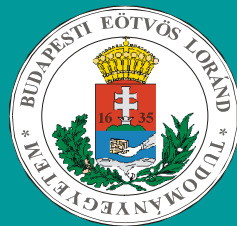


# AZ ÉGHAJLATI MODELLEKRŐL GLOBÁLIS, KONTINENTÁLIS, HAZAI EREDMÉNYEK

**Bartholy Judit**

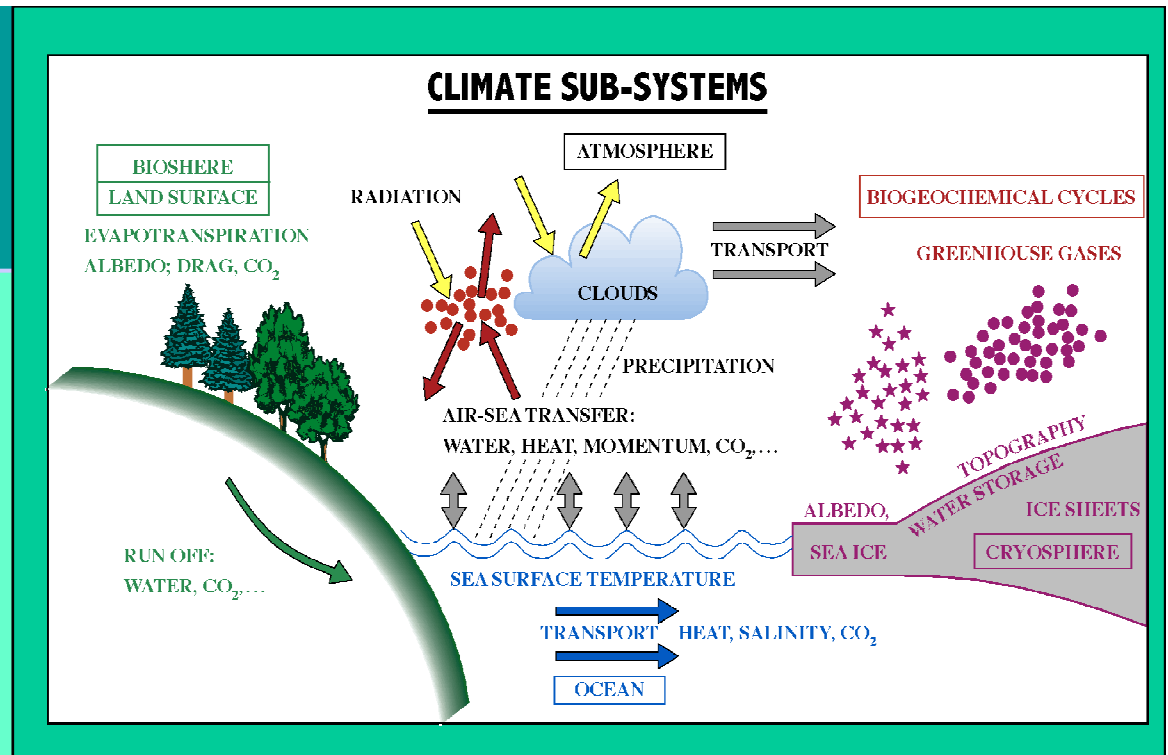


**Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Meteorológiai Tanszék, Budapest**

**Az éghajlati rendszer  
szimulálása globális  
modellekkel**

**korlátok, lehetőségek**

# AZ ÉGHAJLAT MODELLEZÉSÉNEK ÁLTALÁNOS CÉLJAI



- valós klíma becslése



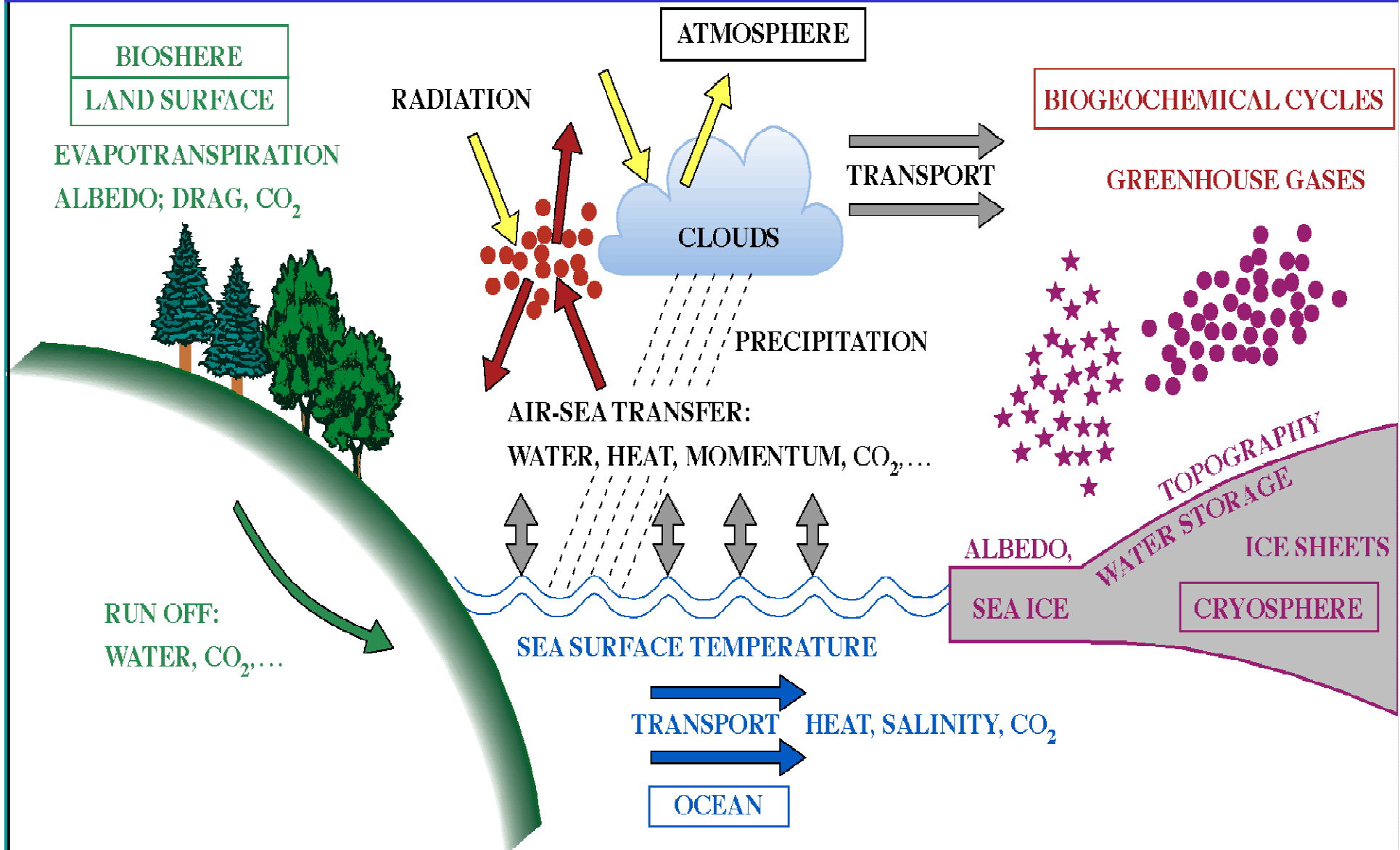
törekvés a pontos leírás irányába

- a komplex éghajlati rendszer ésszerű redukciója

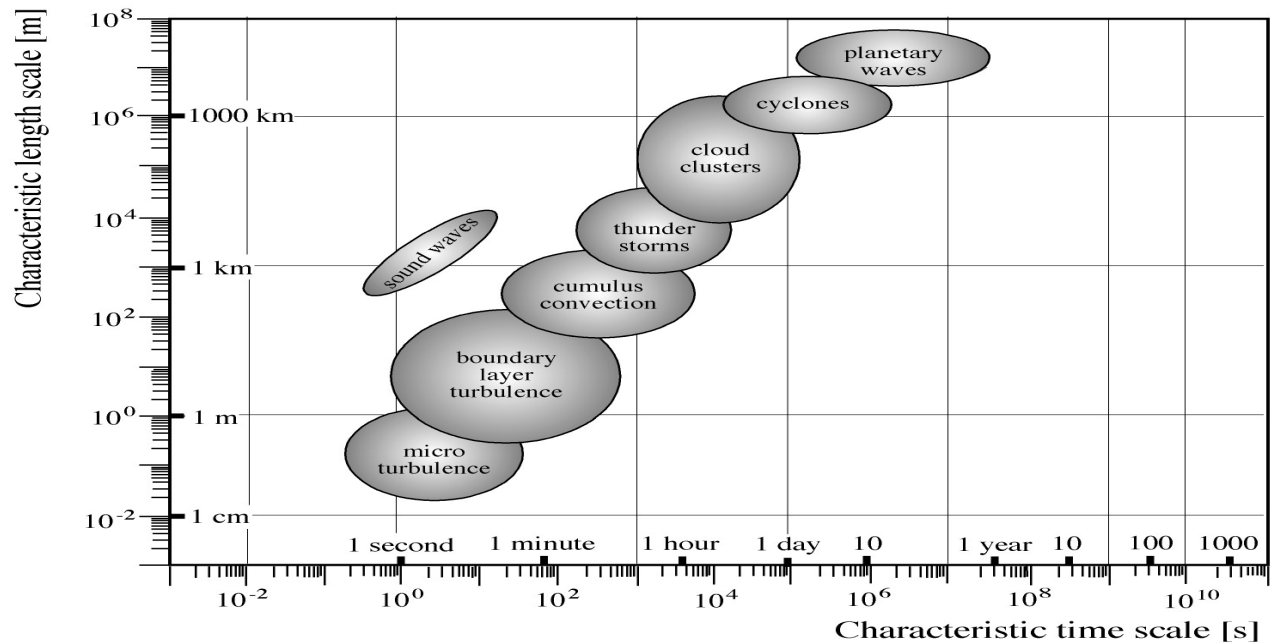


a megértési folyamat segítése + realitás

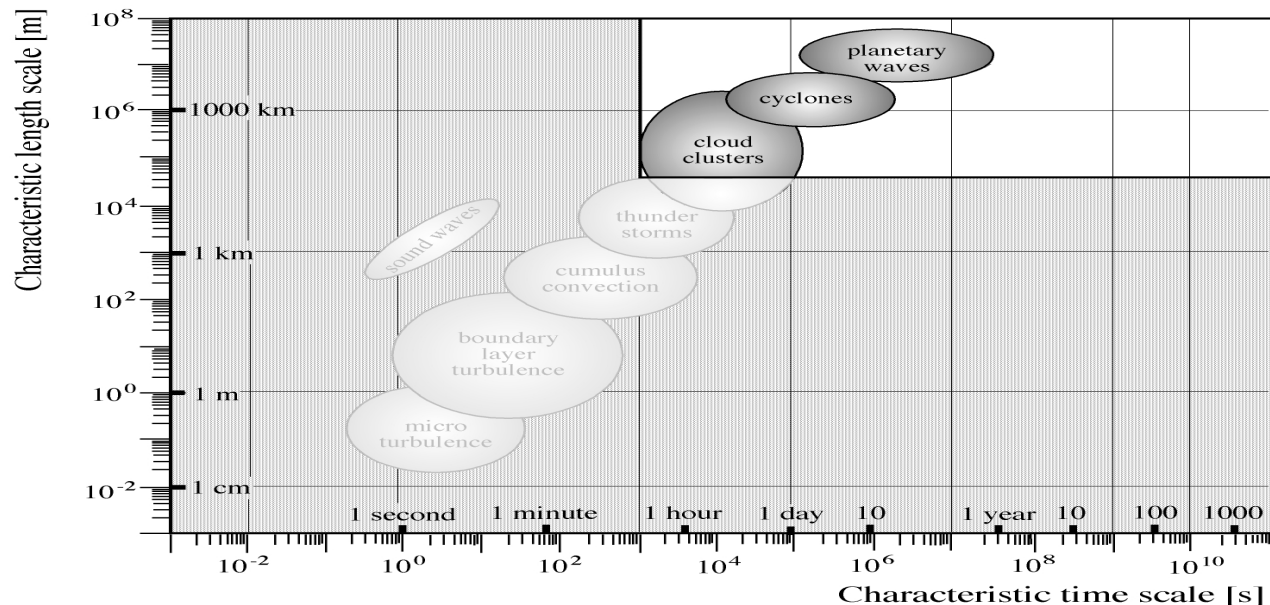
# Az éghajlati rendszer alrendszerei (5)



# A légköri folyamatok karakterisztikus tér- és időskálája

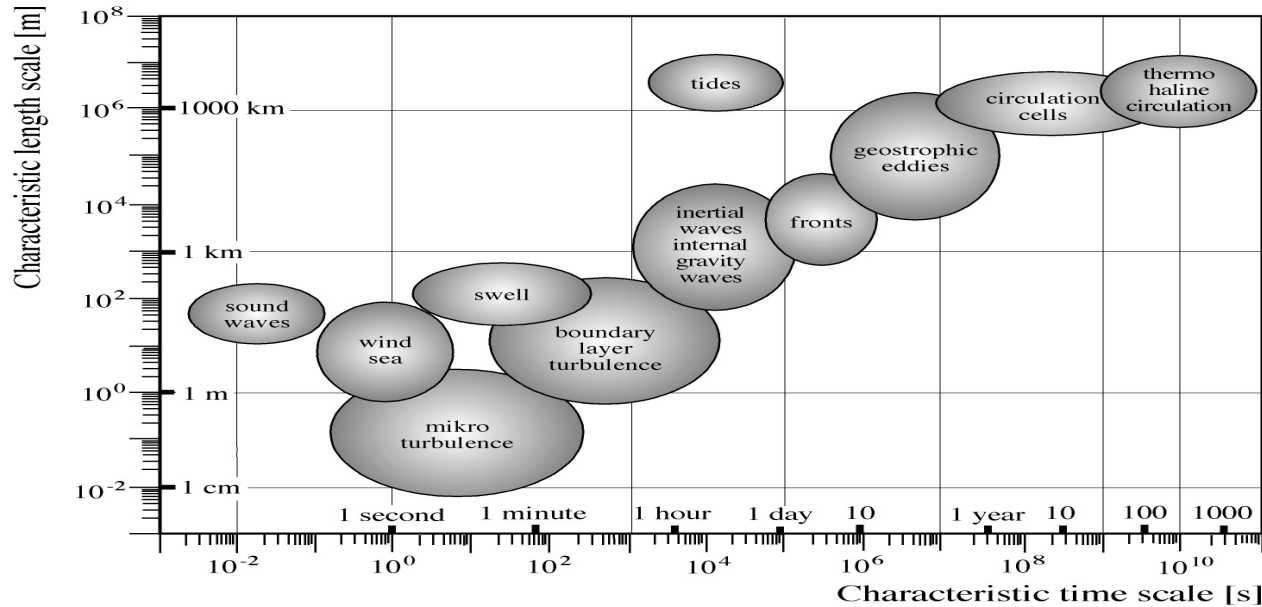


A légkör dinamikus folyamatai

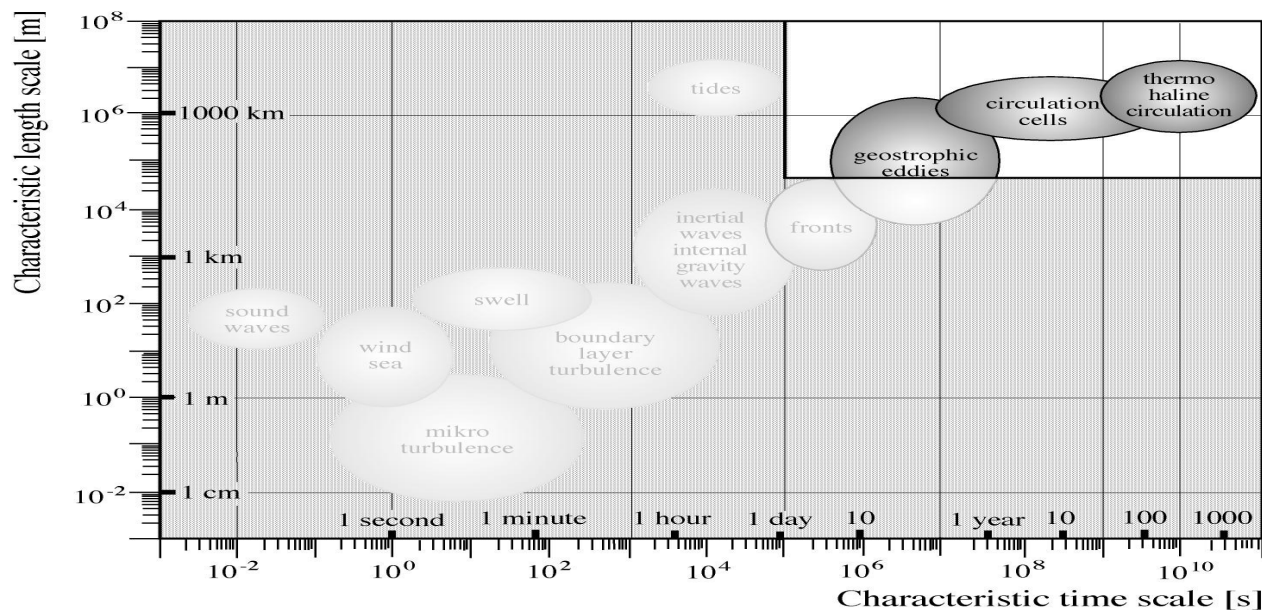


Az általános cirkulációs modellekben figyelembe vett légköri dinamikus folyamatok

# Az óceáni folyamatok karakterisztikus tér- és időskálája



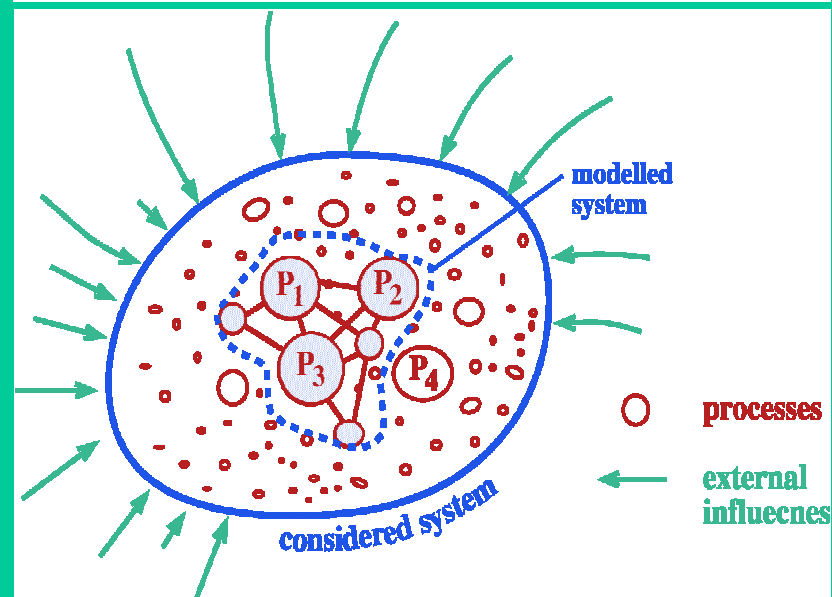
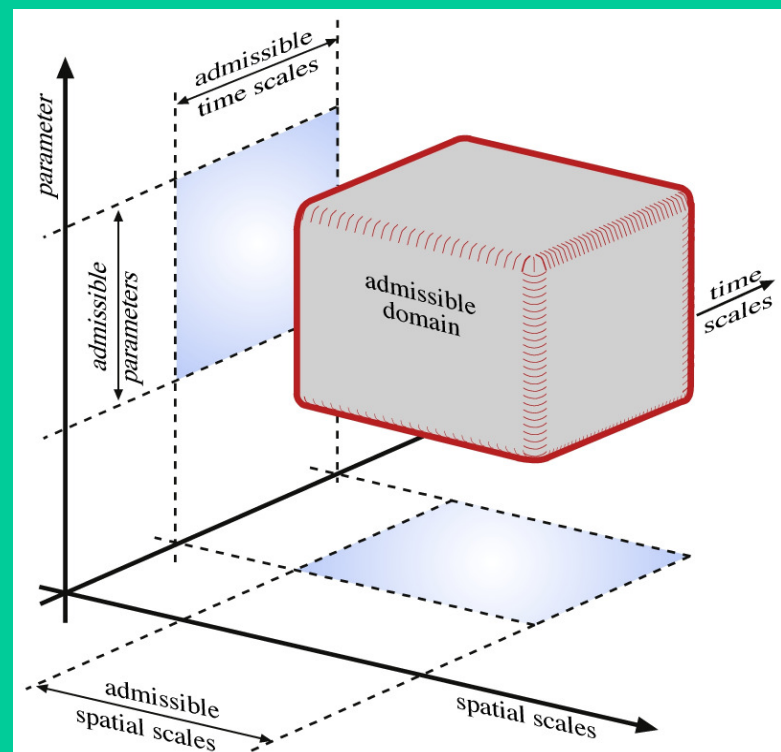
**Az óceán dinamikus folyamatai**



**A globális óceán modellekben figyelembe vett dinamikus óceáni folyamatok**

# Az éghajlati modellek

- **szűkebbek** mint a valóság  
(véges folyamatot vesznek figyelembe,  
a fázis térnek csak egy kis szegmensét  
vizsgálják)
- **egyszerűbbek** mint a valóság  
(a leírt folyamatok idealizáltak)
- **lezártak**, holott a valóság nyitott  
(a nem véges, előrejelezhetetlen  
kényszerfeltétel helyett a modellek  
csak néhány faktorra szorítkoznak)



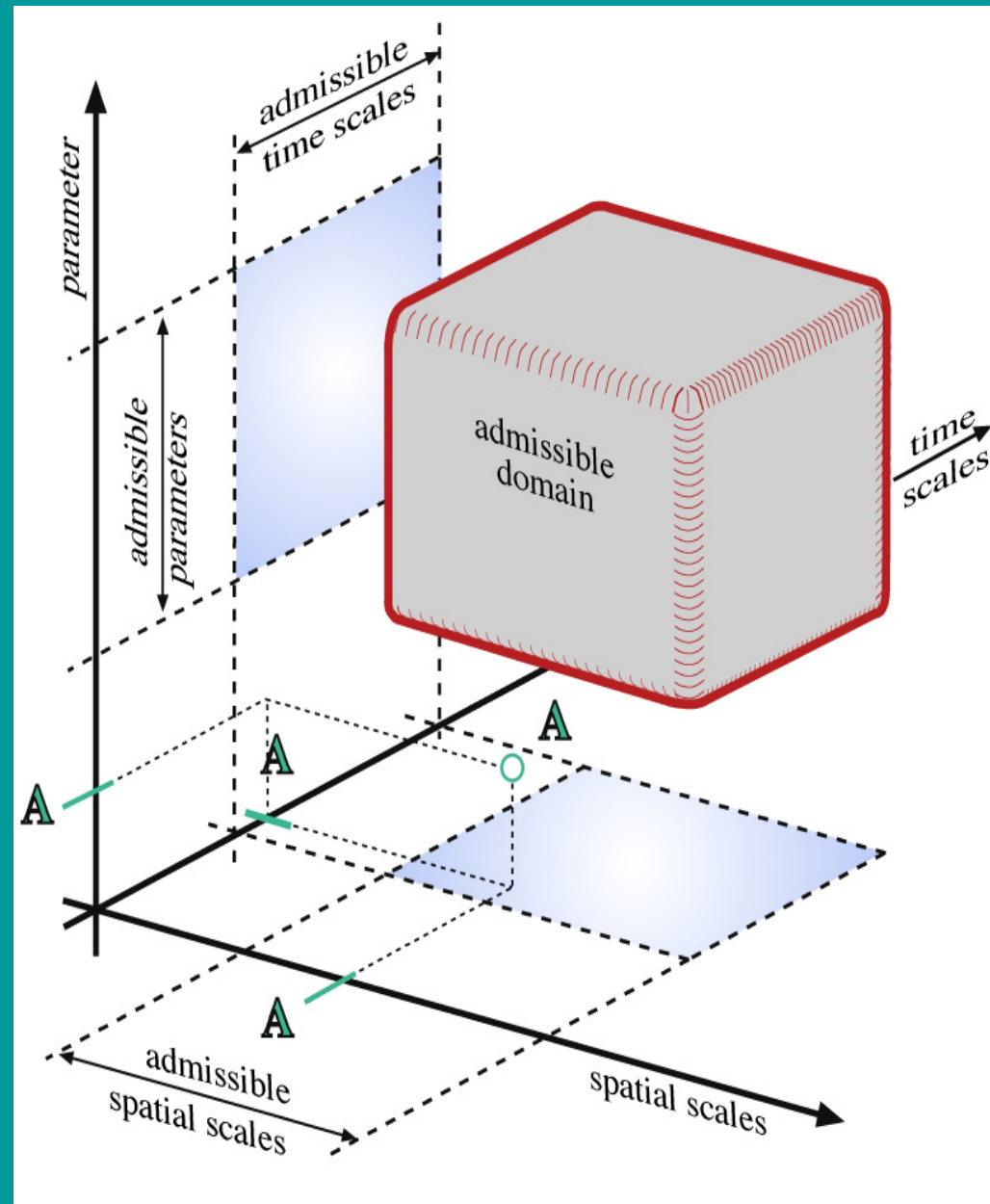
## Az éghajlati modellek a “valóságot” közelítik

- dinamikus, fizikai folyamatokon alapuló közelítések
- kísérleti eszközök (alkalmasak hipotézis tesztelésre)
- szcenáriók tervezésére van lehetőség segítségükkel
- érzékenységi vizsgálatok végezhetők velük
- az adatasszimilációs eljárások révén a mérési adatok “dinamikailag konzisztens módon” térben és időben interpretálhatók, extrapolálhatók



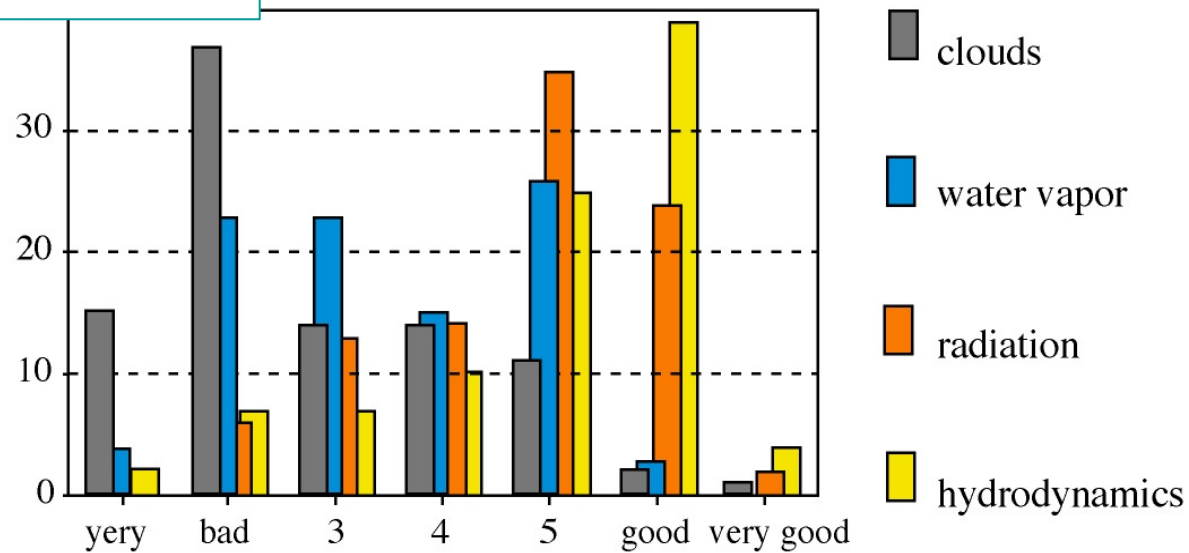
A modelleket **nem lehet** szigorú értelemben véve **verifikálni** sem a rendszeres műszeres mérések előtti időszakra, sem a jövőre.

