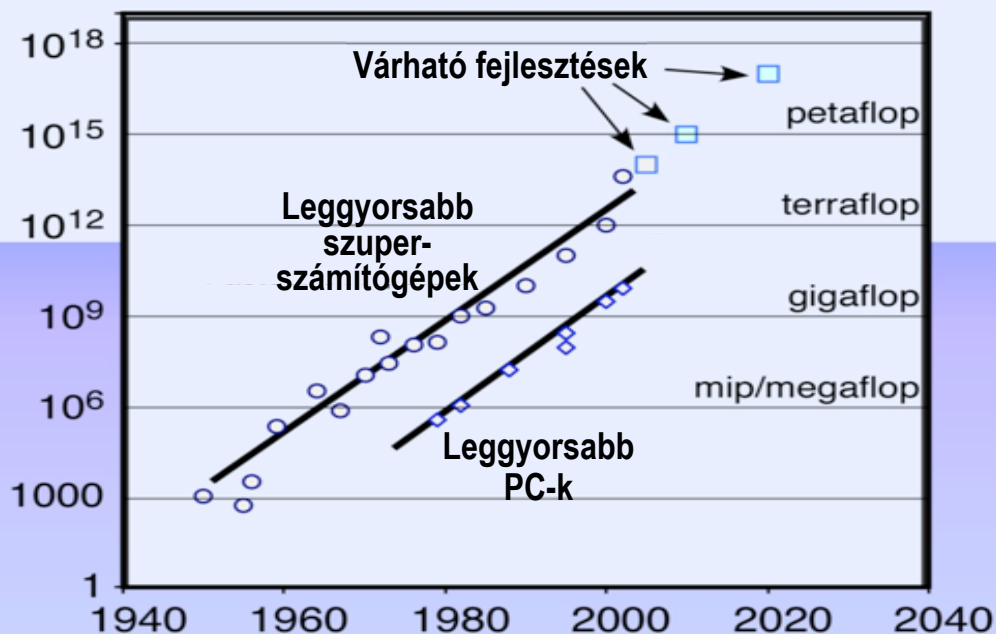
- **Sugárzás**
 - Rövidhullámú és hosszuhullámú sugárzás átvitel, energia háztartás
- **Dinamika**
 - Horizontális és vertikális áramlások (anyag- és energiaszállítás, impulzusmomentum-átadás, a légköri és óceáni áramlások, s a konvekció révén)
- **Felszíni folyamatok**
 - Energiaátadás az óceán, a tengeri jég és a szárazföldek között
 - A víz körforgalma
- **Levegőkémia**
 - A légkör összetétele, források és nyelőfolyamatok
 - A szén ciklus szerepe



Az éghajlatmodellek számítástechnikai igénye

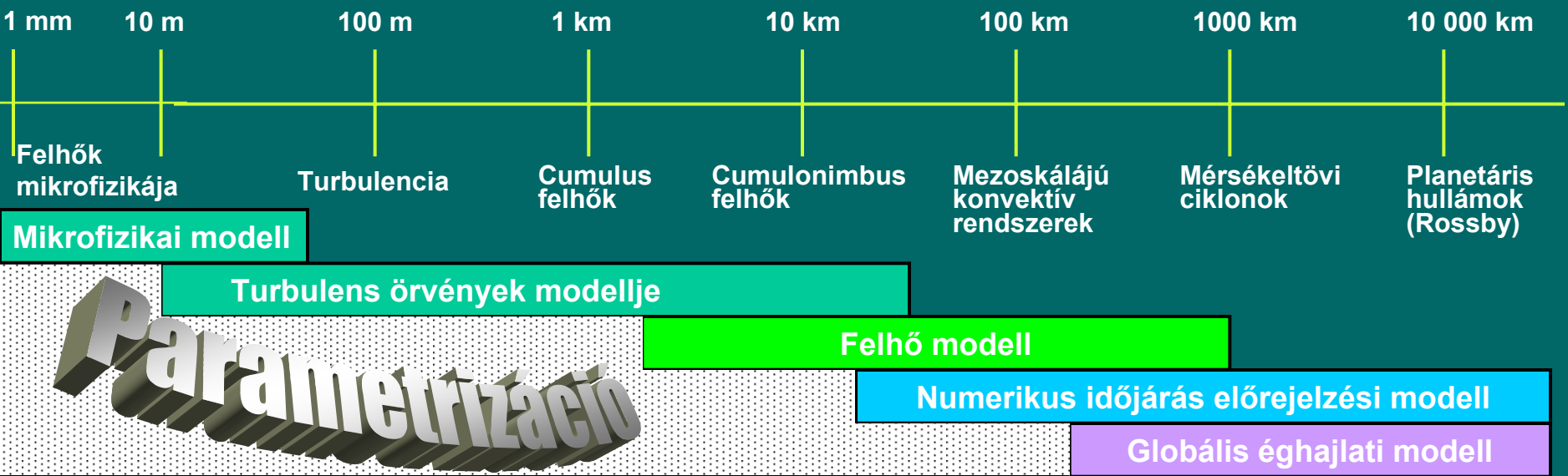
Folyamatosan **bővül** a számítástechnikai **kapacitás**, de az egyre komplexebb modellek futtatásához szükséges **számítási igény** jobban nő.

Számítási kapacitás (flop/mip)



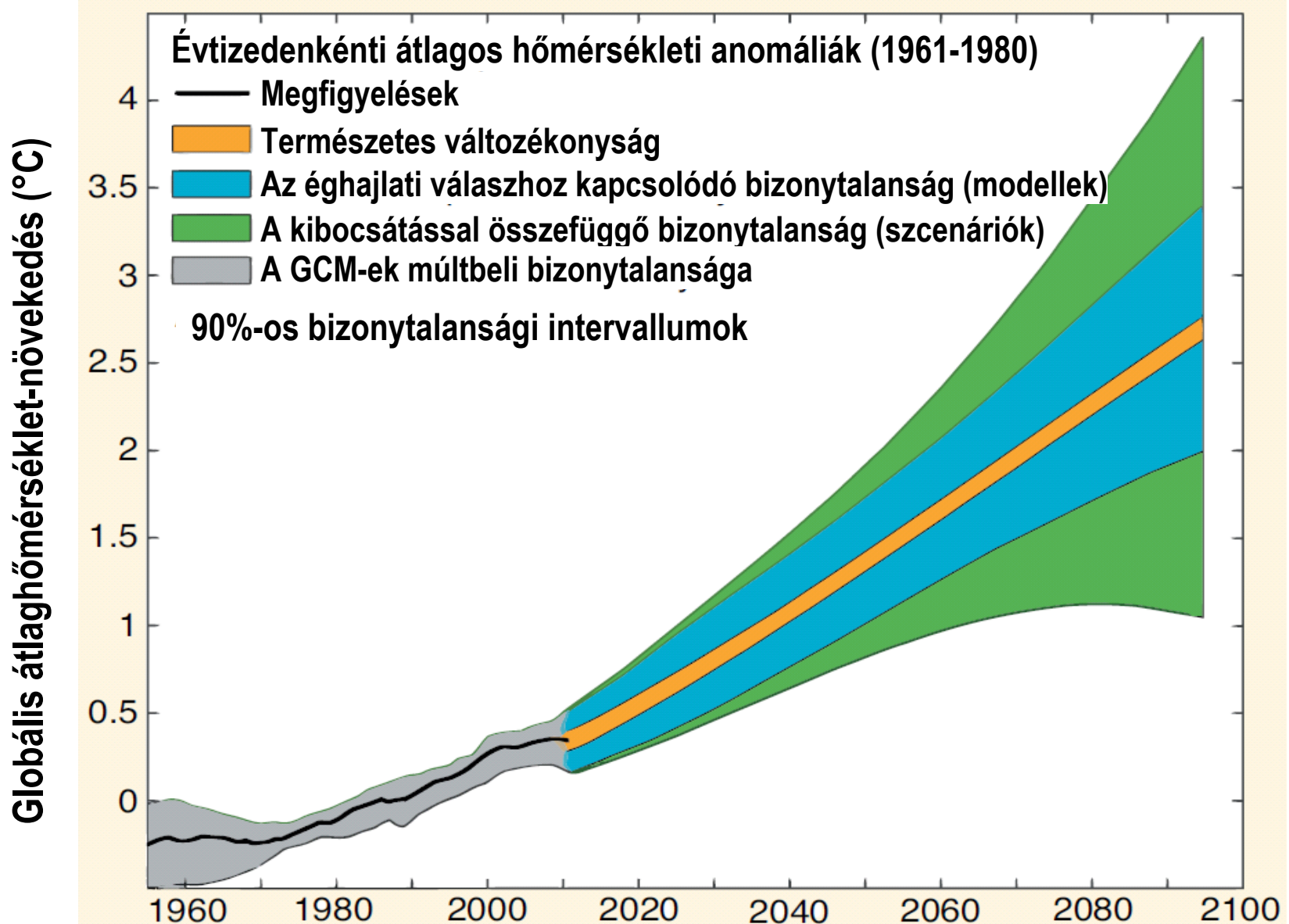
A modellfuttatásokhoz a világ **leggyorsabb** szuperszámítógépeire van szükség. A modell fejlesztések gátja a **számítástechnikai kapacitás hiánya**.

