

# A 21. században várható éghajlati változások Magyarországon

Szépszó Gabriella  
Modellezési Osztály



# Tartalom

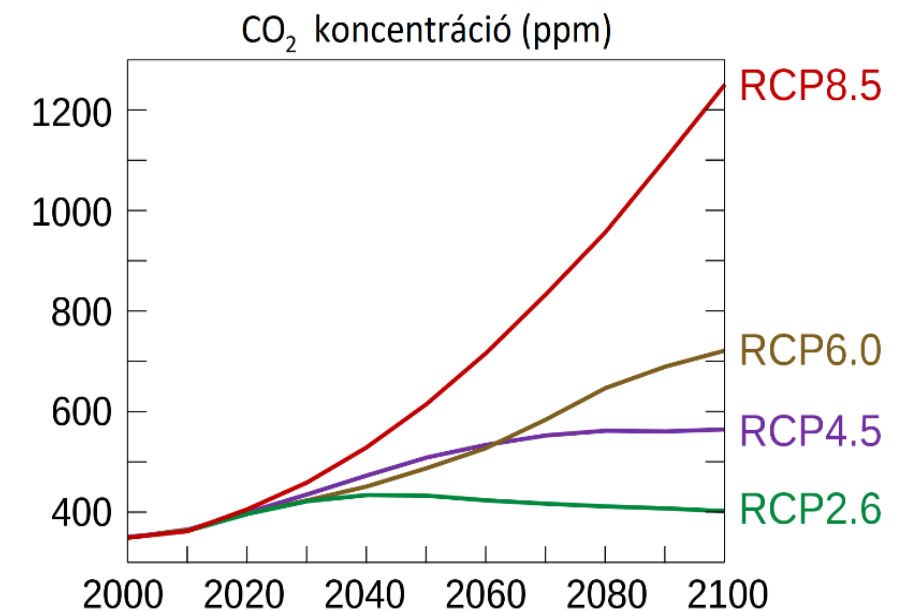
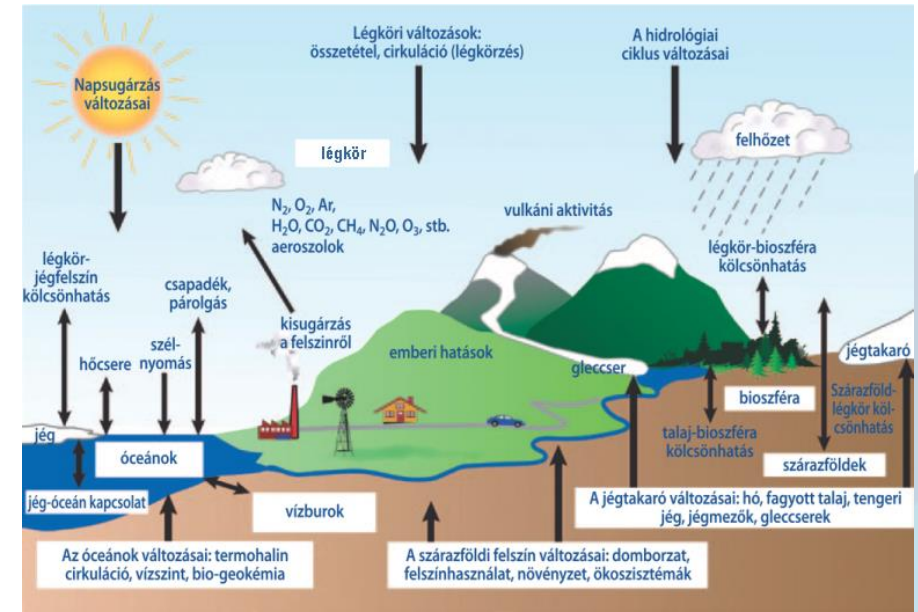
1. A klímamodellezéstől a hatások vizsgálatáig
2. Éghajlatváltozás és energetika
3. Magyarországi változások

# Tartalom

- 1. A klímamodellezéstől a hatások vizsgálatáig**
- 2. Éghajlatváltozás és energetika**
- 3. Magyarországi változások**

# Éghajlati modellezés

- Cél: számszerű információ a **várható éghajlatváltozásról**
- Éghajlati jellemzők vizsgálata **több évtizedes** időszakokon
- Forgatókönyvek az **emberi tevékenység** alakulására → **projekciók**
- A fizikai és antropogén folyamatok leírásából eredő **bizonytalanság számszerűsítése** több modell és forgatókönyv használatával
- **Regionális modellek** a részletek feltárására

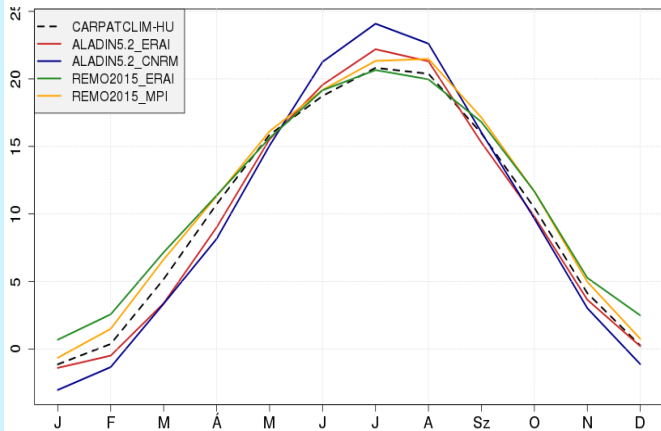


# A klímamodellezés lépései

## VALIDÁCIÓ

Modell szimuláció a múltra,  
összehasonlítás mérésekkel

Havi átlaghőmérséklet (°C)  
Magyarország, 1981–2000

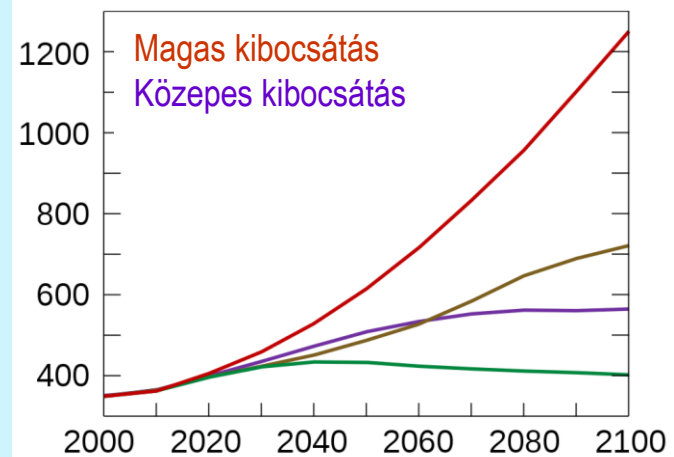


© Bán et al., 2021

## PROJEKCIÓ

Jövőre vonatkozó  
modell szimuláció

CO<sub>2</sub> koncentráció (ppm)

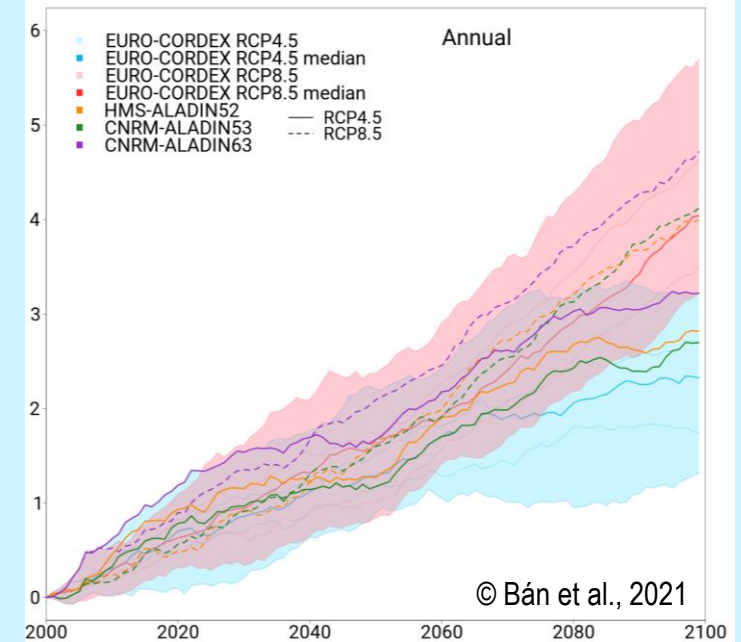


© IPCC

## UTÓ-FELDOLGOZÁS

Speciális paraméterek számítása,  
bizonytalanság becslése,  
**projekciók néhány évtizedre**

Éves átlaghőmérséklet változás (°C)  
Magyarország, referencia: 1981–2000



© Bán et al., 2021

# Klíma modellezés az OMSZ-ban

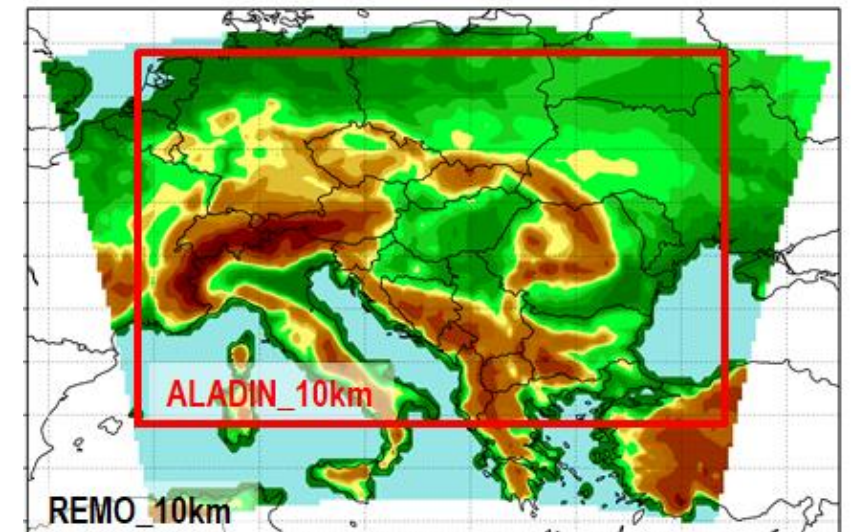
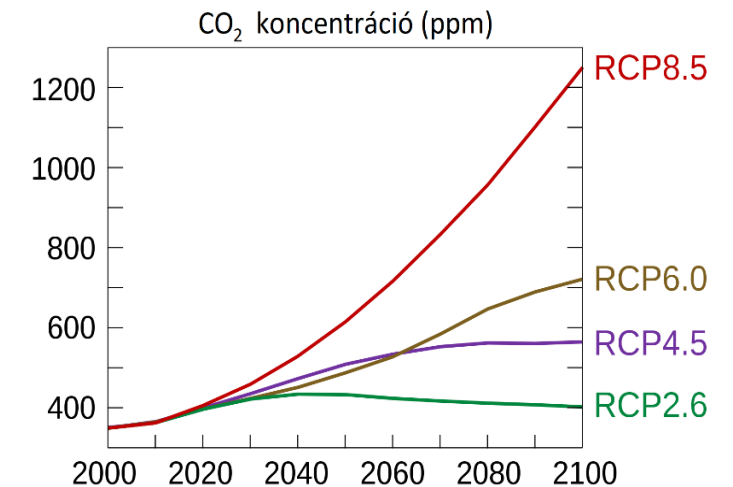
- 2100-ig szóló kísérletek 2 regionális klímamodellel (RCM) és 2 forgatókönyvvel

