

A 21. században várható éghajlati változások Magyarországon

Szépszó Gabriella
Klimatológiai és Kutatás-fejlesztési Igazgatóság



Tartalom

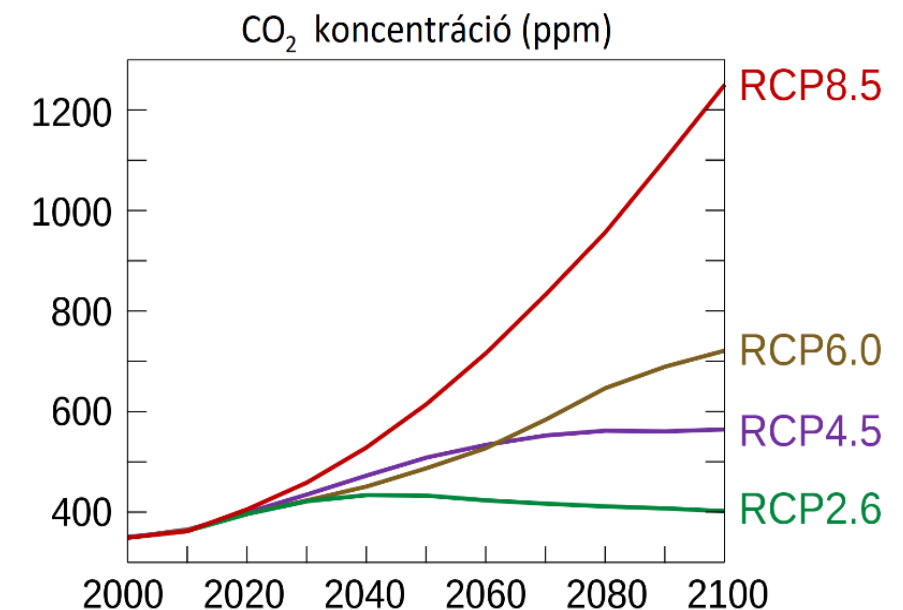
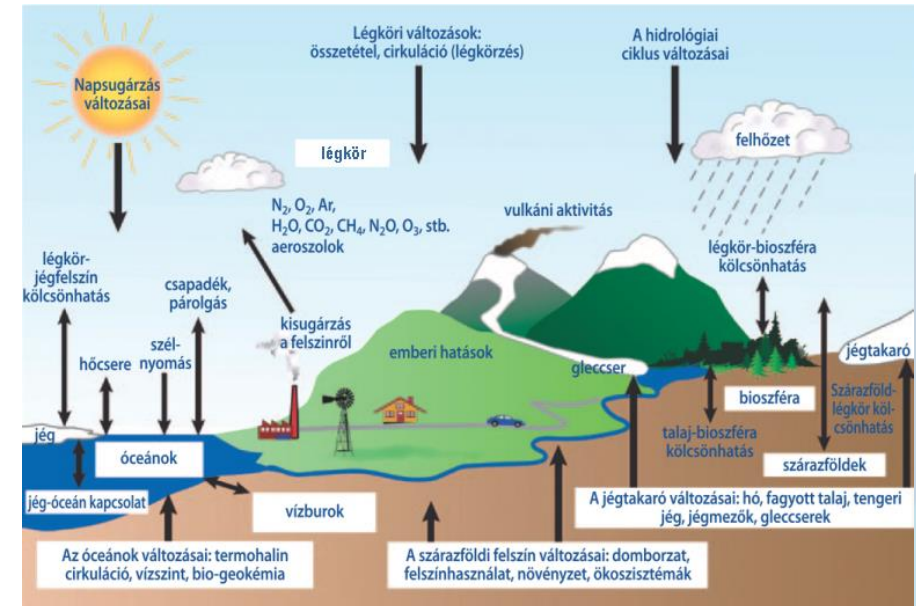
1. A klímamodellezéstől a hatások vizsgálatáig
2. Éghajlatváltozás és energetika
3. Magyarországi változások