Egyetlen modell sem működik a teljes légköri mérettartományban



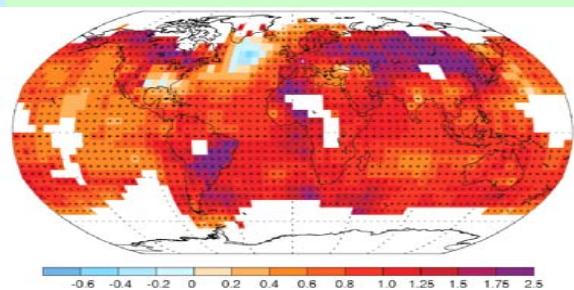
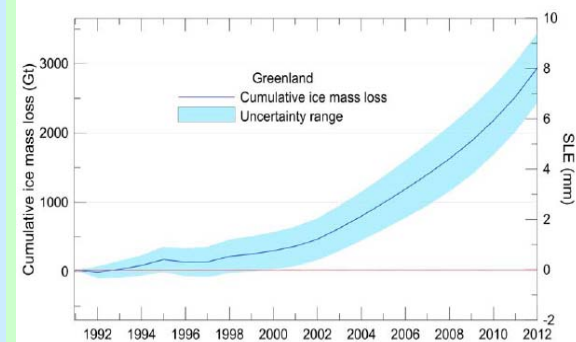
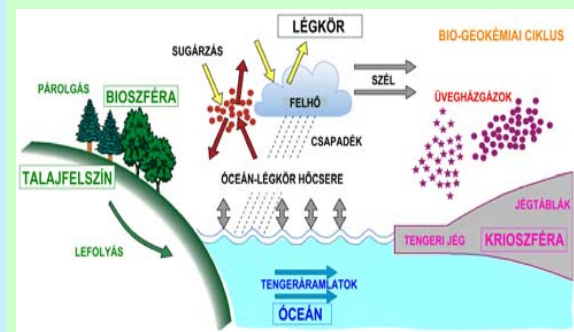
Az alkalmazott méretskálánál kisebb karakterisztikus méretű folyamatok csak **parametrizált** formában jelennek meg a modellekben, s ezek **növelik a bizonytalanságot**

Az éghajlati becslések bizonytalansági forrásai, a bizonytalanságok számszerűsítése (1955-2100)



VÁZLAT

1. A közelmúlt detektált változásai
2. Az éghajlati rendszer modellezése, bizonytalanságai
3. Jövőbeli tendenciák és várható következmények (IPCC -- RCM eredmények)
4. Időjárási és éghajlati szélsőségek



Trend (°C a teljes időszakra)

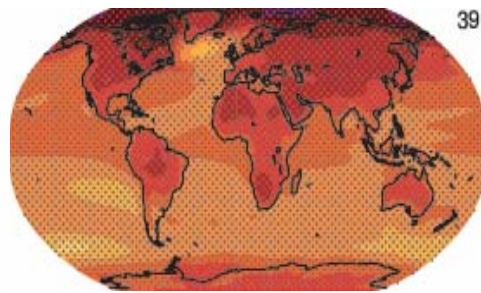
RCP4.5

RCP8.5

2081-2100



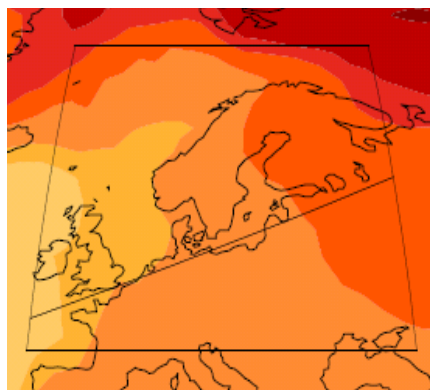
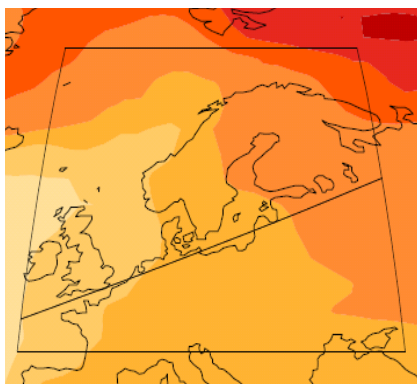
42



39

-2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 3 4 5 7 9 11 °C

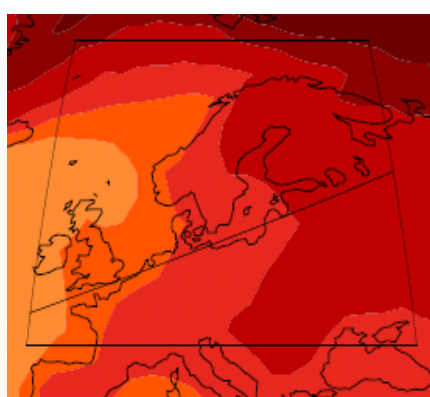
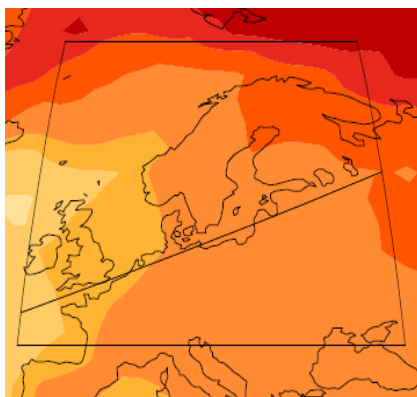
2046-2065



RCP4.5

RCP8.5

2081-2100



A várható globális és európai melegedés mértéke (évi átlag)

(Referencia időszak: 1986-2005)

2046-2065:

-- nagyobb melegedés:
északi poláris területeken,
kontinens belsejében

2081-2100:

-- jelentős a különbség
a scenáriók között
-- nagyobb melegedés:
kontinentális területeken
-- Európában:
DNy-ÉK irányú növekedés

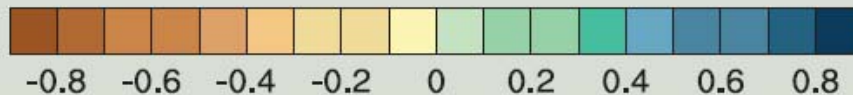
39

A hidrológiai ciklus elemeiben várható változás mértéke

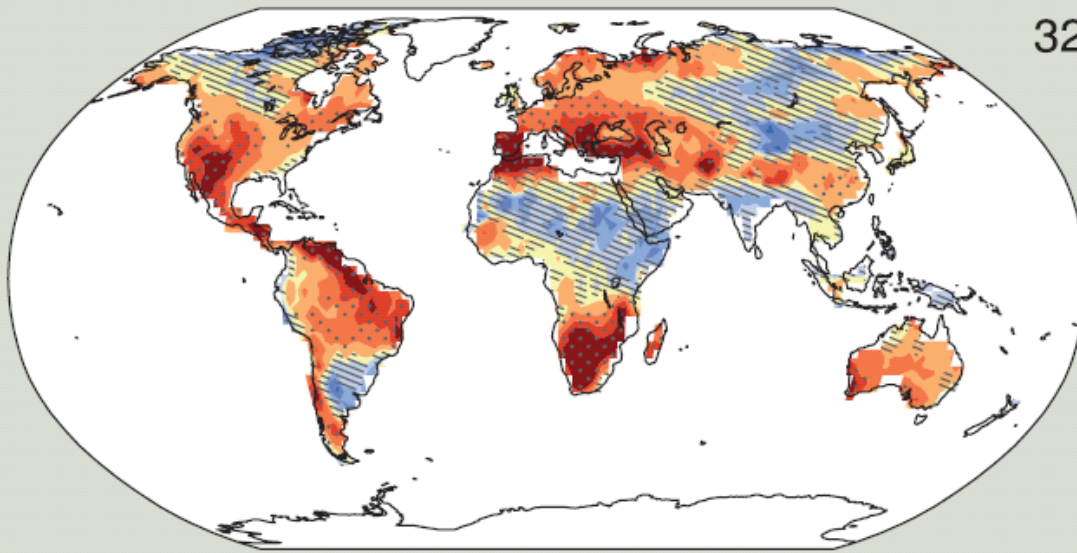
2081-2100 vs. 1986-2005

RCP8.5 Szenárió

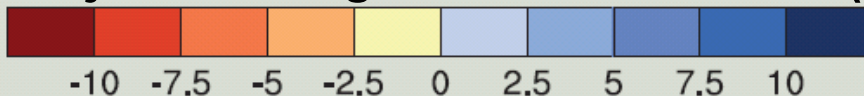
Csapadék várható változása (mm/nap)