Modell	Felbontás	Forgatókönyv
ALADIN	10 km	RCP4.5, RCP8.5
REMO	10 km	RCP4.5, RCP8.5

- Európai (EURO-CORDEX) modelleredmények feldolgozása: 2x12 modellszimuláció kiválasztása
- 10 km-es felbontás
- 3-6-24 óránkénti outputok
- Kiemelt időszakok:

Validáció: 1971/1981–2000

Projekció: 2021–2050 → 2041–2070, 2071–2100



# Hatásvizsgálatok szempontjai, módszertana

- Szükséges meteorológiai paraméterek kiválasztása
- Modellszimulációk (időszak, forgatókönyv stb.) kiválasztása
- Bizonytalanságok (modellhibák, szignifikancia stb.) figyelembevétele
- Információk kinyerése az adatokból



# Tartalom

1. A klímamodellezéstől a hatások vizsgálatáig
2. Éghajlatváltozás és energetika
3. Magyarországi változások



# Fókuszban: az energetika

Milyen energetikával kapcsolatos területeket érinthet az éghajlatváltozás?

Például: energia-ellátás



**Milyen meteorológiai viszonyok érdekesek?**

Például: hőhullámok, fagyos napok, aszály



**Milyen meteorológiai változók adnak információt?**

Például: átlaghőmérséklet, hőhullámos napok, havi csapadékösszeg, száraz időszakok hossza



# Eredmények felhasználása

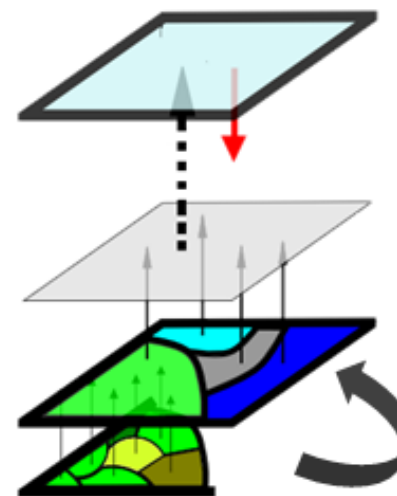
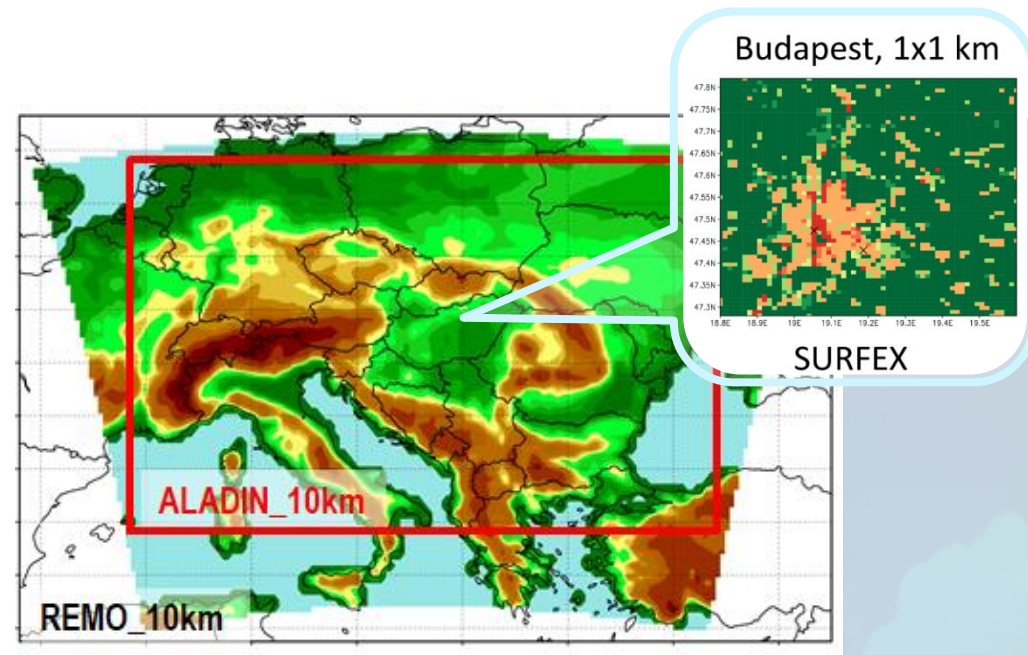
Függ a feladattól, hogyan érdemes a modellszimulációkat összeválogatni:

- **Dinamikus hatásvizsgálati modell** használata  
(pl. városi modellezés a városi viszonyok vizsgálatára)
  - Meteorológiai változók közötti kapcsolat (konzisztencia)
  - Napi vagy részletesebb adatok hosszú időszora
  - Hatásvizsgálati modellezés reprezentatív szimulációkkal
- **Egyszerűbb hatásvizsgálat, tervezés vagy döntéshozatal**  
(pl. Paksi Atomerőmű hűtése a Duna vízével)
  - Fizikai konzisztencia kevésbé fontos → korrigált eredmények, változások
  - Modelleredmények többévtizedes statisztikai jellemzői nagyobb együttes alapján
  - Pl. mi a valószínűsége, hogy 2060-ra 1 °C-kal növekszik a hőmérséklet, hogyan hat ez az extrém hőmérsékletekre?



# Városi hatások vizsgálata

- A klímaváltozás és a felszínváltozás hatásai a hazai nagyvárosokban (Budapesten, Szegeden)
- 1 km-es felbontású modellkísérletek a **SURFEX felszíni modellel** – légköri információk az ALADIN és a REMO klímamodellekből az 1971–2100 időszakra
- **Érzékenységi vizsgálatok** a felszín, a vegetáció és egyéb paraméterek módosításának hatására



Nagyskálájú jellemzők  
légköri modellekből:  
 $T, q, u, v, p_s, P, rad$

Cellára átlagolt hő, víz  
és momentum fluxus

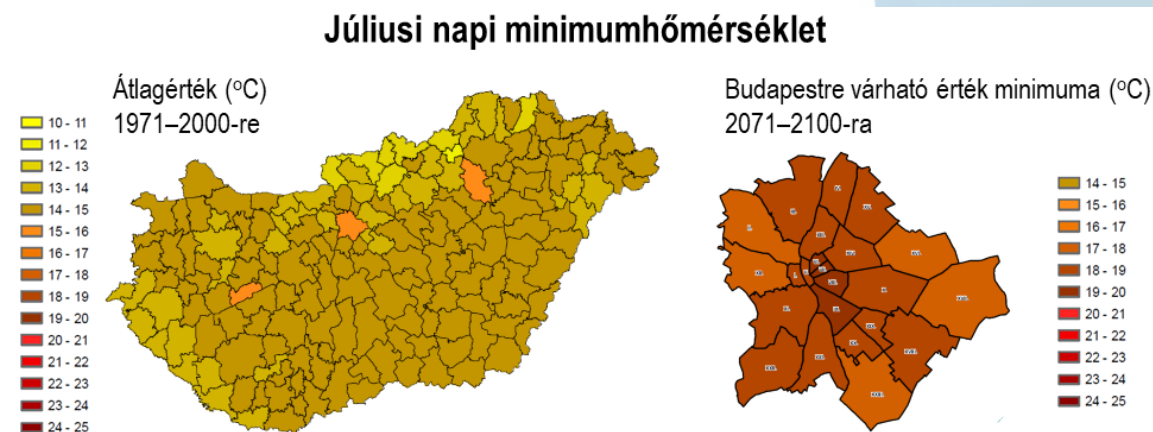
A cellán belüli felszíntípusok  
arányában a turbulens  
fluxusok kiszámítása

Felszíni jellemzők egy felszíni adatbázisból

# KLIMADAT alkalmazás – [klimadat.met.hu](http://klimadat.met.hu)

- Információk a **magyarországi** hőmérsékleti és csapadék változásokról
- **Mérések + modelleredmények**
- Időszak: 1971–2100
- Regionális és városi információk, különböző lehatárolások
- Offline számítások (indikátorok, korrekció stb.) és ArcGIS térinformatikai alap (GDİ/ESRI)
- Projekciós bizonytalanság számszerűsítése
- Letölthető térképek és információk
- Kiszorgálandó igények: éghajlati hatásvizsgálatok, stratégia alkotás, ismeretterjesztés, média, egyéni érdeklődés
- Folyamatos bővítés

Modell	Felbontás	Forgatókönyv	Terület
ALADIN	10 km	RCP4.5, RCP8.5	Kelet-Közép-Európa
REMO	10 km	RCP4.5, RCP8.5	Kelet-Közép-Európa
SURFEX	1 km	RCP4.5, RCP8.5	Budapest, Szeged

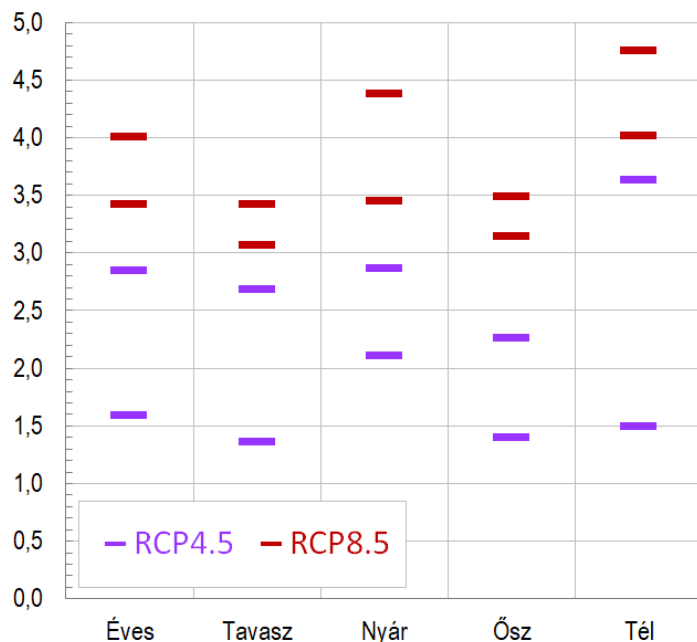


# Tartalom

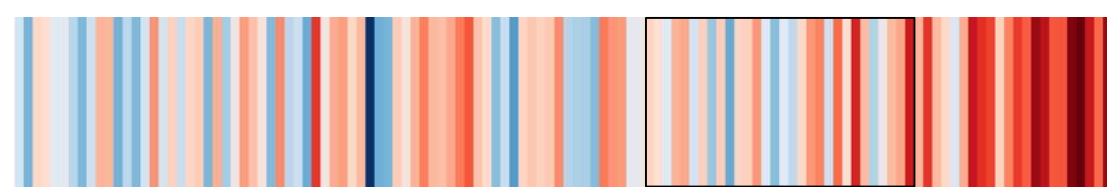
1. A klímamodellezéstől a hatások vizsgálatáig
2. Éghajlatváltozás és energetika
3. Magyarországi változások