A fázistér ismeretlen szektorainak (pl.  $2\times\text{CO}_2$  klíma esete) folyamatai nem feltétlenül azonosak a jelen dinamikájával

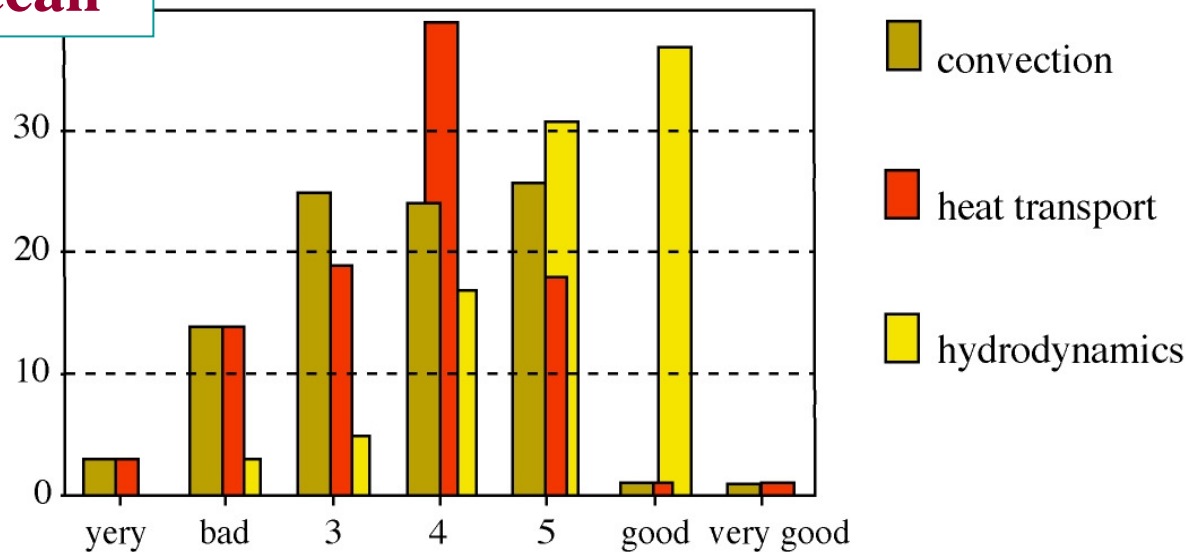


# Milyen jól reprezentálják a klímamodellek az egyes fizikai folyamatokat?

## atmoszféra



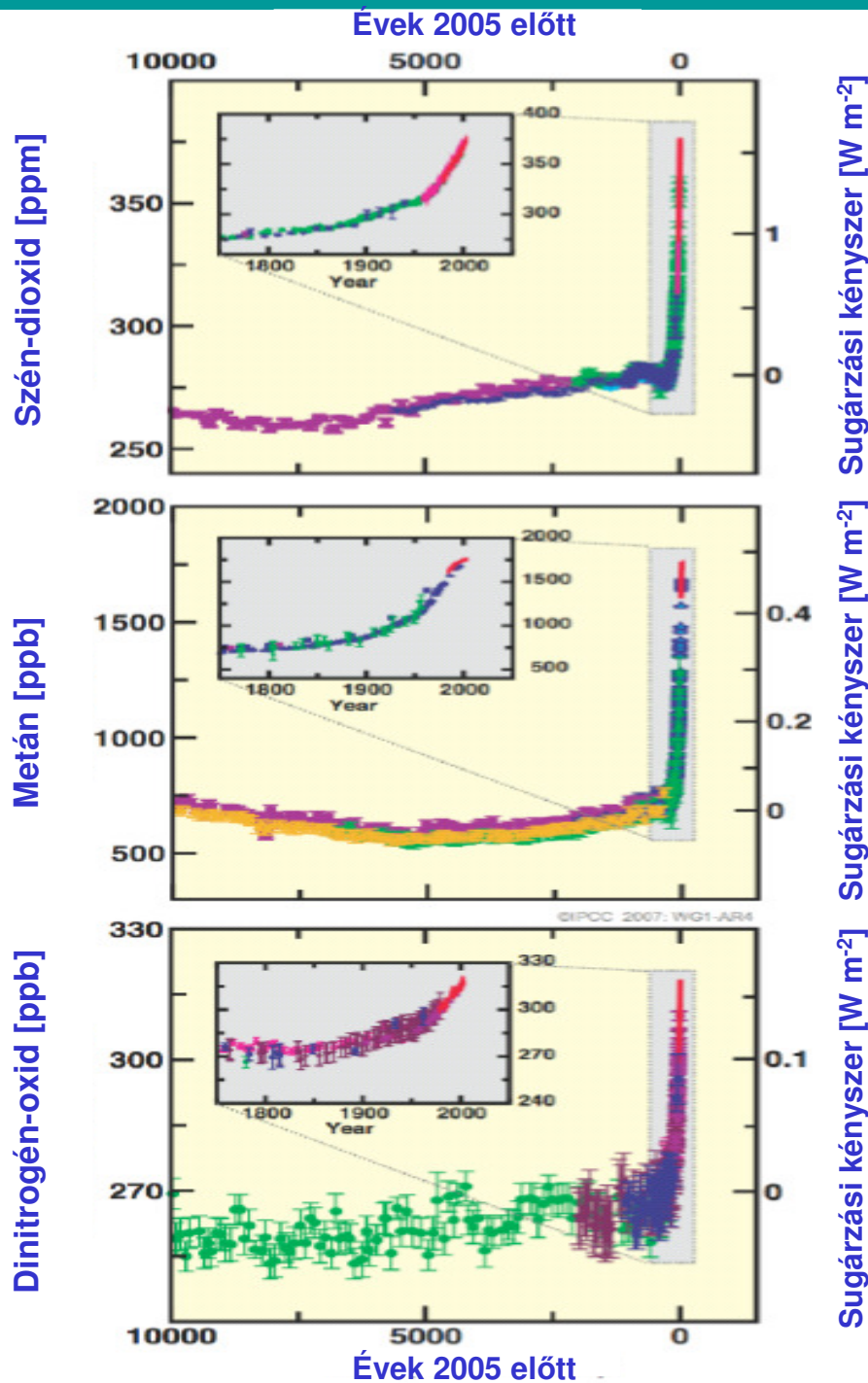
## óceán



Éghajlat-  
modellező  
szakemberek  
válaszai alapján

Forrás:  
Bary  
és von Storch,  
1999

**Az éghajlatváltozások  
szimulálása globális és  
regionális skálán**

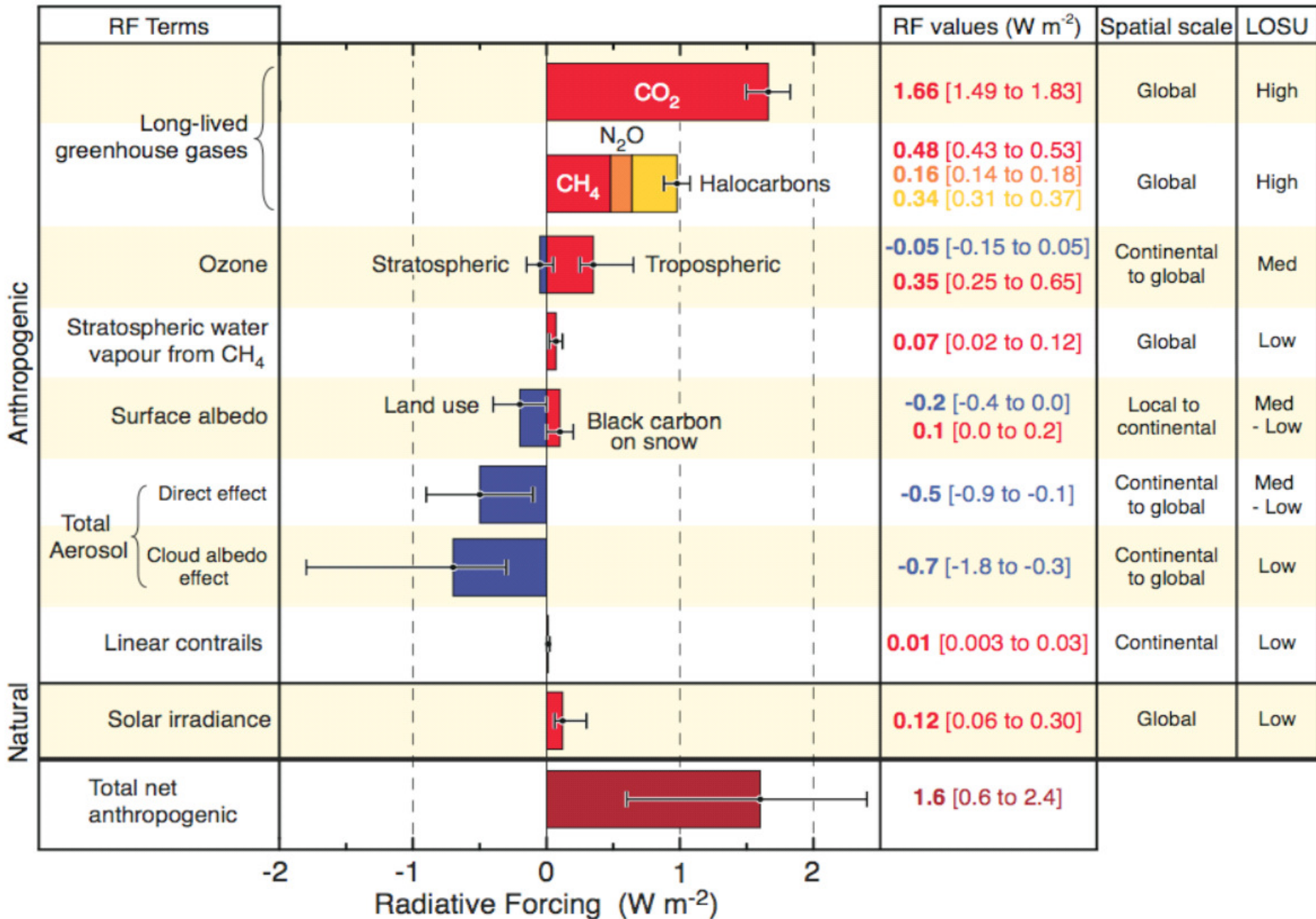


**IPCC 2007 JELENTÉS**  
**NÉHÁNY ÚJ ELEME,**  
**EREDMÉNYE:**

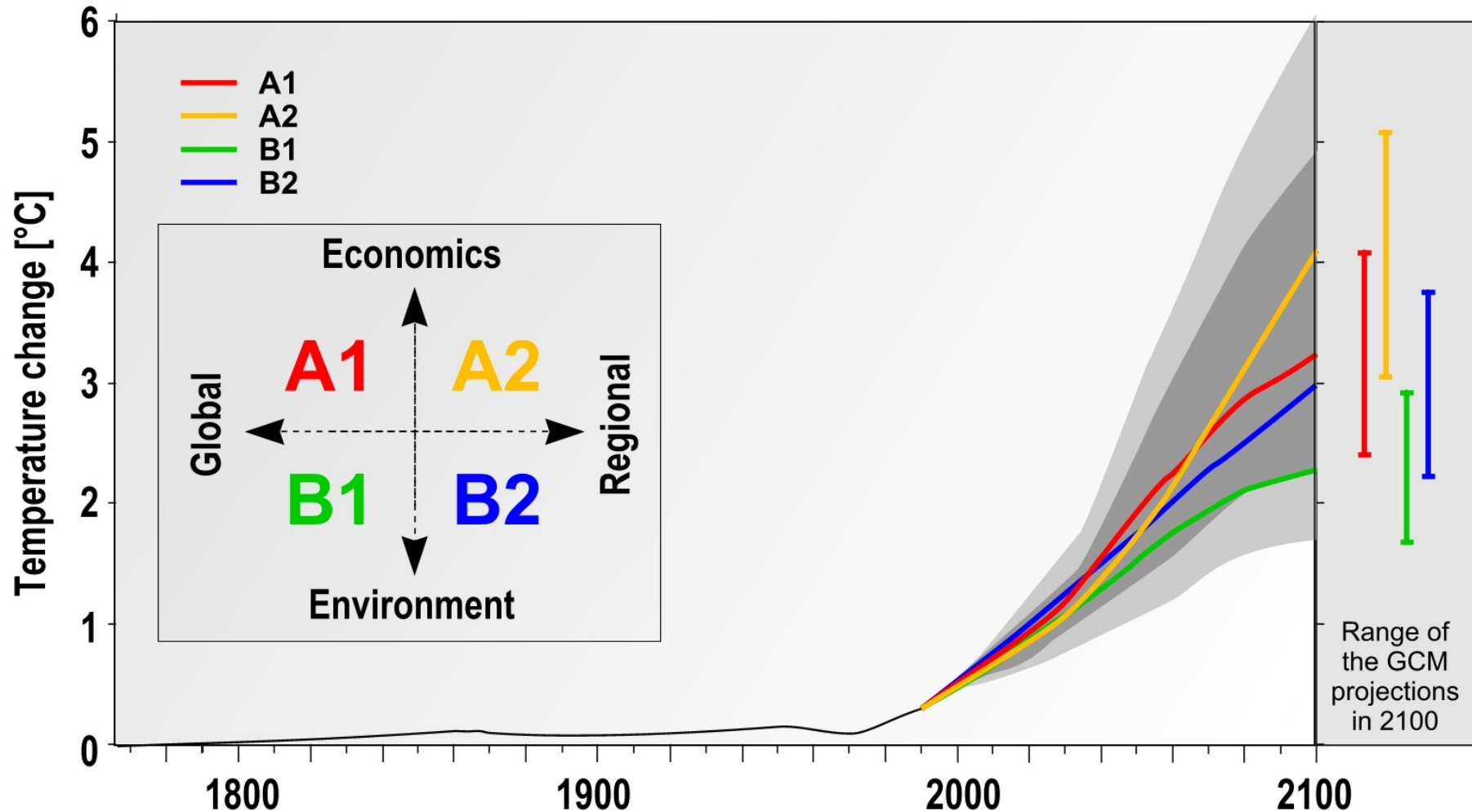
Légköri üvegházgázok  
 mennyiségének  
 változása jégfurat minták  
 és műszeres mérések  
 alapján

**10 000 évre**  
**visszamenően**

# A sugárzási kényszer megváltozása (2005)



# Becslések a globális átlaghőmérséklet megváltozására 2000-2100 időszakra



Source: IPCC, 2001

**A GLOBÁLIS ÉGHAJLATVÁLTOZÁS ALAPSZCENÁRIÓI: A1, A2, B1, B2**  
A2 scenárió a legesszimistább, B2 egy közepes

# A globális emisszió négy alapvető scenárió-csoportjának jellemzői (IPCC-jelentés, 2001)

## A1

- **nagyon gyors gazdasági növekedés**
- népesség növekedése a XXI. sz. közepéig, utána csökkenés
- új és **hatékony technológiák** gyors megjelenése, elterjedése
- az egyes régiók közötti **kiegyenlítődség**
- fokozott kulturális és társadalmi impulzusok
- a regionális jövedelemkülönbségek csökkenése

## B1

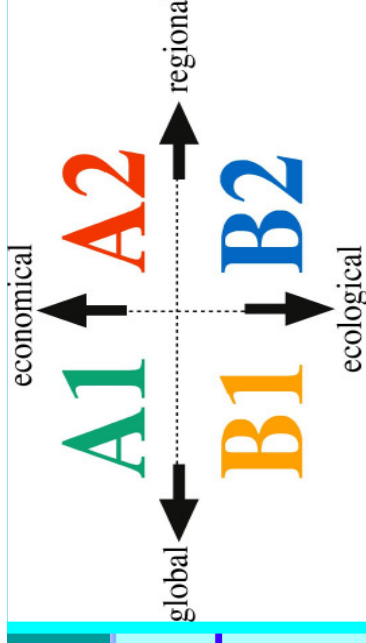
- **kiegyenlítődség** gazdasági fejlődés az A1-hez hasonló népességváltozással
- a gazdasági szerkezet **gyors** eltolódása a szolgáltatási és információs ágazatok felé
- **környezetkímélő** és **energiahatékony technológiák** bevezetése
- a gazdasági, társadalmi és környezeti problémákra **globális megoldások** kidolgozása

## A2

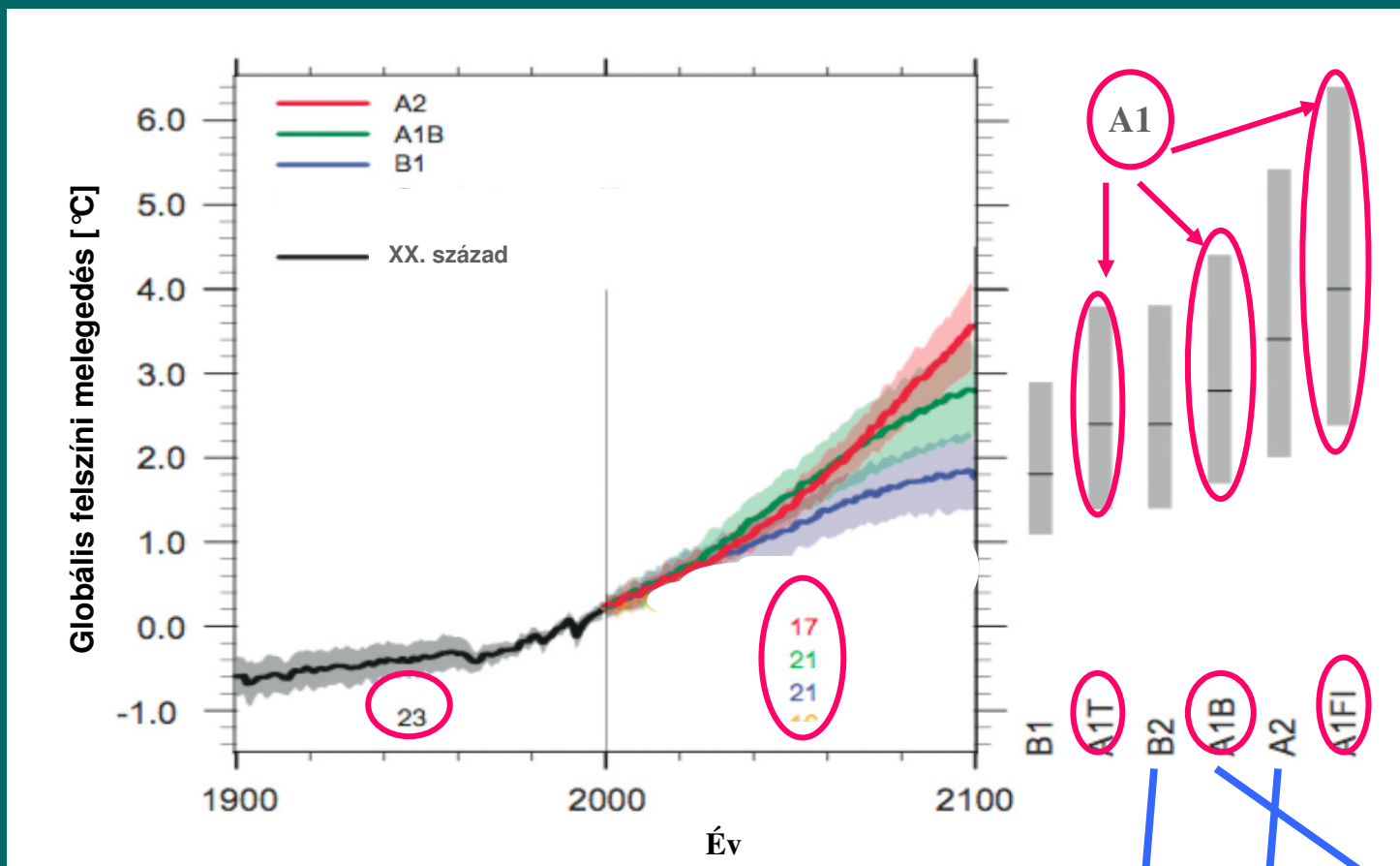
- **heterogén** fejlődési séma
- helyi önkormányzatok, önszerveződések hangsúlyosabb működése
- **folyamatosan növekvő népesség**
- **divergens** regionális gazdasági fejlődés
- **lassú** és területileg nem egyenletes **technológiai** fejlődés

## B2

- a gazdasági, társadalmi és környezeti problémák **lokális szintű kezelése**
- **folyamatosan növekvő globális népességváltozás**
- közepes mértékű gazdasági fejlődés
- az A1, B1-hez képest **lassúbb** és **divergensebb fejlődés**



## A XXI. századra várható melegedés mértéke különböző scenáriók esetére (IPCC 2007)



**Kutatásainkban használt scenáriók:**

**B2, A2,**

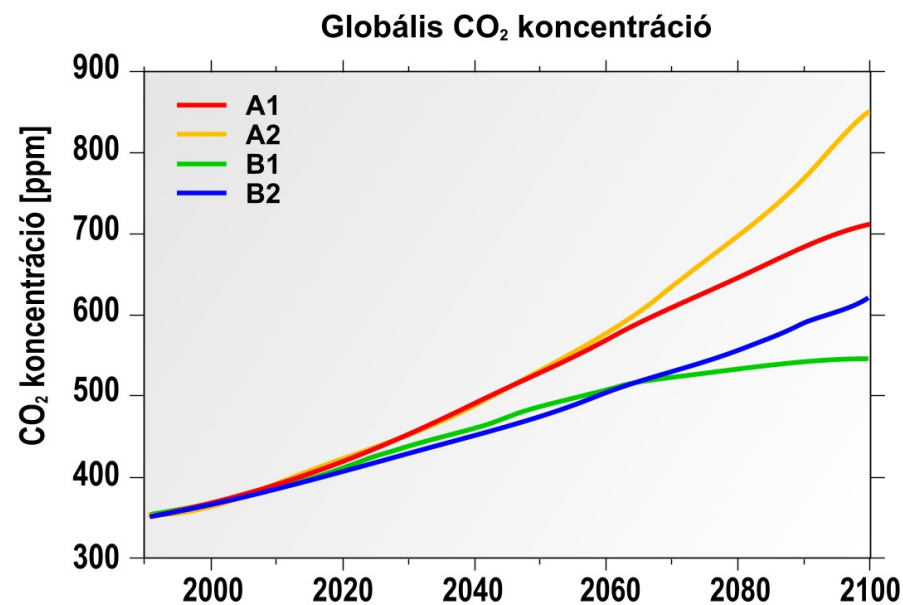
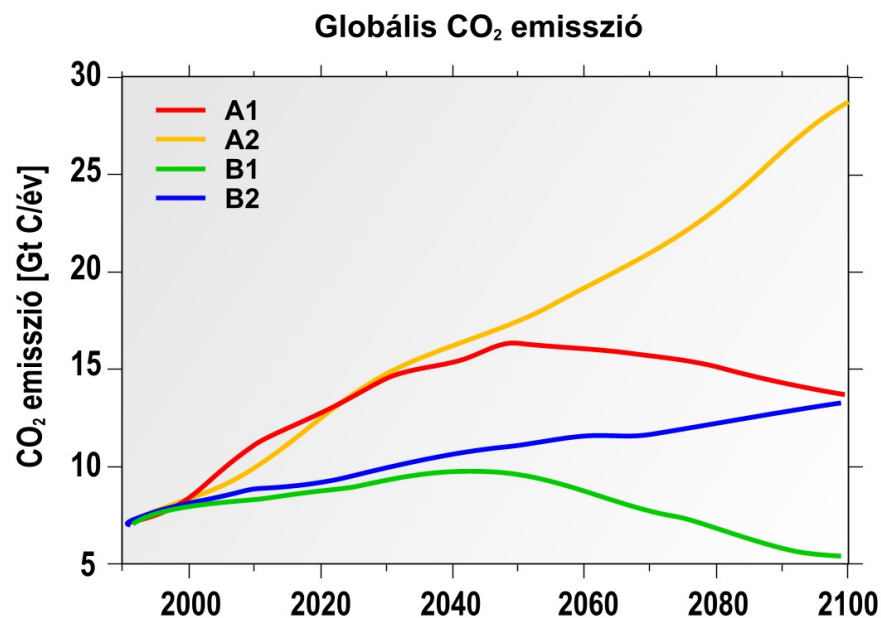
**A1B**

PRUDENCE, PRECIS

RegCM



# GLOBALIS CO<sub>2</sub> EMISSZIÓ ÉS KONCENTRÁCIÓ A 21. SZÁZADRA

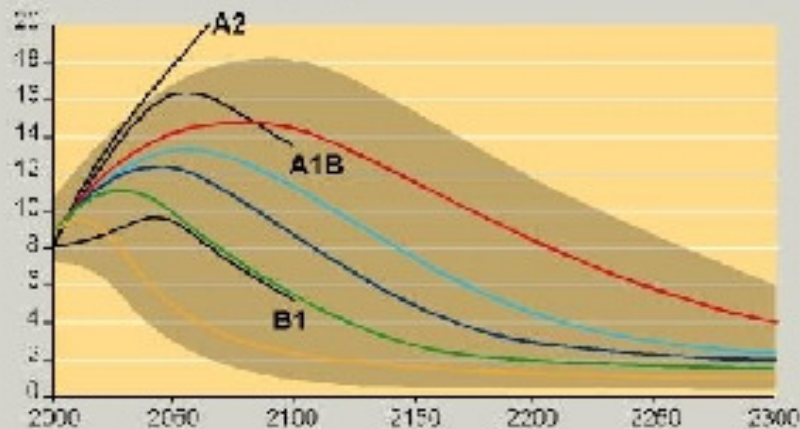


**JELENTŐSEN CSÖKKENŐ CO<sub>2</sub> EMISSZIÓ ESETÉN IS  
TOVÁBB NÖVEKSZIK A CO<sub>2</sub> KONCENTRÁCIÓ**

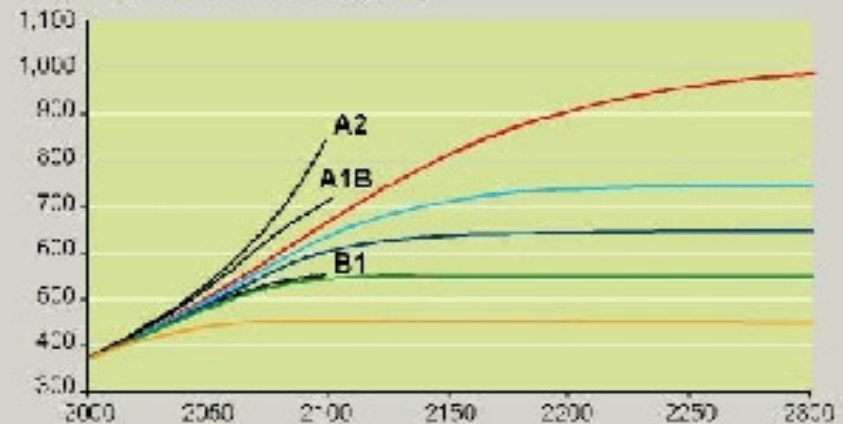
**MIÉRT ??????**

# GLOBALIS CO<sub>2</sub> EMISSZIÓ ÉS KONCENTRÁCIÓ A 21., 22. és a 23. SZÁZADRA

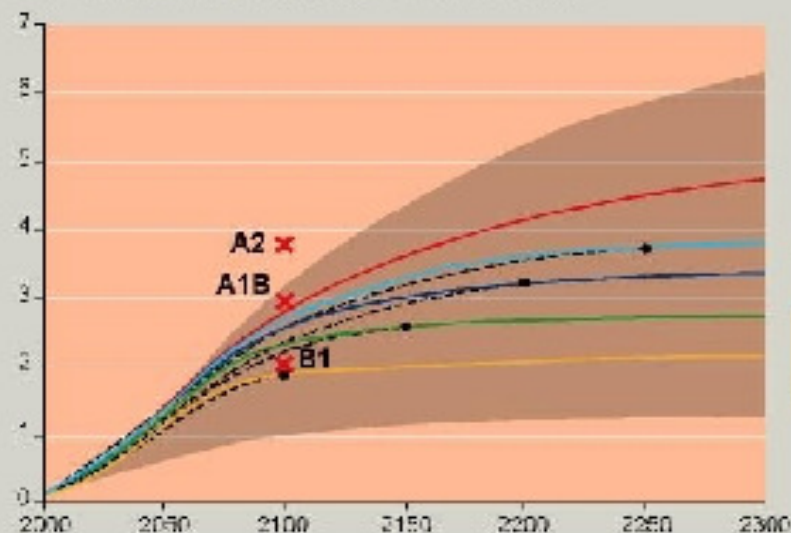
(a) CO<sub>2</sub> emissions (Gt C)



(b) CO<sub>2</sub> concentration (ppm)



(c) Global mean temperature change (°C)



Stabilizációs szint

- 1000 ppm
- 750 ppm
- 650 ppm
- 550 ppm
- 400 ppm

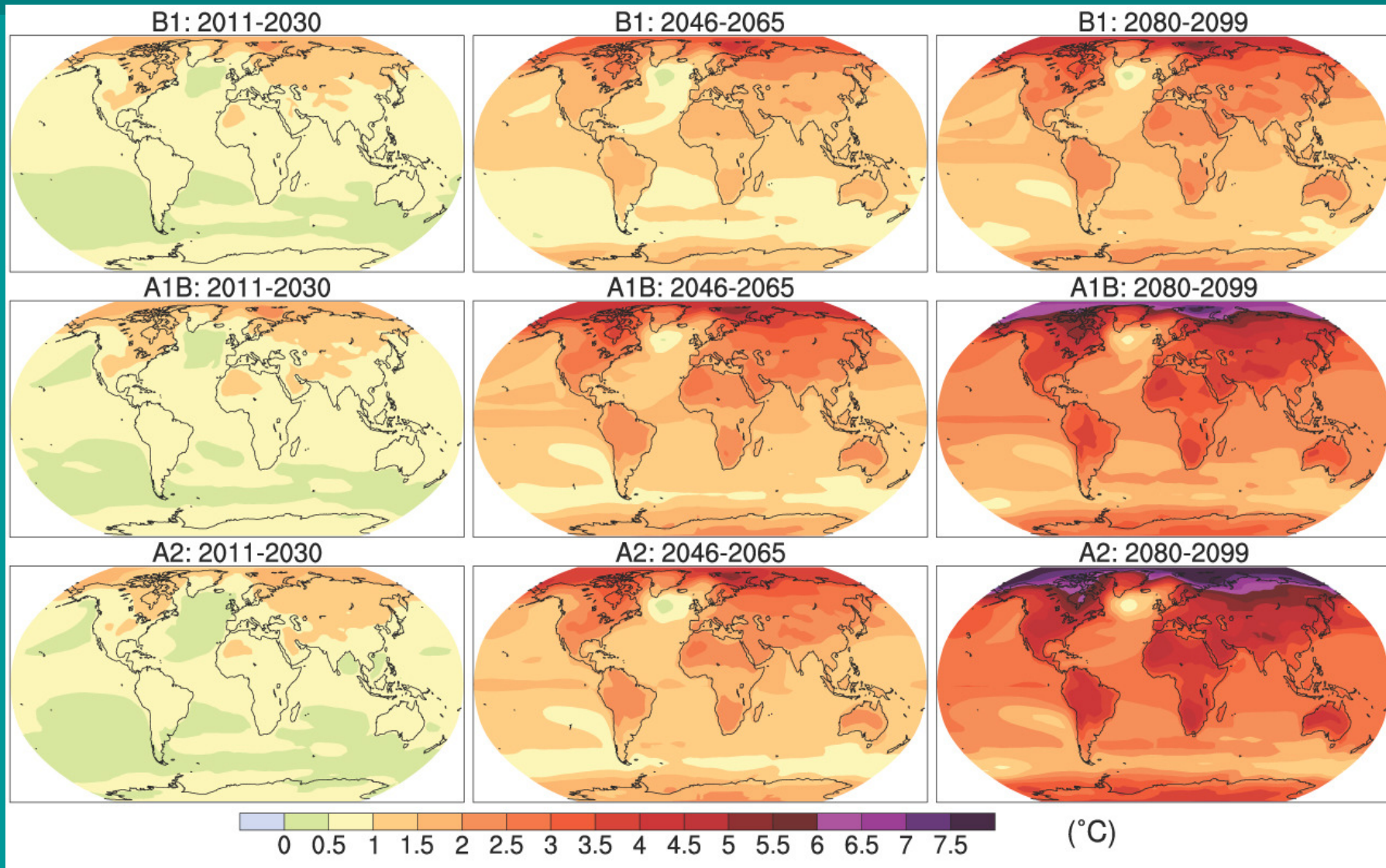
S profiles

SRES scenarios

# **FOKOZOTT FIGYELEM SZÜKSÉGES: GÓRCső ALATT AZ ÉGHAJLATMODELLEZÉS MIÉRT???**

- **Klímaprojekciók bizonytalansága**
- **Klímaszcenáriók nagy száma**
- **Modellek közötti változékonyság**
- **Extrémumok reprezentációja (csapadék, vízgyűjtőterületek)**
- **Koordinált dinamikus leskálázás (modellfuttatások, összehasonlítások szükségessége, lehetősége)**

# Az átlagos globális hőmérséklet becsült változásai a 2011-2100 időszakra



**Nincs szignifikáns eltérés a XXI. sz. közepéig a különböző  
scenáriók között**

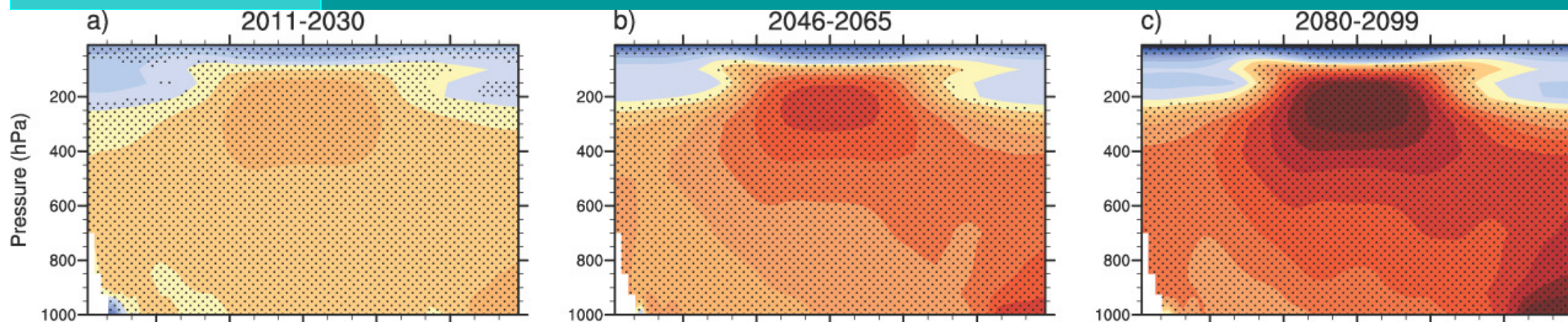
**MA MIT TUDUNK**

**Az éghajlatváltozások szimulálása globális  
skálán**

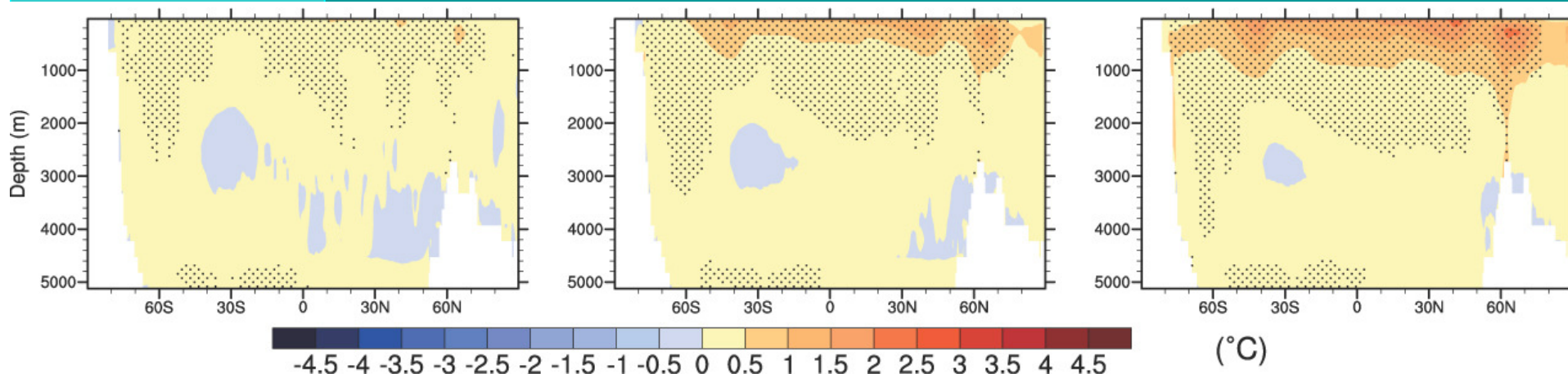
**EREDMÉNYEK**

# A légköri (fenn) és az óceáni (lenn) hőmérsékletek zonálisan átlagolt várható változásai (°C) 2080-2099-re vertikális metszetek, A1B scenárió (referencia időszak: 1980-1999)