32



Talajnedvesség várható változása (%)



Csapadékváltozás:

- nagyobb növekedés ($> +250$ mm/év):
trópusi óceán
- nagyobb csökkenés (< -130 mm/év):
Mediterrán térség,
szubtrópusi óceáni medencék
keleti része

Talajnedvesség-változás:

- jelentős csökkenés ($< -10\%$):
Mediterrán térség,
É- és Közép-Amerika, D-Afrika
- növekedés ($> +7\%$):
Kanada ÉK-i része

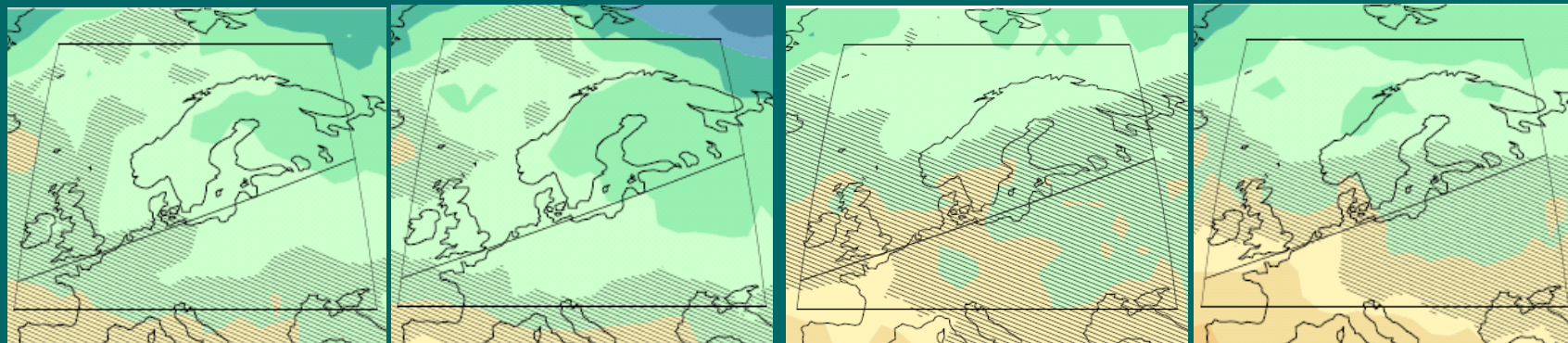
Európában várható téli és nyári csapadékváltozás mértéke az RCP6.0 és RCP8.6 szcenáriók alkalmazásával

Referencia időszak: 1981-1999

TÉLI FÉLÉV

NYÁRI FÉLÉV

2046-2065



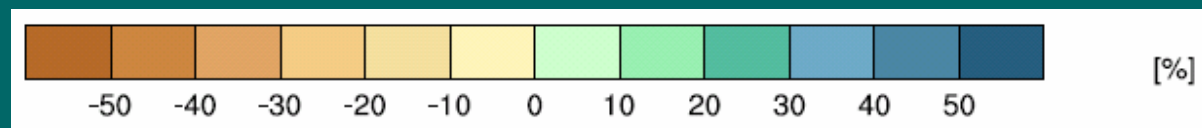
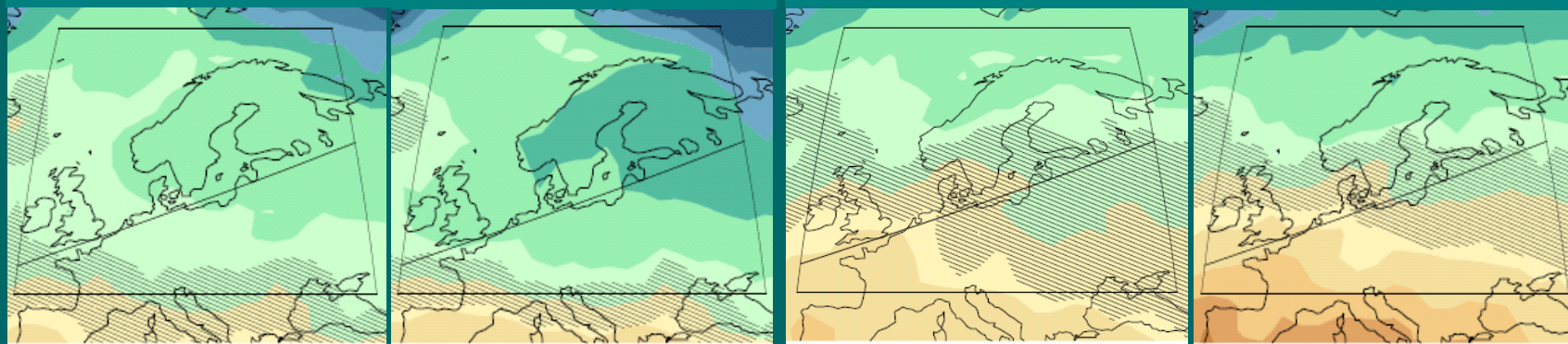
RCP6.0