# Hőmérsékletváltozás

Magyarországi átlaghőmérséklet változás (°C)  
1971–2000-től 2071–2100-ig



- Nagyobb kibocsátás → nagyobb melegedés
- Az északi tájakon akár 5 fokos melegedés

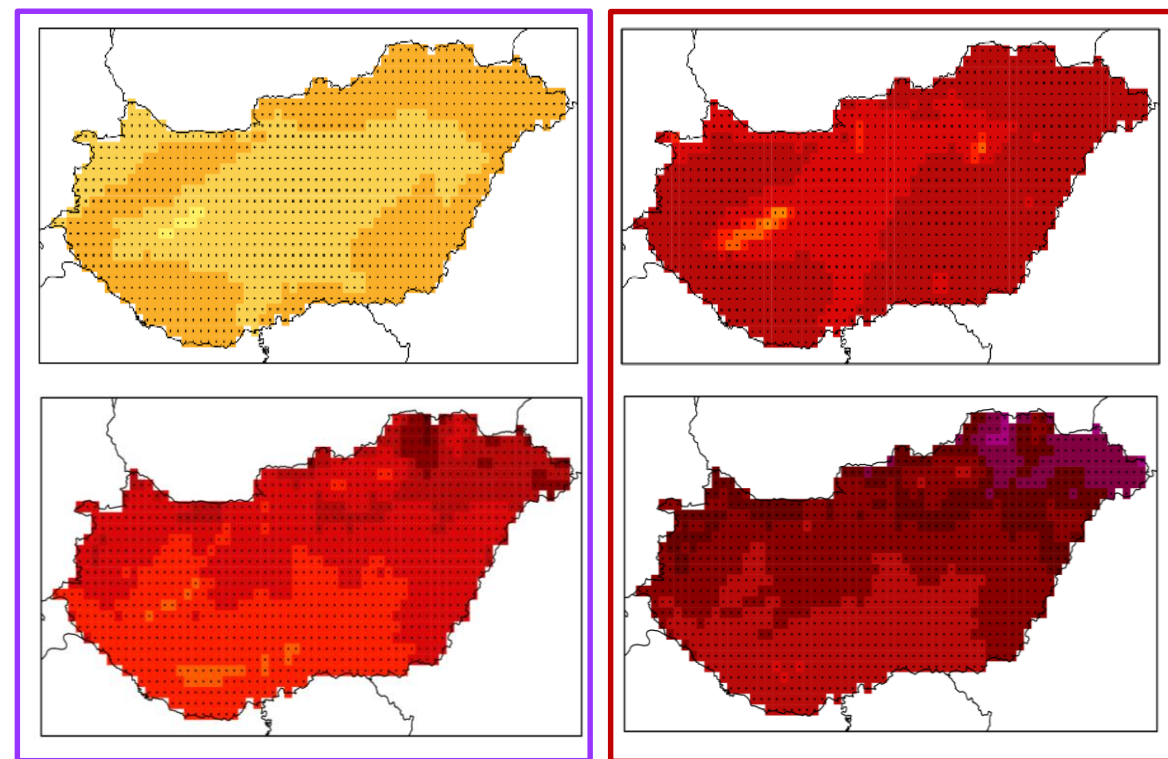


1971–2000

Téli átlaghőmérséklet változása (°C)  
1971–2000-től 2071–2100-ig

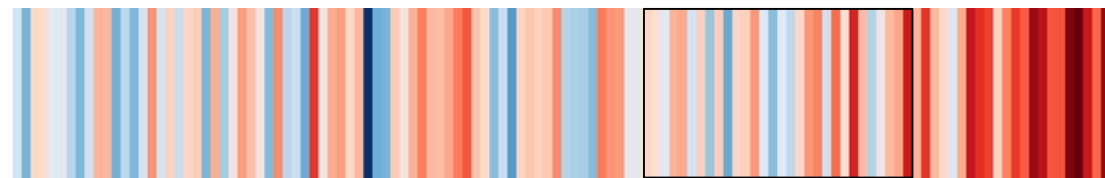
RCP4.5

RCP8.5



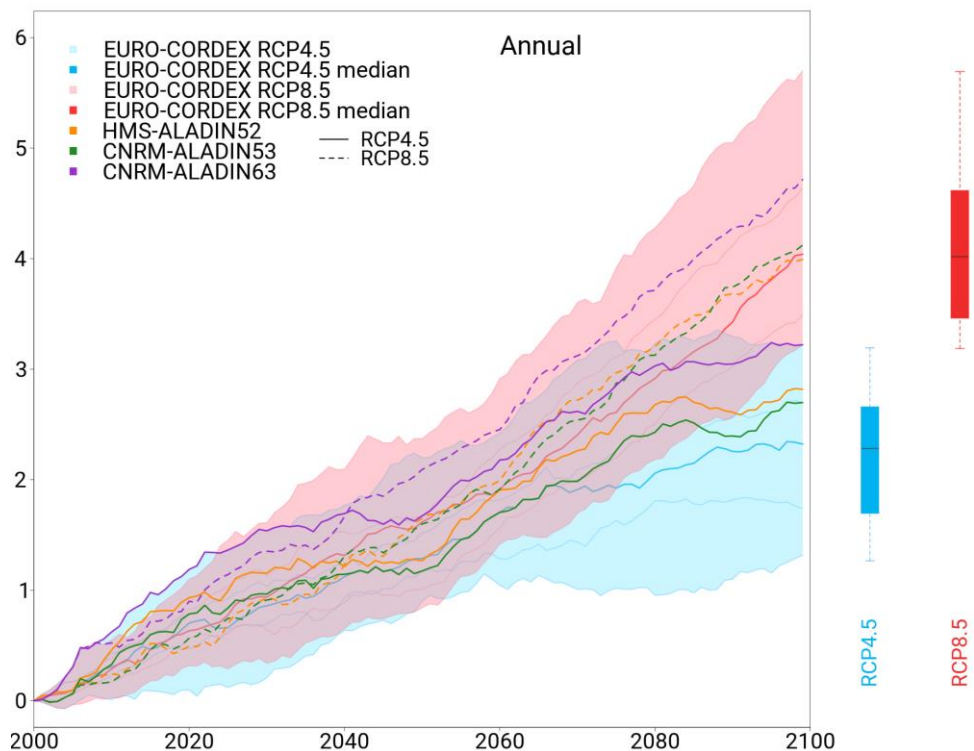
© Megyeri-Korotaj et al., 2022

# Hőmérsékletváltozás



1971–2000

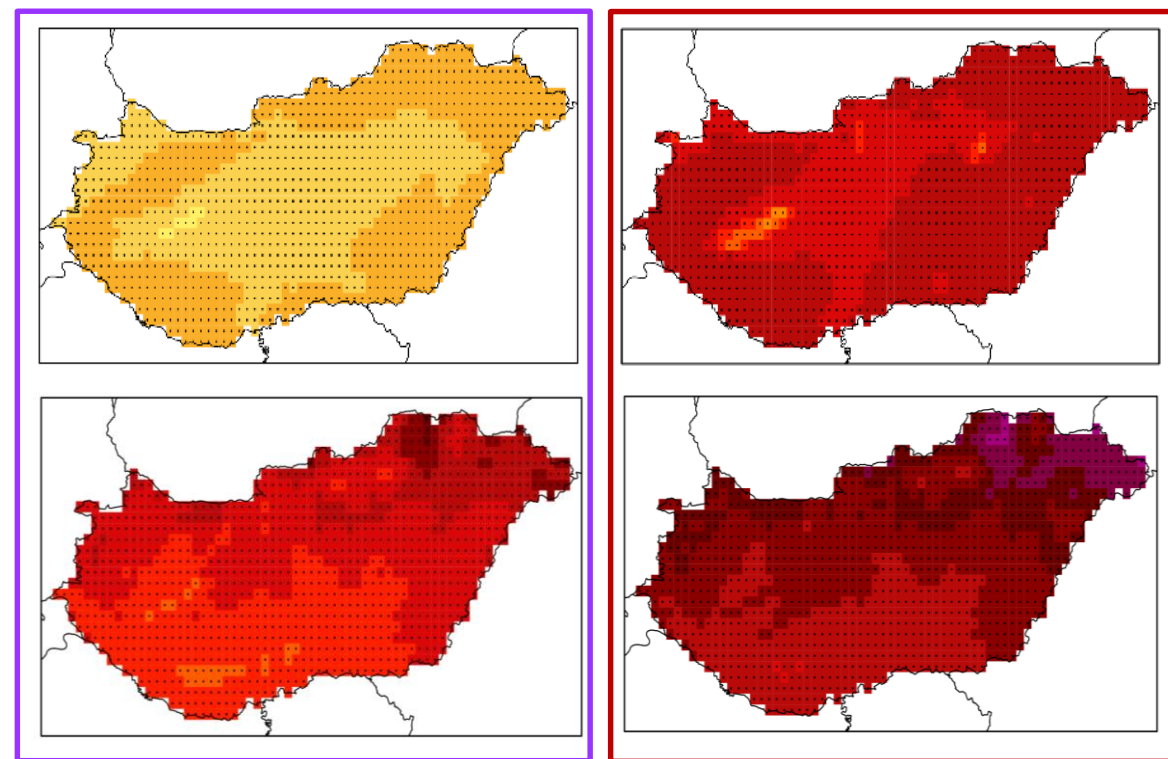
Magyarországi átlaghőmérséklet változás (°C)  
1971–2000-től 2071–2100-ig