## LÉGKÖR



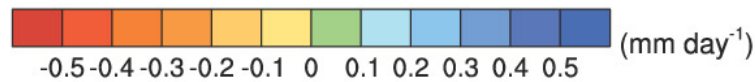
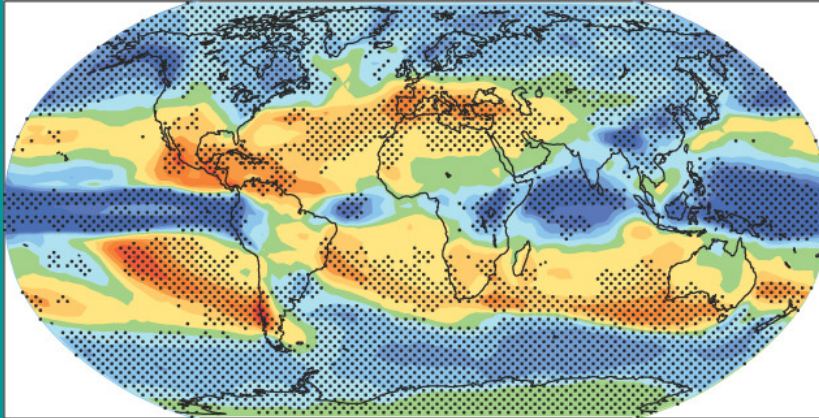
## ÓCEÁN



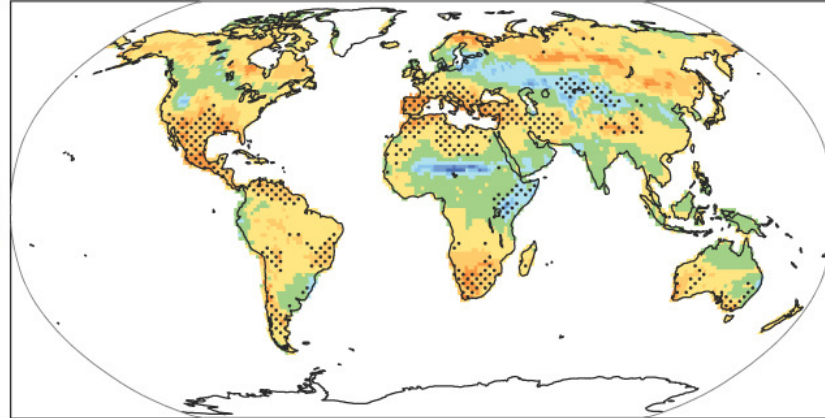
**Legnagyobb melegedés: a troposféra tetején, az óceán felszínén**

# A globális csapadék, talaj nedvesség, lefolyás és párolgás várható változásai 2080-2099-re, A1B scenárió (referencia időszak: 1980-1999)

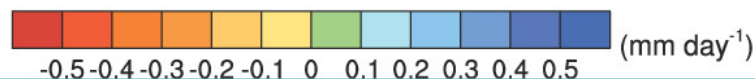
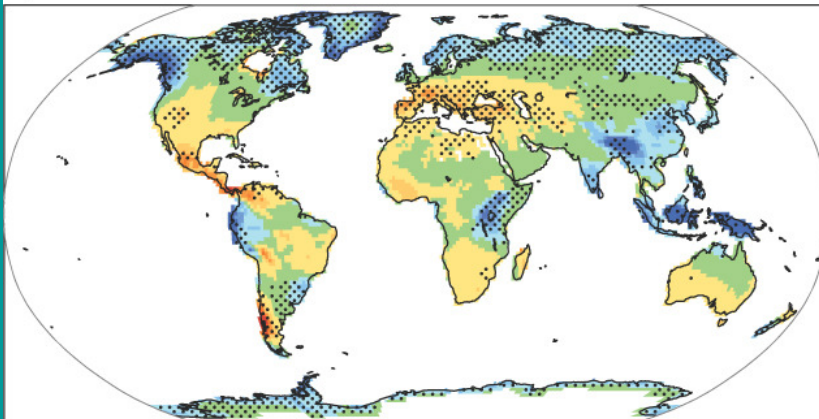
a) Precipitation



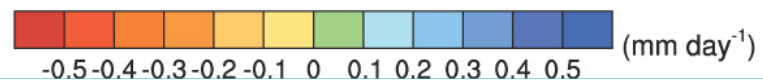
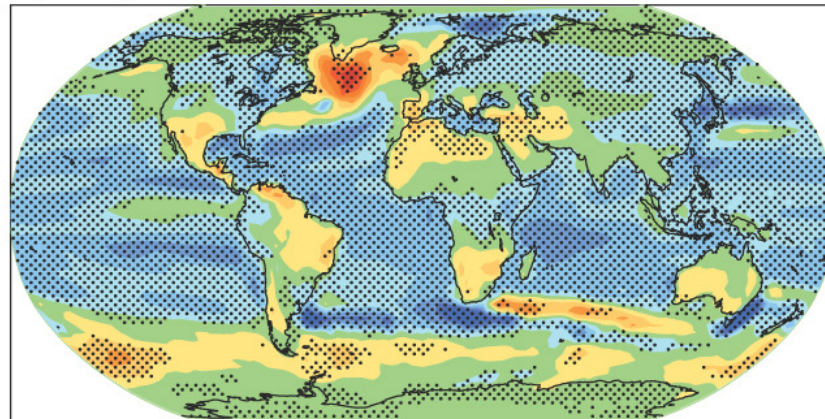
b) Soil moisture



c) Runoff

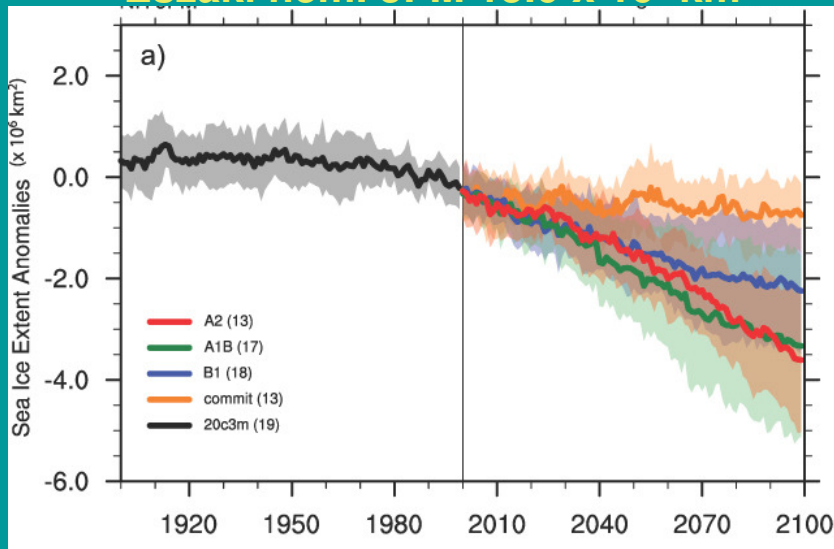


d) Evaporation

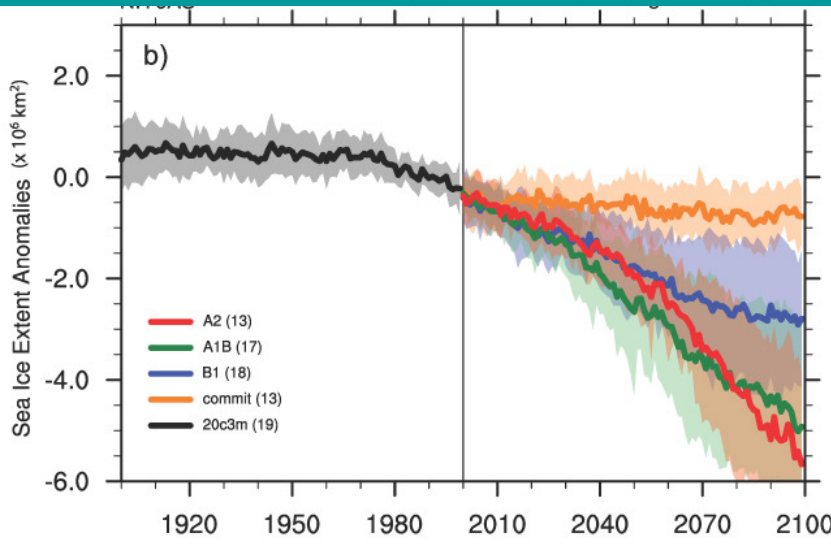


# A tengeri jég kiterjedésének várható változásai (Referencia időszak: 1980-1999, műholdas megfigyelések alapján)

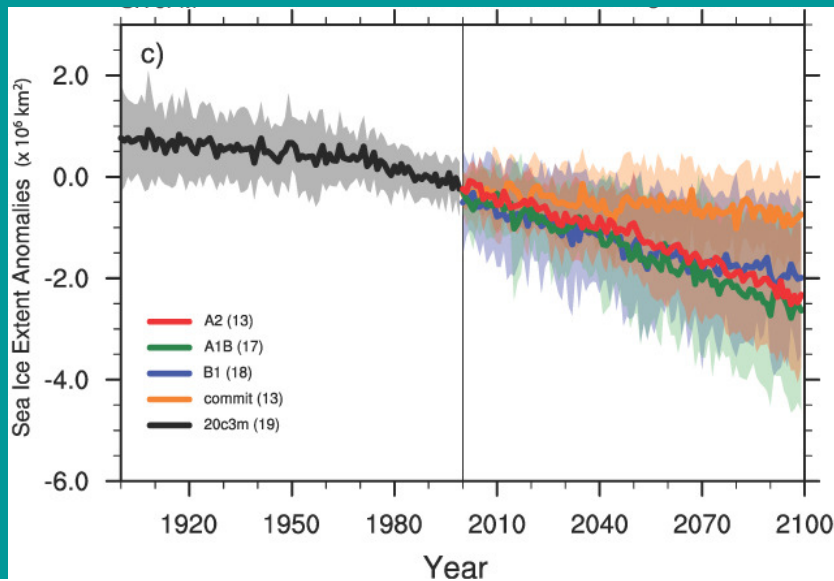
## Északi hem. JFM $15.0 \times 10^6 \text{ km}^2$



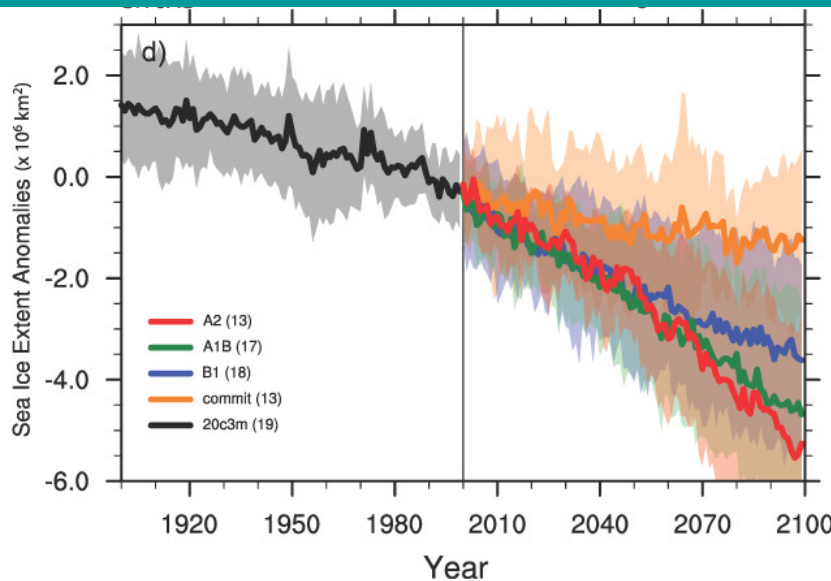
## Északi hem. JAS $8.2 \times 10^6 \text{ km}^2$



## Déli hem. JFM $3.9 \times 10^6 \text{ km}^2$



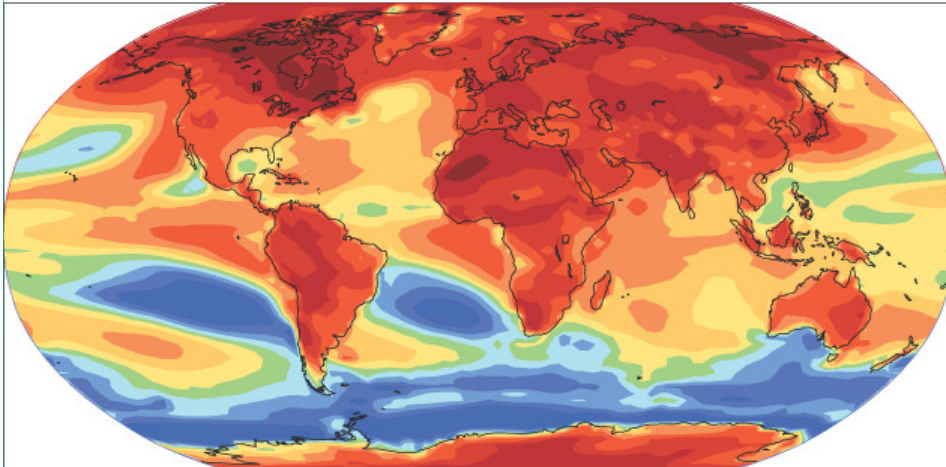
## Déli hem. JAS $17.7 \times 10^6 \text{ km}^2$



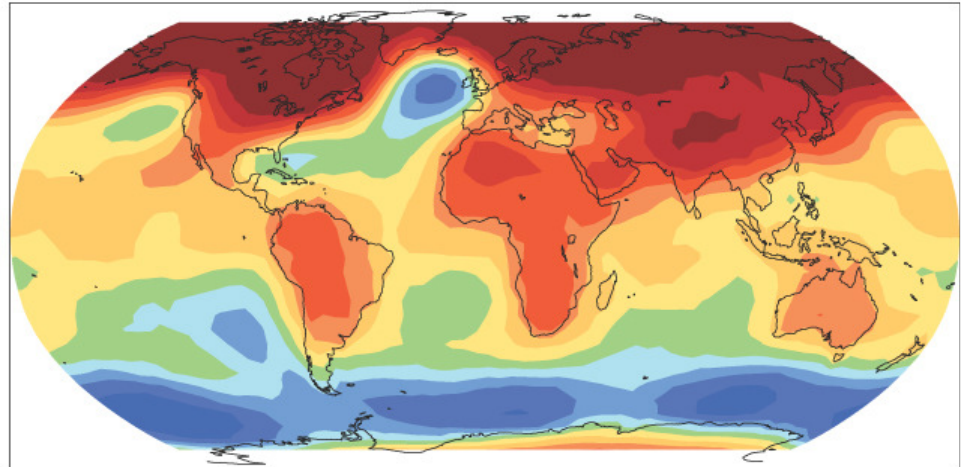


# Annak becsült valószínűsége, hogy a hőmérsékletváltozás mértéke meghaladja 2 °C-ot 2100-ra (TÉL és NYÁR, perturbált ↔ multi modellek)

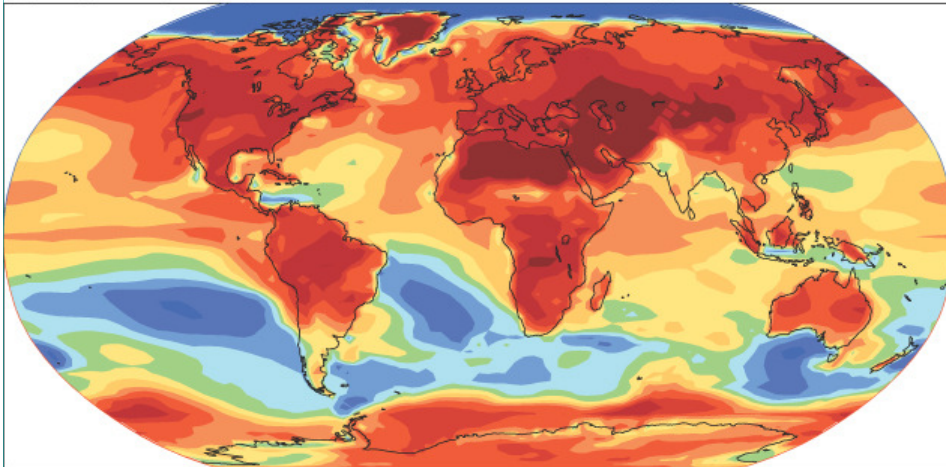
a)  $P[\Delta T(\text{DJF}) > 2^\circ\text{C}]$ , perturbed physics



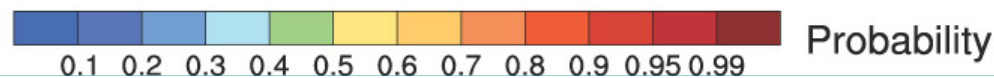
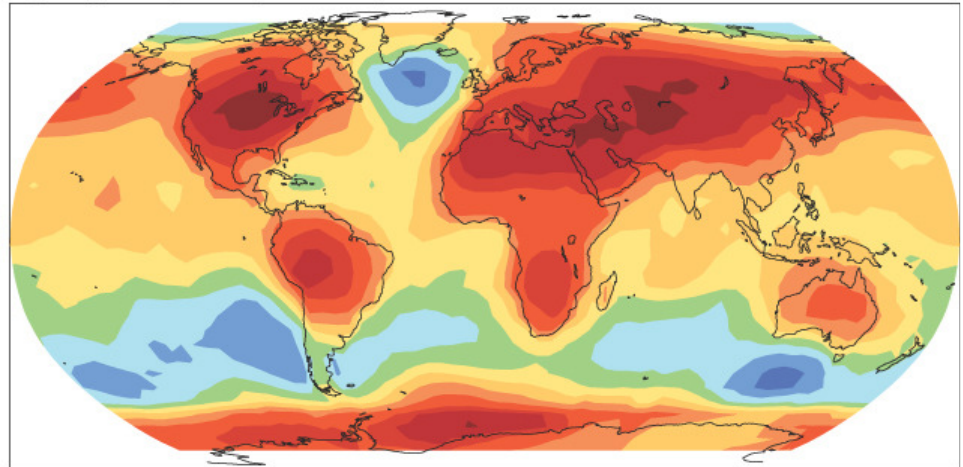
b)  $P[\Delta T(\text{DJF}) > 2^\circ\text{C}]$ , multi-model



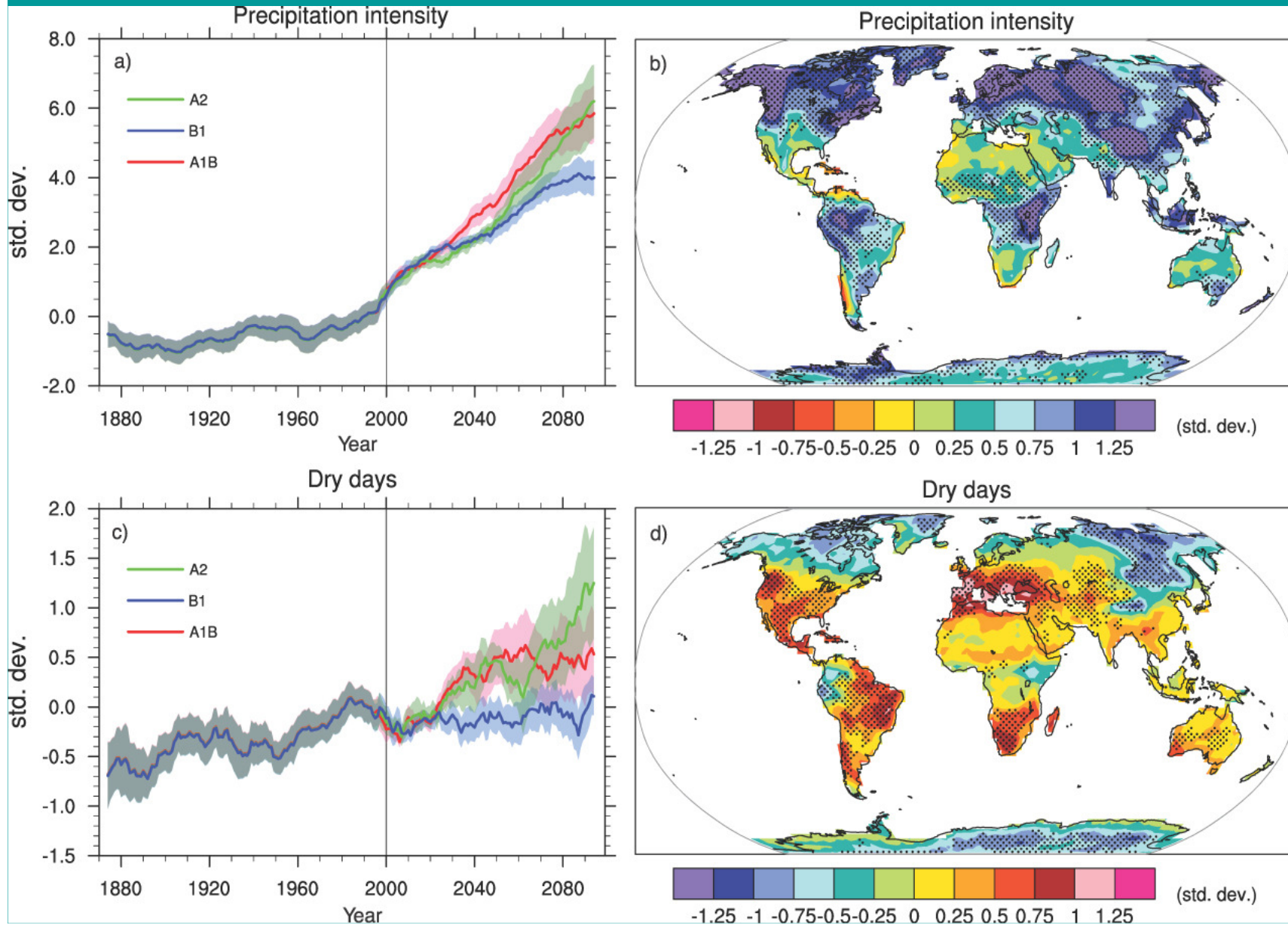
c)  $P[\Delta T(\text{JJA}) > 2^\circ\text{C}]$ , perturbed physics



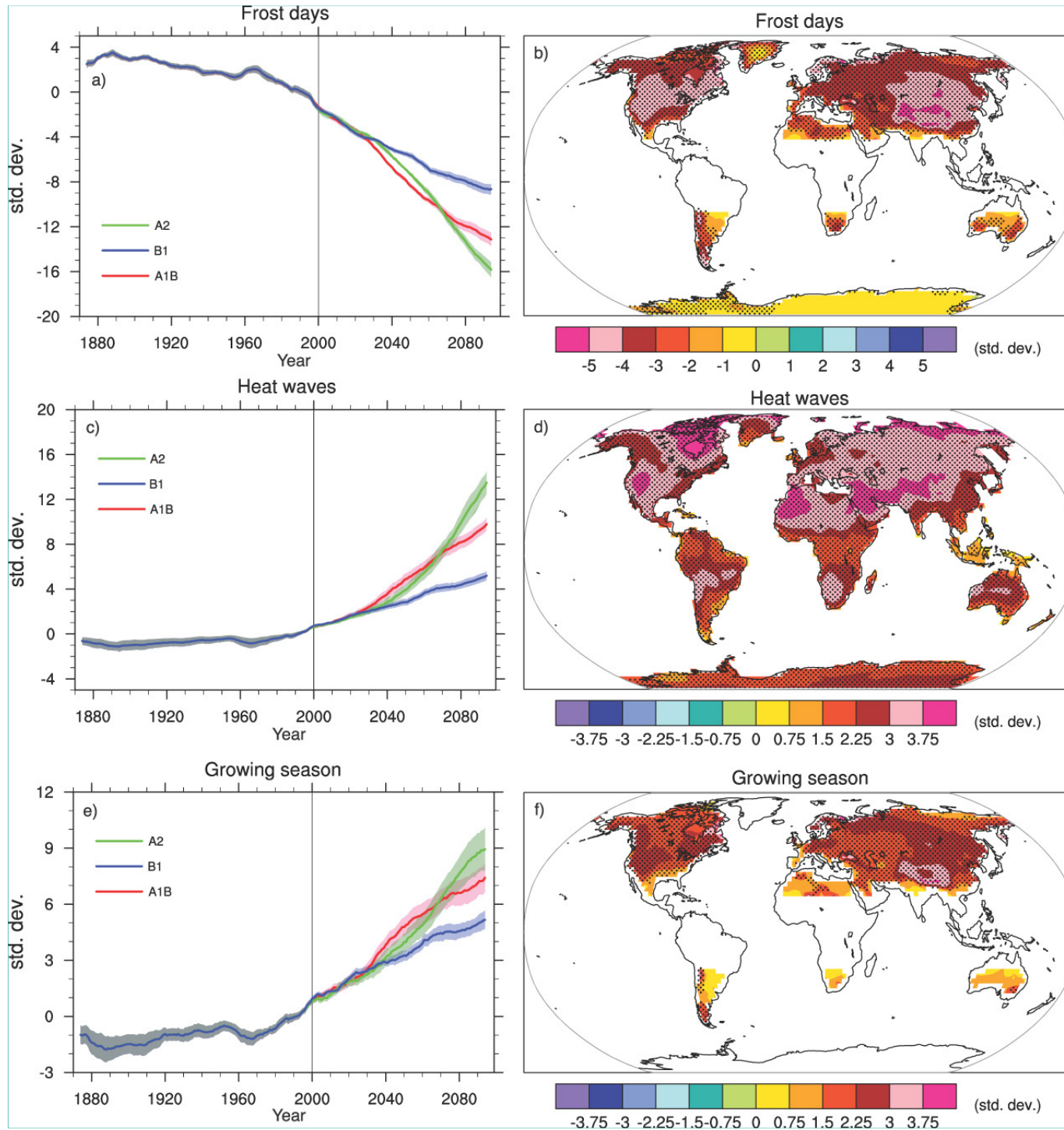
d)  $P[\Delta T(\text{JJA}) > 2^\circ\text{C}]$ , multi-model



# A csapadék intenzitásának és a száraz napok számának megváltozásra vonatkozó becslések (2000-2100)

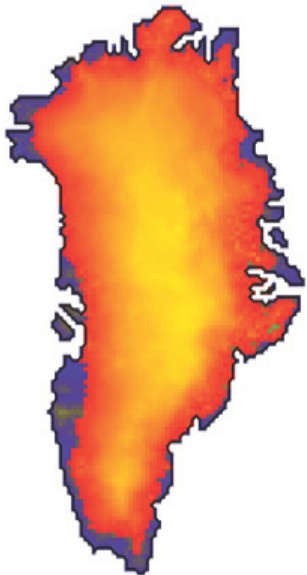


**A fagyos napok számának, a hőhullámok gyakoriságának, s a tenyészidőszak megváltozására vonatkozó becslések (2000-2100)**

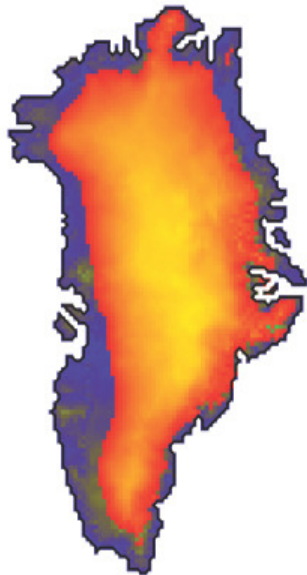


**Becslések a Grönland-i jégtömegre (%), jég vastagságra (m) és  
badrock magasságra (m)  
(modellfuttatás hossza: 1760 év)  
Referencia időszak: 1980-1999**

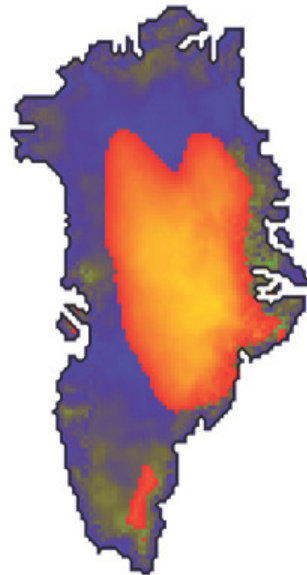
Year 0  
Volume 100%



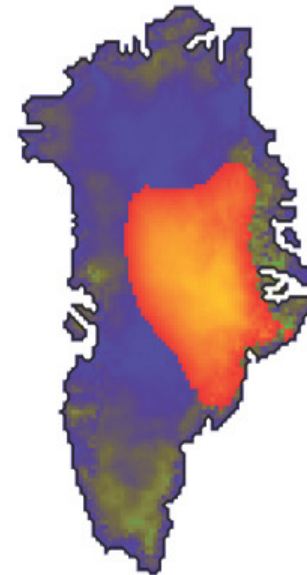
Year 270  
Volume 80%



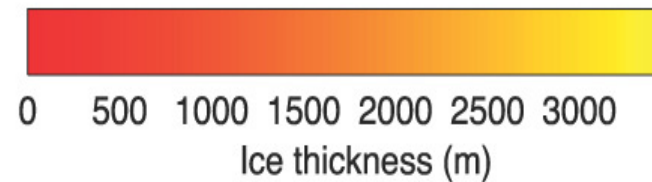
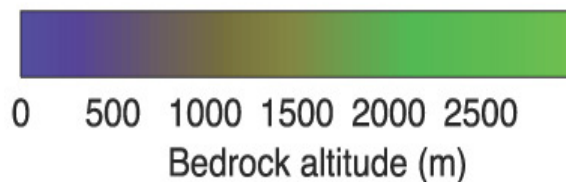
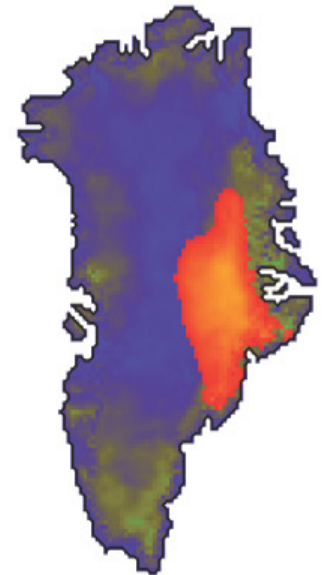
Year 710  
Volume 60%