RCP8.6

RCP6.0

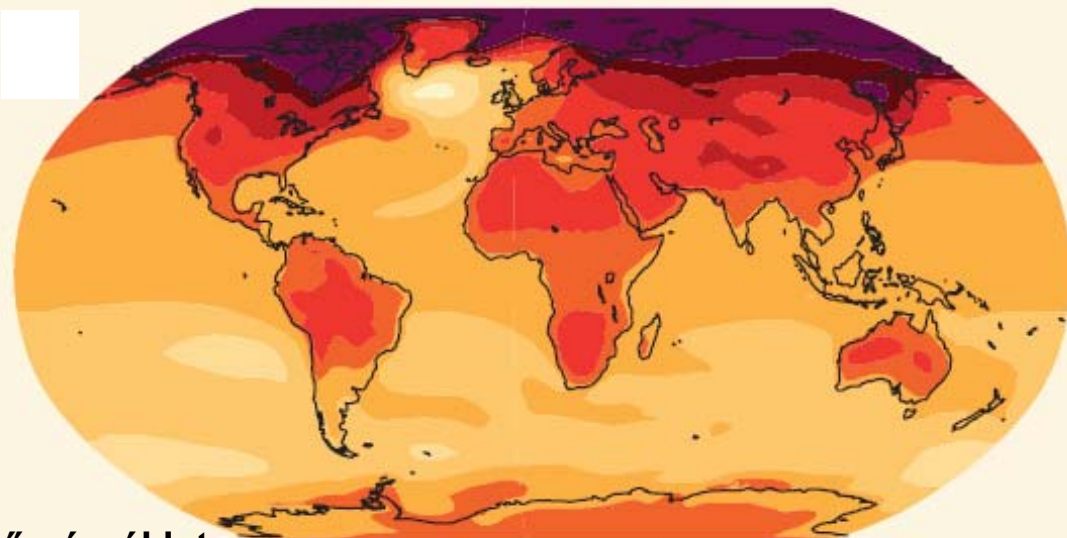
RCP8.6

2081-2100

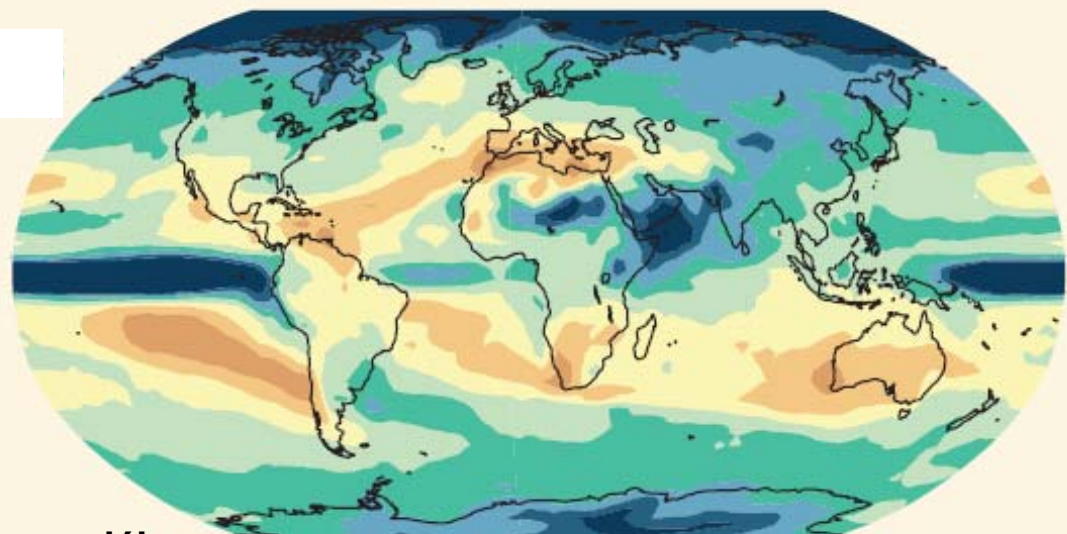
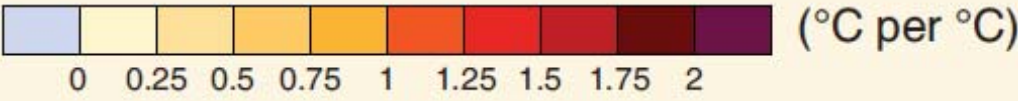


(IPCC, 2013)

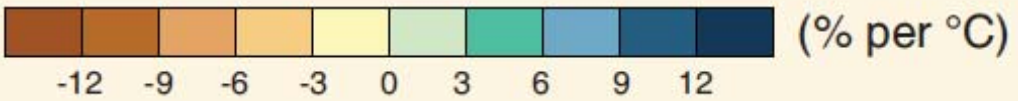
Téli félévben csapadéktöbblet
nyári félévben csapadékhiány



Hőmérséklet



Csapadék



Az 1 °C-os melegedéshez tartozó várható klímaváltozás mértéke

2081-2100 vs. 1980-1999

Hőmérsékletváltozás:

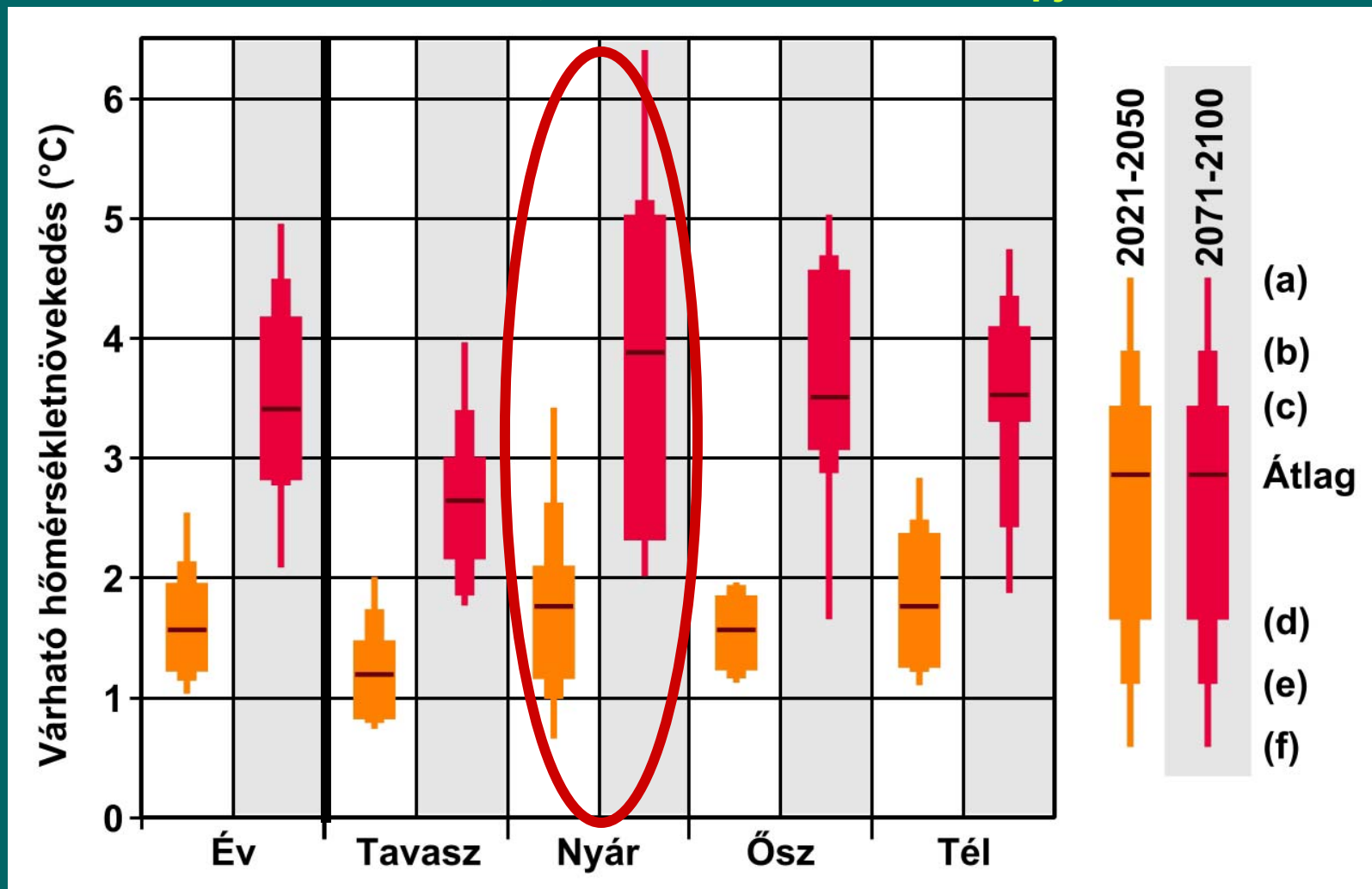
- óceánok < szárazföldek
- Max. (> 2°C):
északi poláris területeken

Csapadékváltozás:

- nagyobb növekedés (> +10%):
trópusi óceán, poláris területek
- nagyobb csökkenés (< -6%):
Mediterrán térség,
szubtrópusi óceáni medencék
keleti része