Téli átlaghőmérséklet változása (°C)  
1971–2000-től 2071–2100-ig

RCP4.5

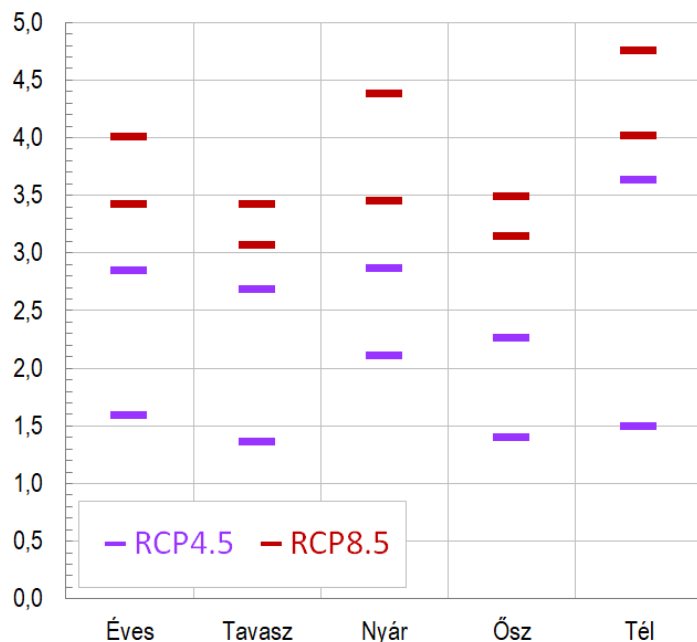
RCP8.5



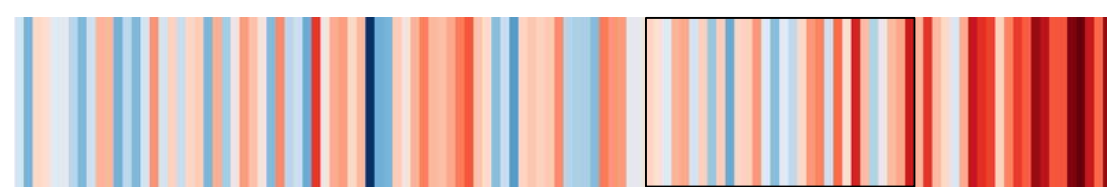
- Nagyobb kibocsátás → nagyobb melegedés
- Az északi tájakon akár 5 fokos melegedés

# Hőmérsékletváltozás

Magyarországi átlaghőmérséklet változás (°C)  
1971–2000-től 2071–2100-ig



- Nagyobb kibocsátás → nagyobb melegedés
- Az északi tájakon akár 5 fokos melegedés

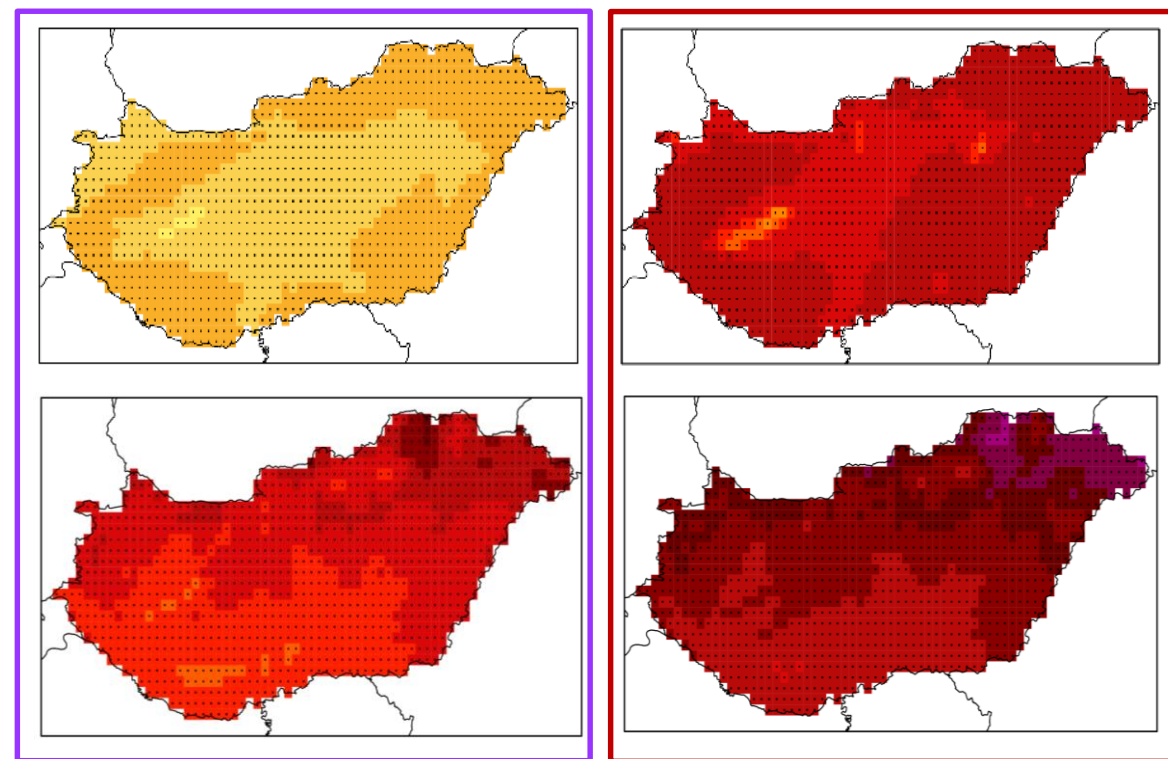


1971–2000

Téli átlaghőmérséklet változása (°C)  
1971–2000-től 2071–2100-ig

RCP4.5

RCP8.5



© Megyeri-Korotaj et al., 2022

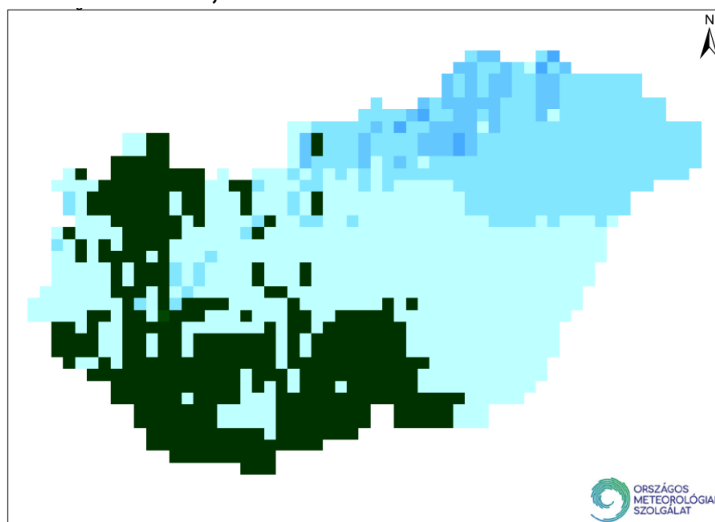


# Januári átlaghőmérséklet (°C)

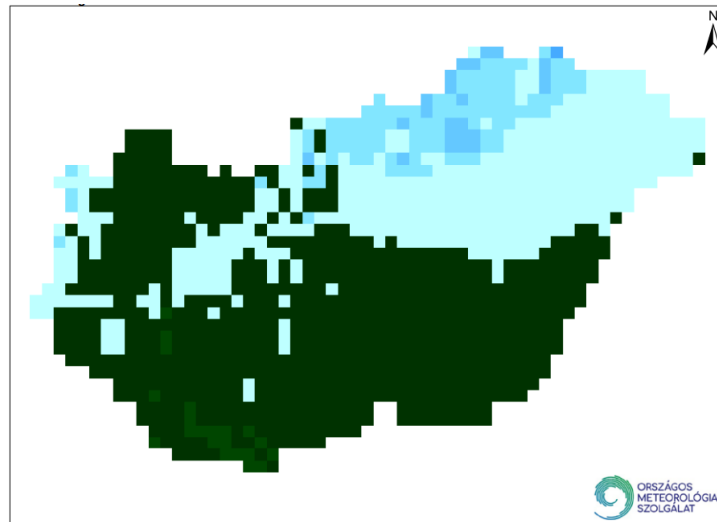
1971–2000, mérés



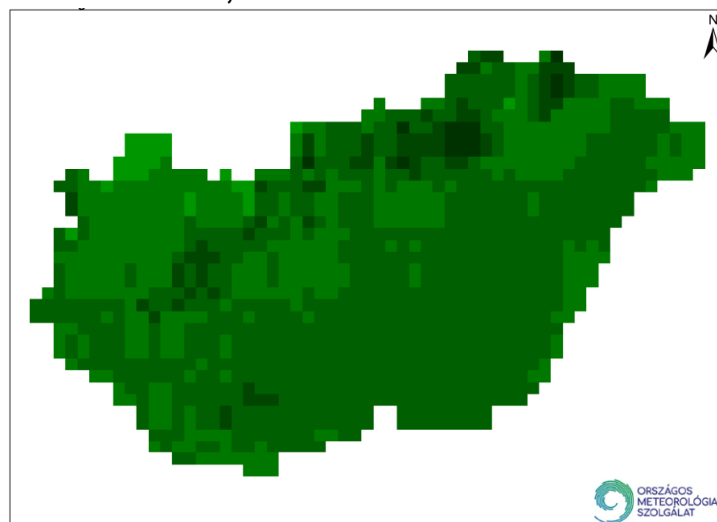
1991–2020, mérés



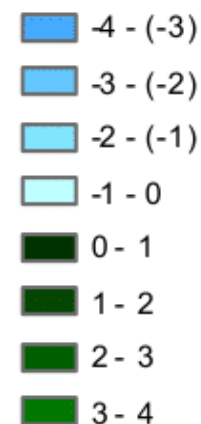
2041–2070, 4 modellkísérlet minimuma



2041–2070, 4 modellkísérlet maximuma



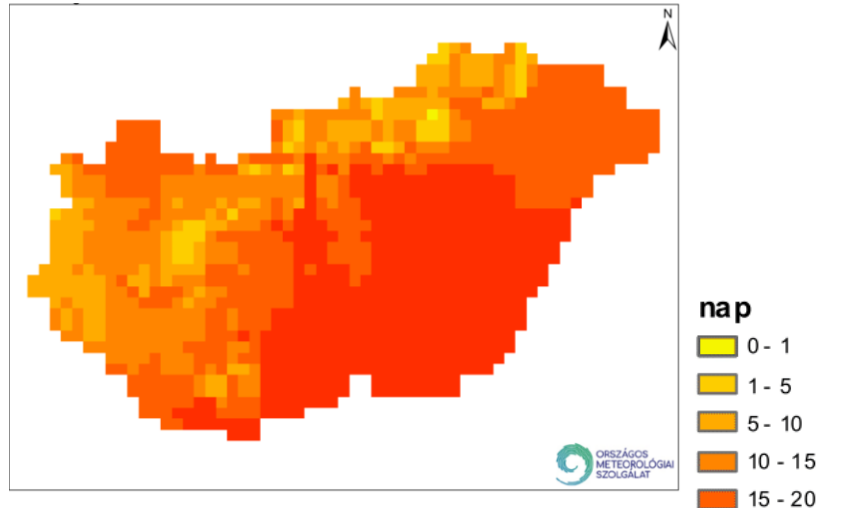
- Január átlagosan a leghidegebb hónap
- 0 °C felett az ország jelentős részén
- Hamarosan még északon is eltűnhetnek a fagypont alatti átlaghőmérsékletű területek