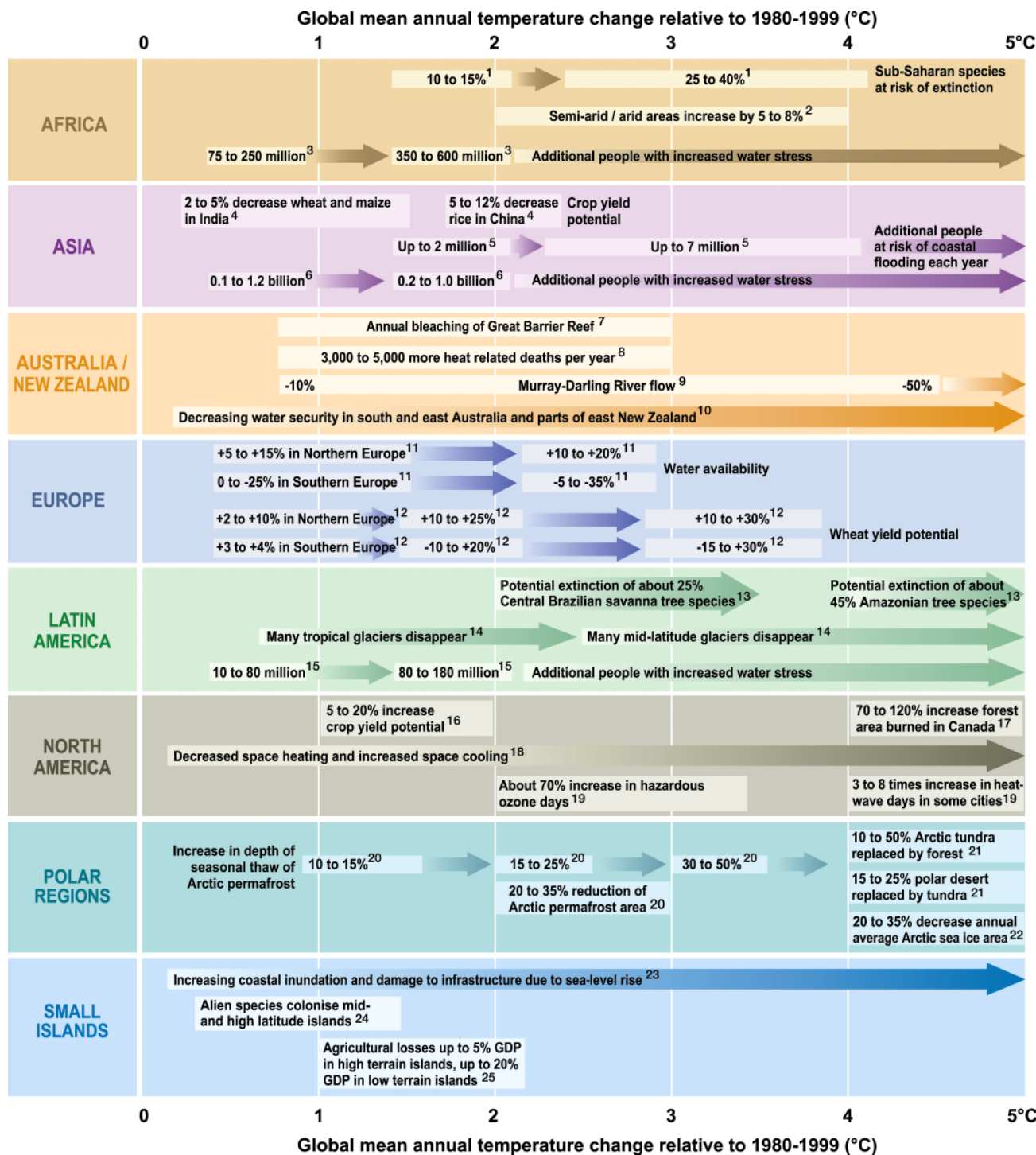


Year 1130  
Volume 40%



Year 1760  
Volume 20%



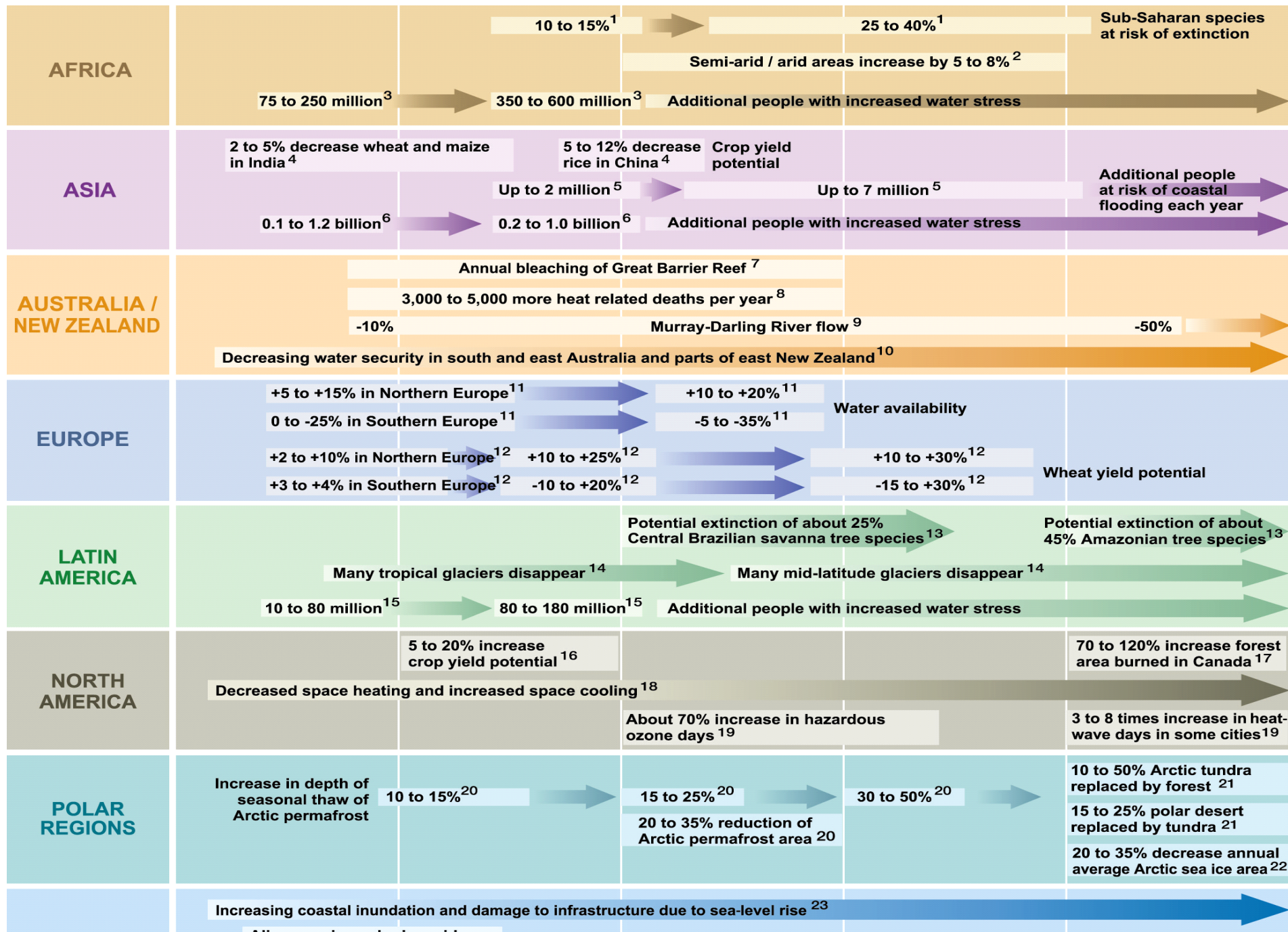


**Néhány példa a várható regionális hatásokra, a globális melegedés mértékének függvényében**

**Source: IPCC-jelentés**

# Global mean annual temperature change relative to 1980-1999 (°C)

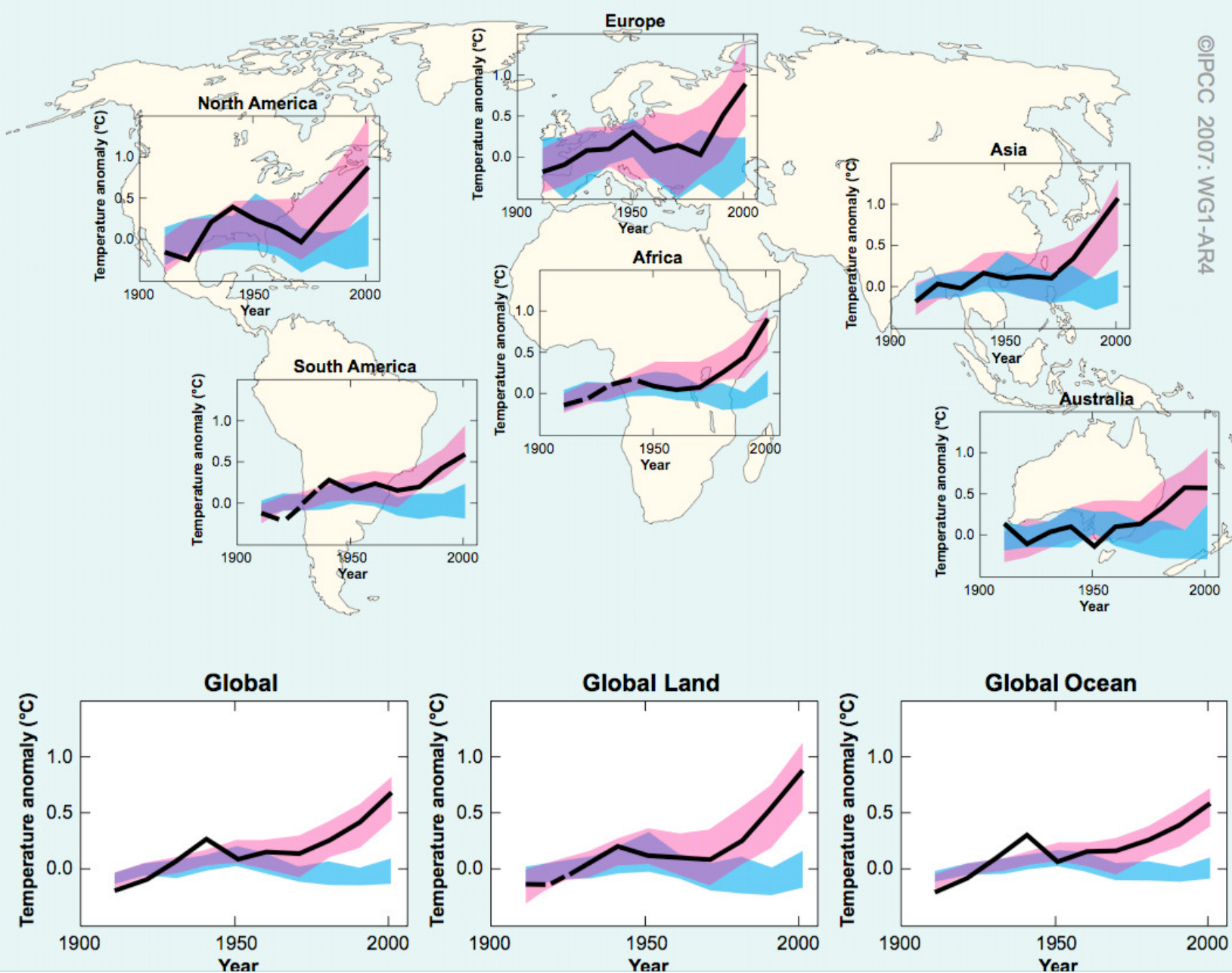
0 1 2 3 4 5°C



# KONTINENTÁLIS SKÁLÁN VÁRHATÓ VÁLTOZÁSOK

EURÓPA

# Becsült és modellezett globális és kontinentális hőmérséklet változás a XX. századra



©IPCC 2007: WG1-AR4

1906-2005  
időszak

Mért



Modellezett:

 Csak természetes kényszerek (vulkán, nap)

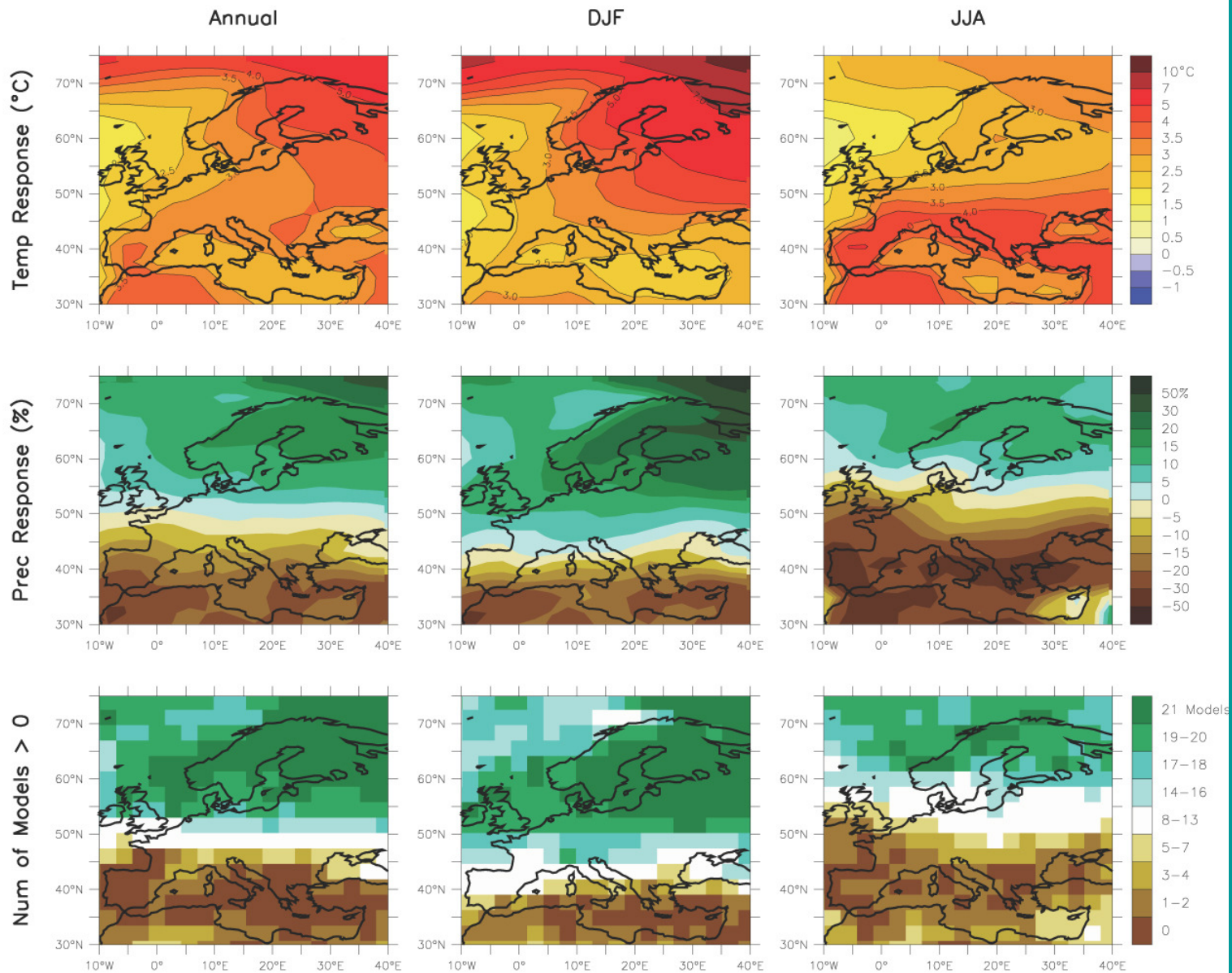
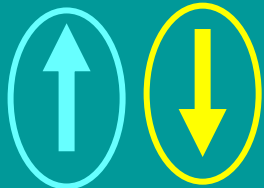


Antropogén és természetes kényszerek

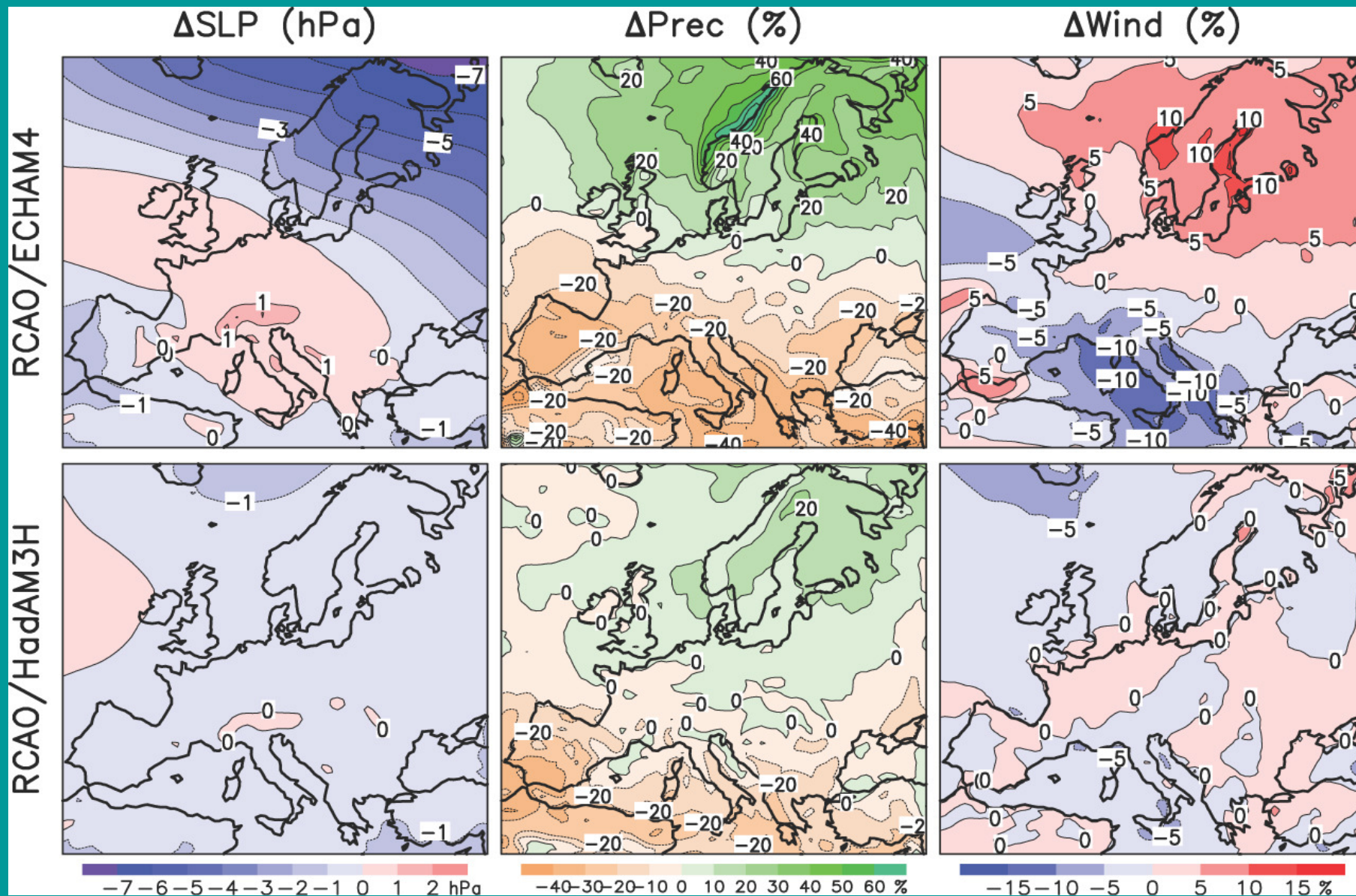
Source: IPCC



# A kontinentális hőmérséklet és csapadék becsült változása 2080-2099-ra, A1B scenario (Referencia időszak: 1980-1999)



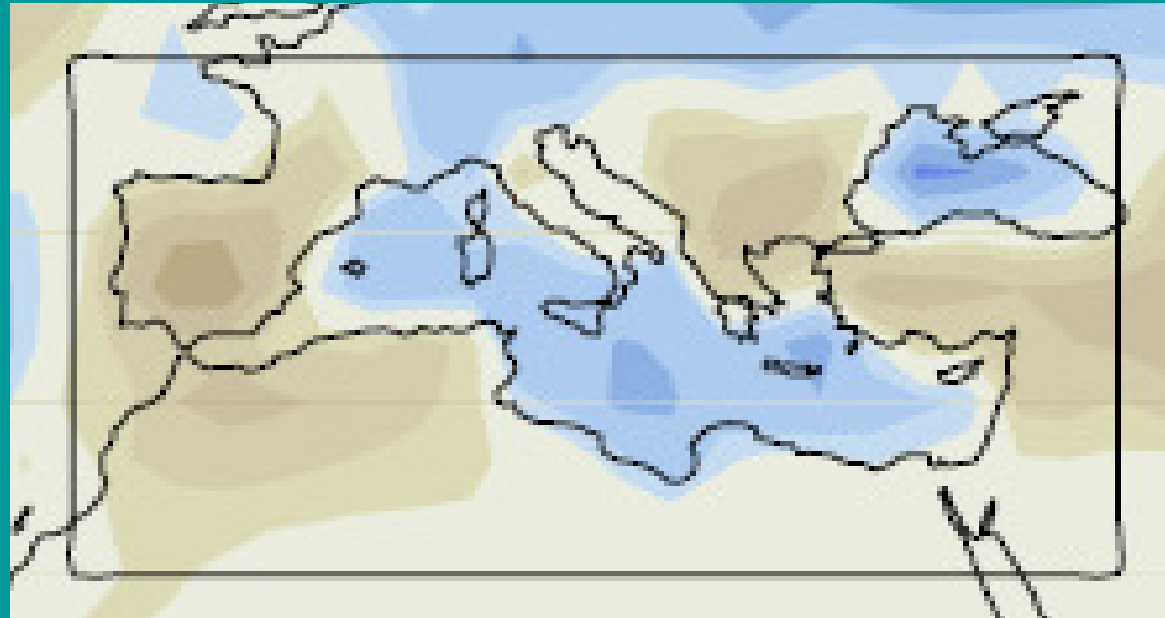
# A tengerszinti légnyomás, csapadék és szél várható változása 2080-2099-re, A1B scenárió, (referencia időszak: 1980-1999)



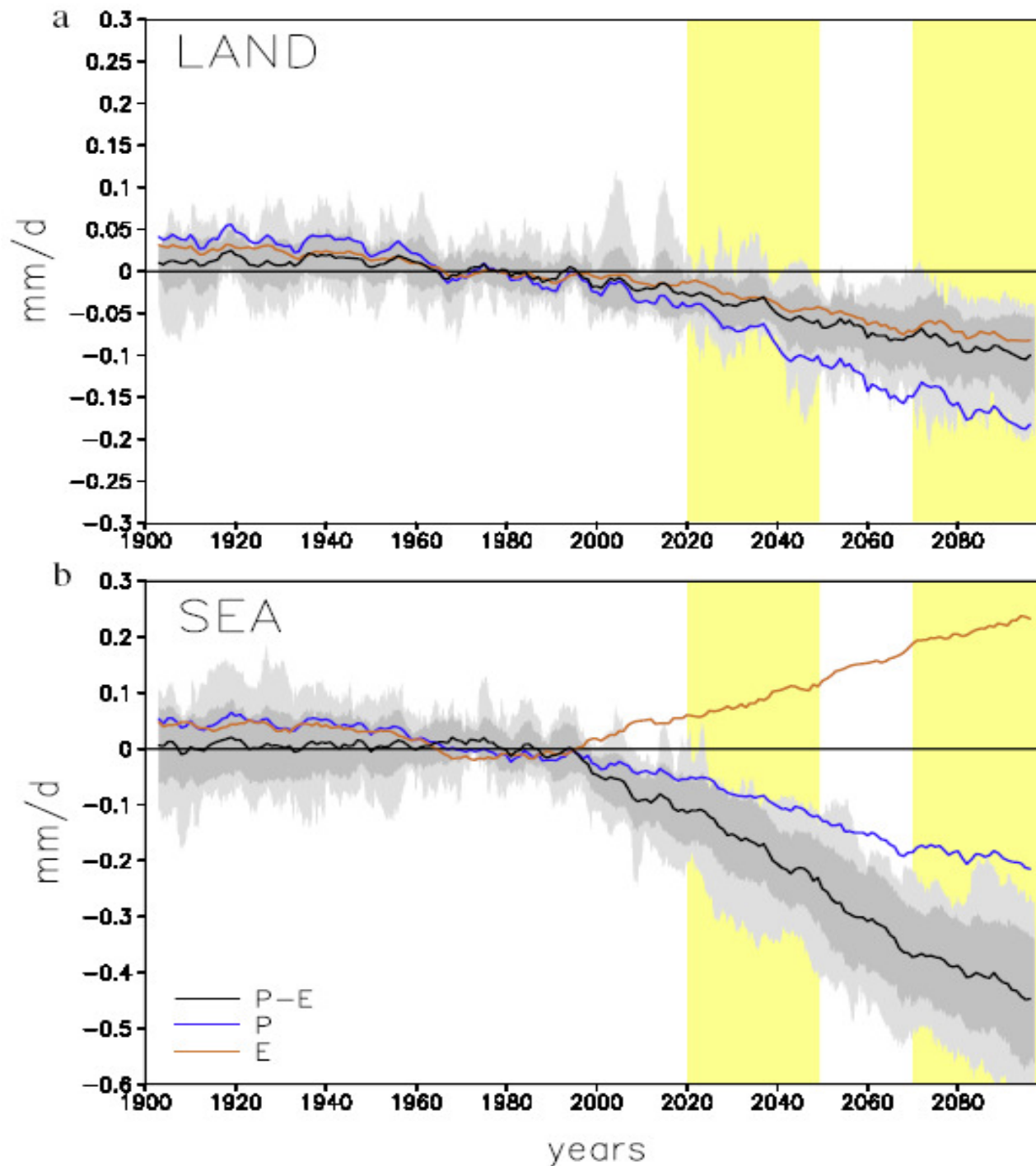
**A BECSLÉSEK GCM FÜGGŐK!!!!!!!**

# Új kutatás – új eredmények

## A Mediterrán térségre



**Forrás: Mariotti et al, 2008., Environ. Res. Letters**



**A Mediterrán  
társág  
vízkörforgásának  
változása  
(mm/day)  
1900-2100  
(Referencia időszak:  
1950-2000),  
CMIP3 modell**

**KONTINENS:**

P ↓  
E ↓

**TENGER:**

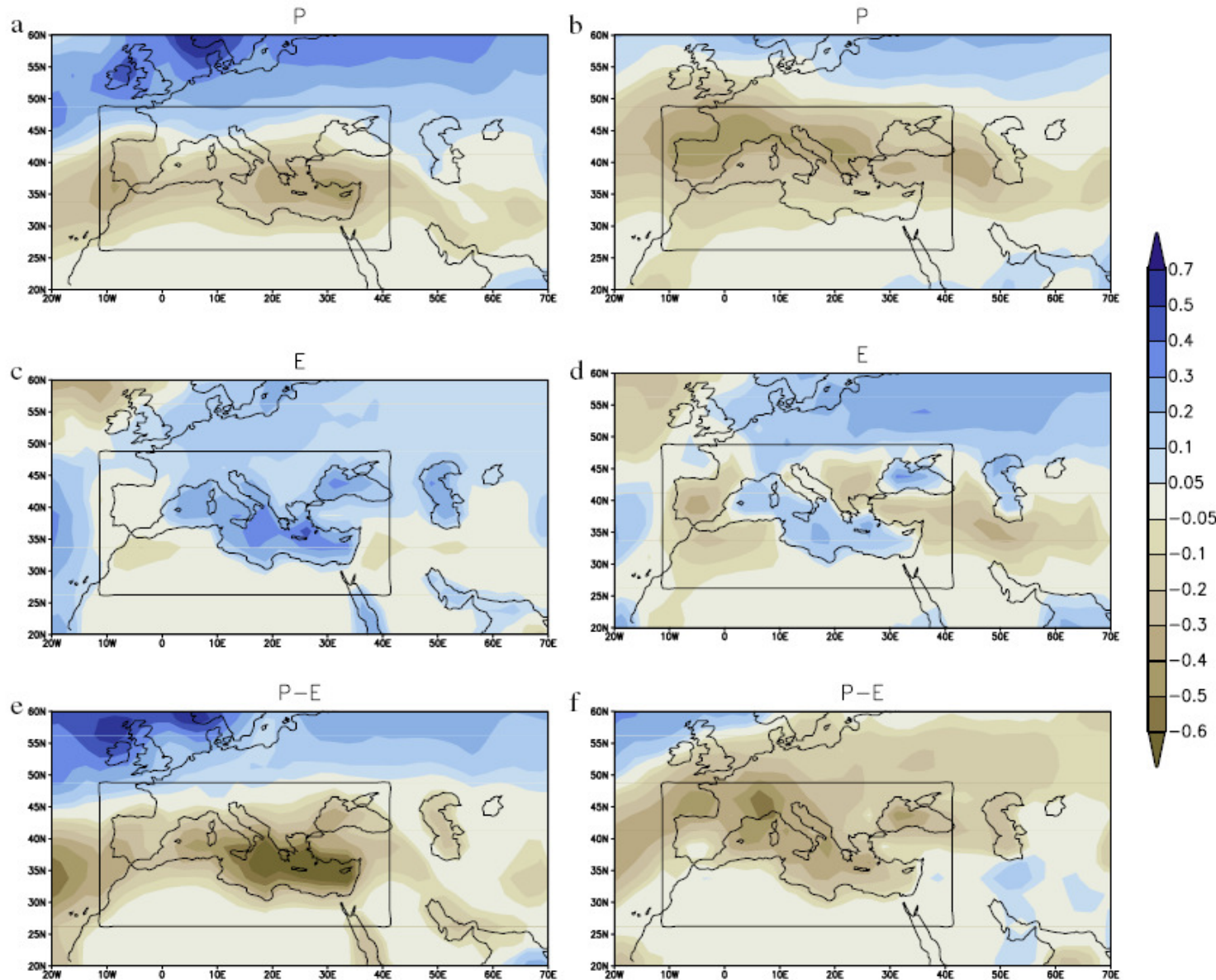
P →  
E ↗

**Forrás: Mariotti et al,  
2008**

# A Mediterrán térség vízkörforgásának változása (mm/day) 2070-2099 (Referencia időszak: 1950-2000), CMIP3 modell

Wet Season

Dry Season



**Nedves  
évszak:  
tél**

**Száraz  
évszak:  
nyár**

**P:  
Csapadék**

**E:  
Párolgás**

**Forrás:  
Mariotti et al,  
2008**

**Globális éghajlati  
szcenáriók regionalizálása**

# NEMZETI ÉGHAJLATI SZCENÁRIÓK A XXI. SZÁZADRA

## AZ ELTE METEOROLÓGIAI TANSZÉK HOZZÁJÁRULÁSA

**Regionális modelleredmények 2071-  
2100 (50 km), PRUDENCE: EU5  
(MEH-MTA, KVM NÉS), (16 és 8  
szimuláció, A2 és B2 scenáriók)**

**DINAMIKUS REGIONÁLIS MODELLEZÉS  
(Klímadinamikai program – OMSZ/ELTE)**

- 1. PRECIS (25 km)  
(kifejlesztve: Hadley Centre, UK)**
- 2. RegCM (10 km), (kifejlesztve: NCAR,  
jelenleg hozzáférhető ICTP)**

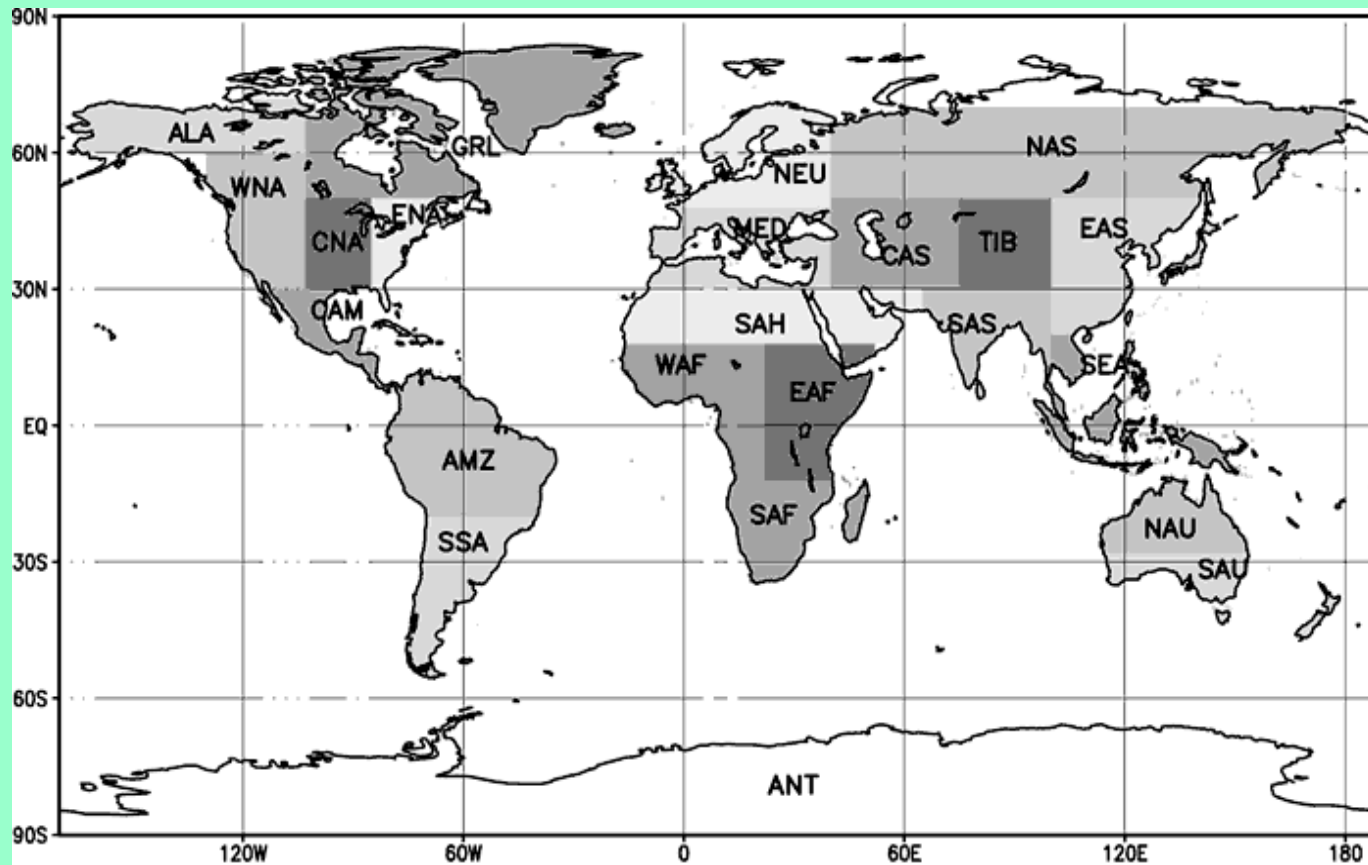
**Klímadinamikai NKFP, OTKA,  
CECILIA - EU6 2006-2009**