A várható éves és évszakai hőmérsékletváltozás Magyarországon

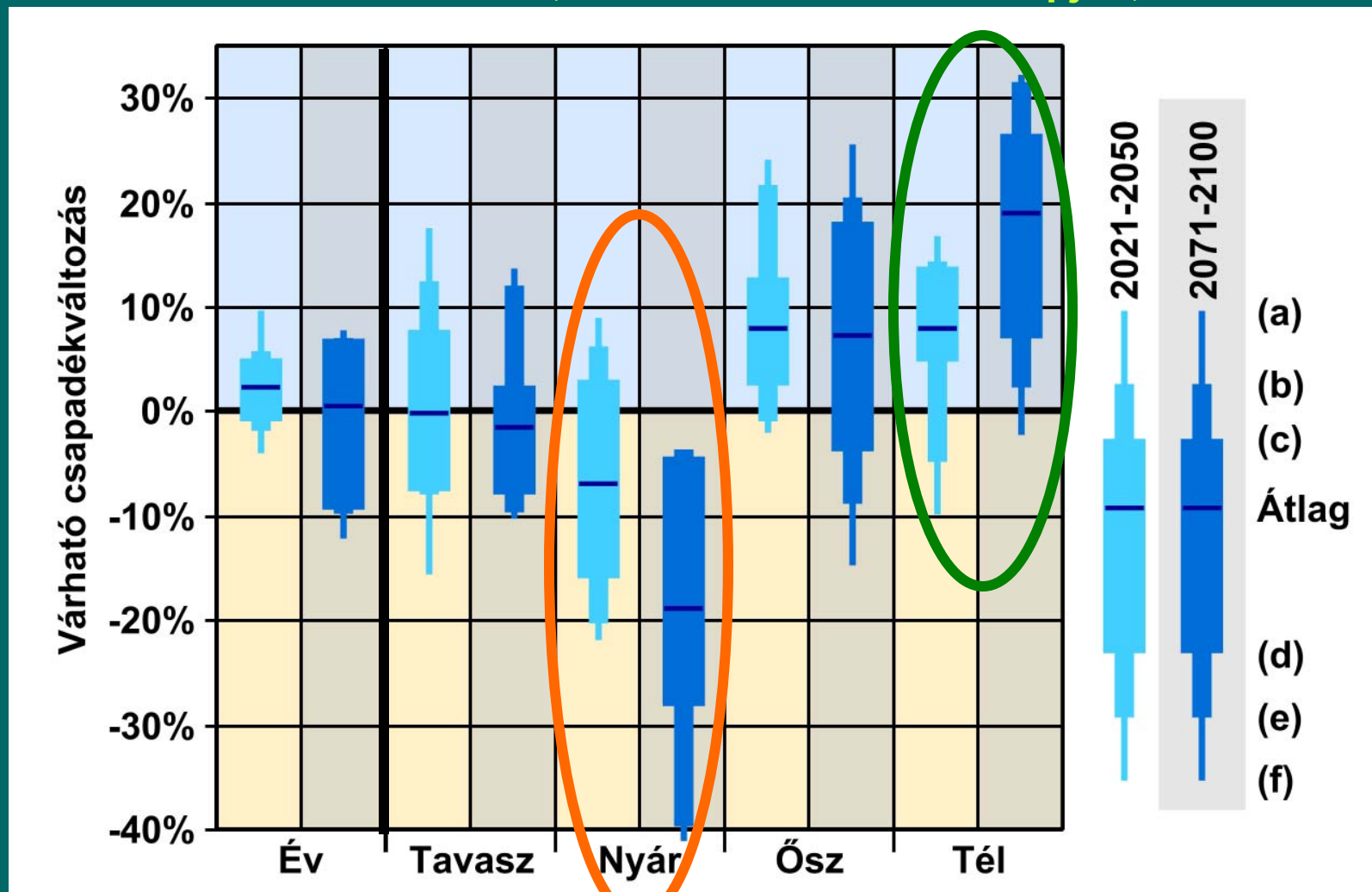
(Referencia időszak: 1961-1990, 11 modellszimuláció alapján, A1B scenárió)



Várható melegedés mértéke 2021-2050-re: 1 – 2,5 °C,
2071-2100-ra: 2 – 5 °C, a legerősebb melegedés nyáron valószínűsíthető

A várható éves és évszakos csapadékváltozás Magyarországon

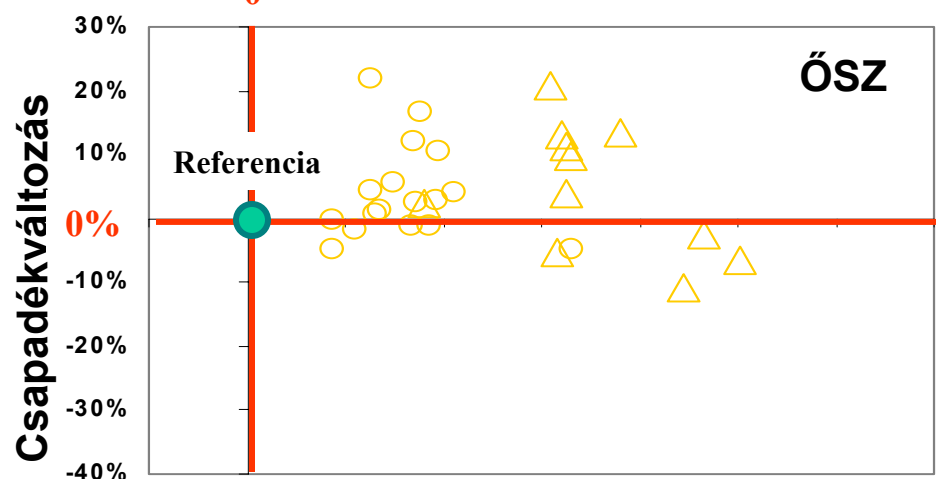
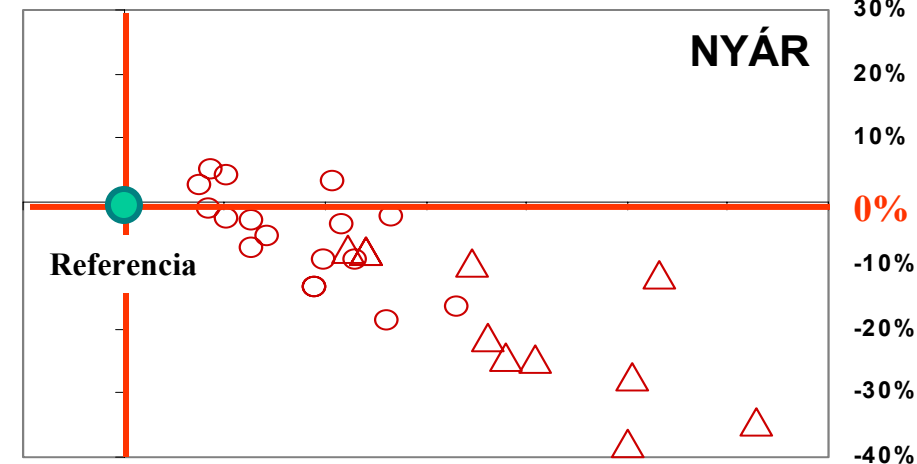
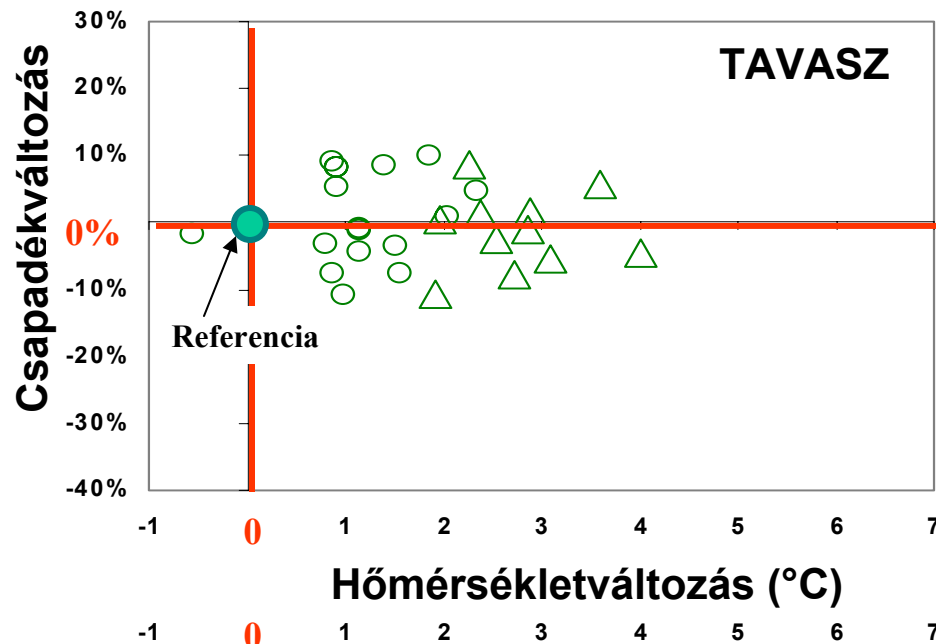
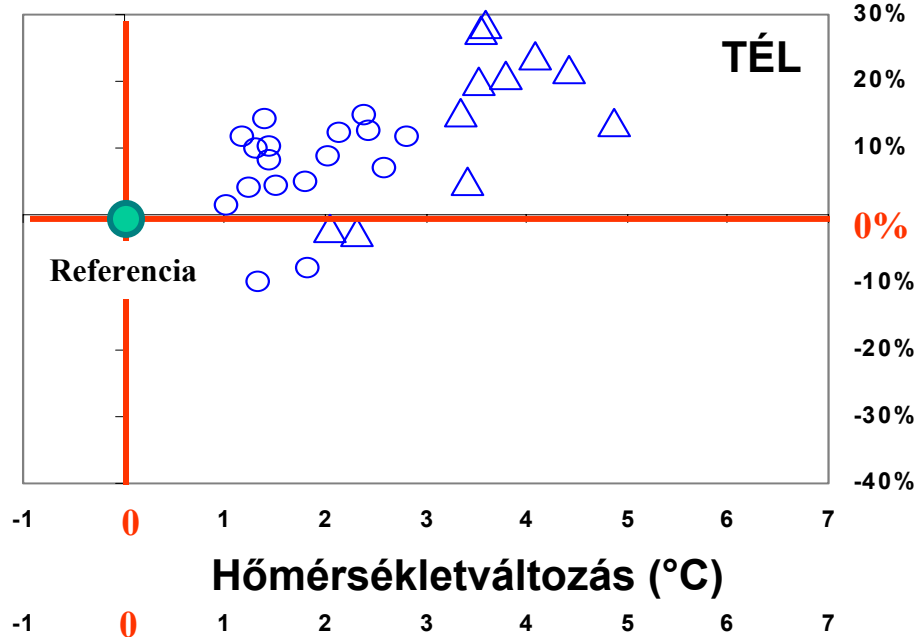
(Referencia időszak: 1961-1990, 11 modellszimuláció alapján, A1B scenárió)