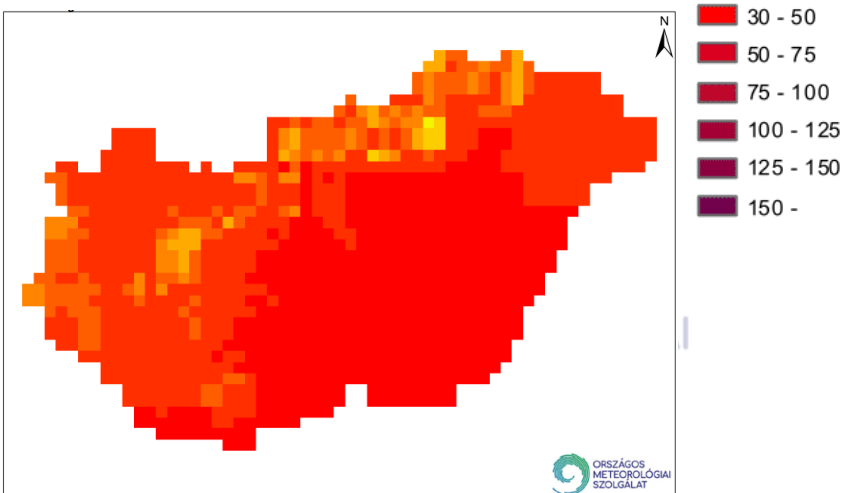
# Hőségnapok előfordulása

Hőségnap:  $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$

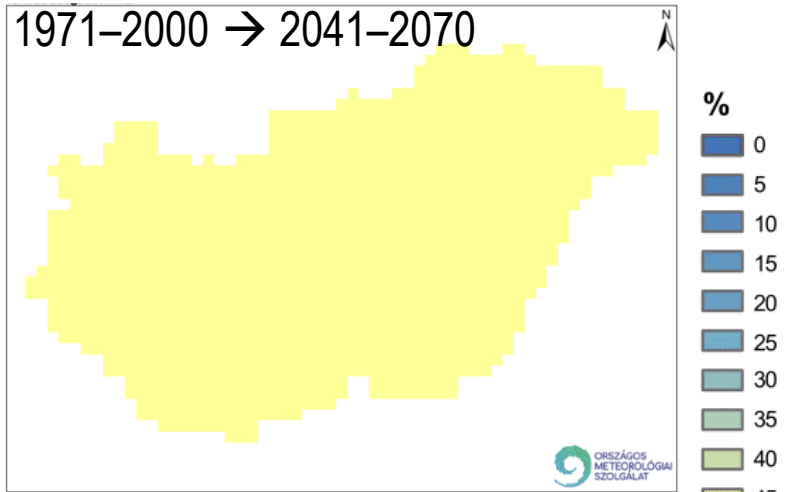
1971–2000, mérés



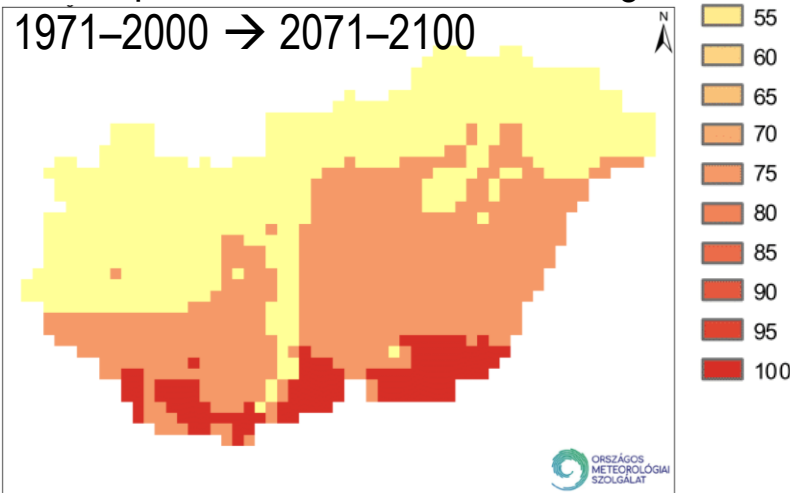
1991–2020, mérés



>10 napos növekedés valószínűsége

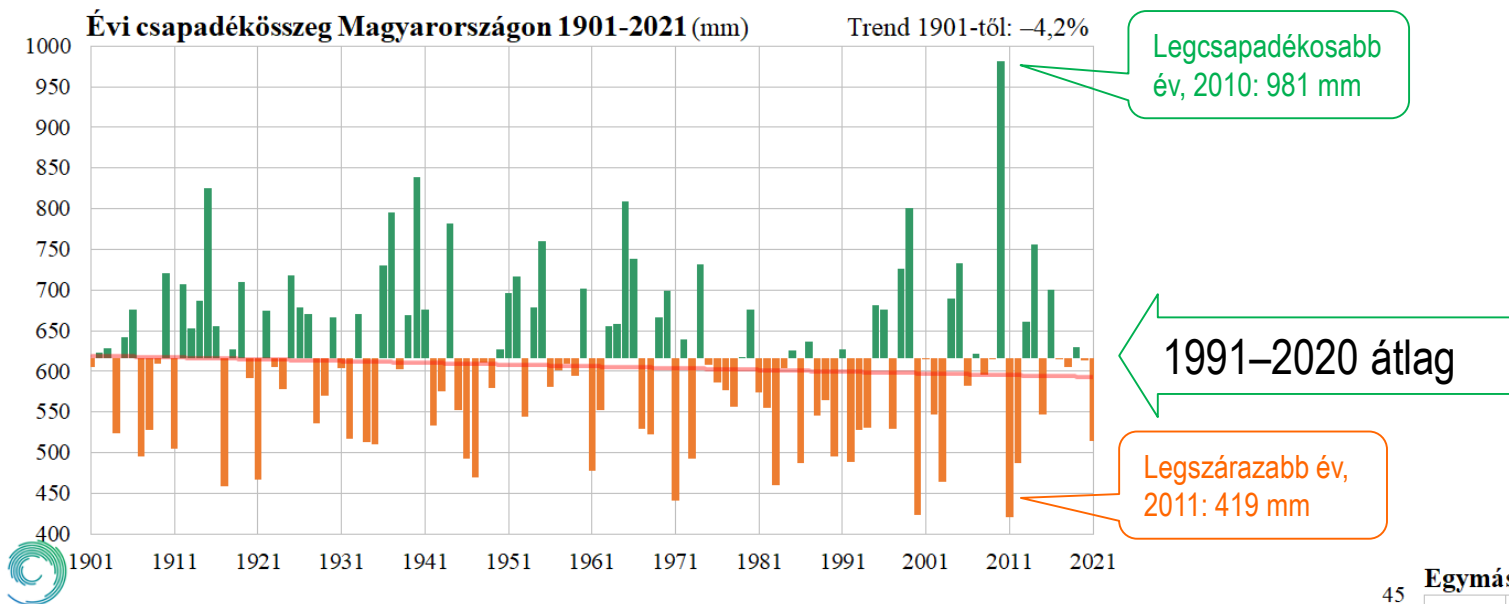


>10 napos növekedés valószínűsége



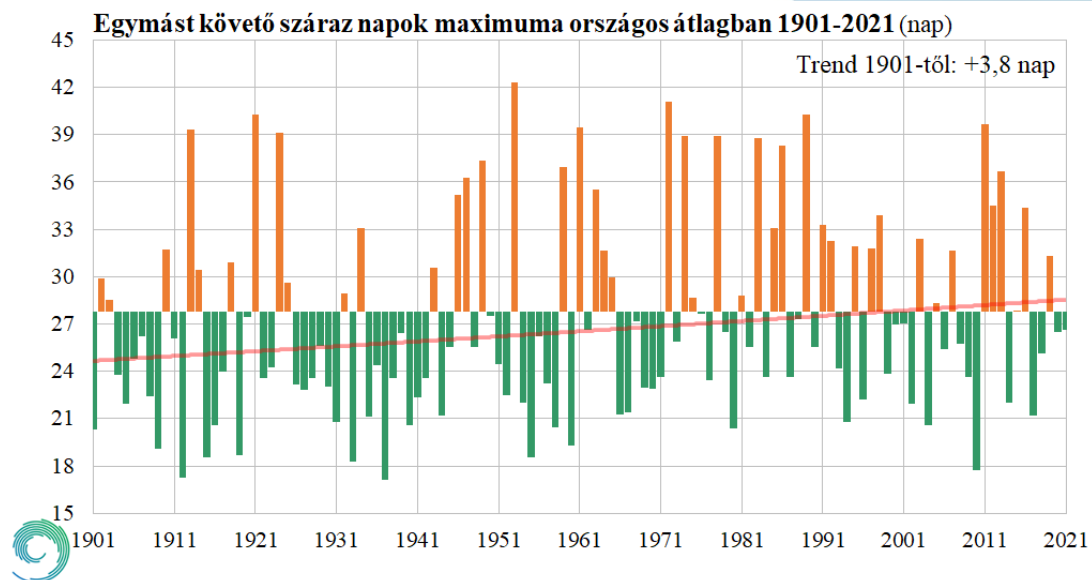
- Alföld területén 20-40 nap
- Évszázad közepén már 50%-os valószínűségű a legalább 10-napos növekedés
- Évszázad végén délen nagy valószínűség

# Csapadék alakulása



- Nagy változékonyság
- Éves szinten kevesebb csapadék (1901 óta 3% csökkenés)
- Szárazabb tavasz és ősz, több csapadék nyáron és télen