**STATISZTIKUS  
STATISZTIKUS  
LESKALÁZÁS  
LESKALÁZÁS  
(Sztochasztikus dinamikusan  
(Sztochasztikus dinamikusan  
beágyazott modellekkel)  
beágyazott modellekkel)  
1994-2004  
1994-2004**

**GLOBÁLIS  
GLOBÁLIS  
MODELLEREDMÉNYEK  
MODELLEREDMÉNYEK  
VIZSGÁLATA  
VIZSGÁLATA  
(MAGICC/SCENGEN)  
(MAGICC/SCENGEN)  
2050-re és 2100-ra  
2050-re és 2100-ra  
15 GCM alapján  
15 GCM alapján  
2003-2005  
2003-2005**

# GEOGRAPHICAL LOCATIONS AND INDICATOR OF 23 REGIONS USED IN REGIONAL CLIMATE CHANGE ANALYSIS

(Giorgi & Francisco, 2000)



ALA Alaska  
 WNA Western North America  
 CNA Central North America  
 ENA Eastern North America  
 GRL Greenland  
 CAM Central America  
 AMZ Amazonia  
 SSA Southern South America

NEU Northern Europe  
 MED Mediterranean  
 CAS Central Asia  
 SAH Sahara  
 WAF West Africa  
 EAF East Africa  
 SAF Southern Africa  
 ANT Antarctic

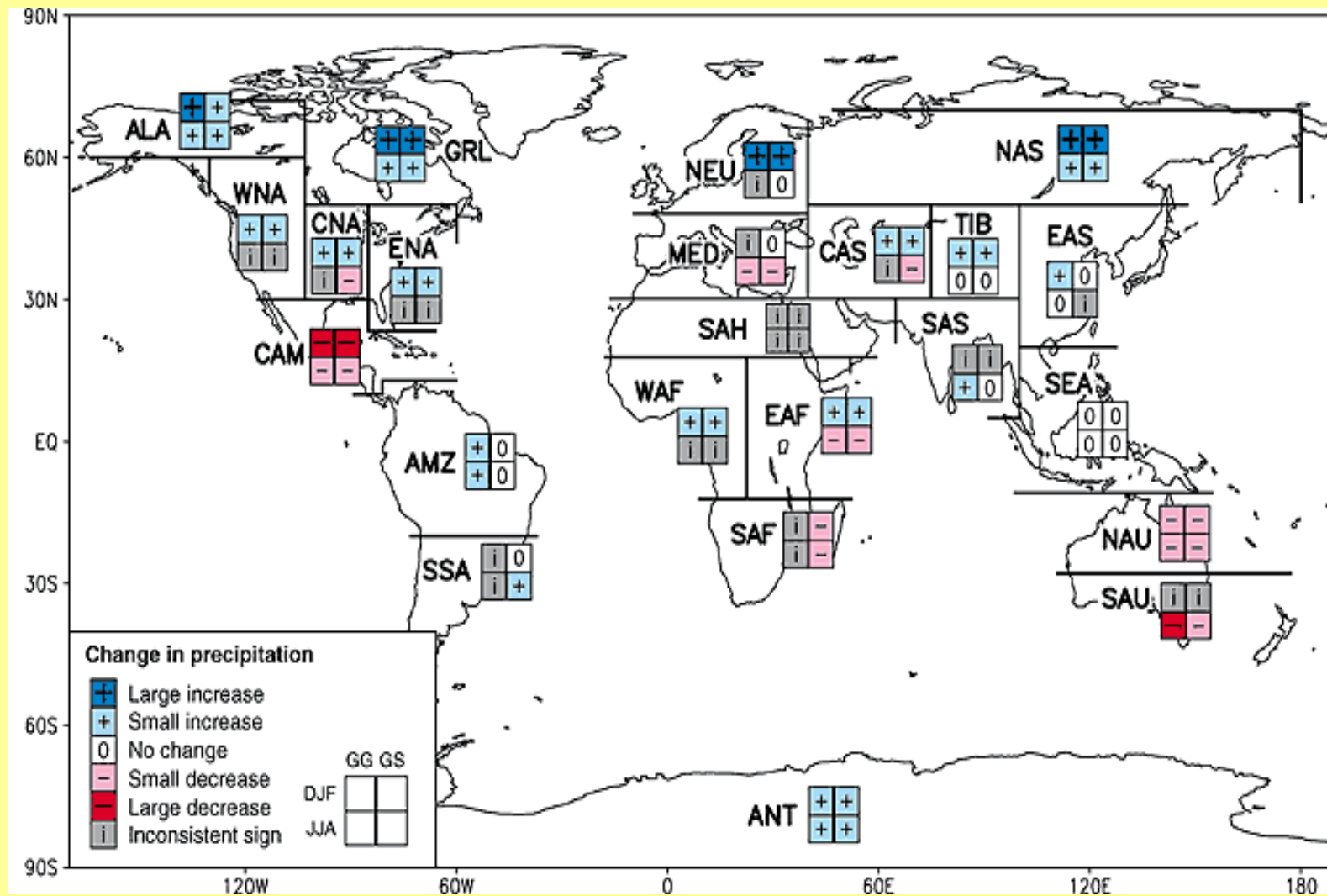
NAS Northern Asia  
 TIB Tibet  
 EAS Eastern Asia  
 SAS Southern Asia  
 SEA South East Asia  
 NAU Northern Australia  
 SAU Southern Australia



# CONSISTENCY ANALYSIS OF GG AND GS SCENARIO FOR THE PERIOD 2075-2100

(Giorgi & Francisco, 2000)

## PRECIPITATION – 23 REGIONS



# A regionális klímamodellek előnyei

## GCM-ek

(általános cirkulációs modellek)

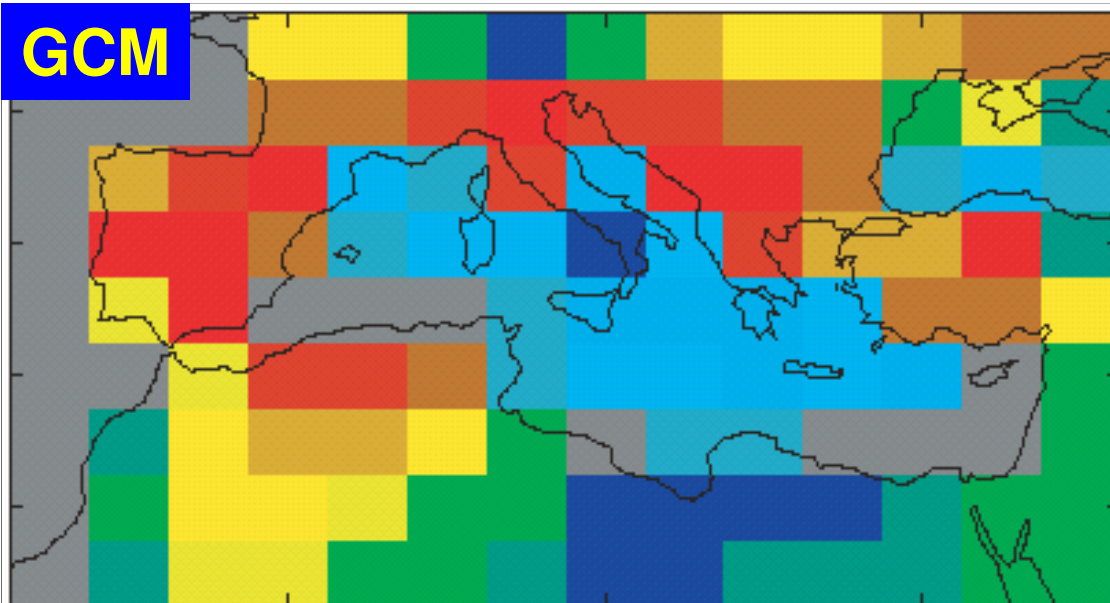
- Nagy-skálájú cirkulációs folyamatok
- Nagy kapacitású számítógépes igény
- Extrém események nem jól reprezentáltak

## RCM-ek

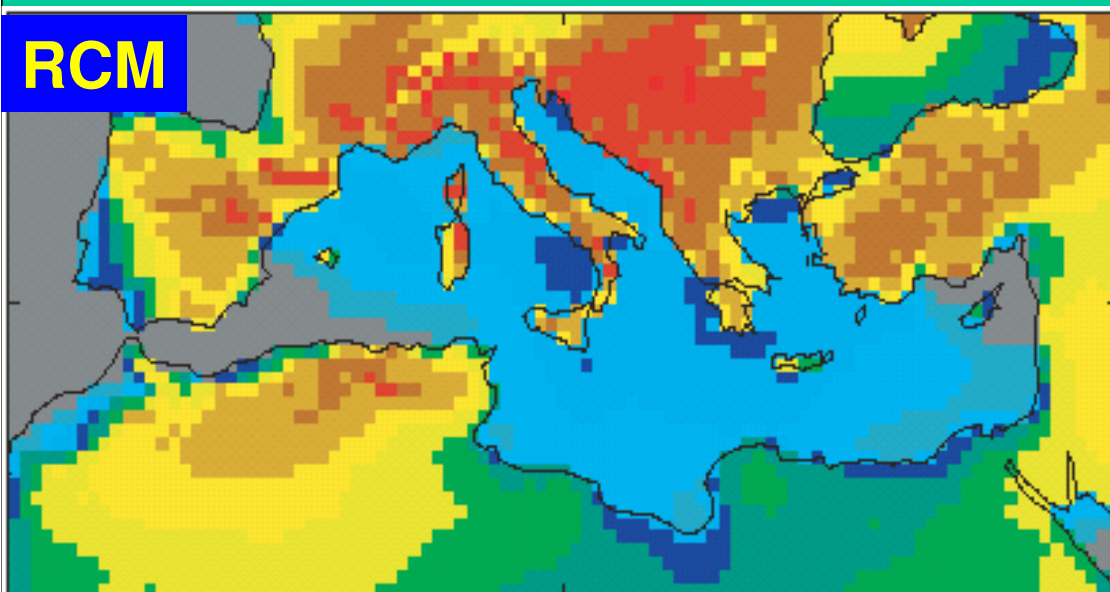
(regionális klímamodellek)

- Részletesebb térbeli felbontás
- PC-n is futtathatók
- Az extrém események jobb közelítése

**GCM**



**RCM**



3

4

5

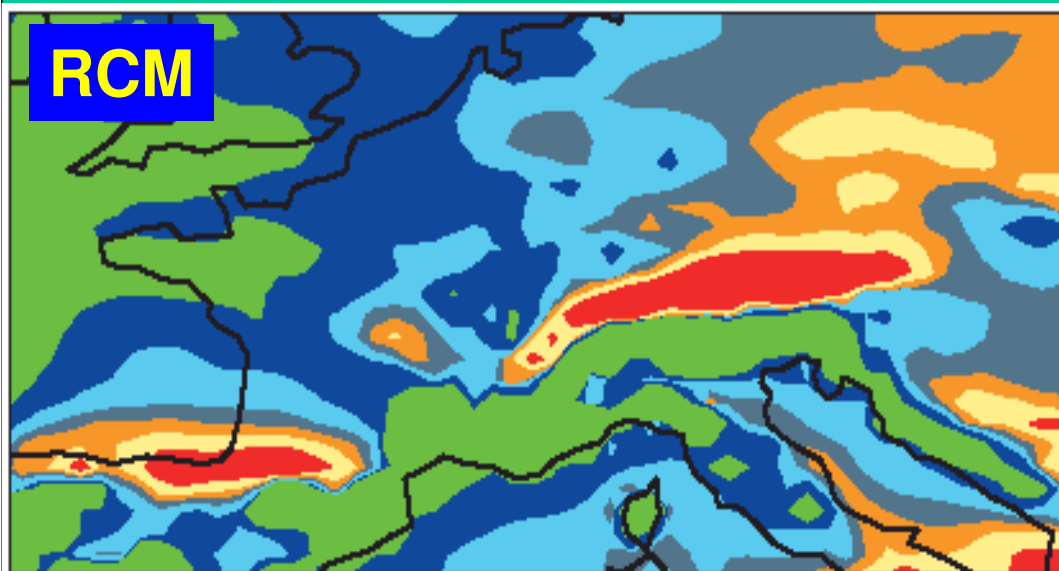
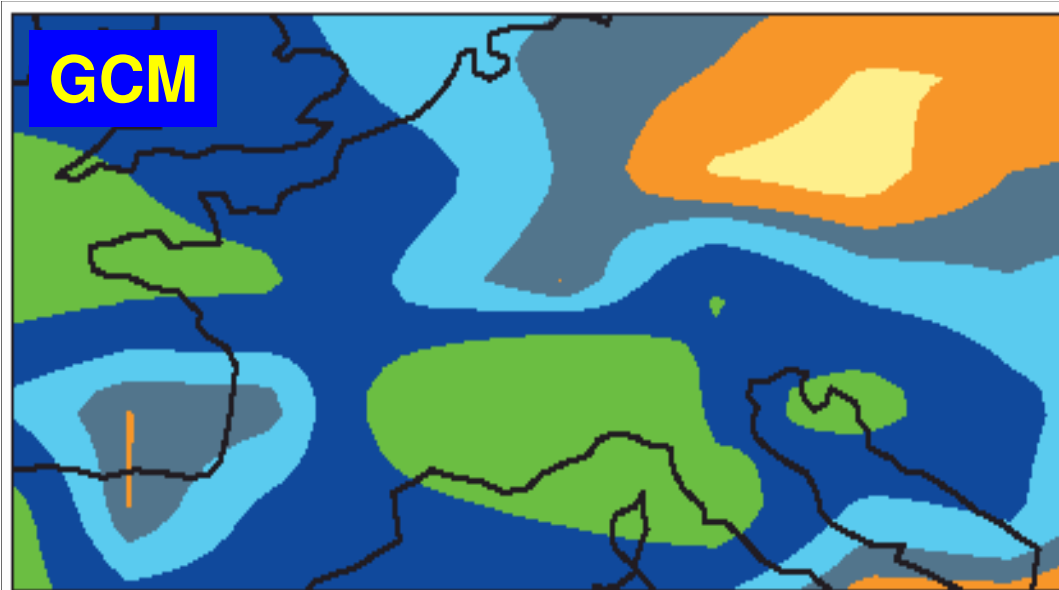
6

7

8

Hőmérséklet (°C)

**A Földközi-tenger  
körzetében  
nyárra előrejelzett  
hőmérséklet-változás  
a brit Hadley-központ  
globális és  
regionális skálájú  
klímamodelleivel  
(2080-ra)**



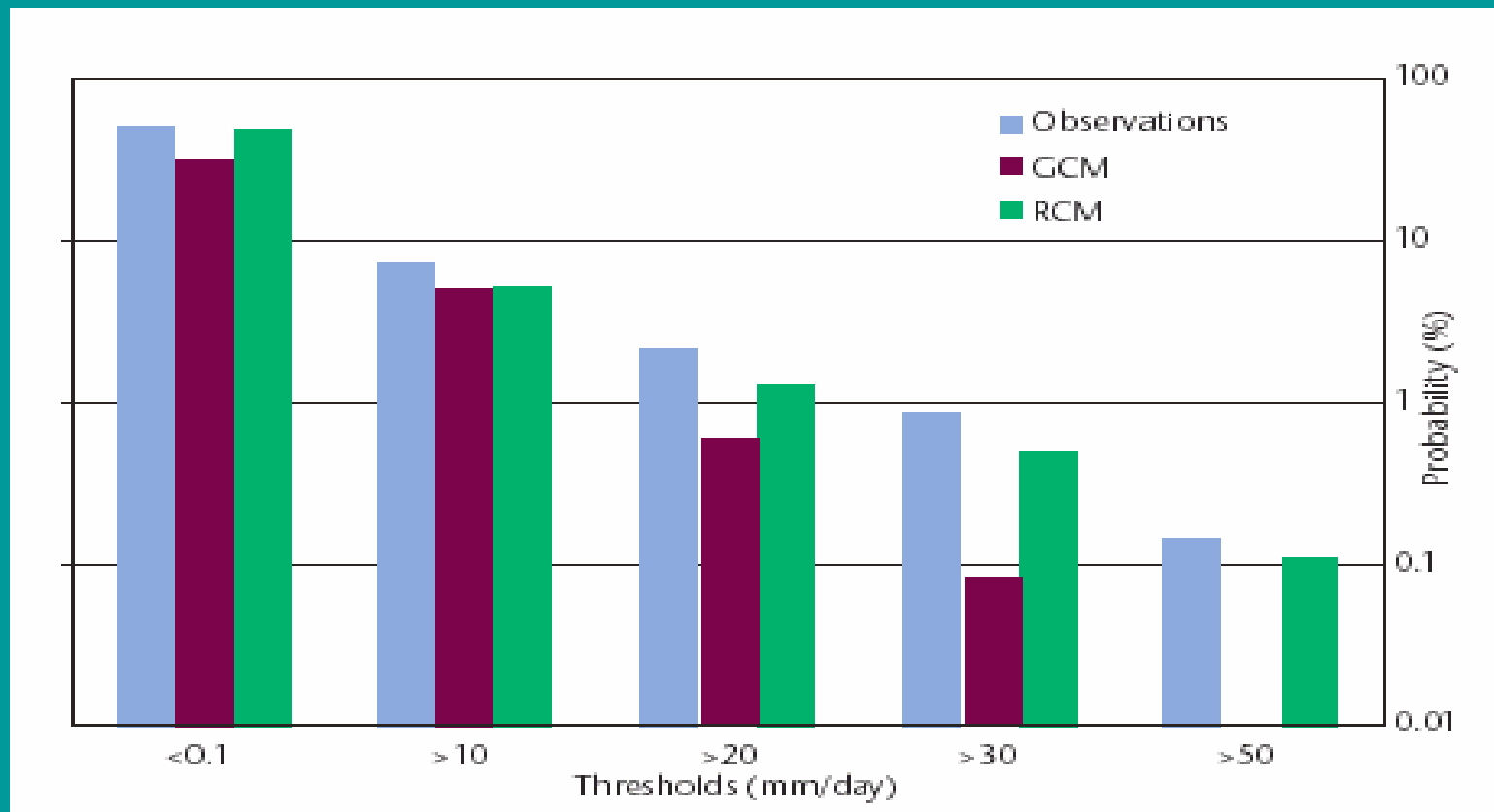
-0.5 -0.2 0 0.2 0.5 1

Csapadék (mm/nap)

**A Pireneusok és az Alpok hegyvonulatainak télre előrejelzett csapadékváltozása a brit Hadley-központ globális és regionális skálájú klímamodelleivel (2080-ra)**

# Az Alpok térségére szimulált csapadékvalószínűségek összehasonlítása a mérésekkel

## Hadley-központ globális és regionális skálájú klímamodellei felhasználásával



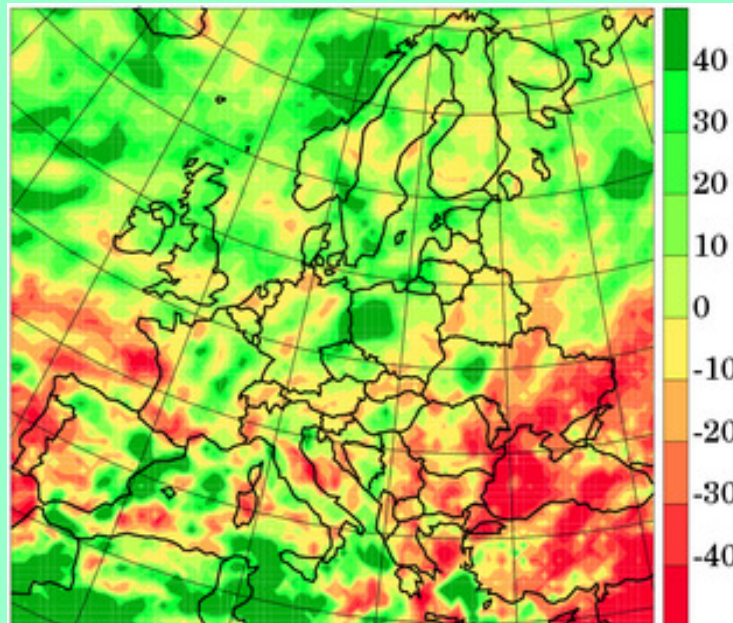
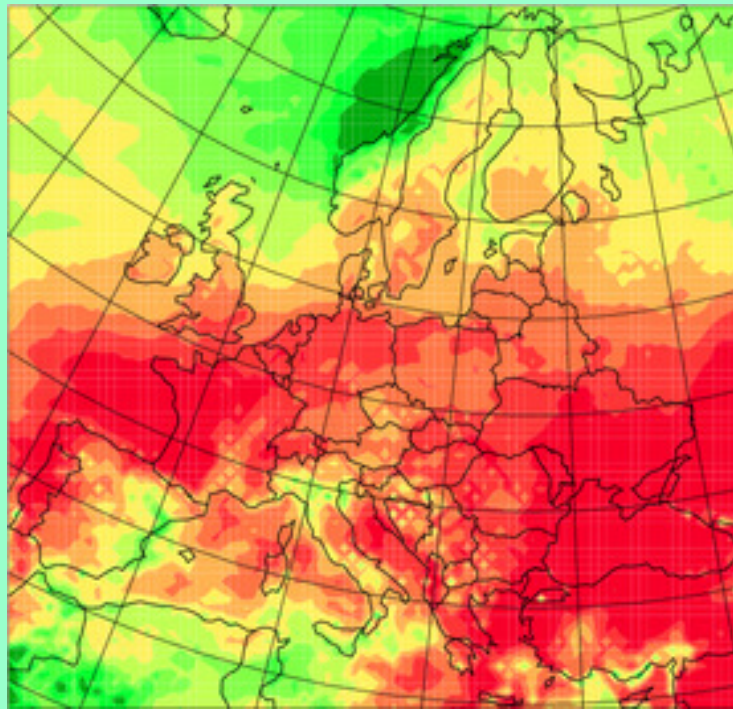
## A PRUDENCE regionális modelljei alapján a 2071-2100 időszakra (referencia időszak: 1961-1990)

Fent: Átlagos csapadékösszegek változása [%]  
Július-Augusztus-Szeptember

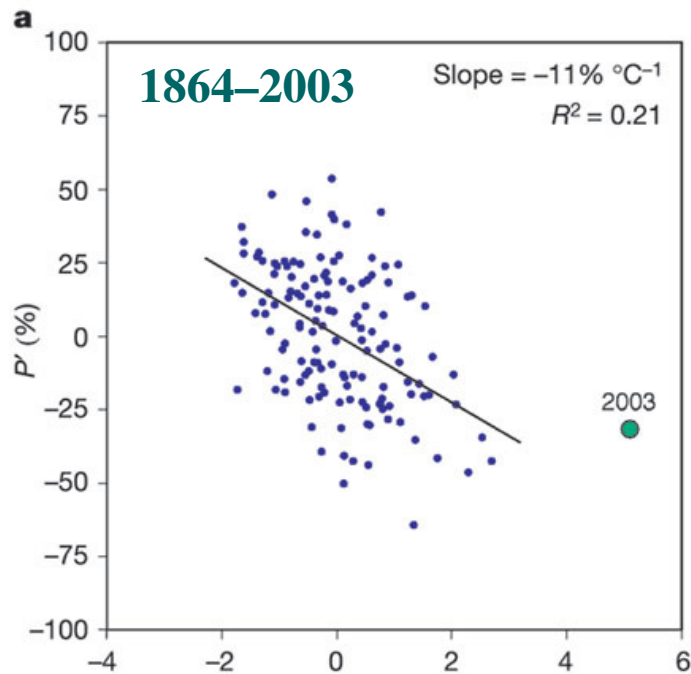
Lent: A 99-es percentilis értéket meghaladó  
csapadékok gyakoriság változásan [%]  
("az extrém csapadékok megváltozása")

Következtetések:

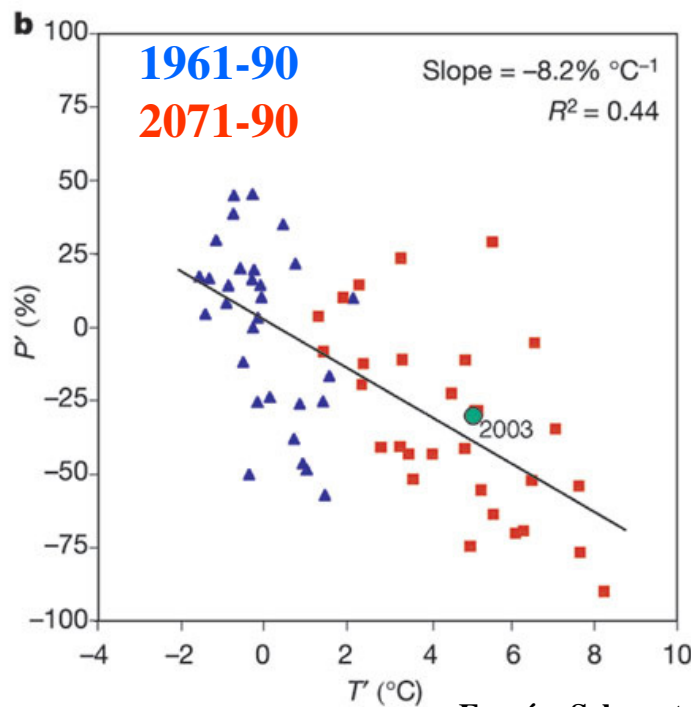
- Nyári csapadékösszeg csökken
- Intenzív csapadékkal járó események gyakorisága nő és még hevesebb lesz  
(Pl. Moldva, Duna, Elba 2002-es árvizei)



Forrás: Christensen et al. 2003



Mért  
adatok



Modellezett  
értékek

## Csapadék-hőmérséklet scatter-diagramok a nyári időszakra, Svájc területére.

a, Állomásokon mért adatok (1864–2003) alapján számított anomáliák (referencia időszak: 1961–90).

b, Éghajlatváltozások és az éghajlati normálidőszakra vonatkozó szimulációk CTRL (1961–90, kék), SCEN (2071–90, piros).

A zöld jelek a 2003 nyári (JJA) méréseket jelölik.

**Következtetés:**

A mai szélsőséges értékek a jövőben akár átlagossá is válhatnak.