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

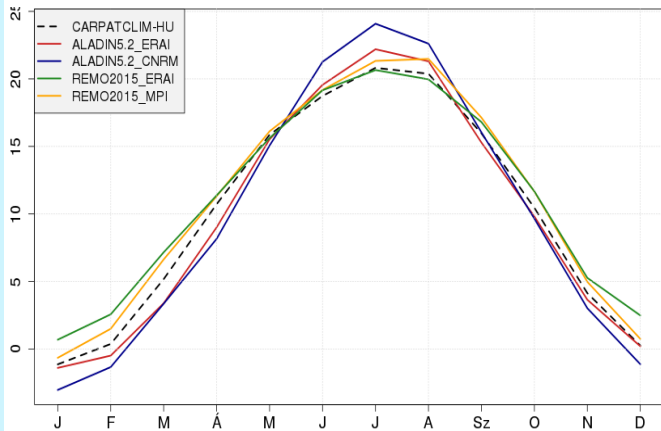


A klímamodellezés lépései

VALIDÁCIÓ

Modell szimuláció a múltra,
összehasonlítás mérésekkel

Havi átlaghőmérséklet (°C)
Magyarország, 1981–2000

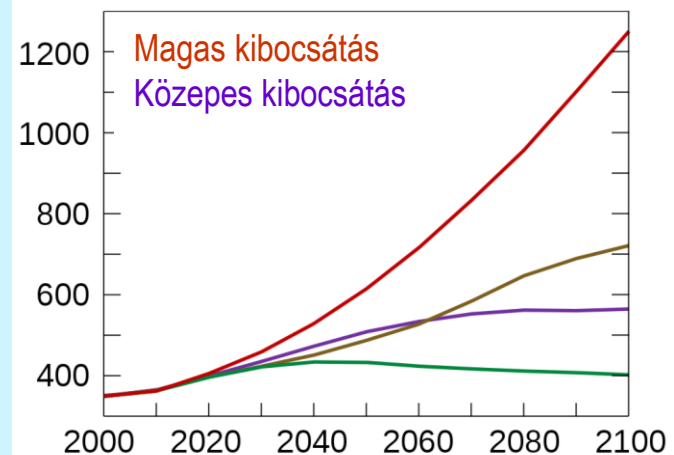


© Bán et al., 2021

PROJEKCIÓ

Jövőre vonatkozó
modell szimuláció

CO₂ koncentráció (ppm)