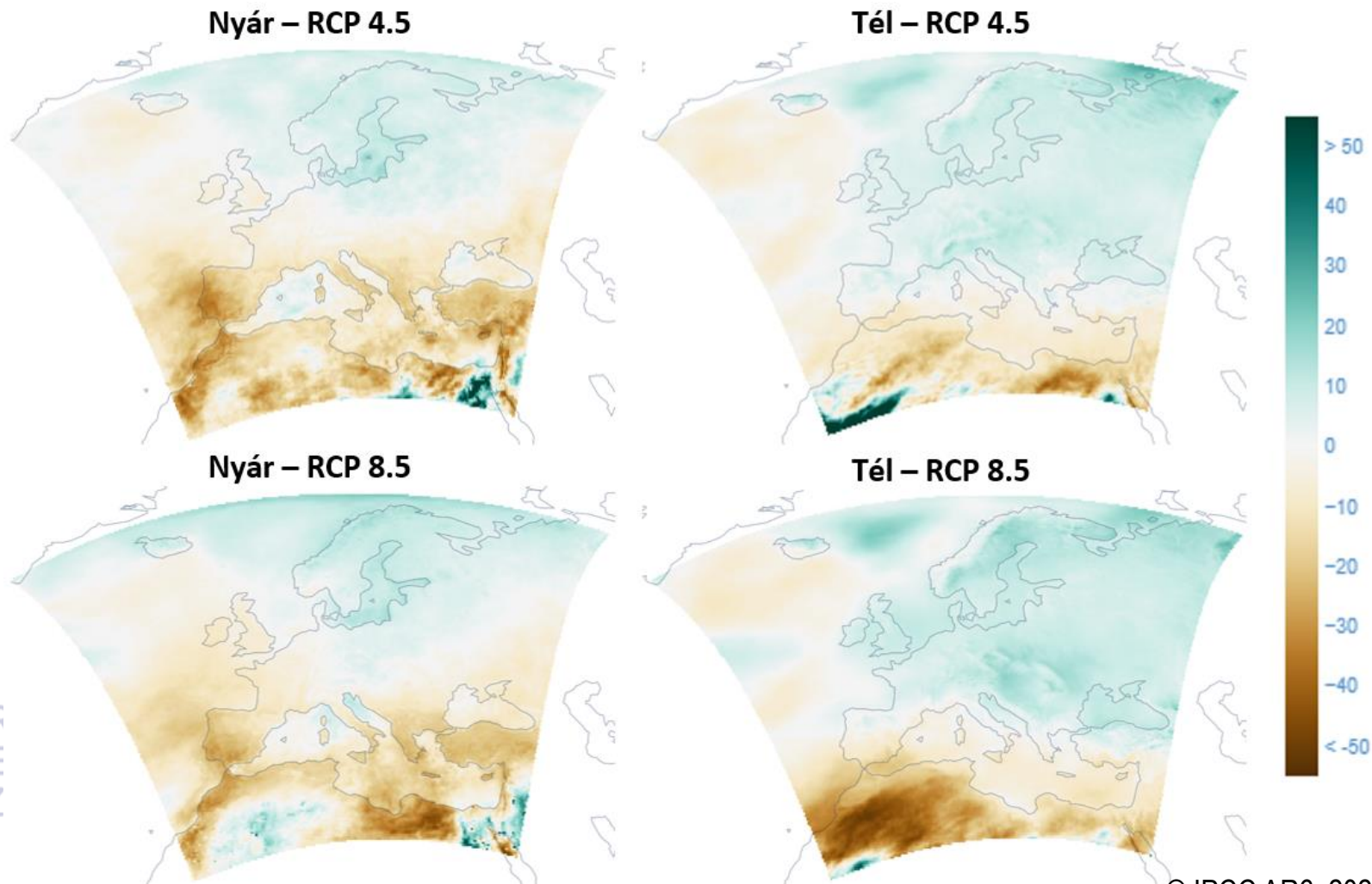
- 1901 óta 17 nappal kevesebb napon hullik csapadék, a leghosszabb száraz időszakok hossza 4 nappal nőtt (átlagosan)



# Várható évszakos csapadékváltozás [%]

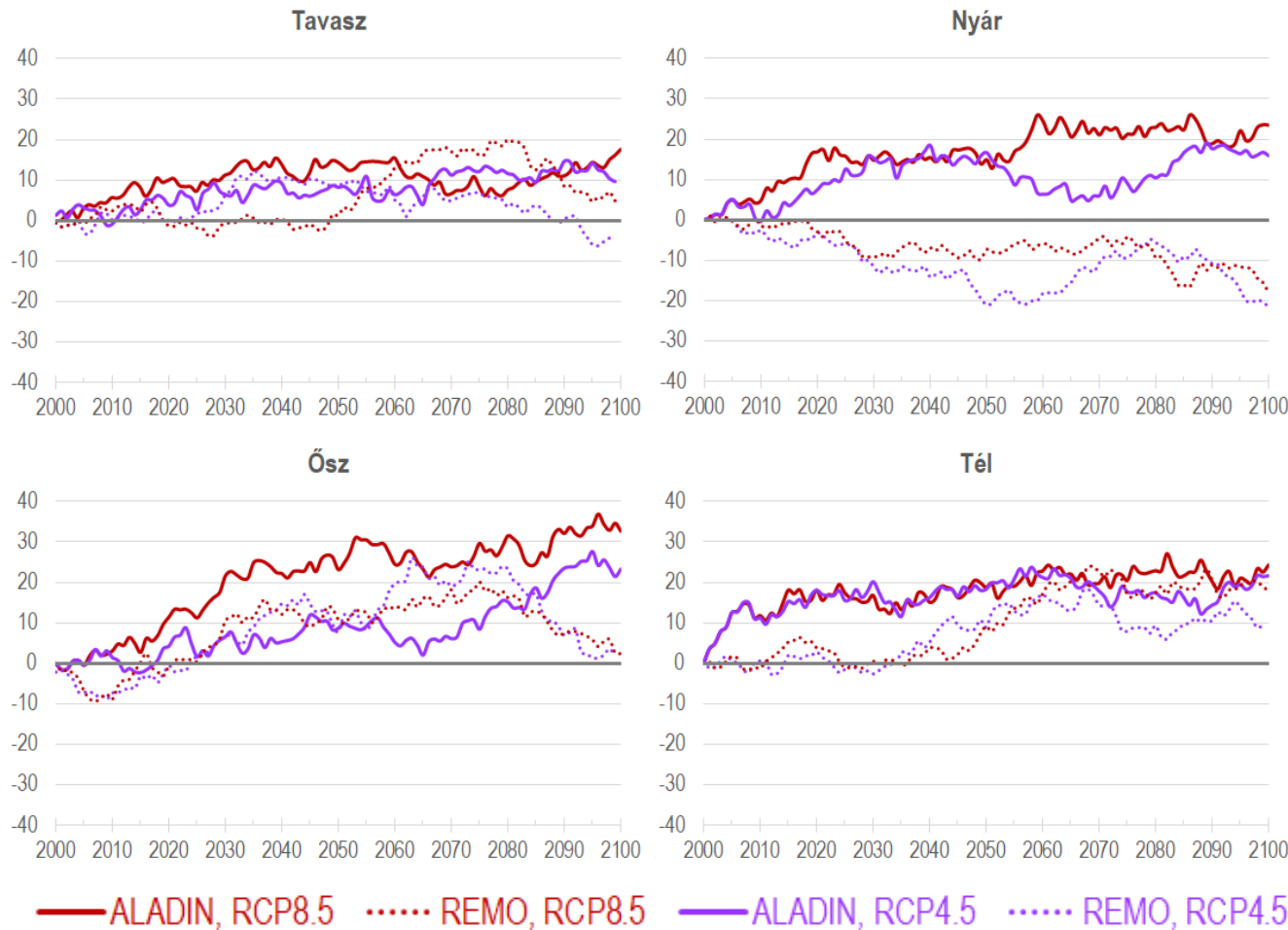
1986–2005 → 2041–2060 (nem szignifikáns változások)

Európai regionális modelleredmények alapján



# Magyarországi csapadékváltozás

Referencia időszak: 1971–2000

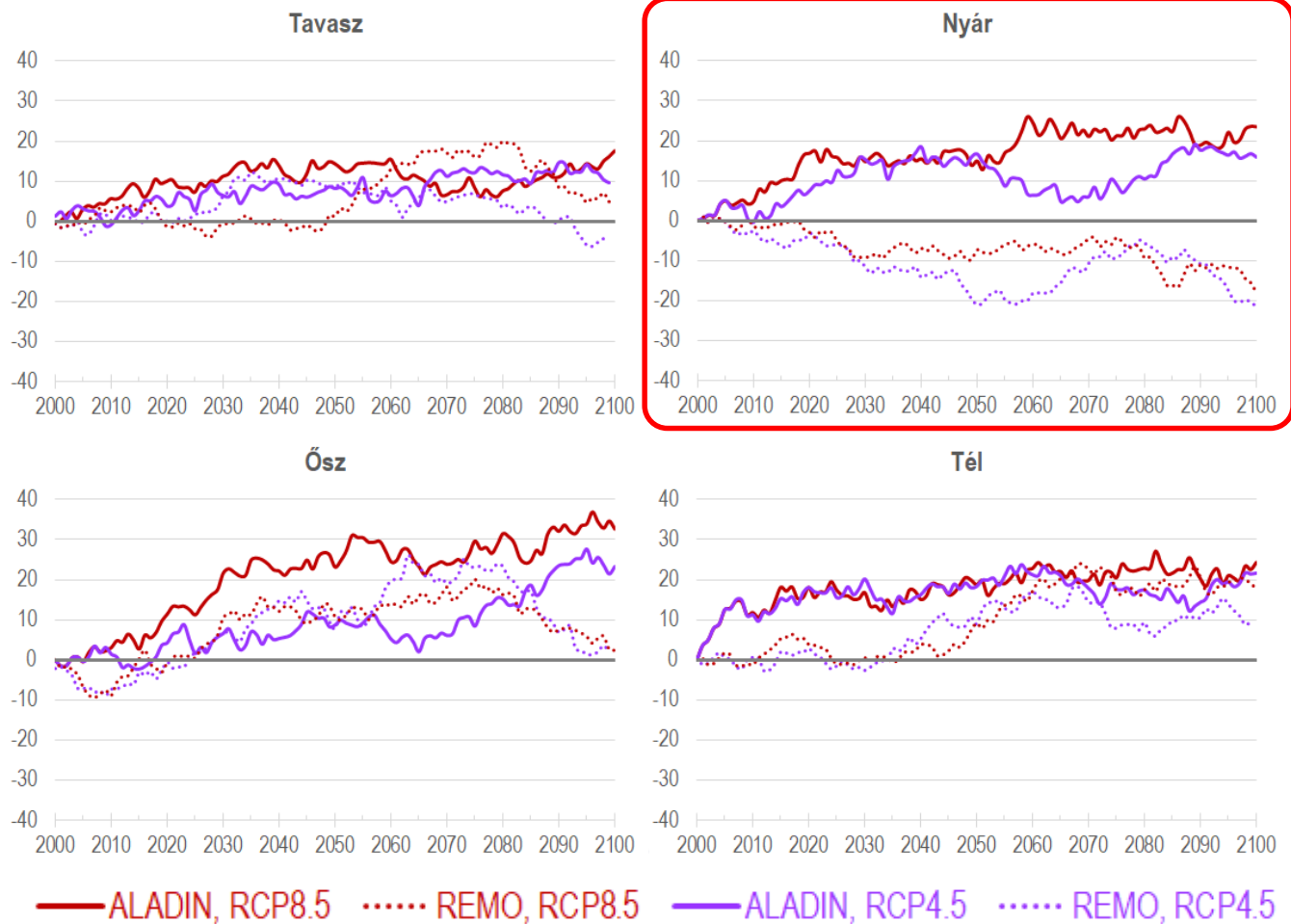


Az adatsorok 30-éves mozgóátlaggal simítottak

- Nincs kapcsolat az alkalmazott antropogén forgatókönyv és a változás között
- Nyár kivételével növekedés
- Nem egyenletes tendencia az évszázad során
- Nyáron hasonló mértékű csökkenés és növekedés egyforma valószínűséggel → több modelleredmény vizsgálata