Várható változások: szárazabb nyarak – csapadékosabb telek
(2071-2100-ra: kb. -20%, illetve +20%)

Magyarországra várható hőmérséklet és csapadékváltozás

● Referencia időszak: 1961-1990



ENSEMBLES modellszimulációk:



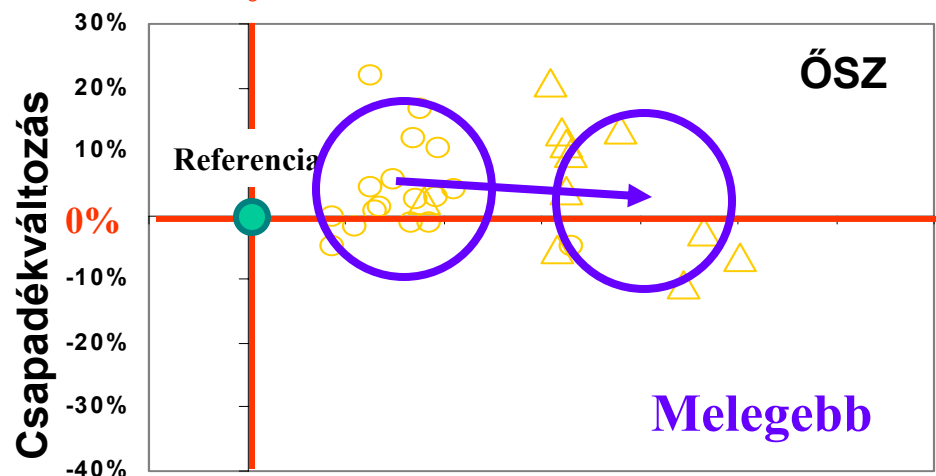
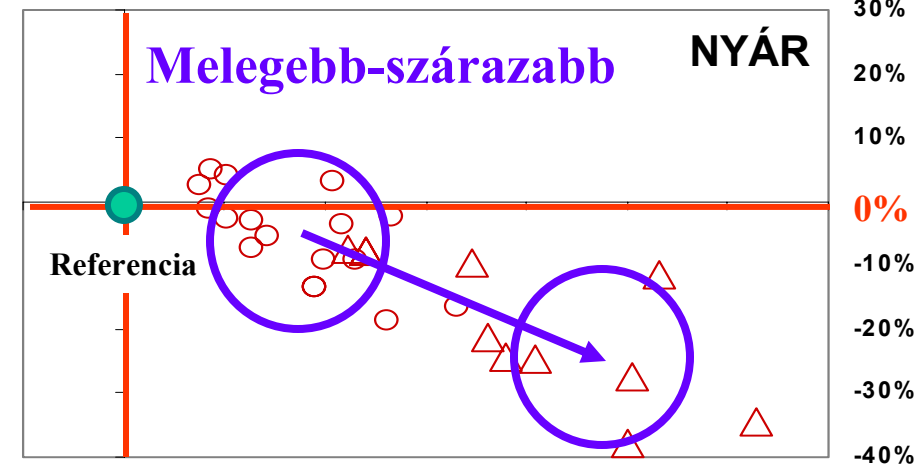
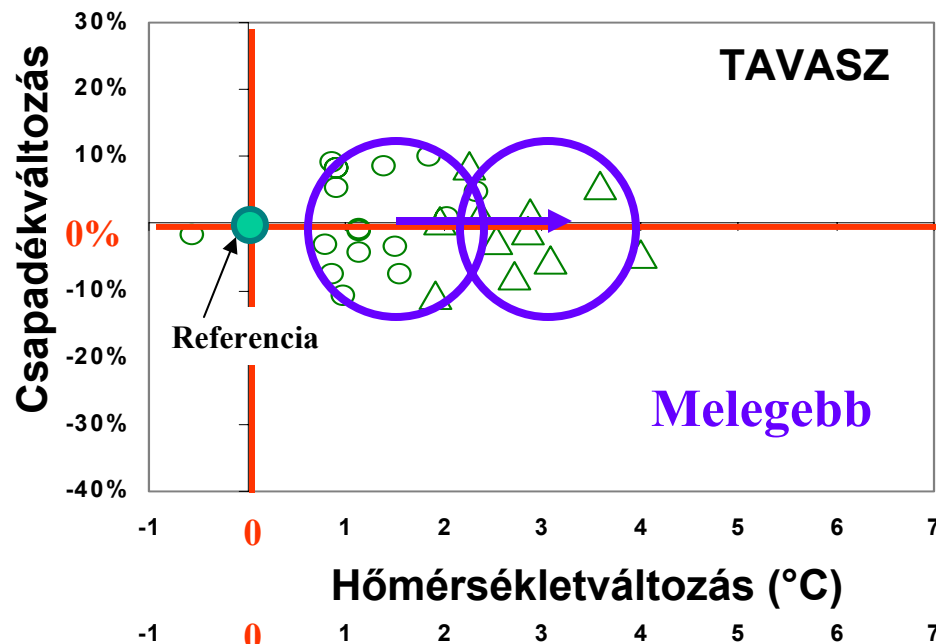
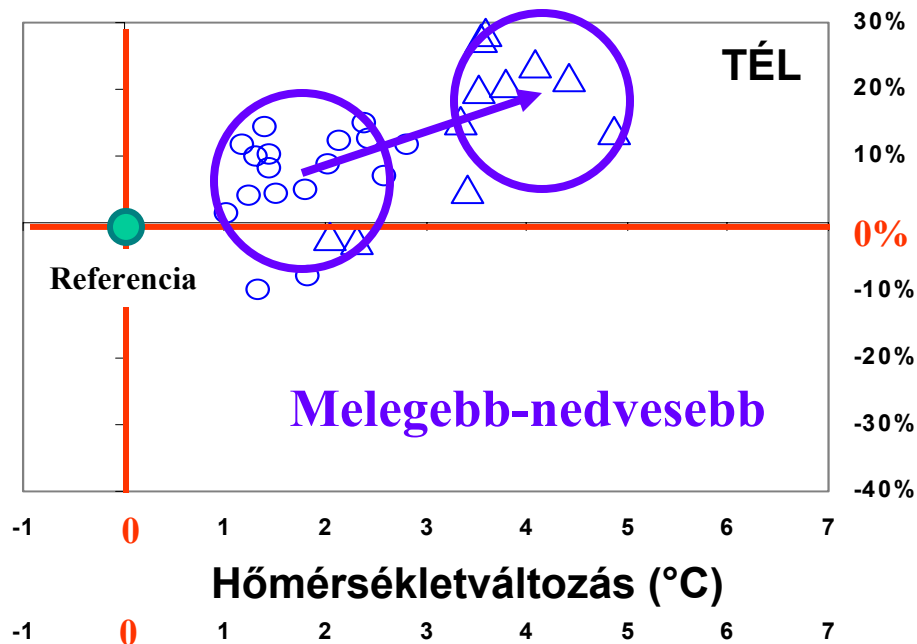
2021-2050,



2071-2100

Magyarországra várható hőmérséklet és csapadékváltozás

● Referencia időszak: 1961-1990



ENSEMBLES modellszimulációk:



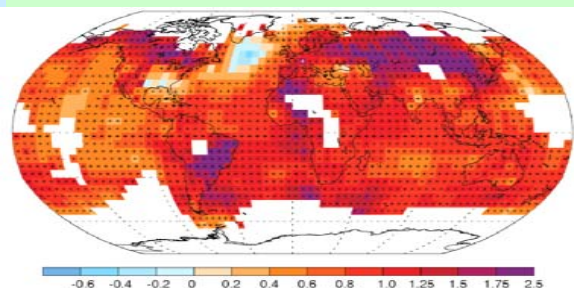
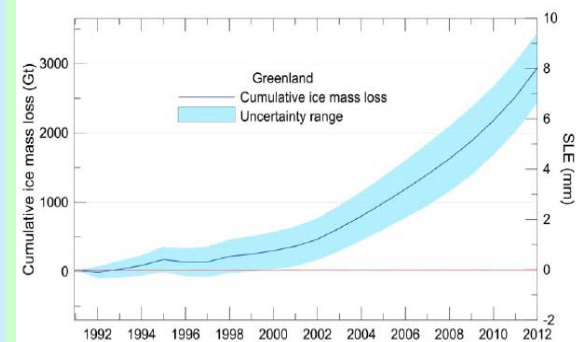
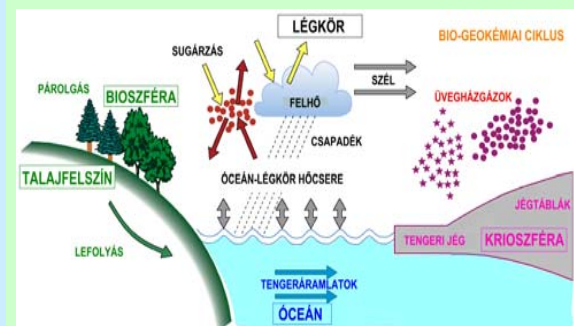
2021-2050,



2071-2100

VÁZLAT

1. A közelmúlt detektált változásai
2. Az éghajlati rendszer modellezése, bizonytalanságai
3. Jövőbeli tendenciák és várható következmények (IPCC -- RCM eredmények)
4. Időjárási és éghajlati szélsőségek



Trend (°C a teljes időszakra)

Az időjárási és éghajlati szélsőségek hatása függ:



⇒ a szélsőség
jellegétől és
mértékétől
(2013. március 15.)



⇒ a térség
sérülékenységétől
(2013. Szentendre)



⇒ a térség
kitettségétől
(2006. augusztus 20. Bp)



A SZÉLSŐSÉGEK GYAKORISÁG NÖVEKEDÉSE VÁRHATÓ KÖZÉP-EURÓPÁBAN

GCM-becslések a XXI. századra (B1, A1B, A2):

több **meleg nap**

Jelenleg **20 évente** előforduló
szélsőséges napi maximumok
jövőbeli előfordulási gyakorisága:

2-10 évente (2046-2065)

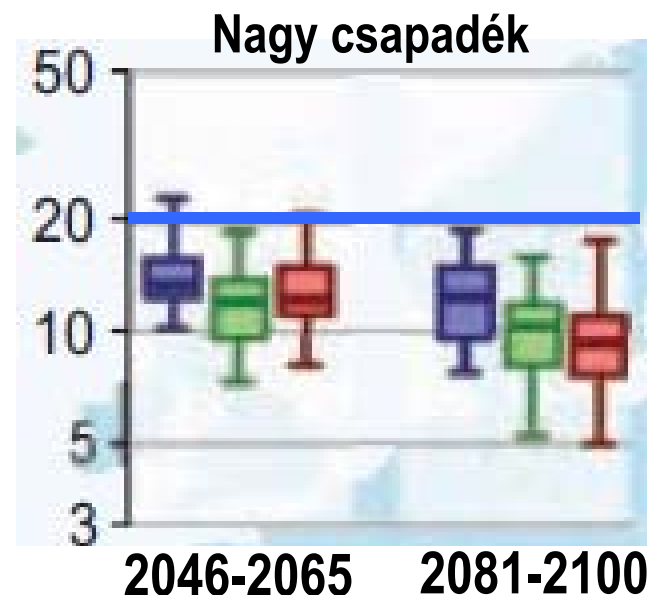
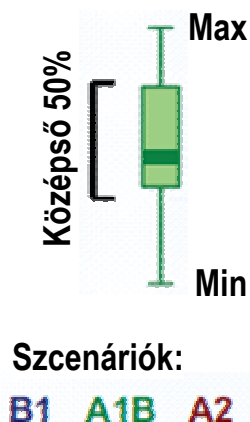
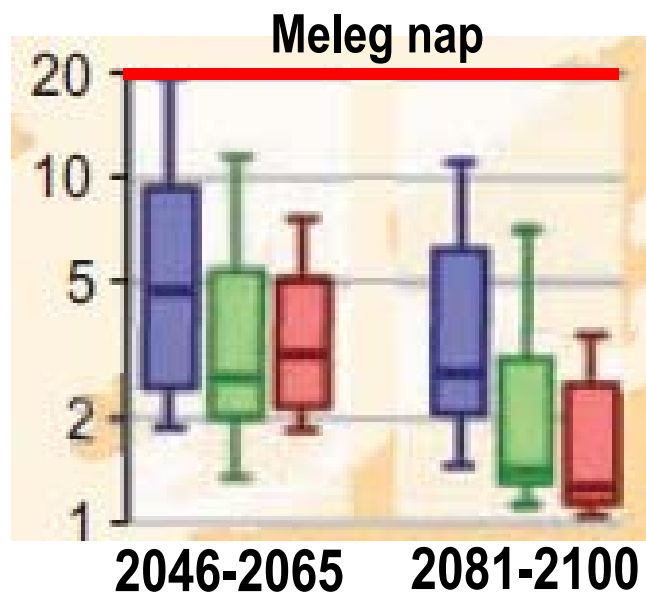
1-6 évente (2081-2100)

több **nagy csapadékú nap**

A jelenleg **20 évben** egyszer előforduló
szélsőségesen nagy napi csapadékok
jövőbeli előfordulási gyakorisága:

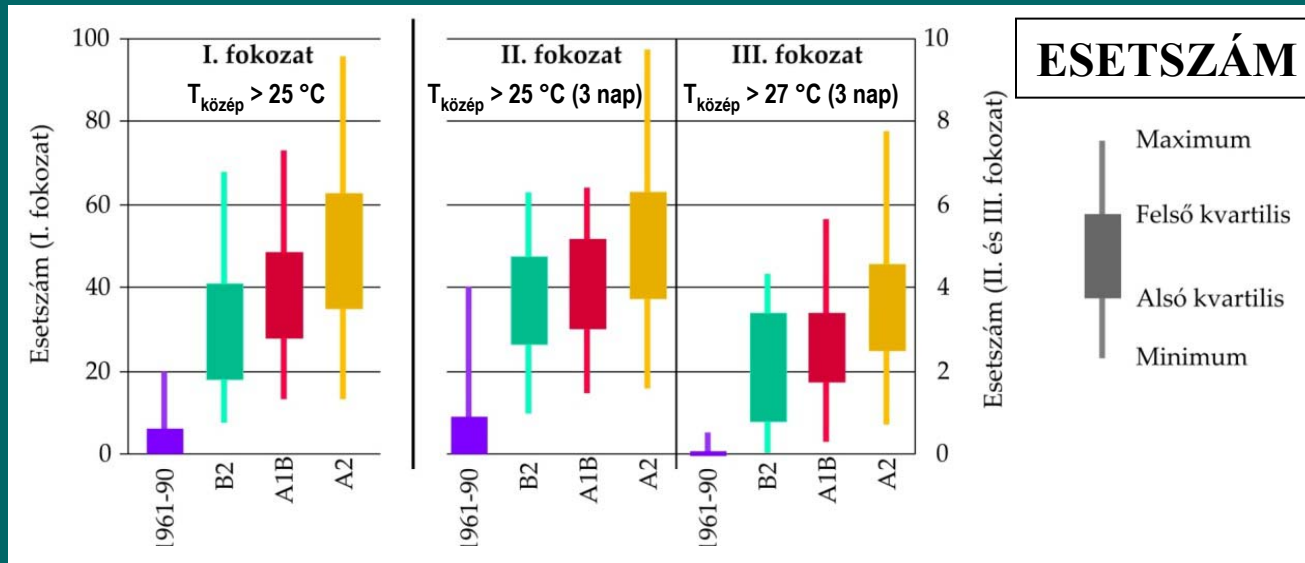
10-15 évente (2046-2065)

8-16 évente (2081-2100)