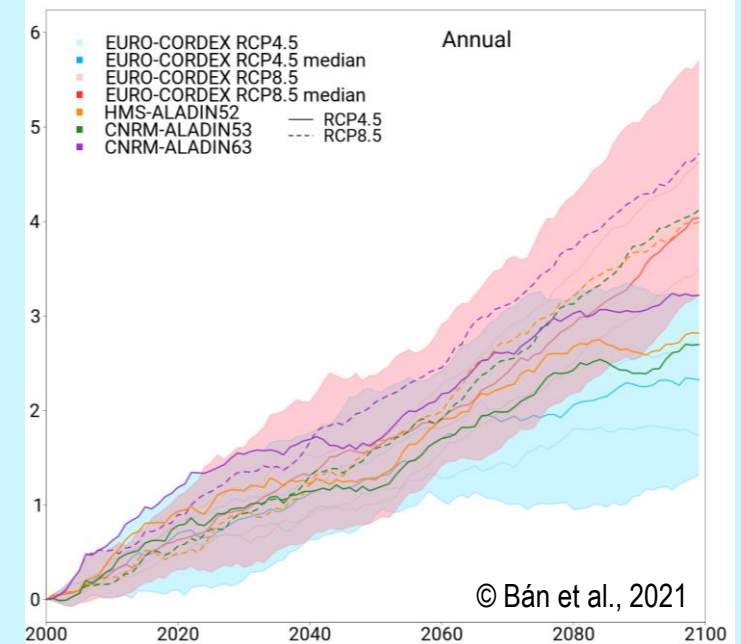


© IPCC

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

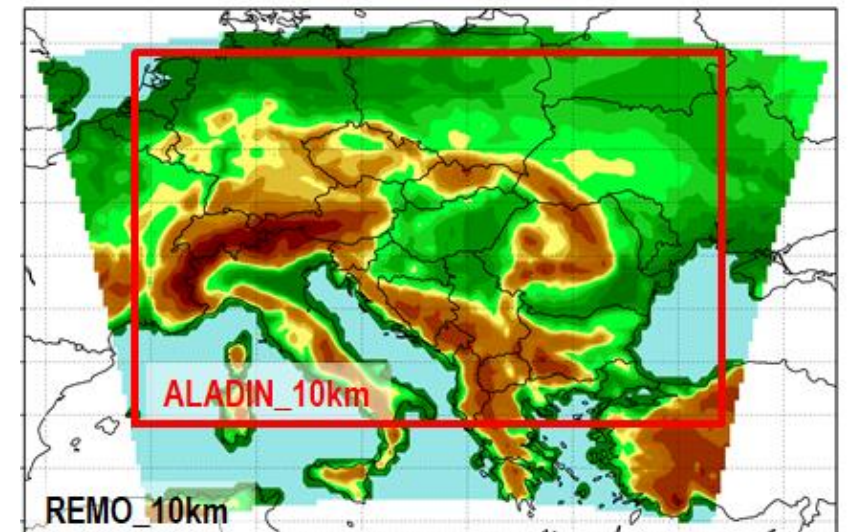
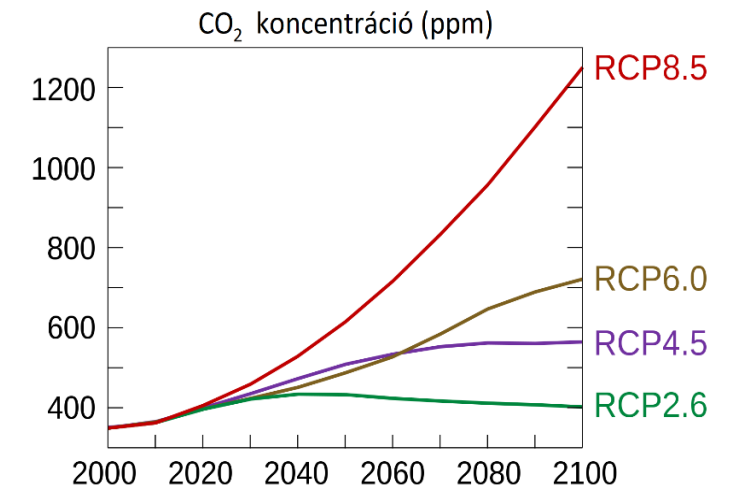
- 2100-ig szóló kísérletek 2 regionális klímamodellel (RCM) és 2 forgatókönyvvel

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?

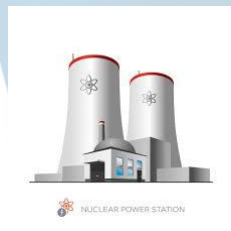
Például: átlaghőmérséklet, hőhullámos napok, havi csapadékösszeg, száraz időszakok hossza



Eredmények felhasználása

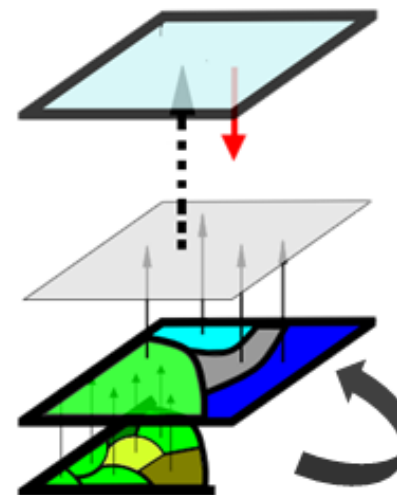
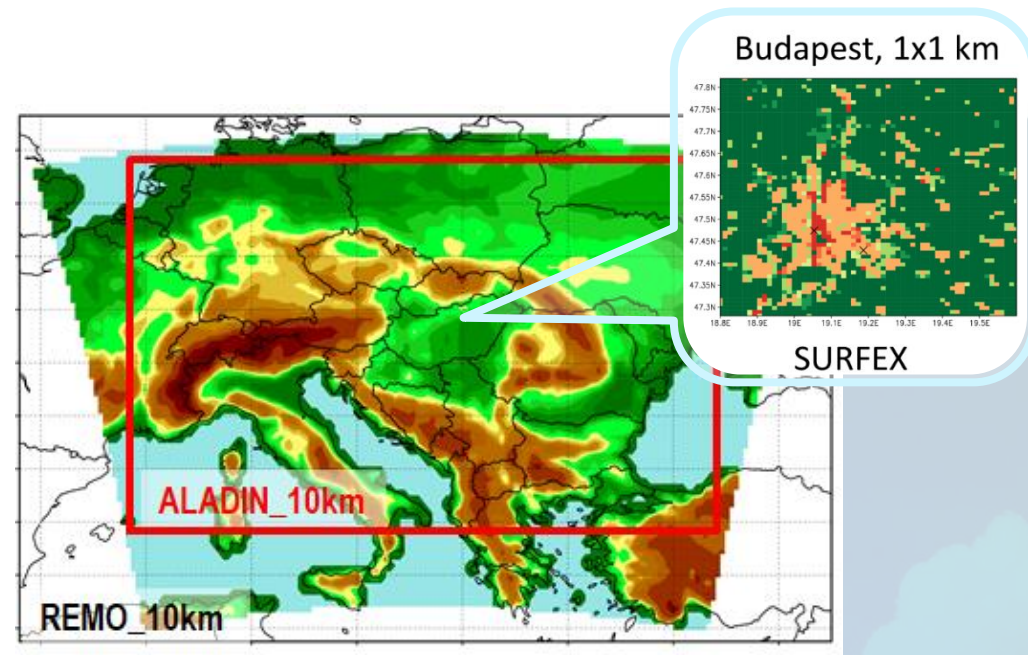
Függ a feladattól, hogyan érdemes a modellszimulációkat összeválogatni:

- **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

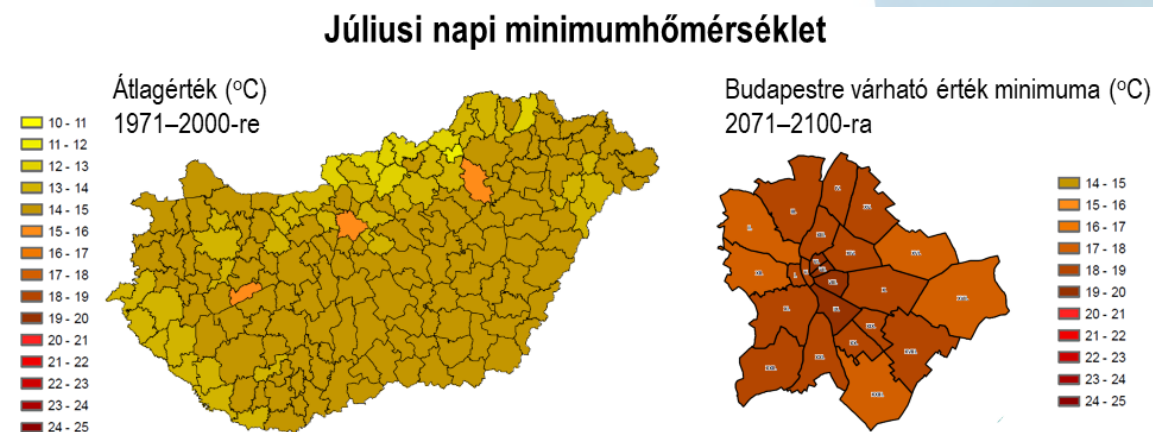
A cellán belüli felszíntípusok
arányában a turbulens
fluxusok kiszámítása

Felszíni jellemzők egy felszíni adatbázisból

KLIMADAT alkalmazás – klimadat.met.hu

- 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 Ökologi Szolgáltató Nonprofit Zrt.

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

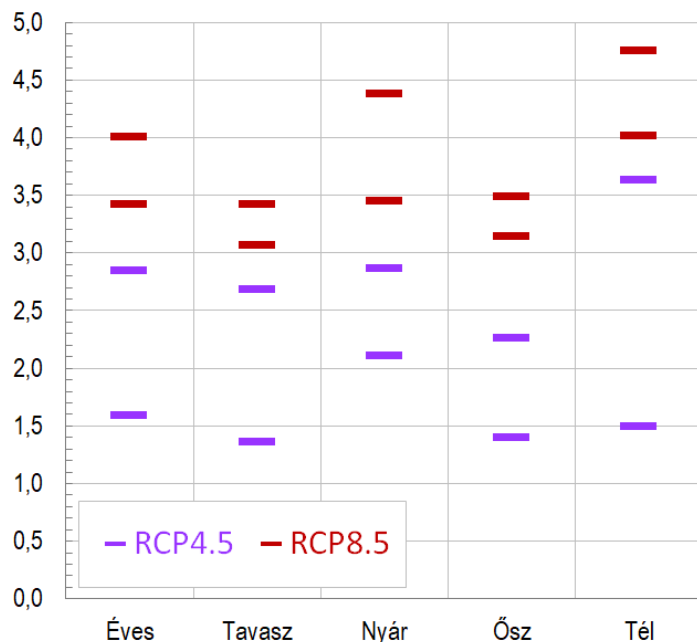


Tartalom

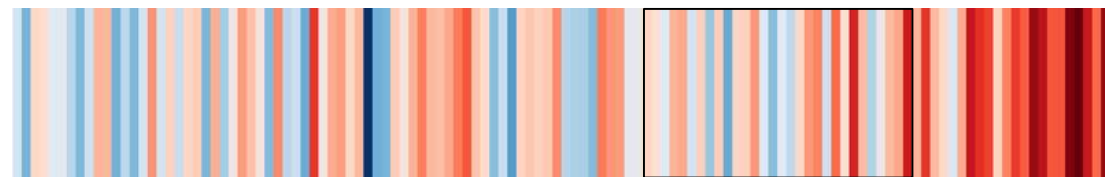
1. A klímamodellezéstől a hatások vizsgálatáig
2. Éghajlatváltozás és energetika
3. Magyarországi változások