# Magyarországi csapadékváltozás

Referencia időszak: 1971–2000



- Nincs kapcsolat az alkalmazott antropogén forgatókönyv és a változás között
- Nyár kivételével növekedés
- Nem egyenletes tendencia az évszázad során
- Nyáron hasonló mértékű csökkenés és növekedés egyforma valószínűséggel → több modelleredmény vizsgálata

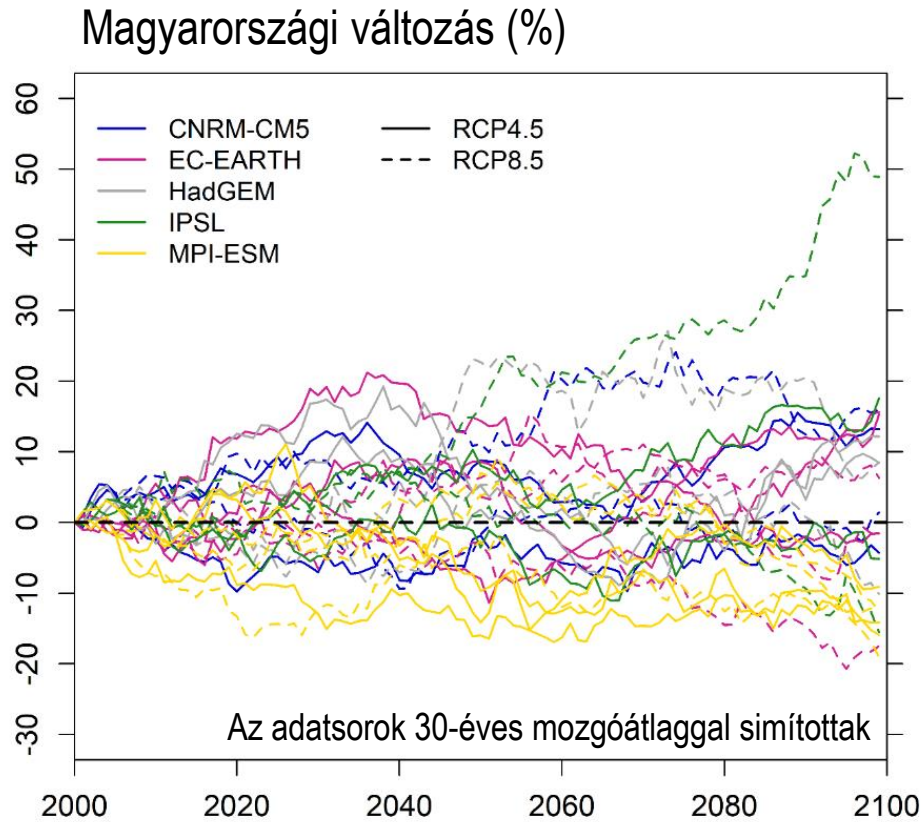
— ALADIN, RCP8.5    ..... REMO, RCP8.5    — ALADIN, RCP4.5    ..... REMO, RCP4.5

Az adatsorok 30-éves mozgóátlaggal simítottak

# Nyári csapadékváltozás

2x12 modellszimuláció eredménye

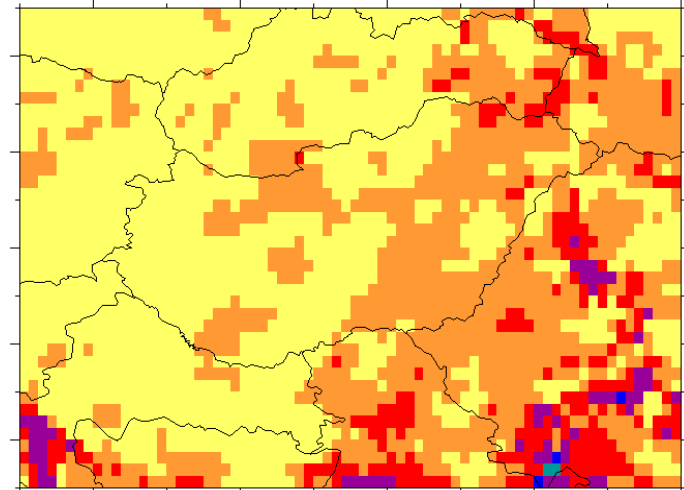
Referencia időszak: 1971–2000



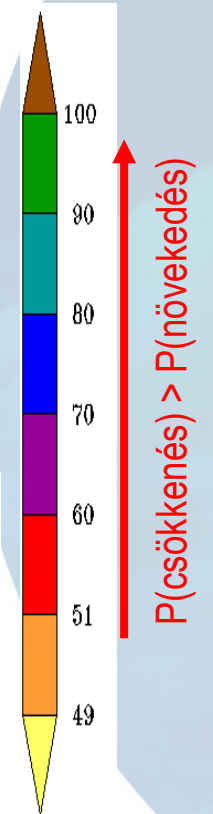
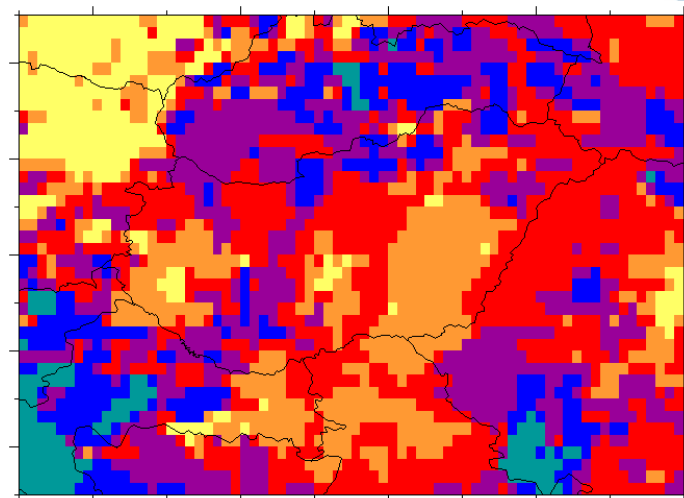
- Nagyobb kibocsátás mellett az ország nagy részén valószínűbb a csökkenés

Csökkenés valószínűsége (%) 2071–2100-ra

RCP4.5



RCP8.5



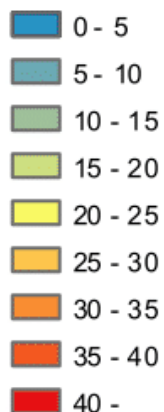
# Nyári száraz időszakok hossza

Egymást követő napokon  $R < 1\text{mm}$

1971–2000, mérés; átlag: 15 nap



nap

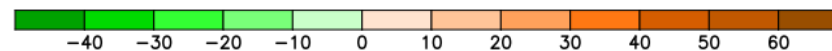
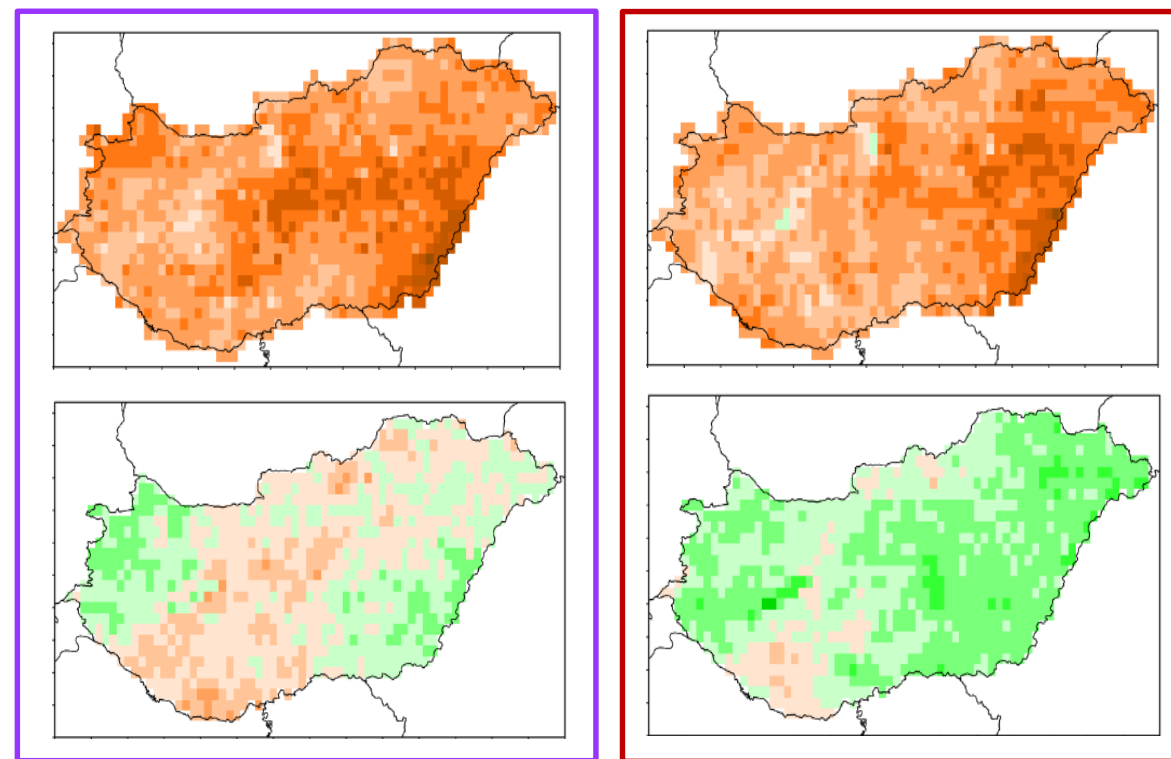