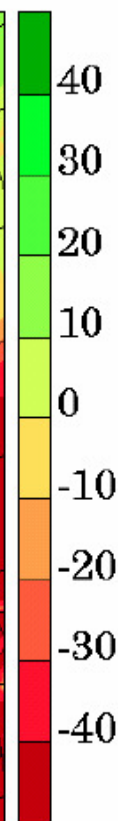
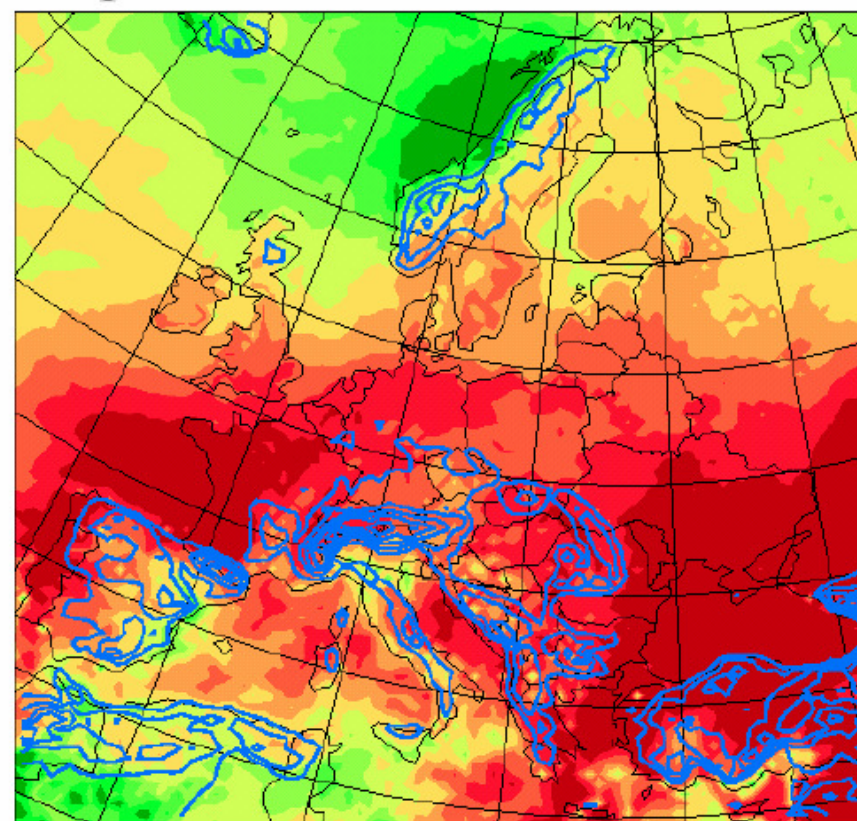
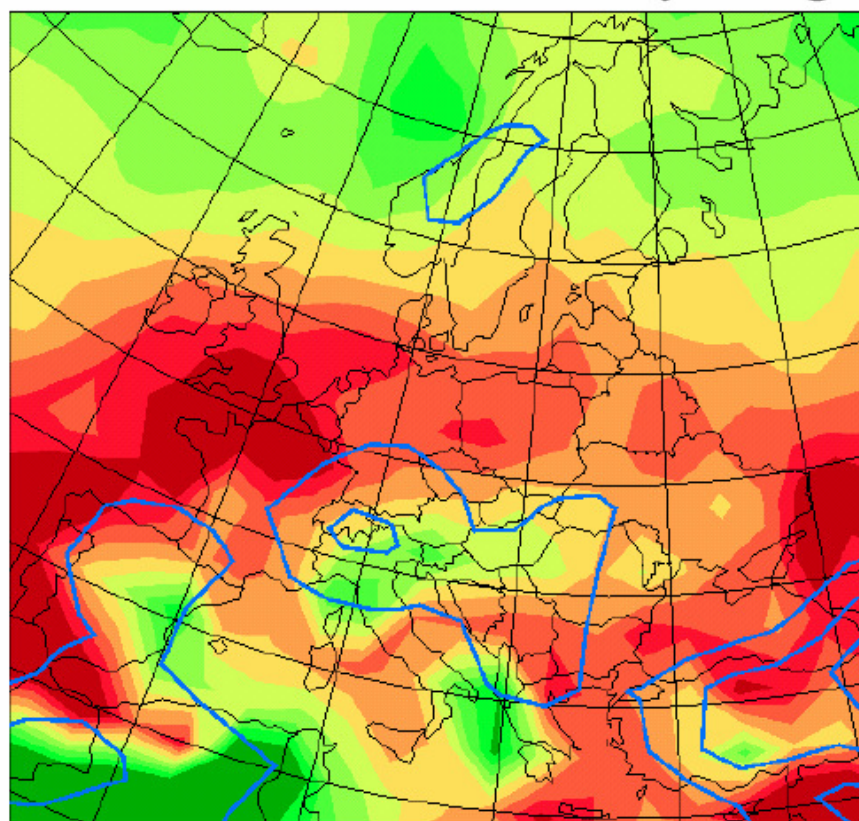
# A nyárvégi (JASZ) csapadékösszegek várható változása (%)

**GLOBÁLIS MODELL (300 km)    REGIONÁLIS MODELL (50 km)**

ECHAM

HIRHAM

July-August-September



**Mo. – Glob: 0-(+10)%, Reg: (-30)-(-40)%**

**Forrás: Christensen, 2003**



# NEMZETI ÉGHAJLATI SZCENÁRIÓK A XXI. SZÁZADRA

## AZ ELTE METEOROLÓGIAI TANSZÉK HOZZÁJÁRULÁSA

**Regionális modelleredmények 2071-2100 (50 km), PRUDENCE: EU5 (MEH-MTA, KVM NÉS), (16 és 8 szimuláció, A2 és B2 scenáriók)**

### DINAMIKUS REGIONÁLIS MODELLEZÉS (Klímadinamikai program – OMSZ/ELTE)

- 1. PRECIS (25 km)**  
(kifejlesztve: Hadley Centre, UK)
- 2. RegCM (10 km),** (kifejlesztve: NCAR, jelenleg hozzáférhető ICTP)

**Klímadinamikai NKFP, OTKA,  
CECILIA - EU6 2006-2009**

**STATISZTIKUS  
LESKALÁZÁS**  
(Sztochasztikus dinamikusan beágyazott modellekkel)  
1994-2004

**GLOBÁLIS  
MODELLEREDMÉNYEK  
VIZSGÁLATA**  
(MAGICC/SCENGEN)  
2050-re és 2100-ra  
15 GCM alapján  
2003-2005



# PROJEKT

## MOTIVÁCIÓ

- **A klímaprojekciók bizonytalanságai**
- **Eltérések a modellszimulációk között,  
változékonyság**
- **Extrém szimuláció, esettanulmányok  
(csapadék, hőmérséklet)**
- **Egységes dinamikus leskálázási kísérletek  
(modell szimulációk, összehasonlító elemzések)**



# PROJEKT

## CÉLOK - TARTALOM

- **Modellezés 45%**  
(szimulációk, összehasonlító elemzések)
- **Hatástanulmányok 45%**  
(hidrológia, mezőgazdaság, erdészet, ökológia)
- **Klímapolitika, disszemináció 10%**  
(publiációk: média, döntéshozók, gazdaság)

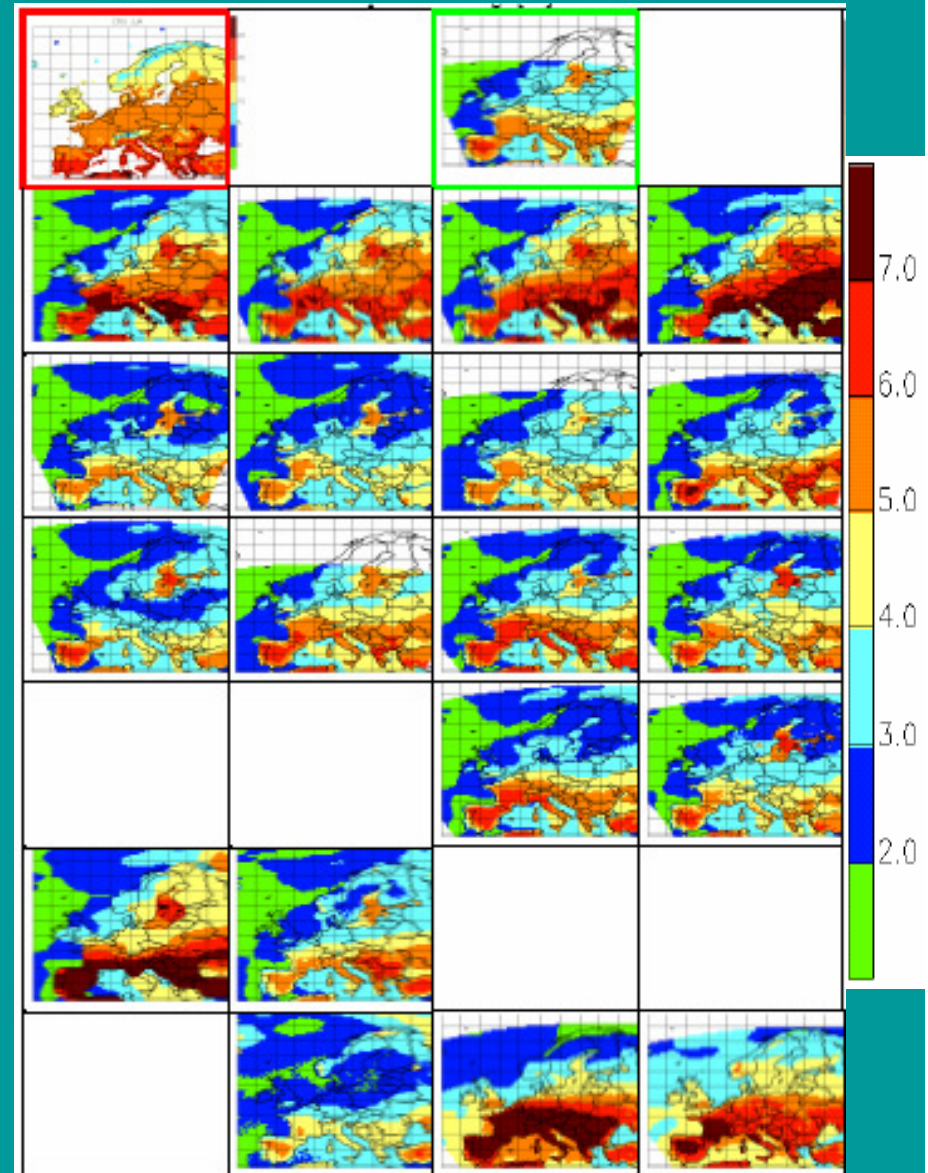
***RCM-ek listája, az őket meghajtó GCM-ekkel, melyeket alkalmaztunk***

	Institute	RCM	Driving GCM	Scenario
1	Danish Meteorological Institute	HIRHAM	HadAM3H	A2, B2
2		HIRHAM	ECHAM5	A2
3		HIRHAM high res.	HadAM3H	A2
4		HIRHAM extra high res.	HadAM3H	A2
5	Hadley Centre, UK Met Office	HadRM3P (ensemble/1)	HadAM3P	A2, B2
6		HadRM3P (ensemble/2)	HadAM3P	A2
7	ETH (Zürich)	CHRM	HadAM3H	A2
8	GKSS	CLM	HadAM3H	A2
9		CLM improved	HadAM3H	A2
10	Max Planck Institute	REMO	HadAM3H	A2
11	Swedish Meteorol. and Hydr. Inst.	RCAO	HadAM3H	A2, B2
12		RCAO	ECHAM4/OPYC	B2
13	UCM (Universidad Complutense Madrid)	PROMES	HadAM3H	A2, B2
14	Int. Centre for Theoretical Physics	RegCM	HadAM3H	A2, B2
15	Norwegian Meteorological Institute	HIRHAM	HadAM3H	A2
16	KNMI (Netherlands)	RACMO	HadAM3H	A2
17	Météo-France	ARPEGE	HadCM3	A2, B2
18		ARPEGE	ARPEGE/OPA	B2

# Klímaszcenáriók Európára a PRUDENCE projekt eredményei alapján

- 19 regionális klímamodellfuttatás eredményei Európa térségére
- Térbeli felbontás: 50×50 km<sup>2</sup> (!!!!!)
- Klímaprojekciók csak a 2071-2100-időszakra és csak az IPCC A2 és B2 scenárióra
- Referencia időszak: 1961-1990
- **Három** GCM-pár alkalmazása a határfeltételek megadásához:  
HadAM3H/HadCM3 (UK),  
ECHAM4/OPYC3 (DE),  
ARPEGE/OPA (FR)

## Hőmérsékletváltozás (19 modellfuttatás) NYÁR - PRUDENCE A2 scenárió, 2071-2100

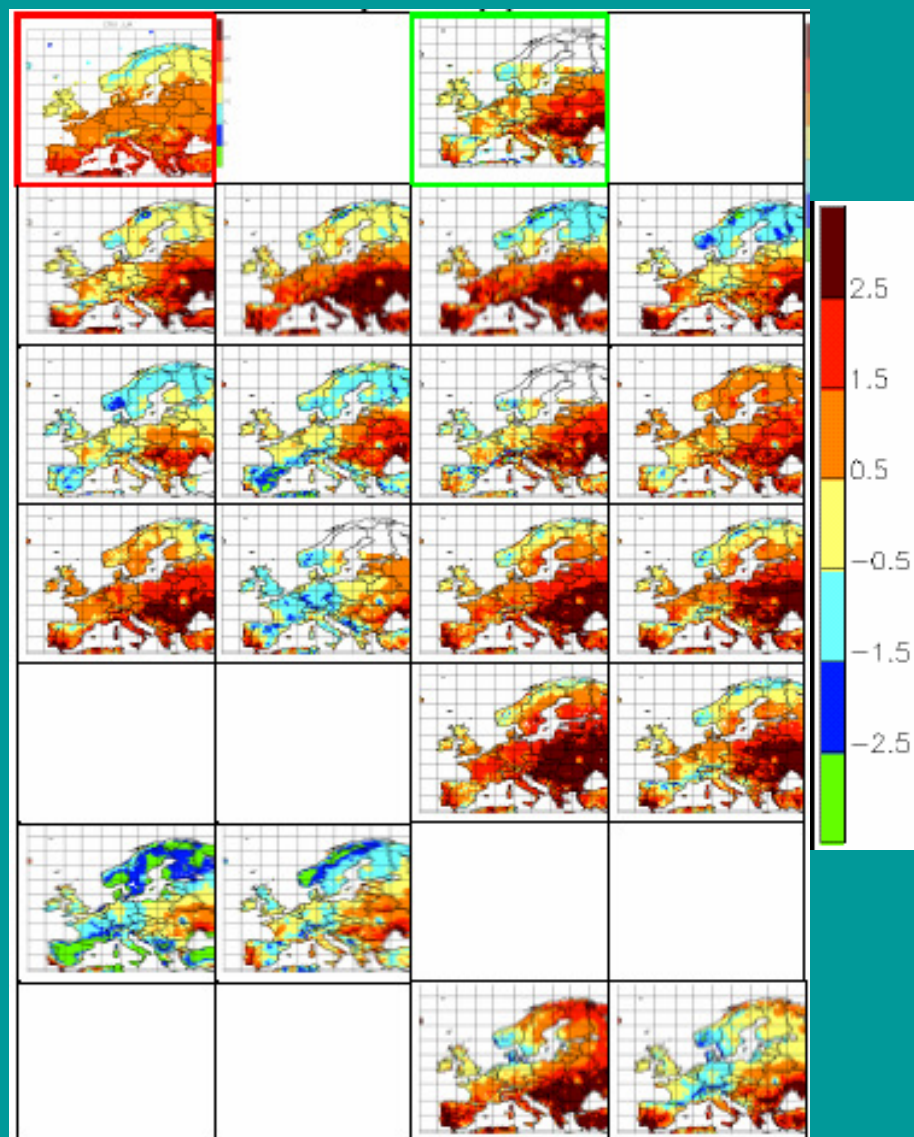


# Éghajlati scénáriók PRUDENCE projekt

- EU-projekt: 2001-2004
- 19 regionális klíma modell szimuláció Európára
- Térbeli felbontás: 50×50 km<sup>2</sup>
- Climate projections only for 2071-2100 (SRES A2 and B2)  
Reference period: 1961-1990
- Using **three** GCM-pair for the boundary conditions of the regional models:  
HadAM3H/HadCM3 (UK),  
ECHAM4/OPYC3 (DE),  
ARPEGE/OPA (FR)

## Hőmérsékleti hiba (19 modell-futás) NYÁR (JJA) – PRUDENCE 1961-1990

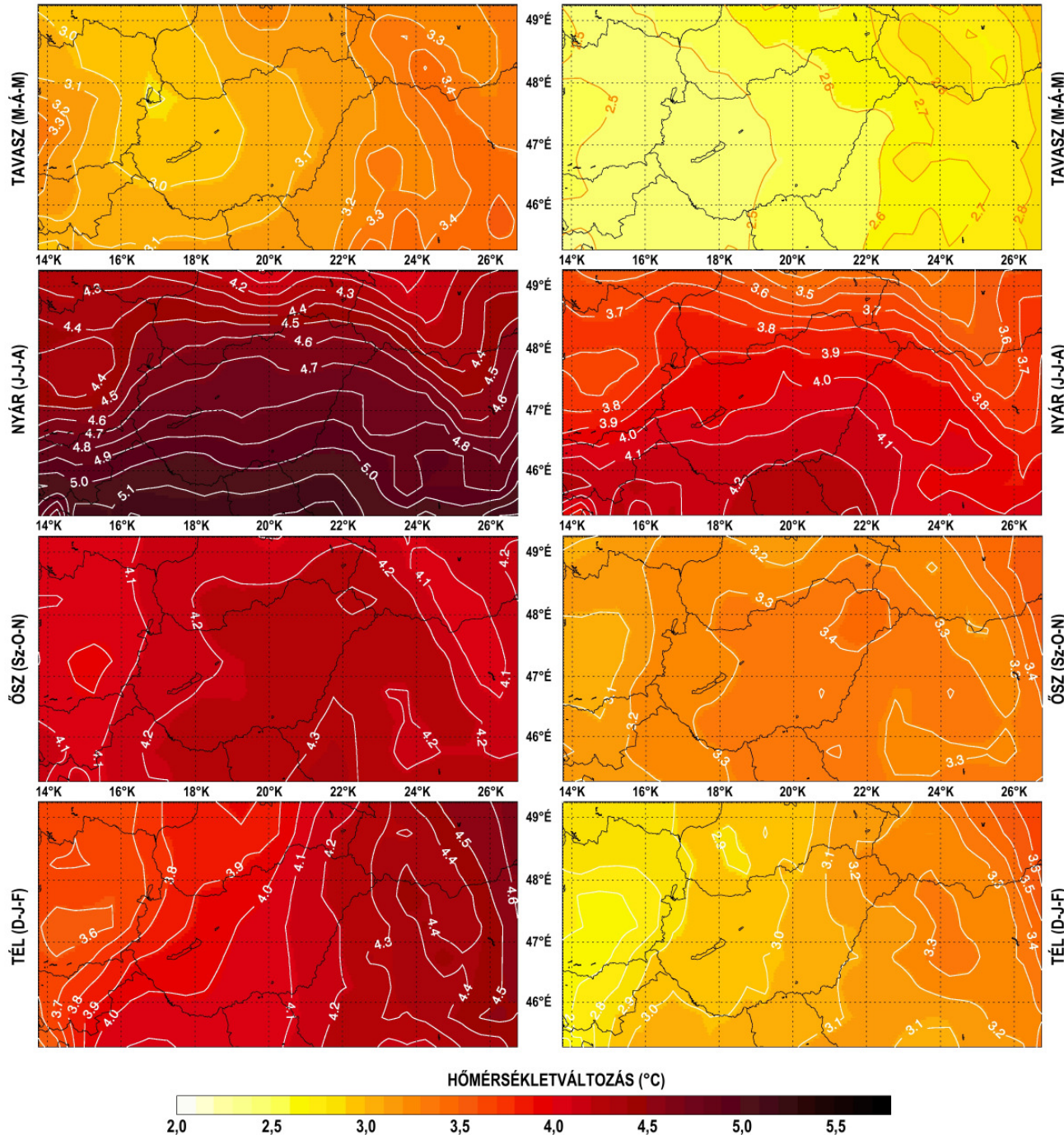
### Hibamezők (a CRU-val összehasonlítva)





## A2 scenárió

## B2 scenárió



**Várható  
hőmérséklet-  
változás a Kárpát-  
medence térségében**

**A2 és B2 scenárió  
összehasonlítása  
(16, illetve 8  
modellfuttatás)**

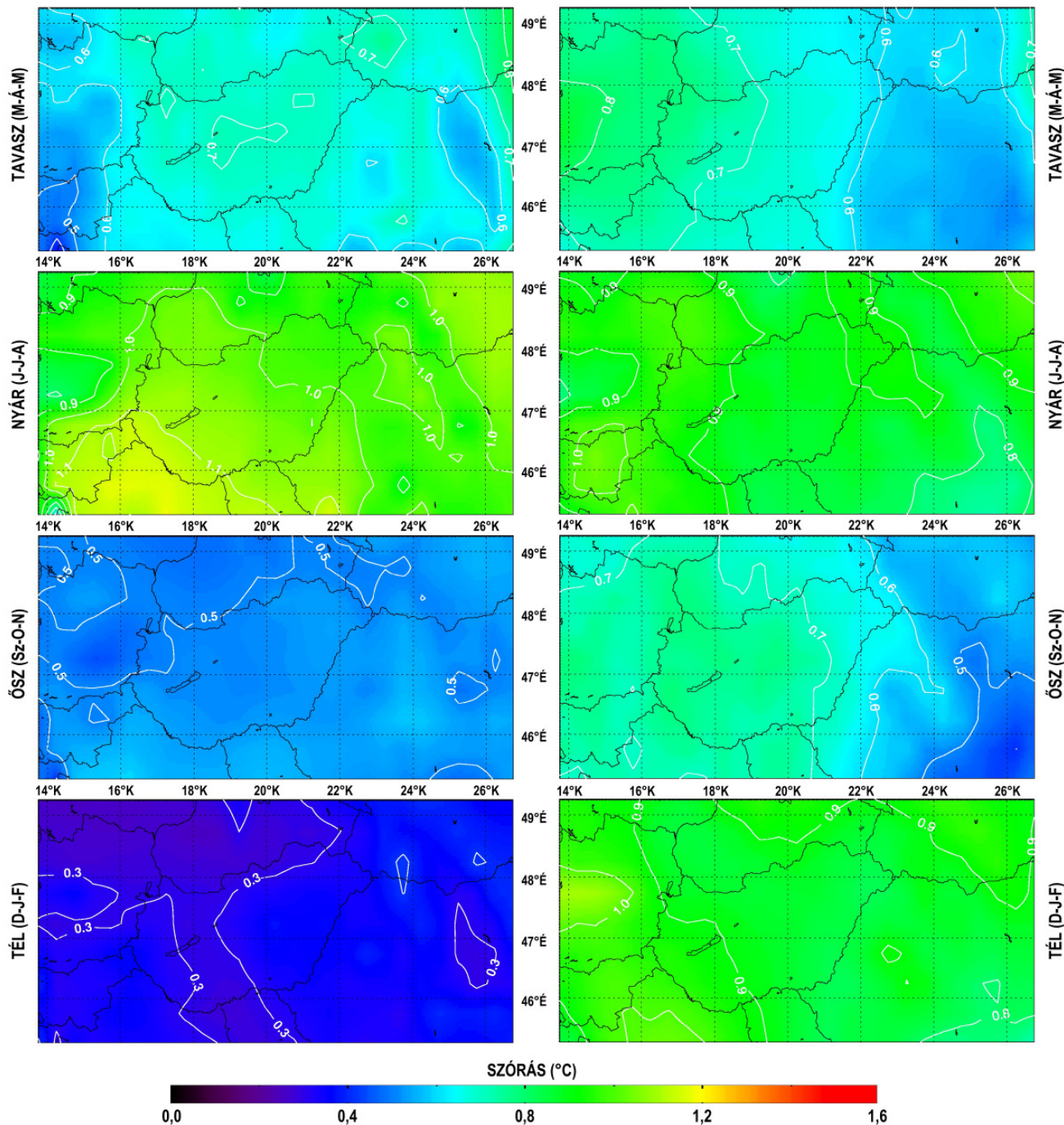
**PRUDENCE  
2071-2100**

**NYÁR – legnagyobb  
A2: 4,5-4,9 °C,  
B2: 3,8-4,2 °C  
TAVASZ – legkisebb  
A2: 2,9-3,2 °C  
B2: 2,5-2,6 °C**



## A2 scenárió

## B2 scenárió



**Várható  
hőmérséklet-  
változások szórása  
a Kárpát-medence  
társágában**

**A2 és B2 scenárió  
összehasonlítása  
(16, illetve 8  
modellfuttatás)**

**PRUDENCE  
2071-2100**

**legnagyobb – NYÁR**

**A2: 1,0-1,1 °C**

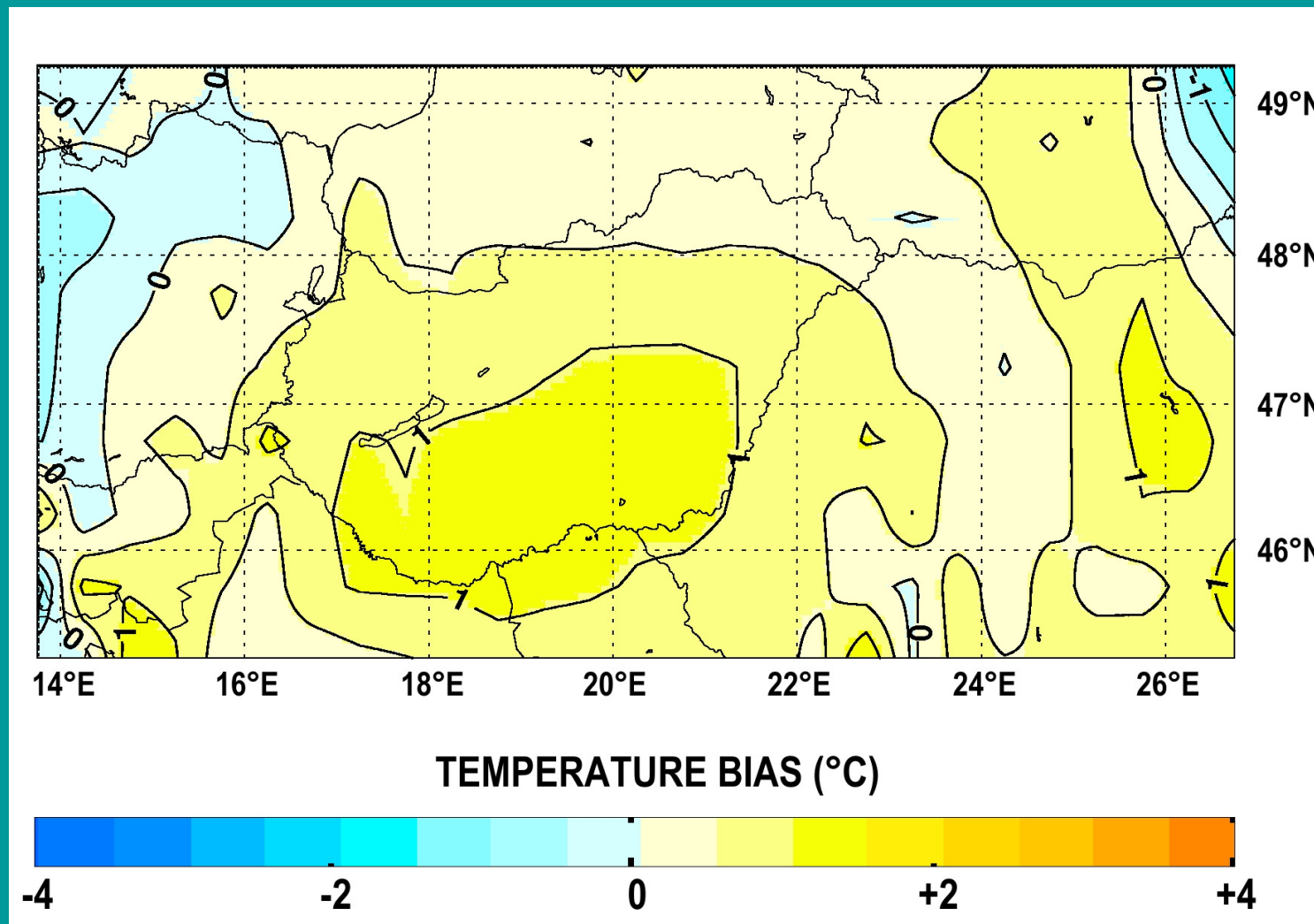
**B2: 0,9-1,0 °C**

**legkisebb**

**A2: TÉL 0,2-0,3 °C**

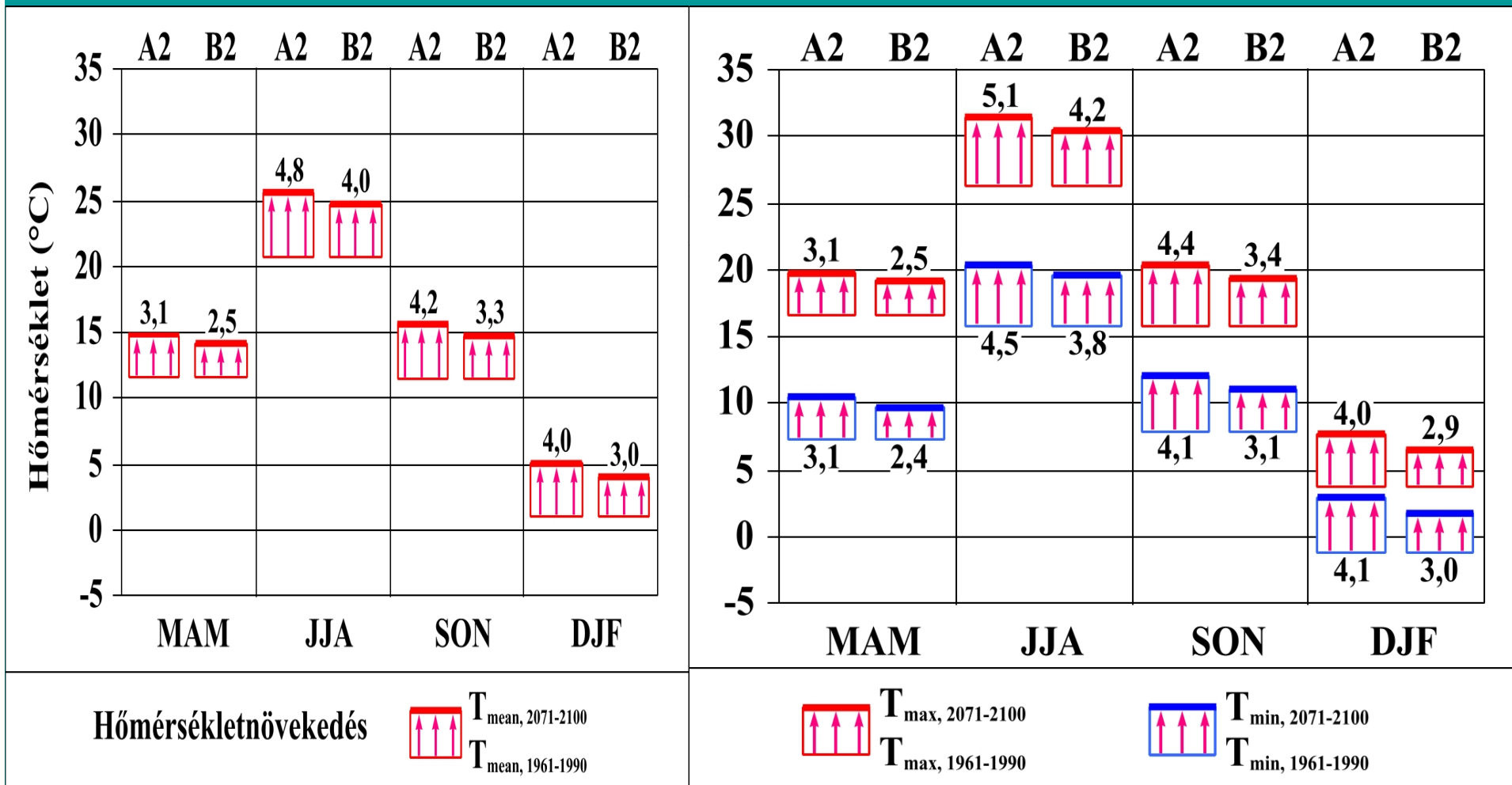
**B2: TAVASZ 0,6-0,7 °C**

# Bias of simulated temperature (16 model outputs) PRUDENCE/CRU, 1961-90



The bias is less than 1 °C

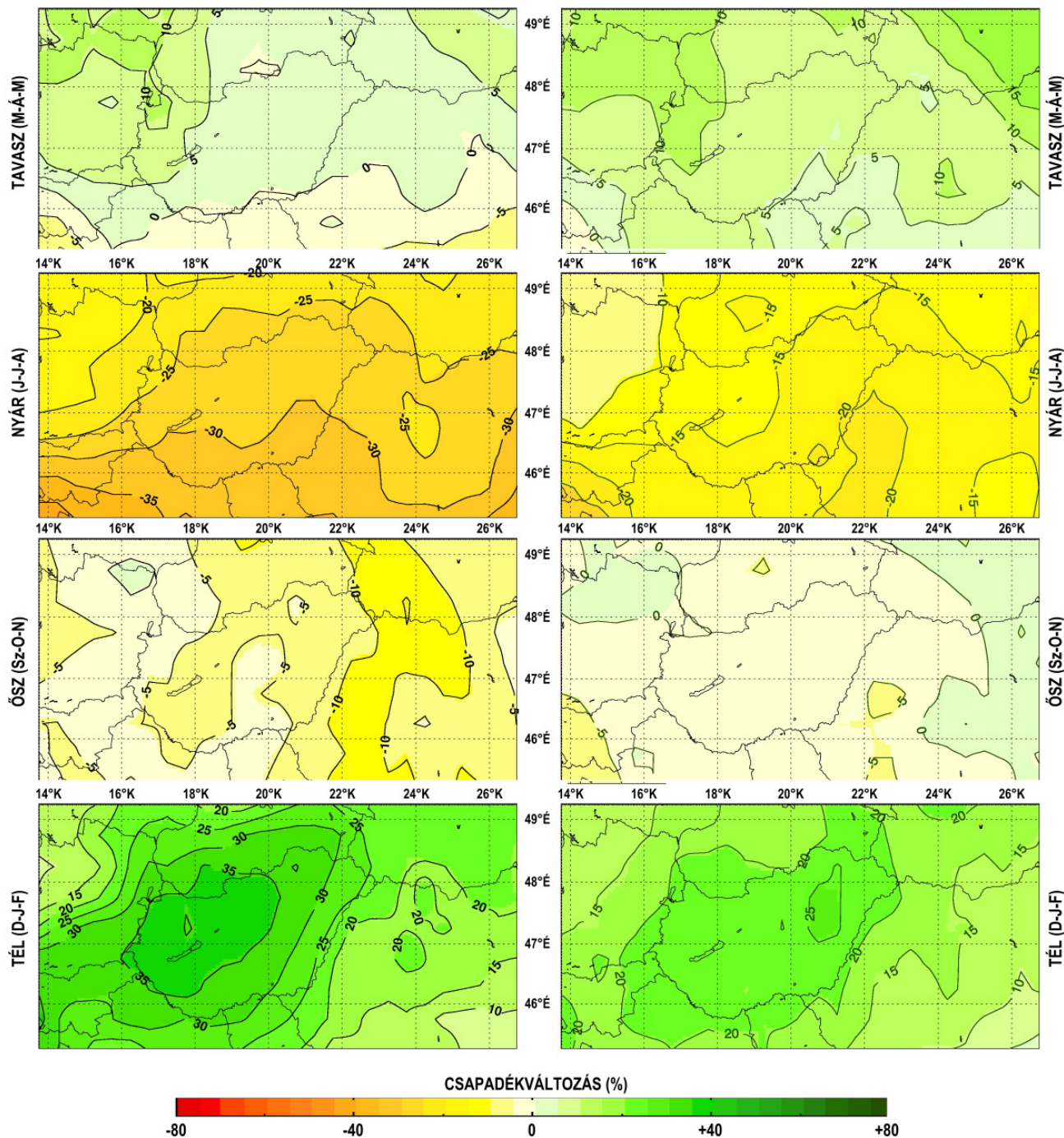
# A 2071-2100-ra becsült hőmérsékletváltozás (átlag, max., min.) mértéke Magyarországon regionális klímamodellek eredményei alapján (A2, B2 scenárió, 16 modell, 2071-2100)



**A legnagyobb hőmérséklet növekedés nyáron, a legkebb tavasszal várható. A2 scenárió esetére nagyobb a melegedés mértéke, mint a B2 scenárióra.**