Hőmérsékletváltozás

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



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

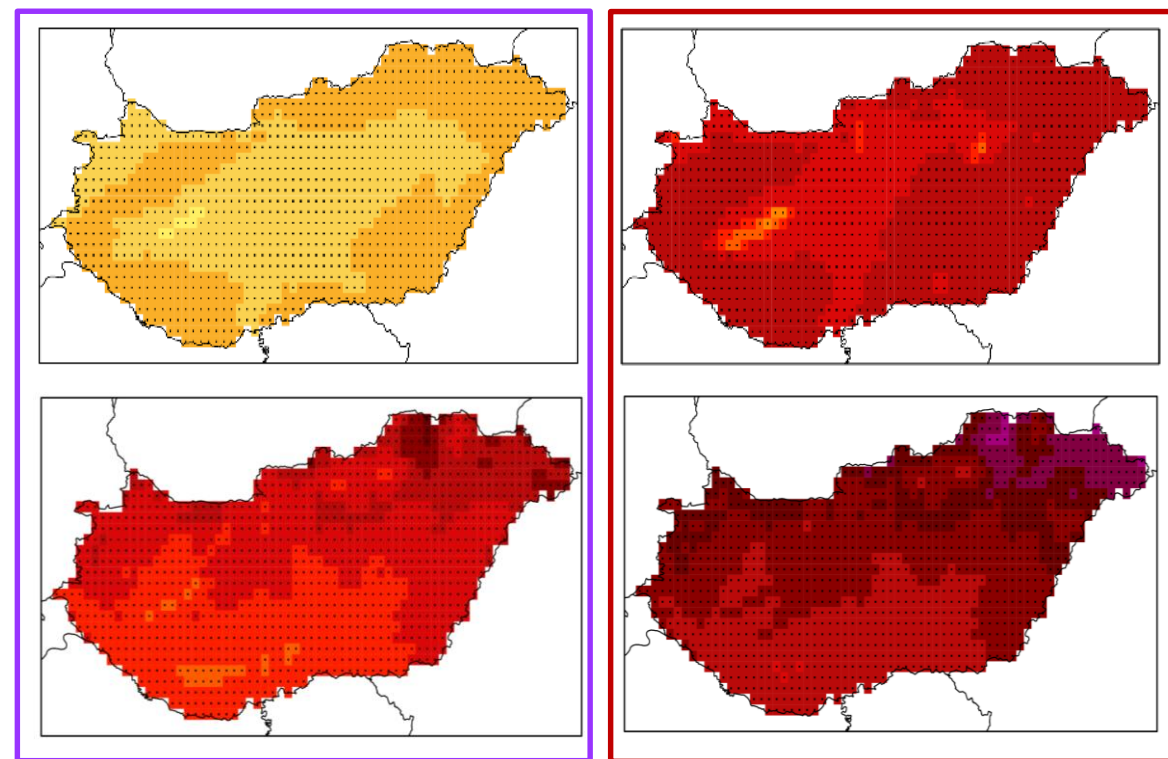


1971–2000

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

RCP4.5

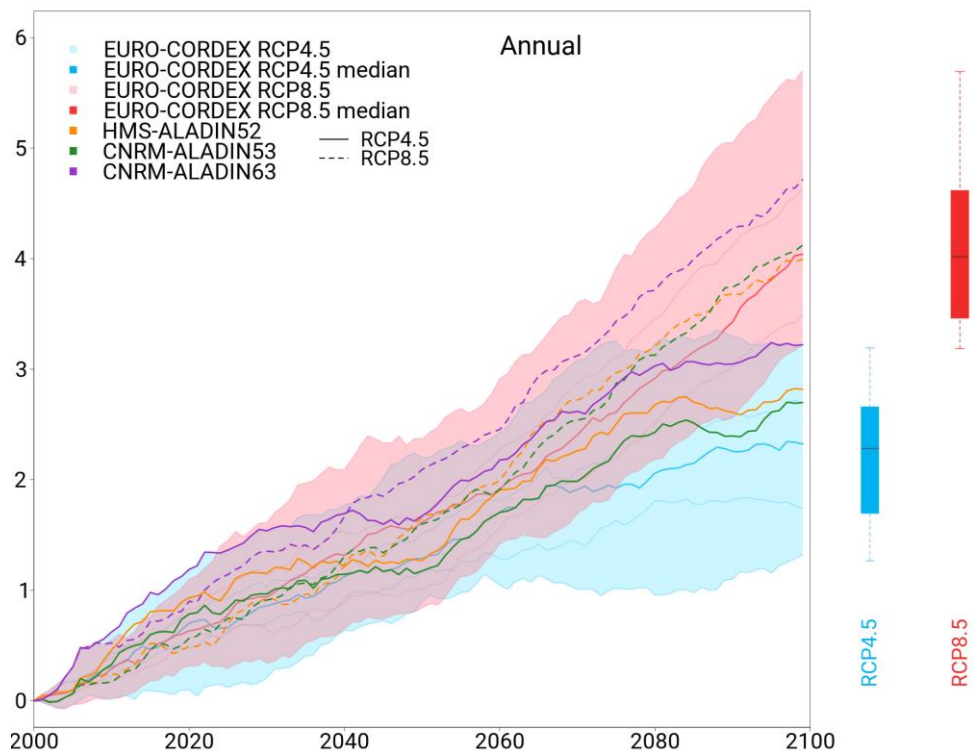
RCP8.5