- A száraz időszakok hosszában várható változás nem egyértelmű
- A középső tájakon hosszabb száraz időszakok
- Nagyobb (30-40 %-os) hosszabbodás

Változás (%)  
1971–2000-től 2071–2100-ig

RCP4.5

RCP8.5

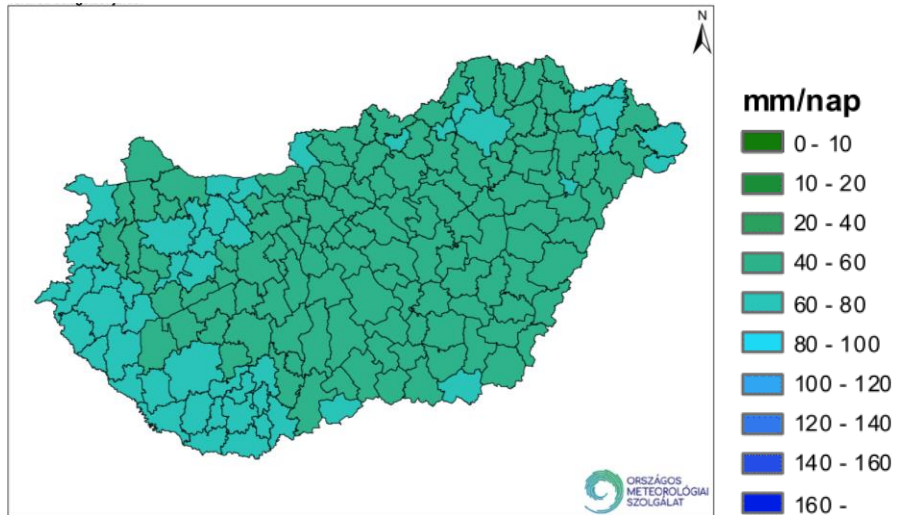




# Maximális napi csapadék

50-éves visszatérésű érték

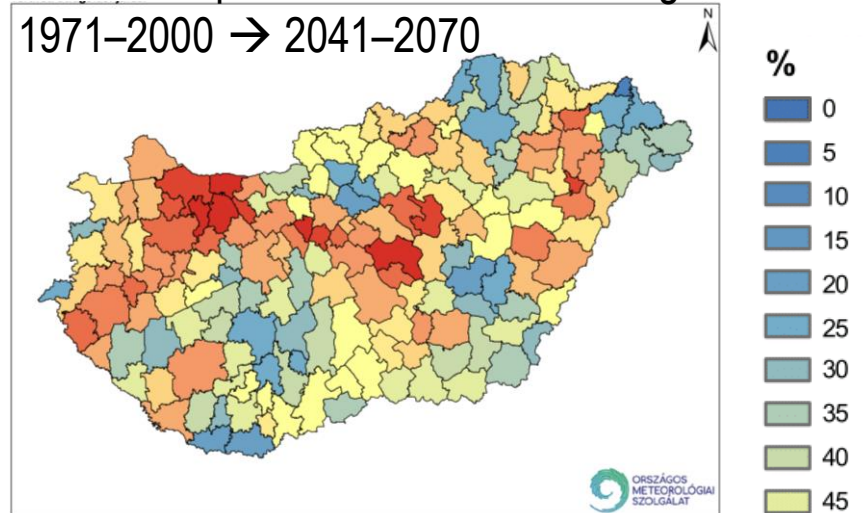
1971–2000, mérés; átlag: 53 mm/nap



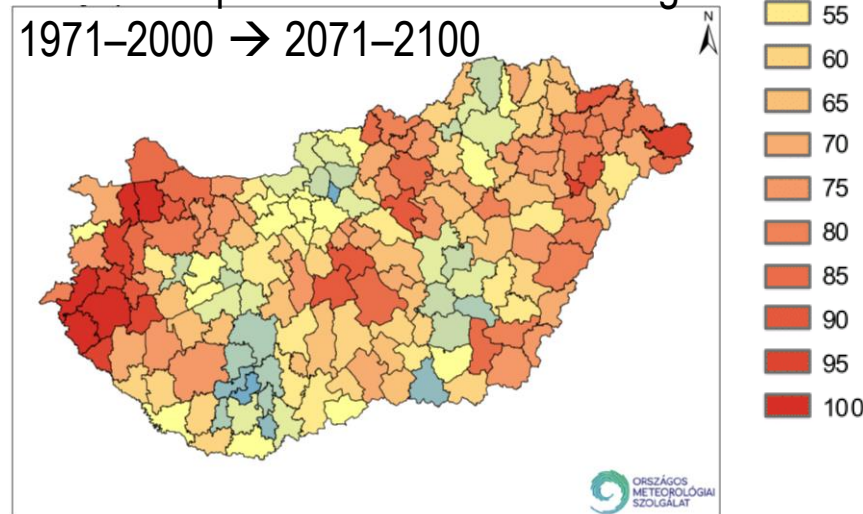
- Lokális eseményekhez köthető → nagy térbeli változékonyság
- Az idővel egyre nagyobb területen 70-100 % valószínűség

A jelenlegi regionális klímamodellek nem adnak információt a rövid időskálájú csapadékeseményekről → km-es skálájú klímamodellezés

>10 mm/nap növekedés valószínűsége  
1971–2000 → 2041–2070



>10 mm/nap növekedés valószínűsége  
1971–2000 → 2071–2100

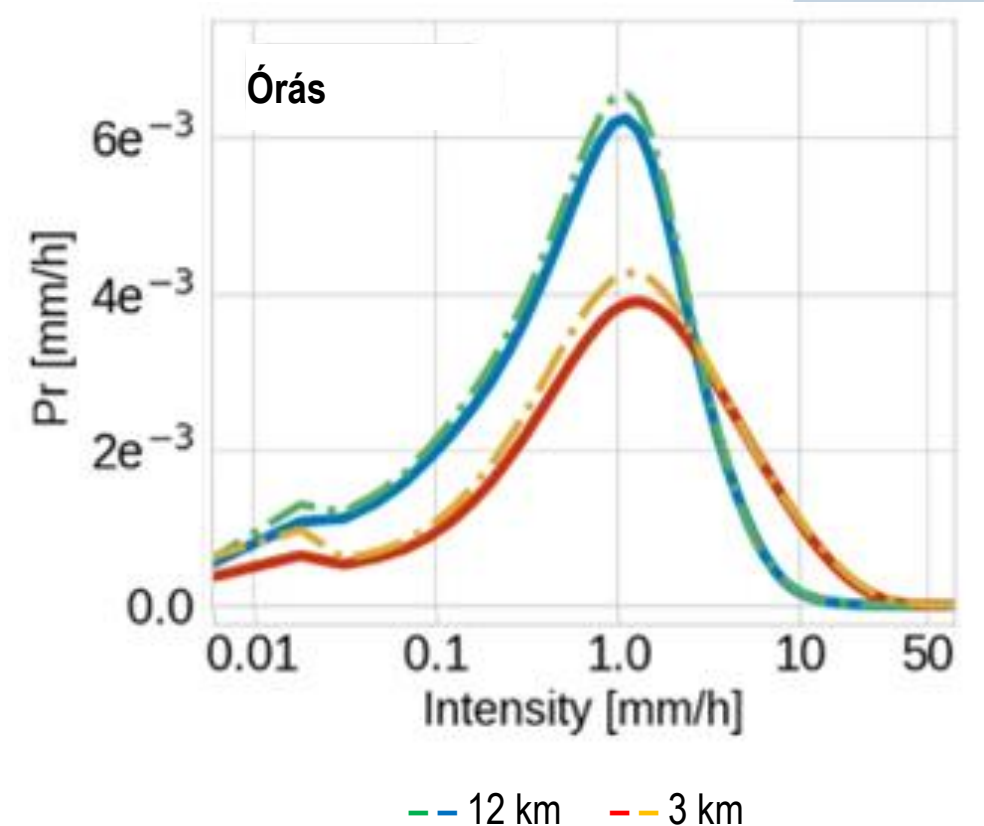


# Finom felbontású klímaszimulációk

- Jelenlegi regionális klímamodellek: korlátozott információ a csapadék térbeli és napon belüli eloszlásáról (pl. csak napi csapadék visszatérési értékek)
- 2-4 km-es felbontás: felhő- és csapadék-képződési folyamatok részletesebb leírása
- Egyelőre kísérleti jelleg, kisebb terület, néhány évtized
- HARMONIE-Climate modell adaptálása



Szimulált nyári **csapadék és intenzitás**  
Skandinávia (Lind et al., 2022)

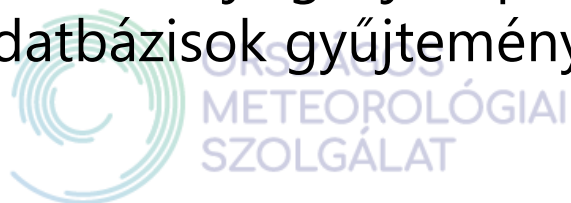


# Összegzés, tervek

- Jövőben várható változások vizsgálata modelleredmények alapján, projekciós bizonytalanság figyelembevétele
- Alapadatok és módszertan fejlesztése, pl. új modellkísérletek km-es felbontáson
- Hatások vizsgálata más szakterületekkel együttműködésben
- Automatikus és egyéni szolgáltatások fejlesztése bővítése
- Ismeretterjesztés, tájékoztatás erősítése
- 2026-tól új éghajlati portál: ágazati éghajlati információk, elérhető szolgáltatások, adatbázisok gyűjteménye, kiindulópontja

# Összegzés, tervek

- Jövőben várható változások vizsgálata modelleredmények alapján, projekciós bizonytalanság figyelembevétele
- Alapadatok és módszertan fejlesztése, pl. új modellkísérletek km-es felbontáson
- Hatások vizsgálata más szakterületekkel együttműködésben
- Automatikus és egyéni szolgáltatások fejlesztése bővítése
- Ismeretterjesztés, tájékoztatás erősítése
- 2026-tól új éghajlati portál: ágazati éghajlati információk, elérhető szolgáltatások, adatbázisok gyűjteménye, kiindulópontja



Köszönöm a figyelmet!  
e-mail: [szepszo.g@met.hu](mailto:szepszo.g@met.hu)