## A2 scenárió

## B2 scenárió



**Várható csapadék-  
változás a Kárpát-  
medence térségében**

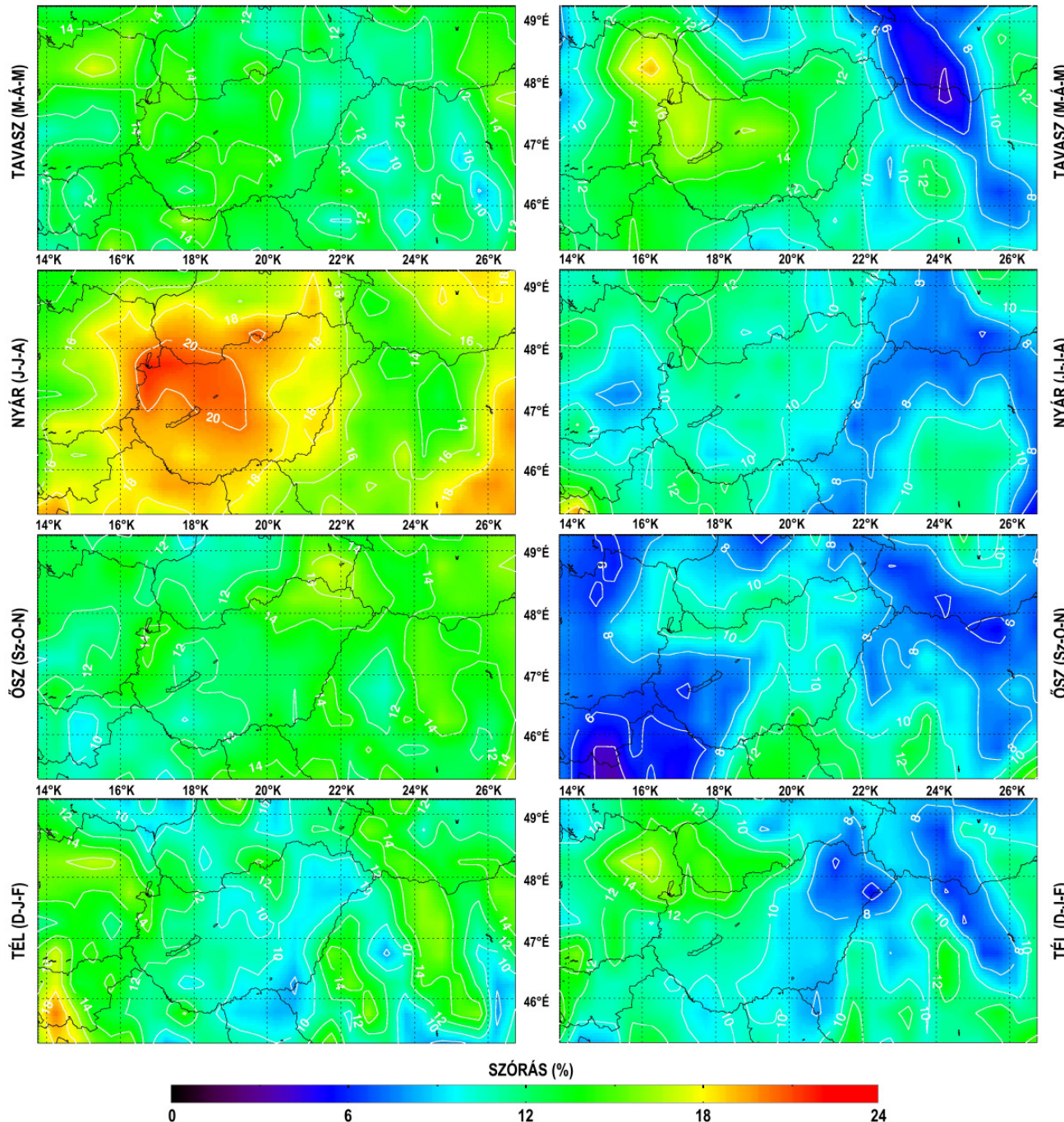
**A2 és B2 scenárió  
összehasonlítás  
(16, illetve 8  
modellfuttatás)**

**PRUDENCE  
2071-2100**

**NYÁR – szárazabb  
A2: 25-30%,  
B2: 10-20%  
TÉL – nedvesebb  
A2: 25-35%  
B2: 20-25%**

## A2 scenárió

## B2 scenárió



**Várható csapadék-  
változások szórása  
a Kárpát-medence  
társágében**

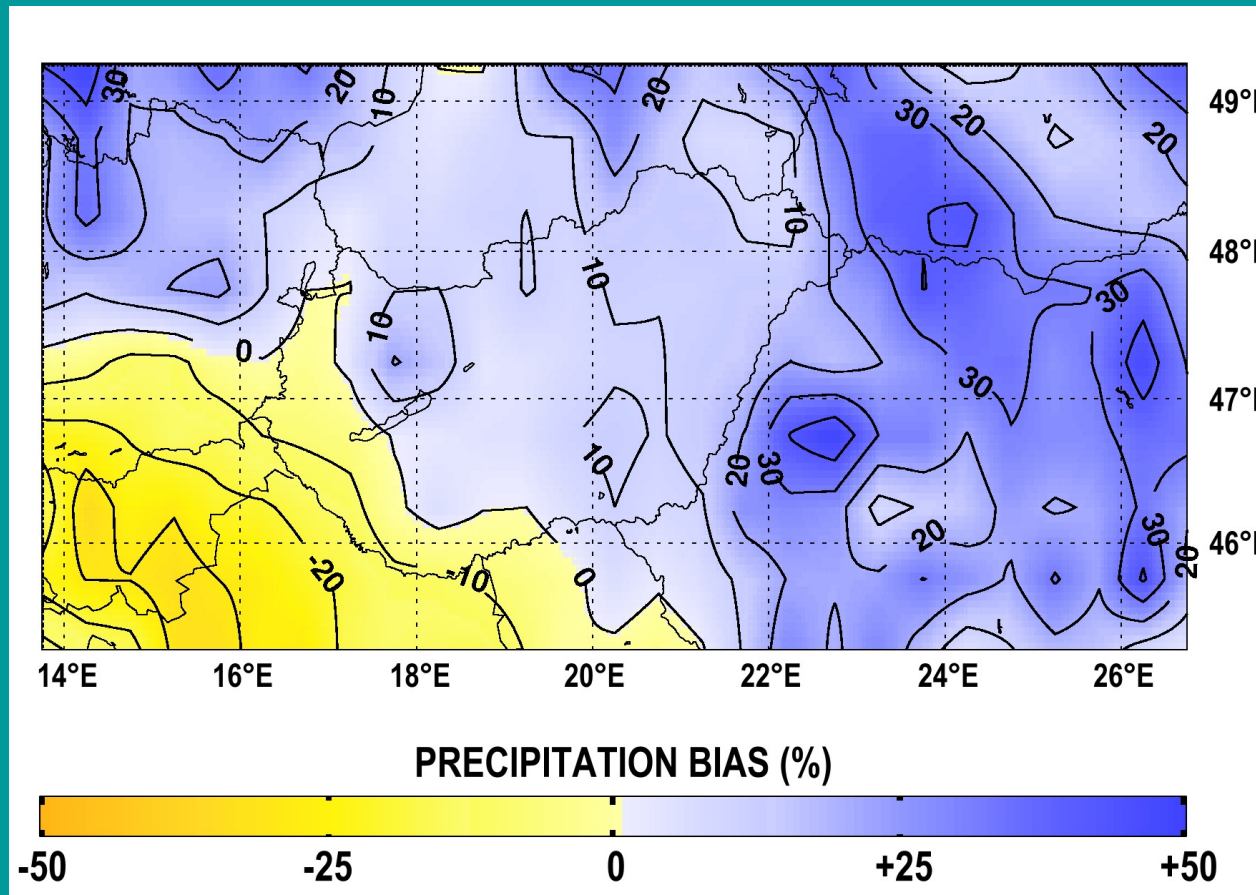
**A2 és B2 scenárió  
összehasonlítása  
(16, illetve 8  
modellfuttatás)**

**PRUDENCE  
2071-2100**

**legnagyobb  
A2: NYÁR 15-20%  
B2: TAVASZ 10-16%**

**legkisebb  
A2: TÉL 8-12%  
B2: ŐSZ 6-10%**

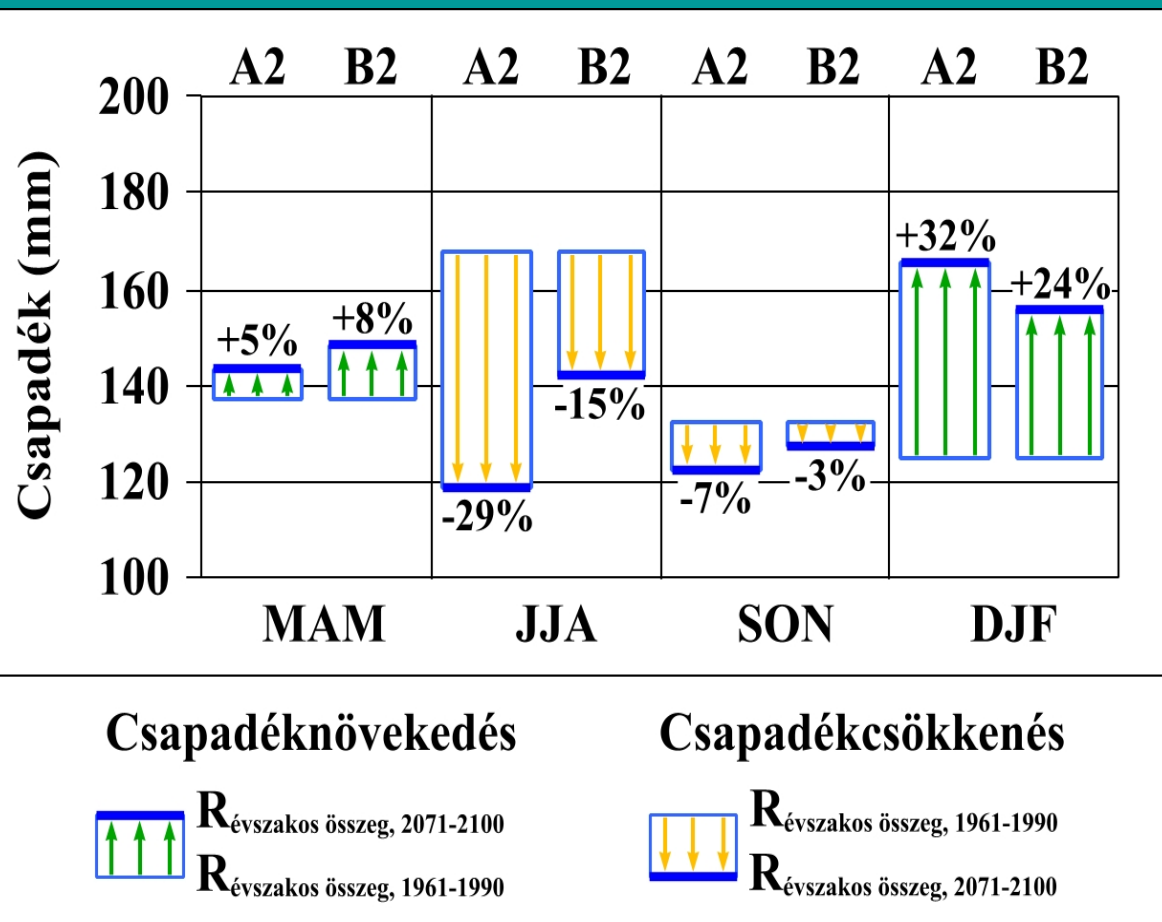
# Bias of simulated precipitation (16 model outputs) PRUDENCE/CRU, 1961-90



The bias is between +10% and -10%

# A csapadékösszeg 2071-2100-ra becsült átlagos változása Magyarországon regionális klímamodellek alapján

## PRUDENCE, A2, B2 scenárió, 16 modell



-- Nagy növekedés télen és nagy csökkenés nyáron

-- Várhatóan az éves eloszlás változik:

1961-1990: a legcsapadékosabb és a legszárazabb évszakok a nyár és a tél,

2071-2100: a becsült modelleredmények alapján, a legcsapadékosabb évszakká válik a tél és a legszárazabb évszakká a nyár (A2 scenárió), illetve az ősz (B2 scenárió)

**dékosabb évszakká válik a tél és a legszárazabb évszakká a nyár (A2 scenárió), illetve az ősz (B2 scenárió)**

# ESTIMATED TEMPERATURE AND PRECIPITATION CHANGES FOR HUNGARY IN CASE OF GLOBAL WARMING 1°C

25 MODELL SIMULATION, PRUDENCE, (Christensen, 2005)

TEMPERATURE (°C)	YEAR	WINTER (DJF)	SUMMER (JJA)
MEAN	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>1,7</b>
STANDARD DEVIATION	0,3	0,3	0,4
MEDIAN	1,3	1,3	1,6
95. PERCENTILES	1,9 [1,8-2,1]	1,9 [1,7-2,1]	2,4 [2,2-2,6]
5. PERCENTILES	0,9 [0,7-1,0]	0,8 [0,6-0,9]	1,0 [0,8-1,2]

The values in brackets after the percentiles denote the 95% confident-intervals

PRECIPITATION (%)	YEAR	WINTER (DJF)	SUMMER (JJA)
MEAN	<b>-0,3</b>	<b>9,0</b>	<b>-8,2</b>
STANDARD DEVIATION	2,2	3,7	5,3
MEDIAN	0,2	9,2	-7,5
95. PERCENTILES	3,4 [2,2-4,6]	15,0 [13,0-16,9]	0,5 [(-2,3)-(-3,2)]
5. PERCENTILES	-3,9 [(-5,1)-(-2,8)]	3,0 [1,0-5,0]	-16,9 [(-19,5)-(-14,1)]



# **Globális éghajlati szcenáriók regionalizálása**

**Regionális modellek  
adaptálása**

# NEMZETI ÉGHAJLATI SZCENÁRIÓK A XXI. SZÁZADRA

## AZ ELTE METEOROLÓGIAI TANSZÉK HOZZÁJÁRULÁSA

**Regionális modelleredmények (50 km)**  
**PRUDENCE: EU5, 2001-2004**  
**(MEH-MTA, KVM NÉS)**

**STATISZTIKUS  
LESKALÁZÁS**  
**(Sztochasztikus dinamikusan  
beágyazott modellekkel)**  
**1994-2004**

**DINAMIKUS REGIONÁLIS MODELLEZÉS**  
**(Klímadinamikai program – OMSZ/ELTE)**

- 1. PRECIS (25 km)**  
**(kifejlesztve: Hadley Centre, UK)**
- 2. RegCM (10 km), (kifejlesztve: NCAR,  
jelenleg hozzáférhető ICTP)**

**Klímadinamikai NKFP, OTKA,  
CECILIA - EU6 2006-2009**

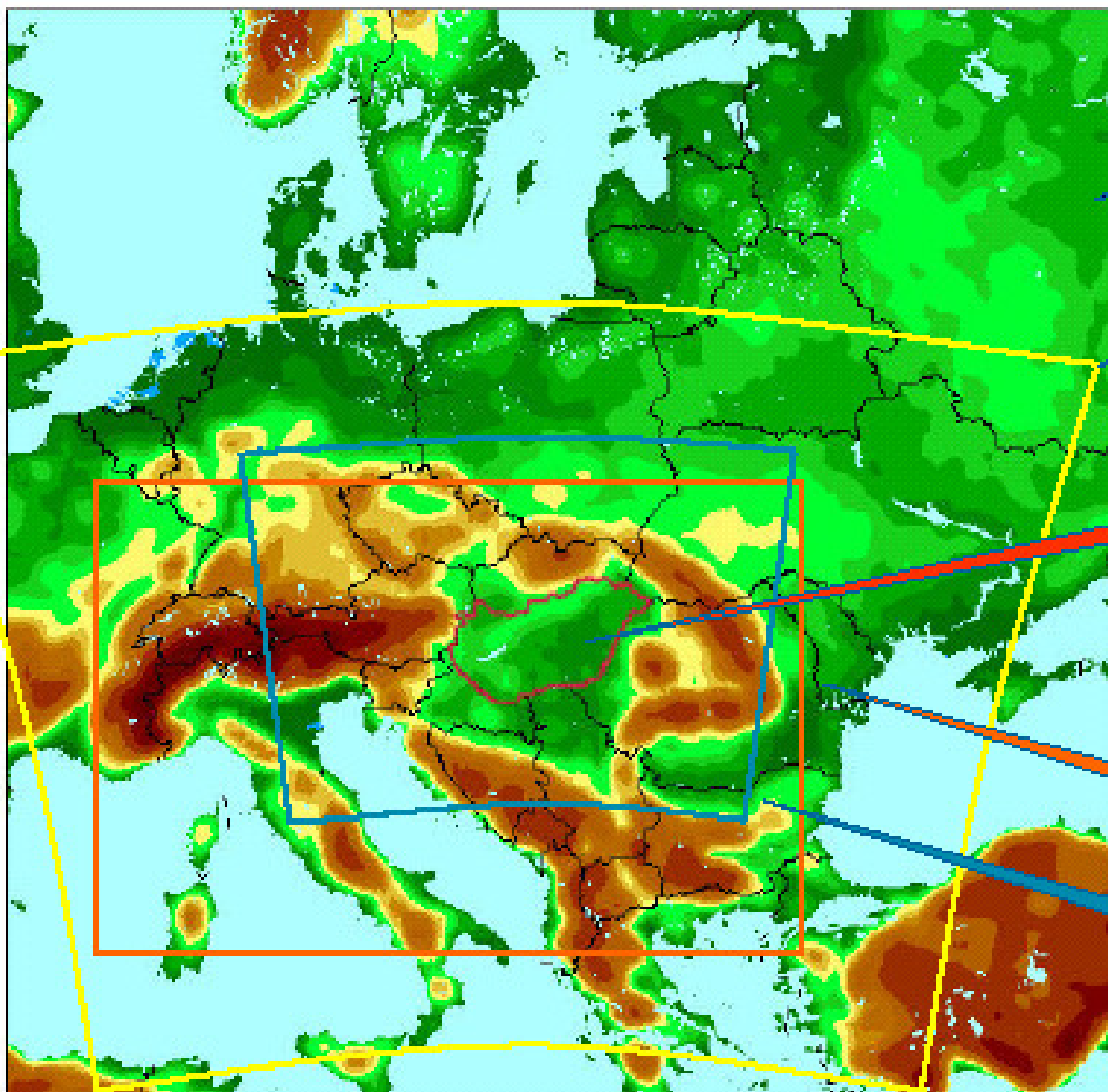
**GLOBALIS  
MODELLEREDMÉNYEK  
VIZSGÁLATA**  
**(MAGICC/SCENGEN)**  
**2050-re és 2100-ra**  
**15 GCM alapján**  
**2003-2005**

# HAZAI REGIONÁLIS KLÍMAMODELLEZÉSI ADAPTÁCIÓK

RCM	PRECIS	REMO	RegCM	ALADIN
Kifejlesztő -- Adaptáló	UKMO Hadley Centre -- ELTE	MPI-M, Hamburg DE -- OMSZ	ICTP, Trieste IT -- ELTE	Meteo France -- OMSZ
Kezdés	2002. ősz	2004. ősz	2005. ősz	2005. ősz
Horiz. felbontás	25 km	25 km	10 km	10 km
Koordináta rendszer	Elforgatott szférikus rendszer	Elforgatott szférikus rendszer	Lambert vetület	Lambert vetület (spektrális modell)
Vertikális szintek	19 hibrid légköri szint + 4 talajszint	20 hibrid légköri szint + 5 talajszint	18 szigma légköri szint + 3 talajszint	31 hibrid légköri szint + 4 talajszint
Felpörgési idő	2 év	4 év	1 év	3 év
Integrációs időlépcső	5 perc	2 perc	1,5 perc	15 perc
Befejezett futtatások	CTL: 1961-1990 ERA40 CTL: 1961-1990 HadCM3 A2: 2071-2100 HadCM3 B2: 2071-2100 HadCM3	CTL: 1961-2000 ERA40 CTL+A1B: 1951-2050 ECHAM5	CTL: 1961-1990 ERA40 CTL: 1961-1990 ECHAM5 A1B: 2021-2050 ECHAM5 A1B: 2071-2100 ECHAM5	CTL: 1961-2000 ERA40 CTL: 1961-1990 ARPEGE A1B: 2021-2050 ARPEGE A1B: 2071-2100 ARPEGE
Foly. lévő futtatások	A2: 1960-2100 ECHAM4	CTL+A1B: 1951-2100 ECHAM5	CTL kiterjesztése: 1991-2000 ERA40	

# HAZAI REGIONÁLIS KLÍMAMODELLEZÉSI ADAPTÁCIÓK

Integration domains



ALADIN

REMO

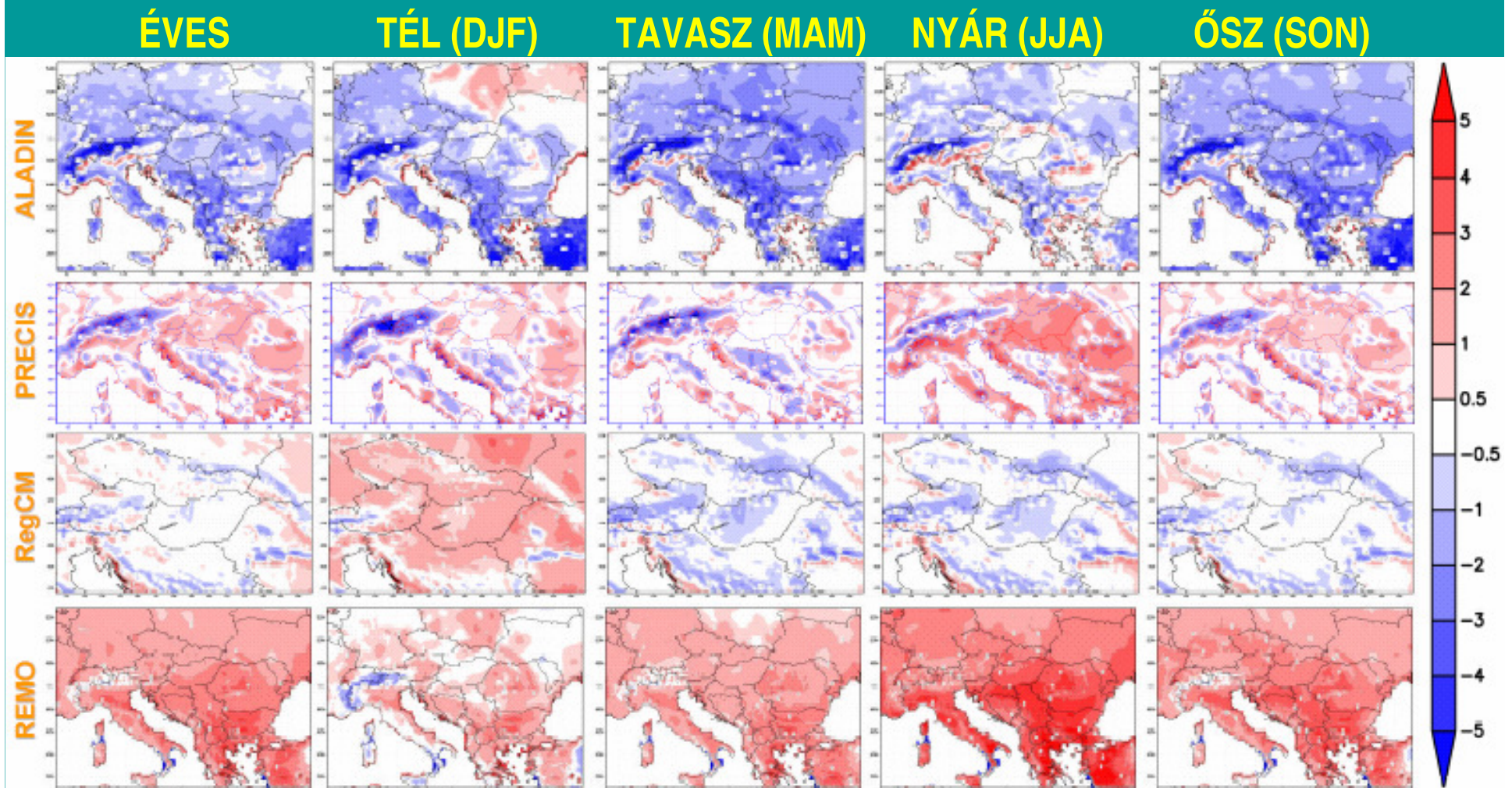
Hungary

PRECIS

RegCM

**VERIFIKÁCIÓS VIZSGÁLATOK  
A REFERENCIA IDŐSZAKRA  
(1961-1990)  
A CRU-ADATBÁZIS  
FELHASZNÁLÁSÁVAL**

# HŐMÉRSÉKLETI SZIMULÁCIÓK VERIFIKÁCIÓJA (°C), 1961-1990



- Az ALADIN túl hideg, a REMO inkább melegebb a tartomány nagy részén
- A RegCM és a PRECIS alulbecsli a hőmérsékletet a hegyvidéki területeken
- A PRECIS kis mértékben felülbecsli a Kárpát-medence hőmérsékletét

## ÁTLAGOS HŐMÉRSÉKLETI BECSLÉSI HIBA A CRU-ADATBÁZOSHOZ VISZONYÍTVA A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN, 1961-1990

RCM	PRECIS	REMO	RegCM	ALADIN
Éves	+0.9 °C	+2.0 °C	+0.1 °C	-1.1 °C
Tél (DJF)	+0.5 °C	+0.5 °C	+1.3 °C	-0.7 °C
Tavaszi (MAM)	+0.1 °C	+1.5 °C	-0.5 °C	-2.0 °C
Nyár (JJA)	+2.2 °C	+3.4 °C	-0.4 °C	-0.3 °C
Ősz (SON)	+0.9 °C	+2.5 °C	-0.2 °C	-1.6 °C

- A hőmérséklet szimulációja a RegCM esetén a legrealisztikusabb, kis felülbecsléssel (kis mértékű alulbecslés: MAM, JJA, SON, felülbecslés: DJF)
- Az ALADIN szimulációk alulbecslik a jelen hőmérsékleteket (a legnagyobb hibák: MAM és SON)
- PRECIS (kisebb mértékben) és REMO (nagyobb mértékben) felülbecslik a hőmérsékletet minden évszakban (a legnagyobb hibák: JJA)

# CSAPADÉKSZIMULÁCIÓK VERIFIKÁCIÓJA (%), 1961-1990

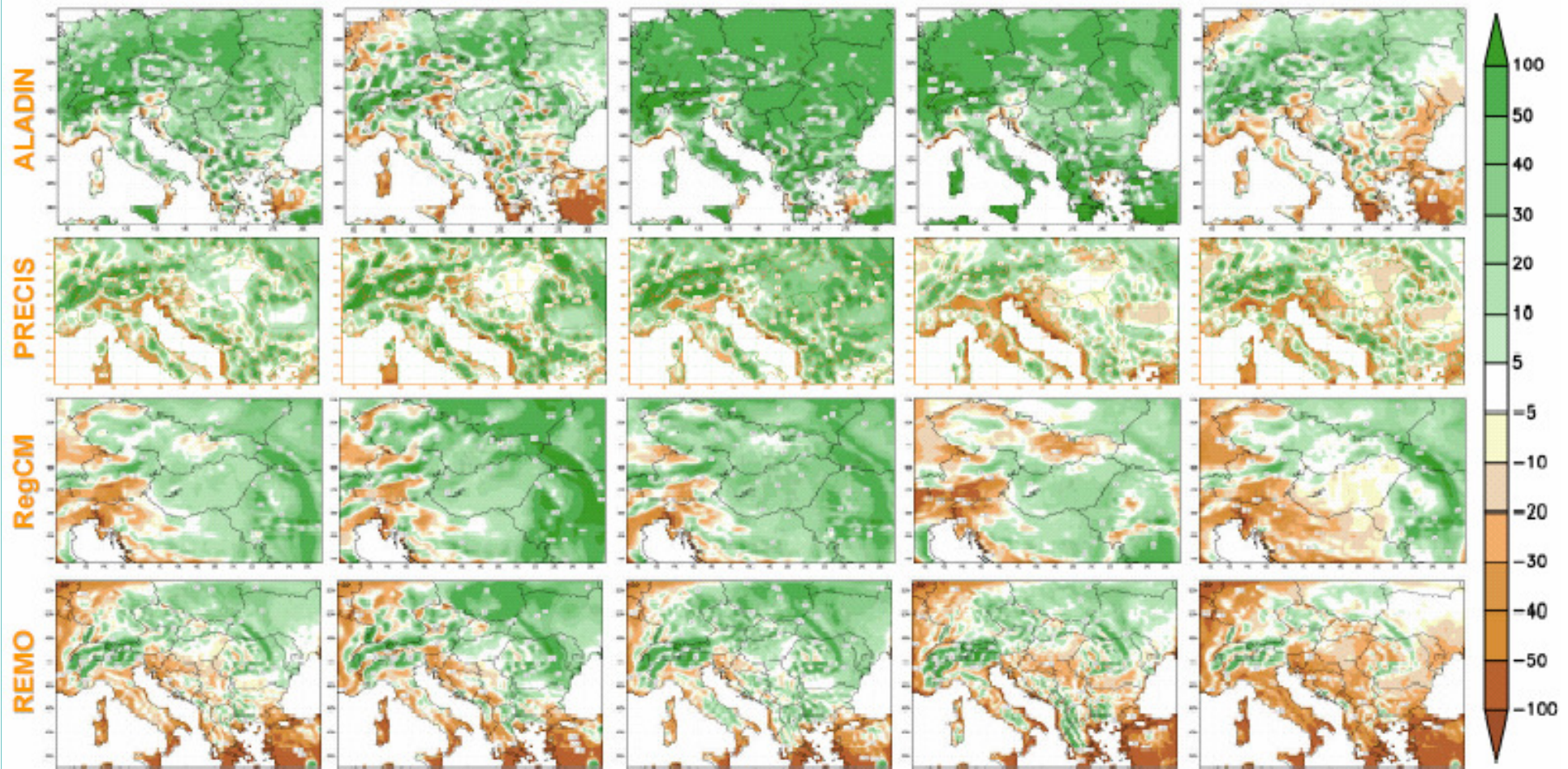
ÉVES

TÉL (DJF)

TAVASZ (MAM)

NYÁR (JJA)

ŐSZ (SON)



- ALADIN és RegCM felülbecsli a csapadékot
- PRECIS és REMO esetén felül- és alulbecslés is megjelenik az integrálási tartományon belül



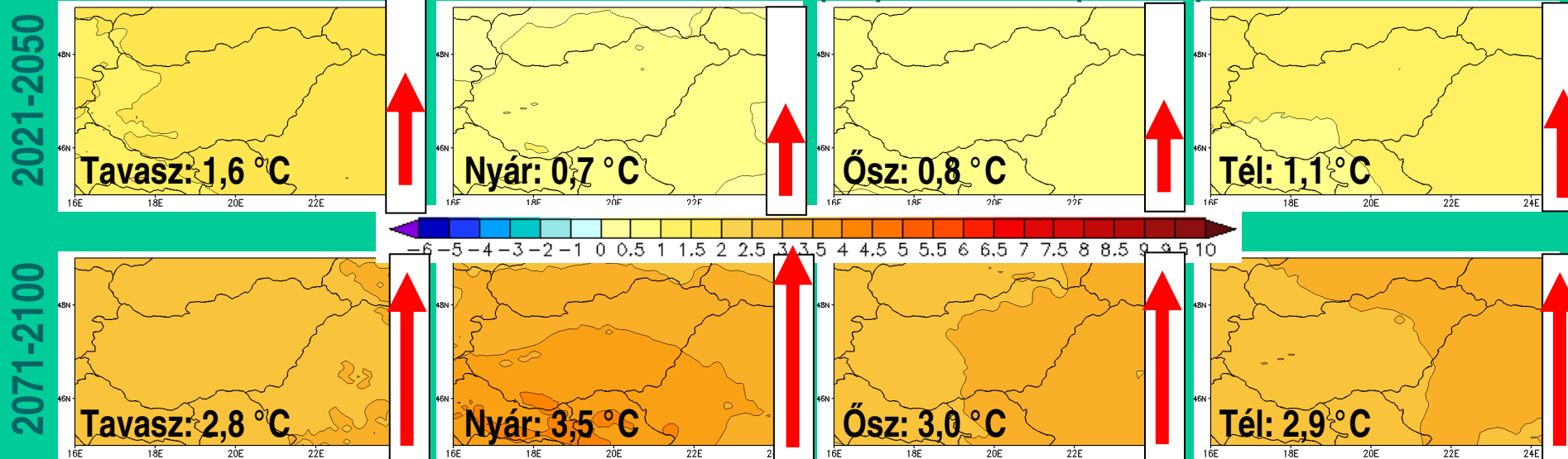
## ÁTLAGOS CSAPADÉKBECSLÉSI HIBA A CRU-ADATBÁZOSHOZ VISZONYÍTVA A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN, 1961-1990