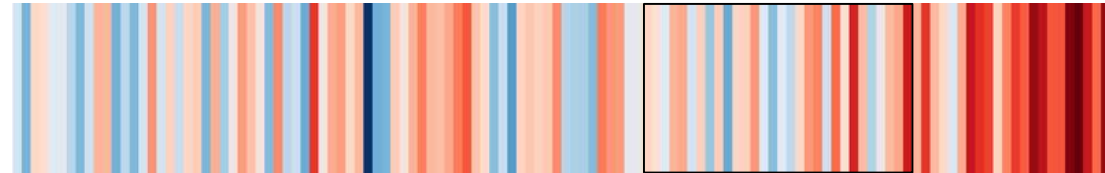
© Megyeri-Korotaj et al., 2022

Hőmérsékletváltozás

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



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

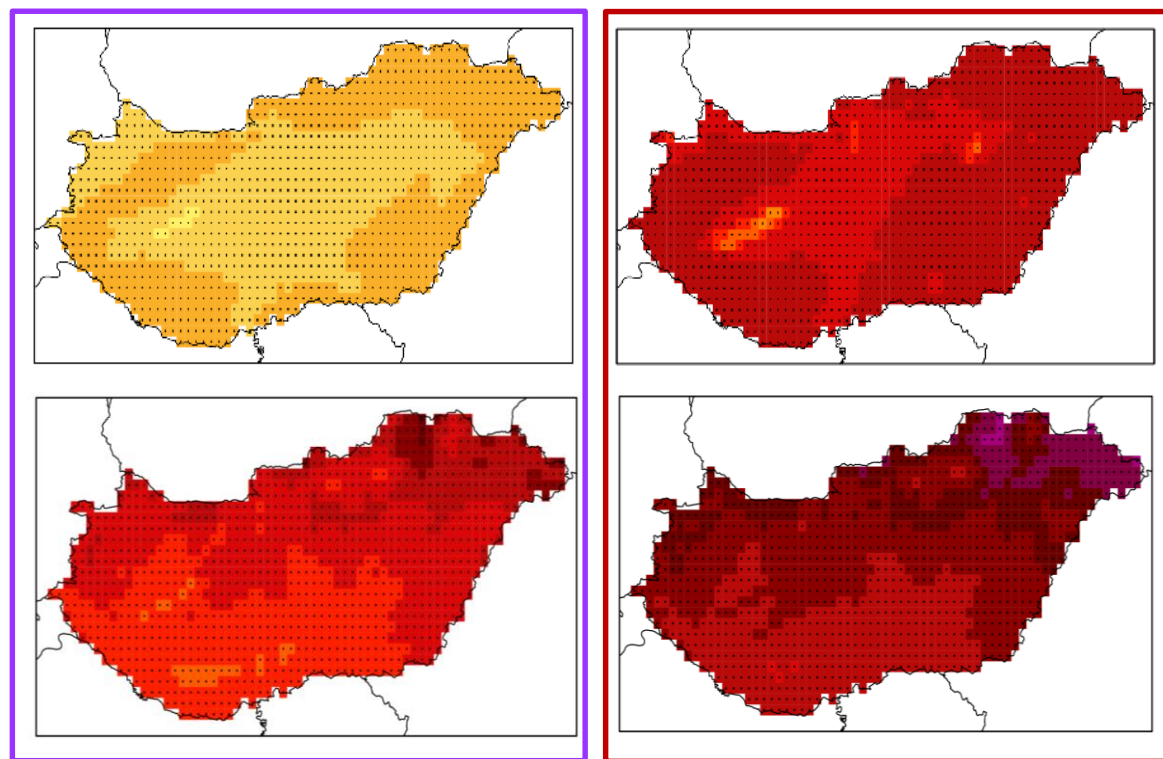


1971–2000

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