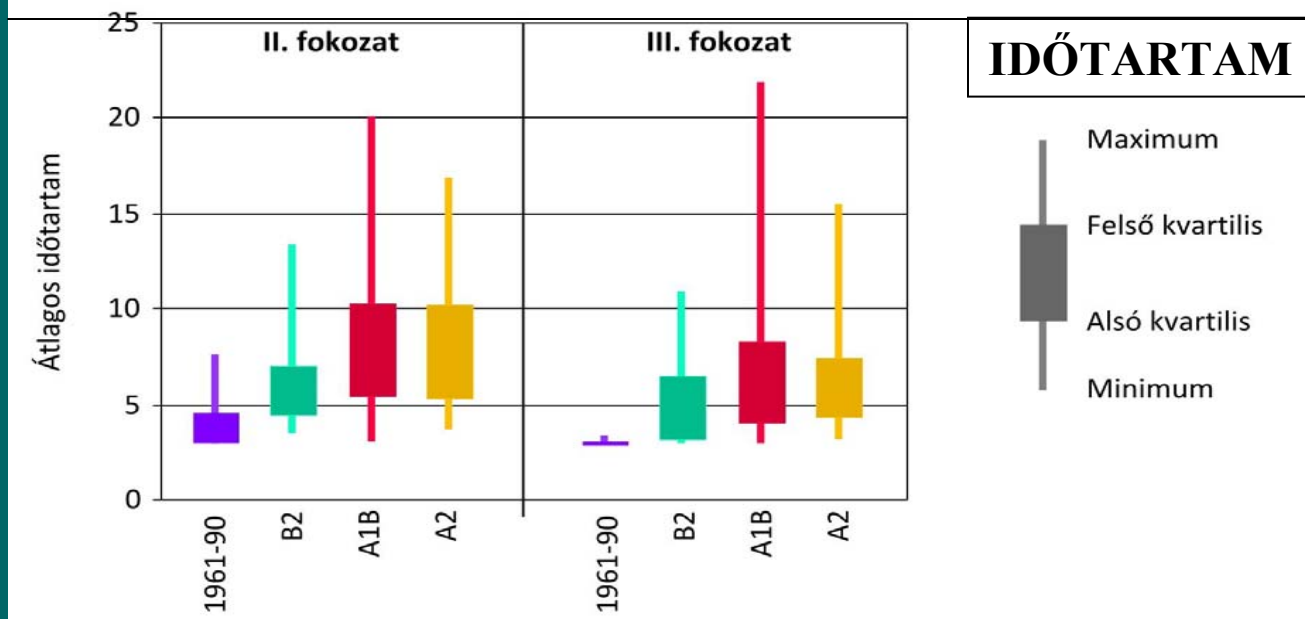


A hőségriasztások számának (fent) és időtartamának (lent) várható változása Magyarországon, 2071-2100

(B2, A1B, A2 Szenárió esetén, PRECIS, Referencia időszak: 1961-1990)



A XXI. század végére
- a különböző fokozatú hőségriasztások gyakorisága akár tízszeresére nőhet



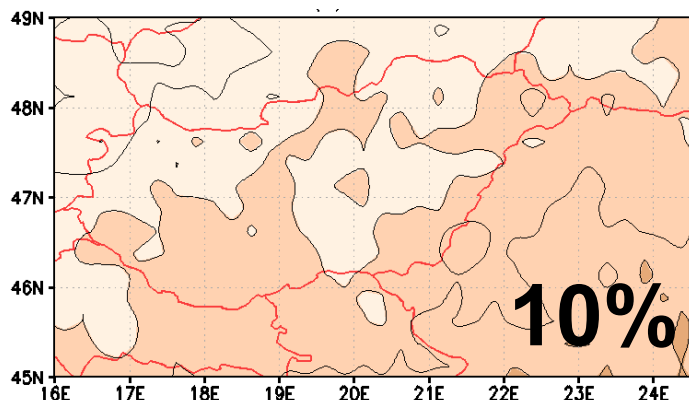
- a hőségriasztások átlagos éves időtartama akár kétszeresére is meghosszabbodhat a referencia időszakhoz képest

Száraz időszakok maximális hosszának **nyárra** várható változásai

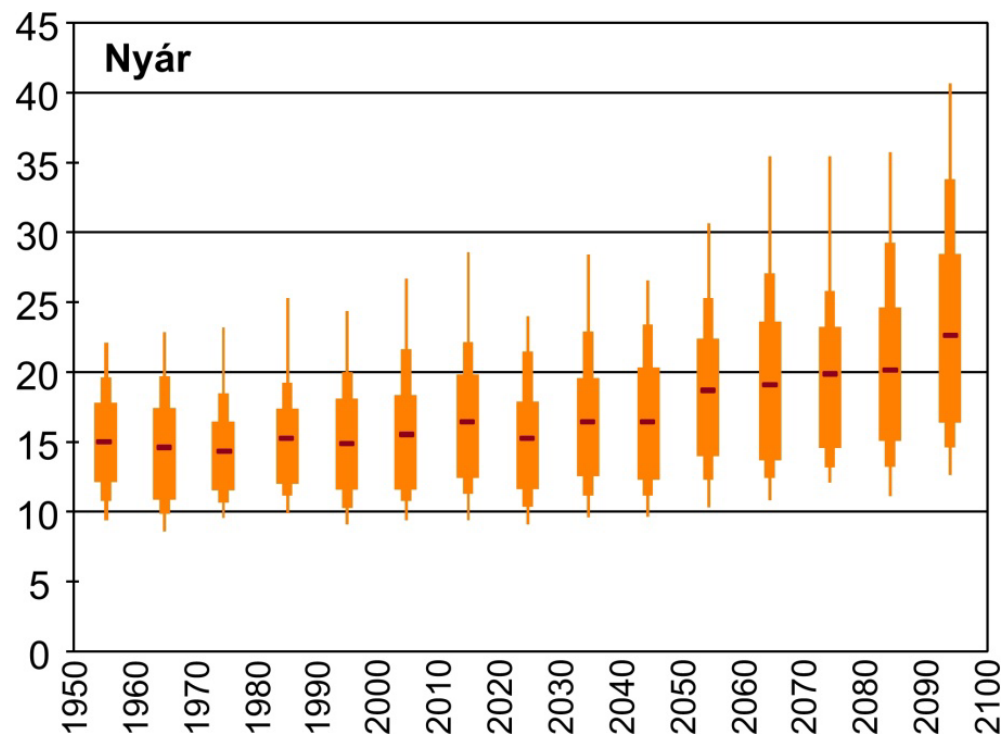
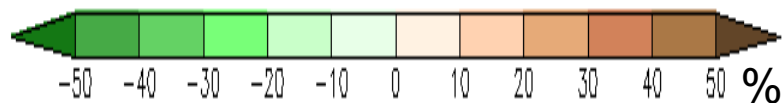
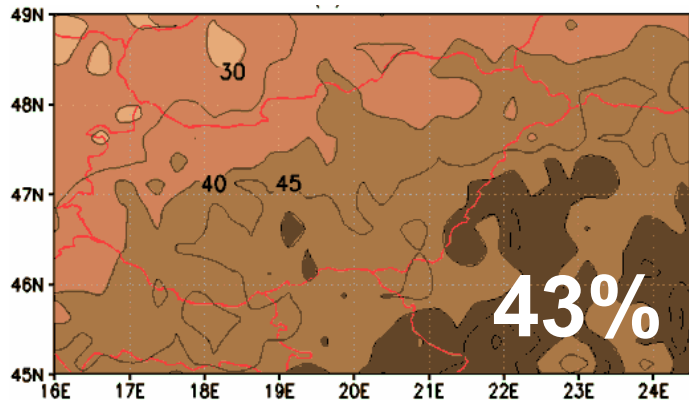
11 RCM-szimuláció eredménye alapján Magyarországon

Referencia időszak: 1961-1990

2021-2050



2071-2100



Átlagos növekedési trend: 5,1 nap/évszázad

Maximális növekedési trend: 11,7 nap/évszázad

Jelentős nyári növekedés

ÖSSZEFOGLALÓ

- Az antropogén eredetű klímaváltozás már egyértelműen **detektálható**
- **Van eszközünk** az éghajlat várható változásainak becslésére: globális és regionális klímamodellek
- Az éghajlati rendszert leíró modellek **hibákkal** terheltek, de egyre **pontosabban** képesek leírni a légköri és óceáni folyamatokat
- Mind több modellszimulációt alkalmazva **valószínűségi** előrejelzésekkel jellemezhetjük a várható változásokat.
- Minél **tovább várunk** arra, hogy a tudomány minden bizonytalanság kizárásával igazolja az éghajlati rendszer változási folyamatait, annál **több visszafordíthatatlan** változás következik be a Föld számos sérülékeny régiójának környezeti feltételeiben.
- Ezzel párhuzamosan **adaptációs lehetőségeink** egyre szűkülnek.
- A jelentős **emisszió csökkentést** minél előbb el kell kezdeni.

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!