RCM	PRECIS	REMO	RegCM	ALADIN
Éves	+4%	-2%	+17%	+31%
Tél (DJF)	+0%	+9%	+30%	+12%
Tavaszi (MAM)	+33%	+13%	+29%	+68%
Nyár (JJA)	-4%	-8%	+13%	+33%
Ősz (SON)	-7%	-18%	+0%	+8%

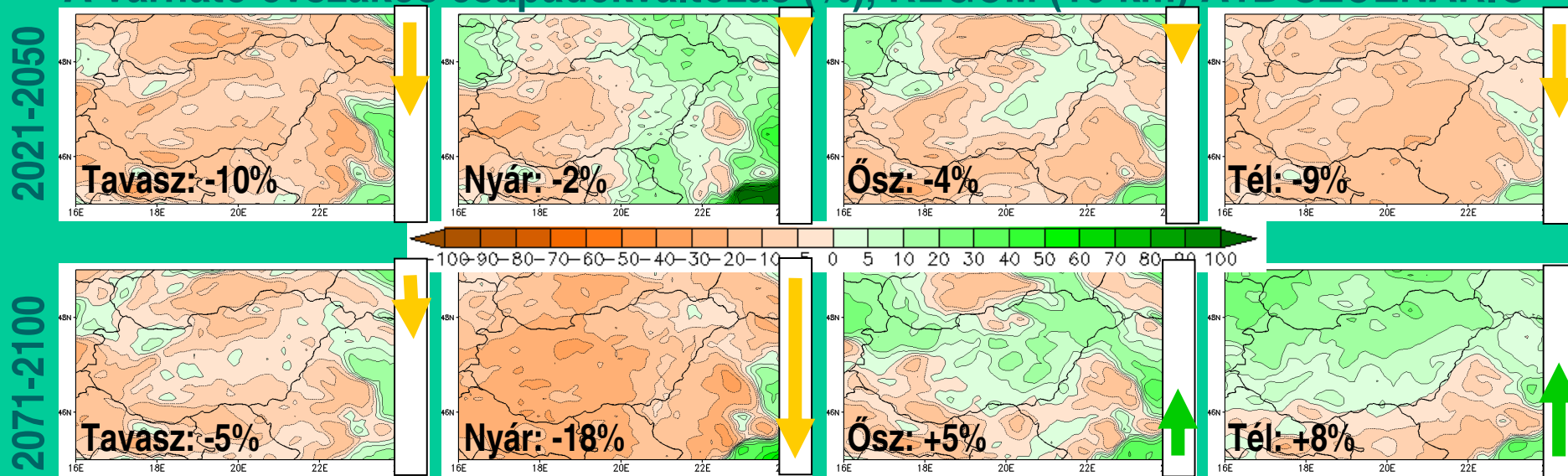
-- Éves átlagokban legkisebb eltérések: REMO és PRECIS  
(felülbecslés DJF és MAM -- alulbecslés JJA és SON)

-- ALADIN (erősebben) és RegCM (kisebb mértékben) minden évszakban felülbecsli a csapadékot (a legkisebb mértékben SON)

## A várható évszakos hőmérsékletváltozás (°C), REGCM (10 km) A1B SZCENÁRIÓ



## A várható évszakos csapadékváltozás (%), REGCM (10 km) A1B SZCENÁRIÓ

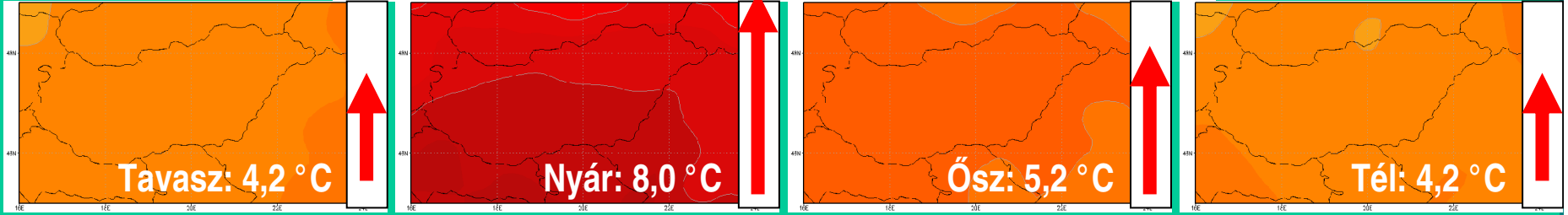
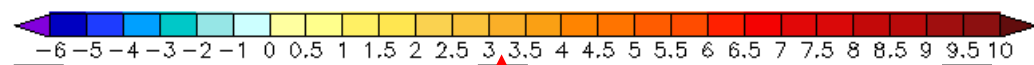
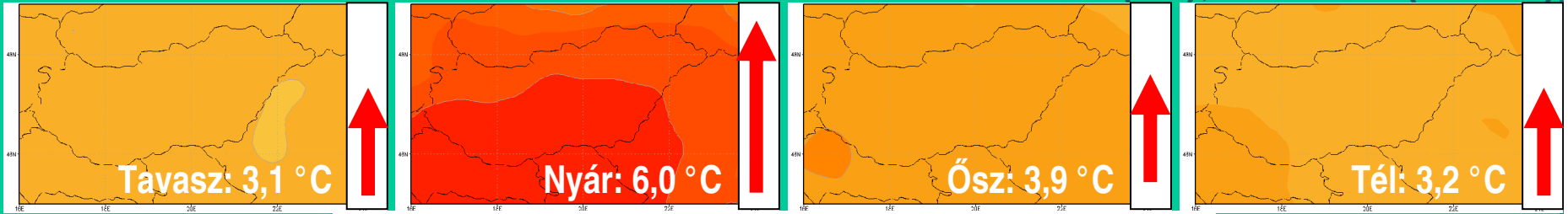


Várható változás mértéke

- Hőmérséklet: növekedés, legjelentősebb nyáron
- Csapadék: csökkenés (kicsi), jelentősebb nyáron, tél/növekedés

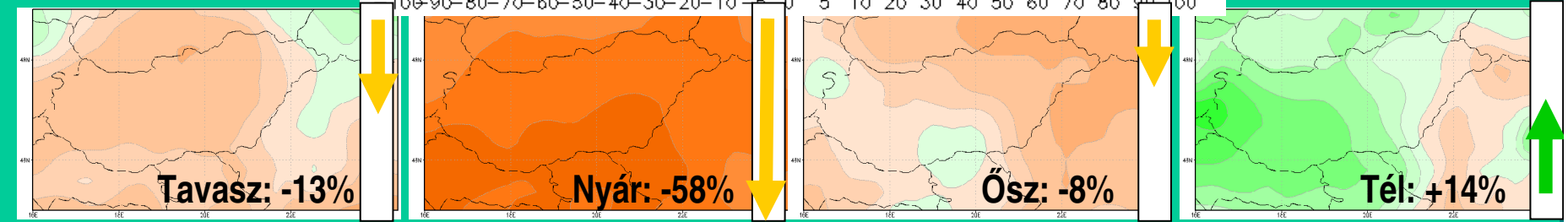
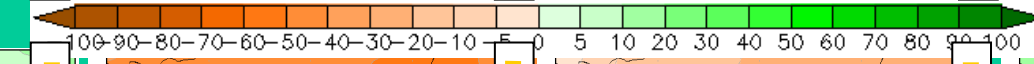
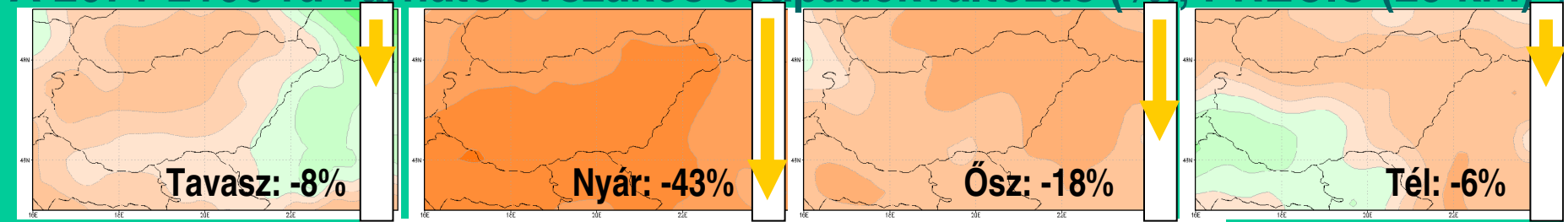
# A 2071-2100-ra várható évszakos hőmérsékletváltozás (°C), PRECIS (25 km)

B2 scenárió  
A2 scenárió



# A 2071-2100-ra várható évszakos csapadékváltozás (%), PRECIS (25 km)

B2 scenárió  
A2 scenárió



Várható változás mértéke → Hőmérséklet: növekedés, legjelentősebb nyáron  
 → Csapadék: csökkenés, legjelentősebb nyáron, tél/növekedés

# REGIONÁLIS ÉGHAJLATI SZCENÁRIÓK A XXI. SZÁZADRA (ELTE kutatások) (Korábban: Modelleredmények hiánya Most: BŐSÉG ZAVARA)

## RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ KLÍMABECSLÉSEK

Regionális modelleredmények  
(50 km)

PRUDENCE: EU5, 2001-2004  
21 intézet, 11 RCM, 70 szimuláció  
(30 éves időszakok)

## KLÍMADINAMIKAI REGIONÁLIS MODELLEZÉS

(Klímadinamikai program, OMSZ/ELTE -- 4 modell)

1. PRECIS (25 km)

(kifejlesztve: Hadley Centre, UK)

2. RegCM (10 km), (kifejlesztve: NCAR,  
jelenleg hozzáférhető ICTP)

## FOLYAMATBAN LÉVŐ VIZSGÁLATOK

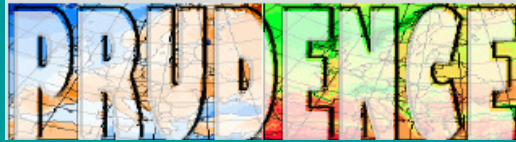
Regionális modelleredmények  
(25 km)

ENSEMBLES: EU6,  
2004-2009

79 intézet, 15 RCM,  
30 szimuláció  
(100, illetve 150 éves  
folytonos futtatás)

ASZÁLYINDEX elemzések  
modellszimulációk alapján  
2021-2050, 2071-2100

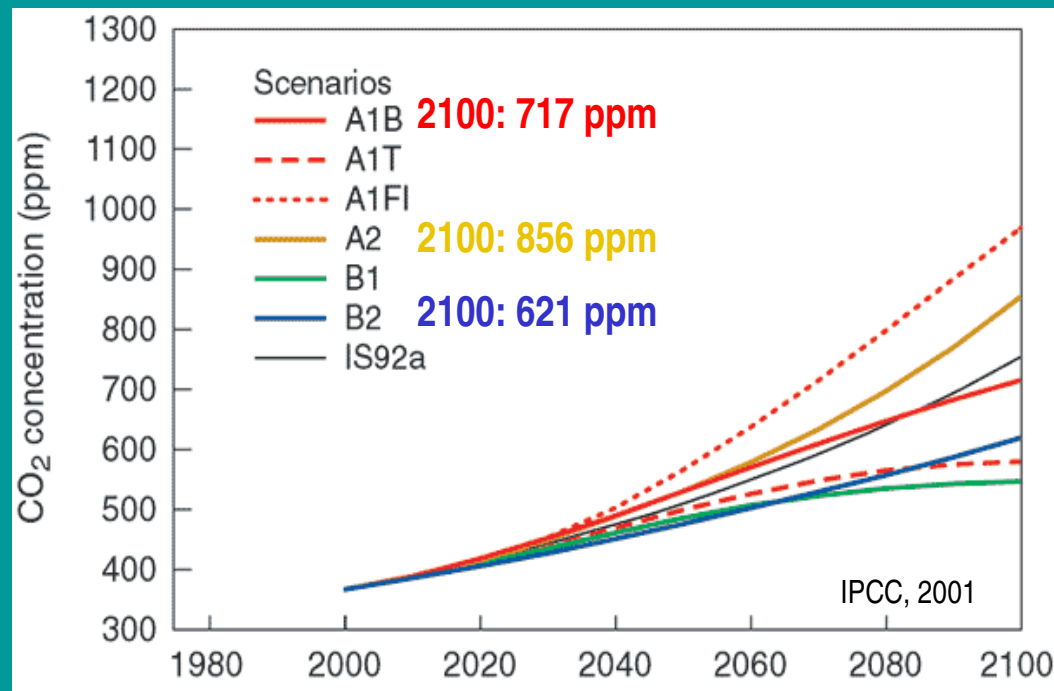
# A PRUDENCE ÉS AZ ENSEMBLE PROJEKTEK ÁLTAL ALKALMAZOTT EMISSZIÓ SZCENÁRIÓK



**A2, B2**

**ENSEMBLE**

**A1B**

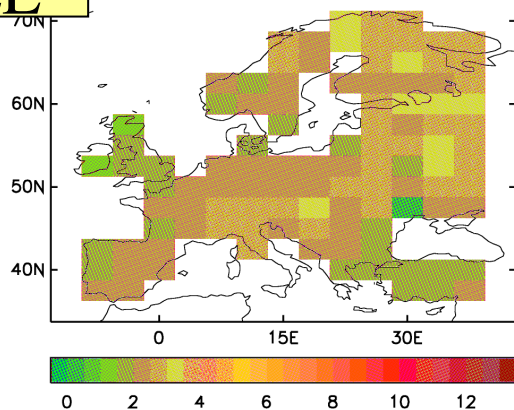


# Várható hőmérsékletváltozás 2080-2099-re, A1B scenárió

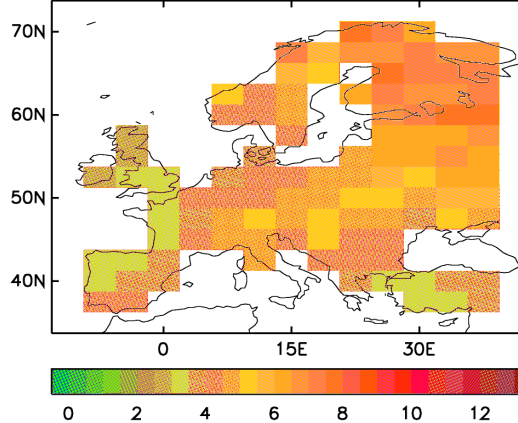
(Referencia időszak: 1961-1990)

**TÉL**

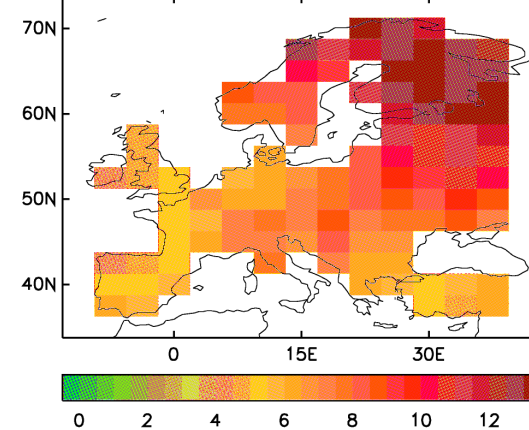
20802099,  $\Delta T_{1.5m}$  (°C), DJF, P=10%



20802099,  $\Delta T_{1.5m}$  (°C), DJF, P=50%

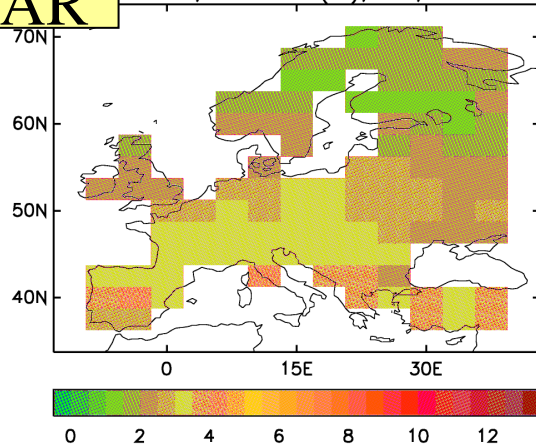


20802099,  $\Delta T_{1.5m}$  (°C), DJF, P=90%

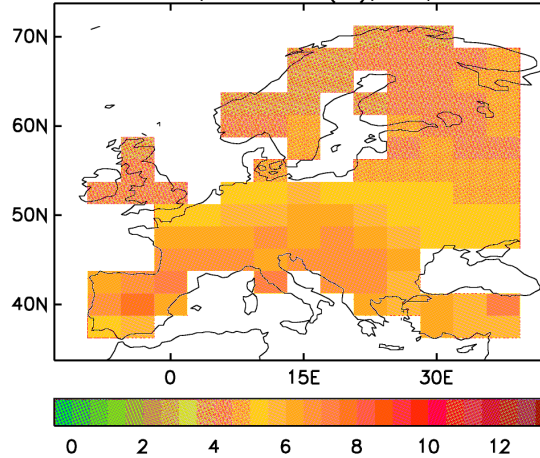


**NYÁR**

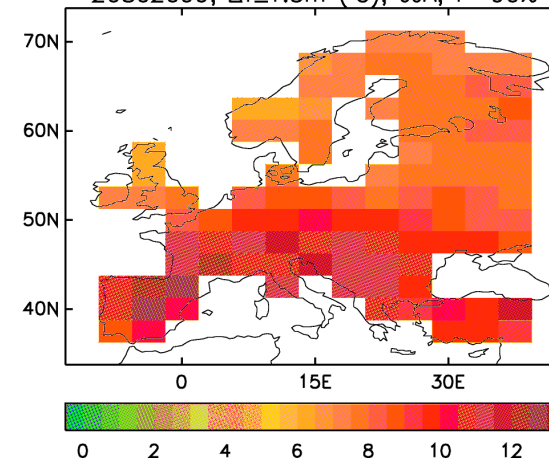
20802099,  $\Delta T_{1.5m}$  (°C), JJA, P=10%



20802099,  $\Delta T_{1.5m}$  (°C), JJA, P=50%



20802099,  $\Delta T_{1.5m}$  (°C), JJA, P=90%

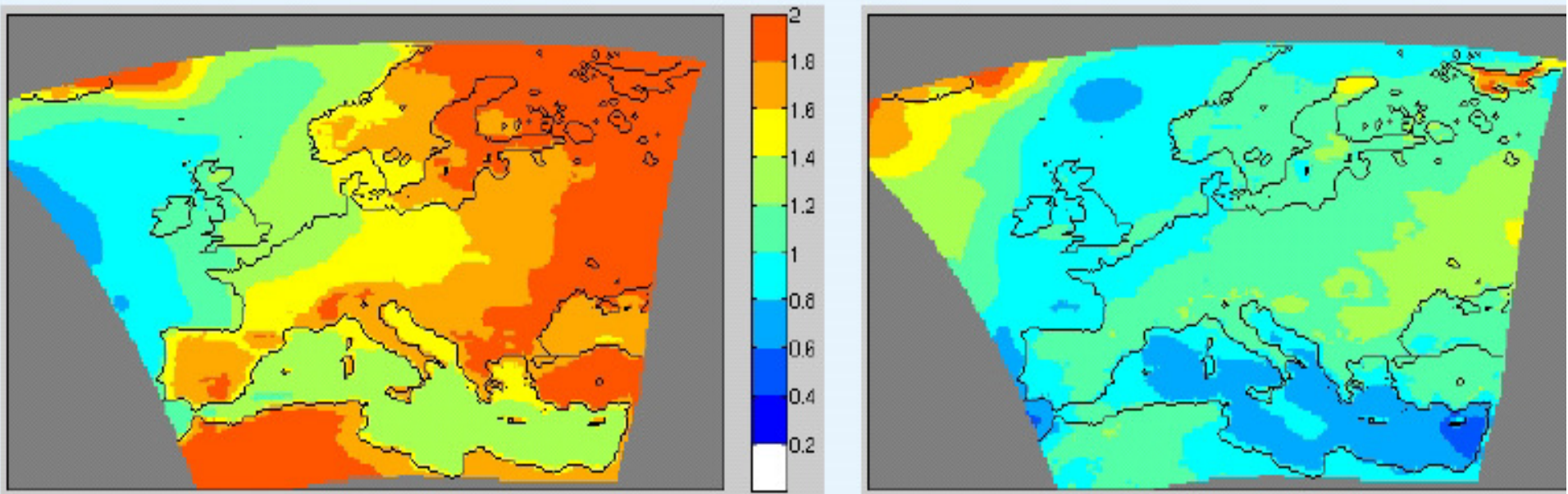


Alsó decilis

Medián

Felső decilis

Várható éves hőmérsékletváltozás (°C) 2021-2050-re,  
A1B scenárió,  
16 ENSEMBLES RCM alapján  
(Referencia időszak: 1961-1990)



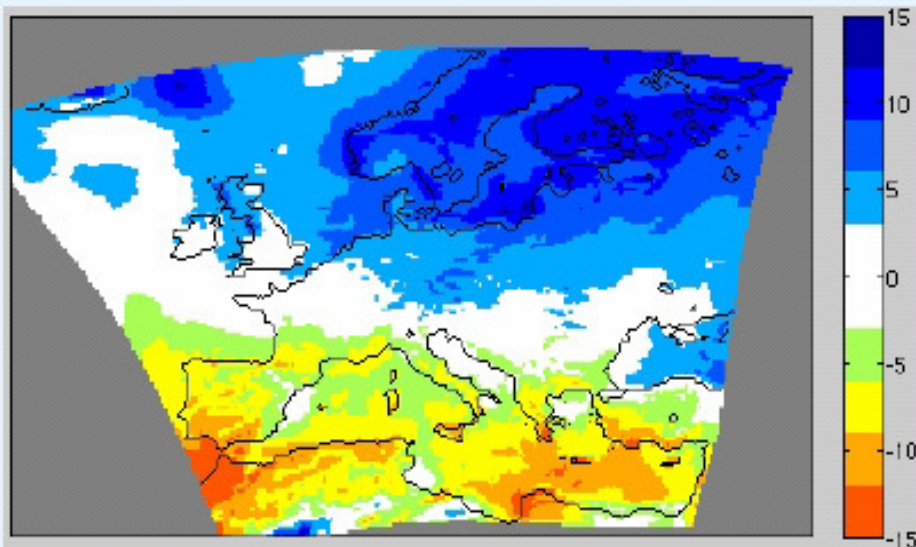
Éves hőmérsékletváltozás

Modellek közötti szórás

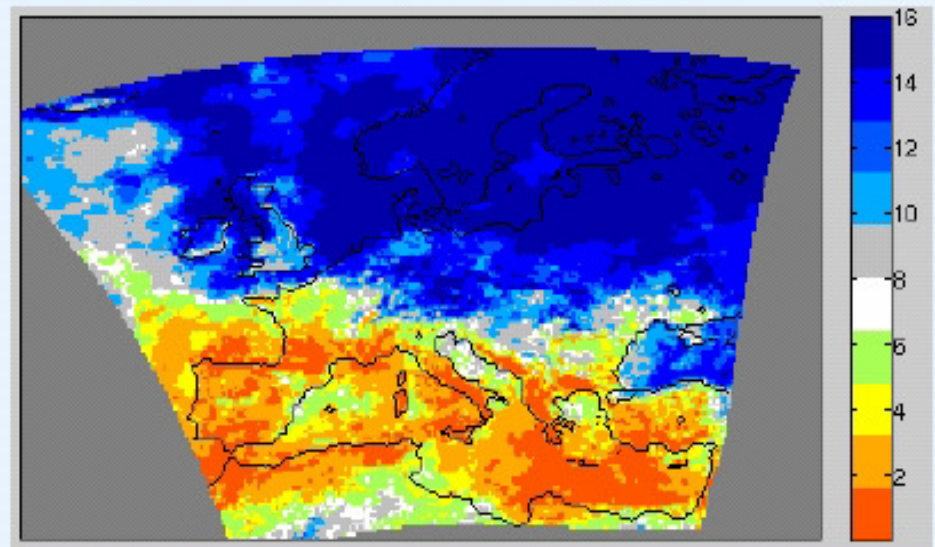
Kárpát-medence térsége: 1,4-1,6 °C ( $\pm 1$  °C)

Forrás: Philip Lorenz, MPI, Hamburg

# Várható éves csapadékváltozás (%) 2021-2050-re, A1B scenárió, 16 ENSEMBLES RCM alapján (Referencia időszak: 1961-1990)



Éves csapadékváltozás (%)



Csapadéknövekedést  
jelző modellek száma

**Kárpát-medence térsége: 0 – 5%**

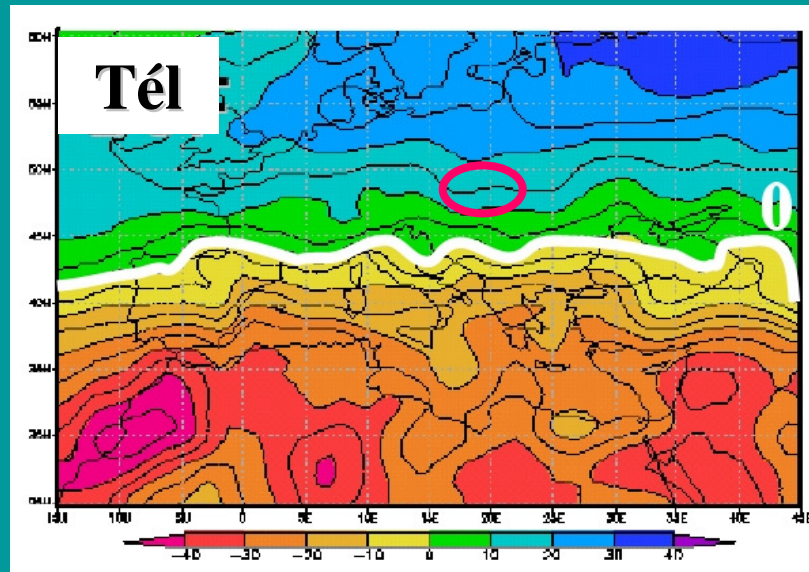
Forrás: Philip Lorenz, MPI, Hamburg



# VÁRHATÓ CSAPADÉKVÁLTOZÁS 2071-2100-RA, A1B SZCENÁRIÓ (Giorgi és Lionello, 2008) ENSEMBLES 2004-2009

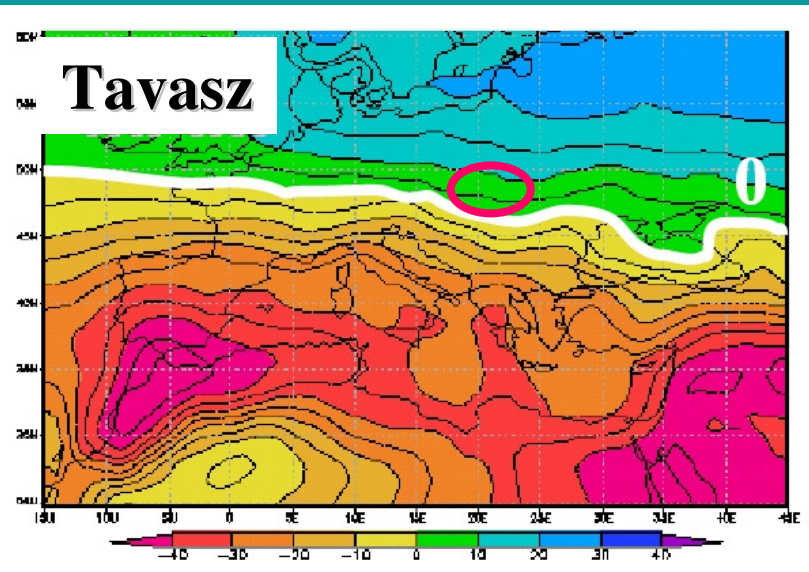
+

15 - 20%



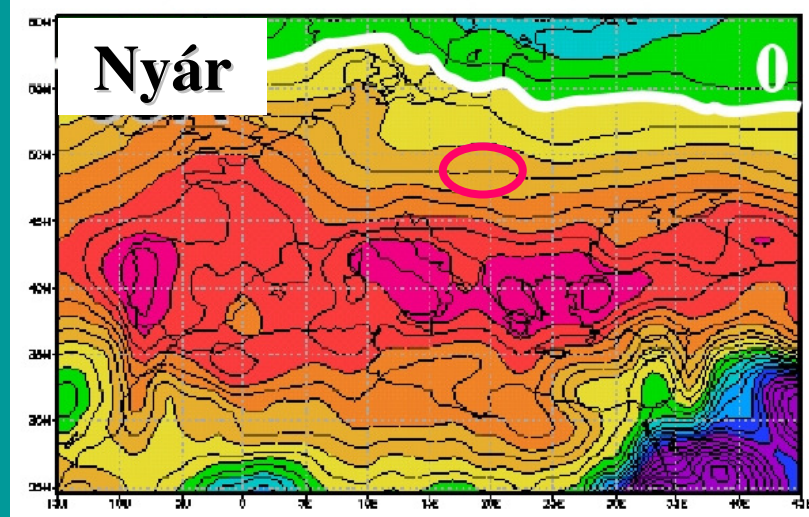
-

5 - 10%



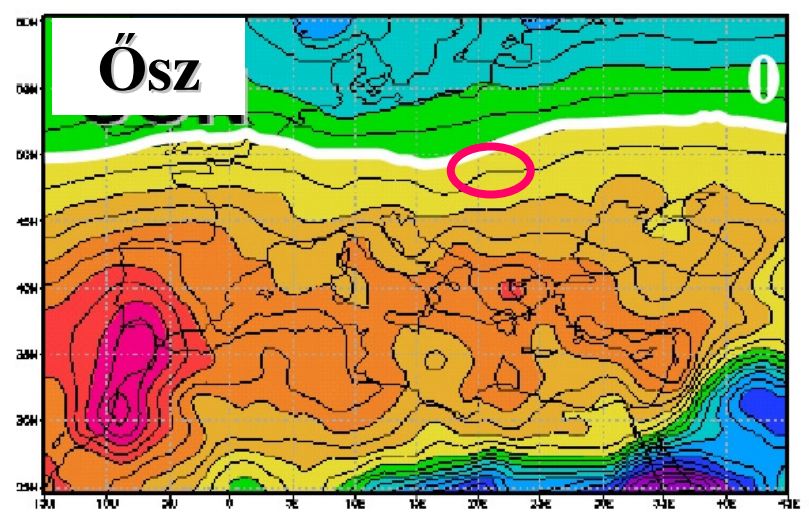
-

(-15) - (-20)%



+

(-5) - (-10)%



# MIT MONDANAK A REGIONÁLIS (50, 25, 10 km) KLÍMAMODELLEK MAGYARORSZÁG TERÜLETÉRE?

## ⇒ HŐMÉRSÉKLET

FOLYTATÓDIK A MELEGEDÉS:  
VÁRHATÓAN A LEGNAGYOBB MÉRTÉKBEN NYÁRON

## ⇒ CSAPADÉK

TÉLEN TÖBB CSAPADÉKRA SZÁMÍTHATUNK  
A NYÁR VÁRHATÓAN SZÁRAZABBÁ VÁLIK

## ⇒ EXTRÉM INDEXEK

AZ IDŐJÁRÁS A MODELLBECSLÉSEK  
ALAPJÁN EXTRÉMEBBÉ VÁLIK

STRATÉGIAI FONTOSSÁGÚ A KÁRPÁT-MEDENCE TÉRSÉGÉRE  
ÉGHAJLATI FORGATÓKÖNYVEK KÉSZÍTÉSE  
FINOM FELBONTÁSÚ (10-25 km) DINAMIKAI MODELLEKKEL