RCP4.5

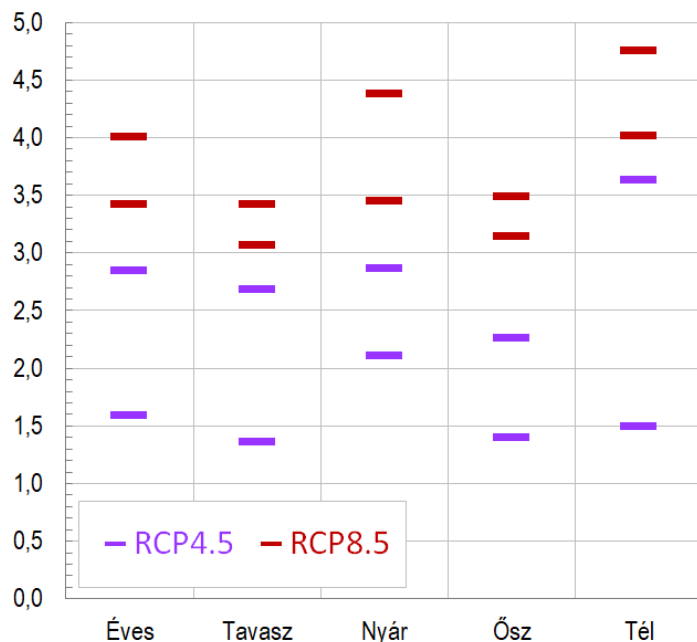
RCP8.5



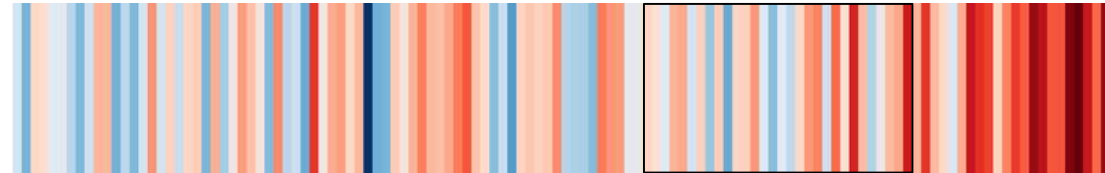
© Megyeri-Korotaj et al., 2022

Hőmérsékletváltozás

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



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

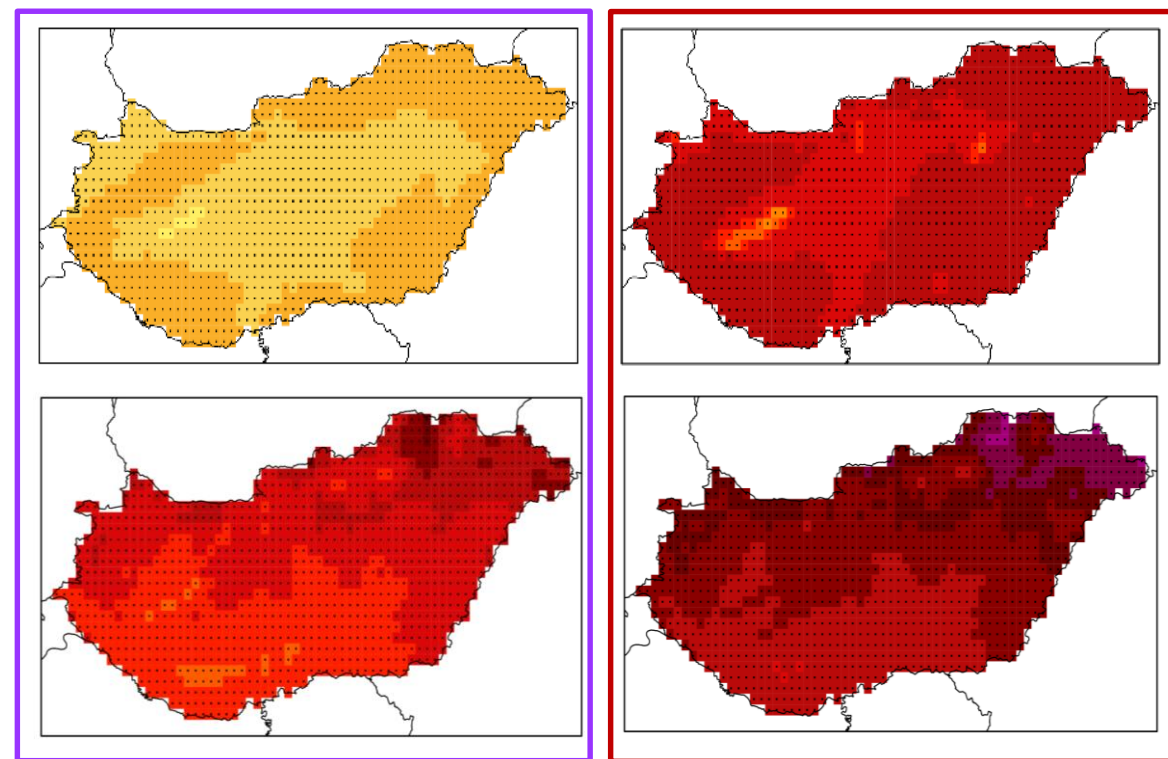


1971–2000

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

RCP4.5

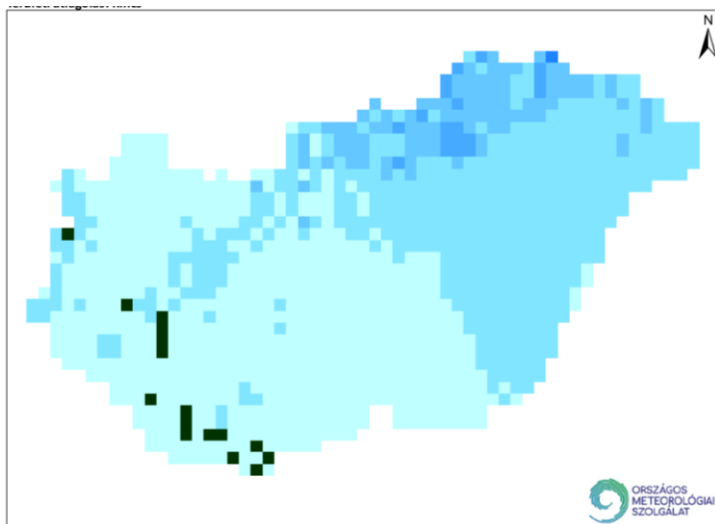
RCP8.5



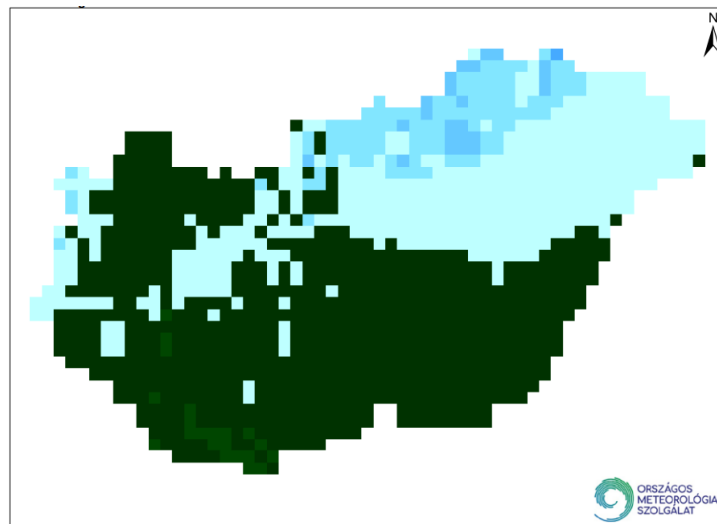
© Megyeri-Korotaj et al., 2022

Januári átlaghőmérséklet (°C)

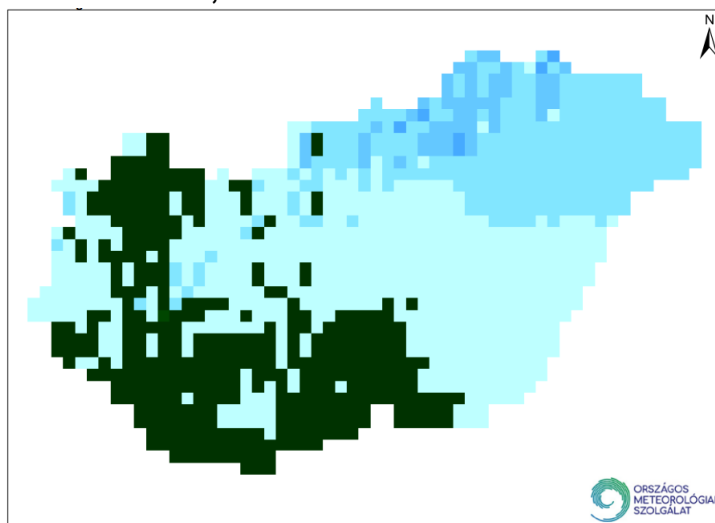
1971–2000, mérés



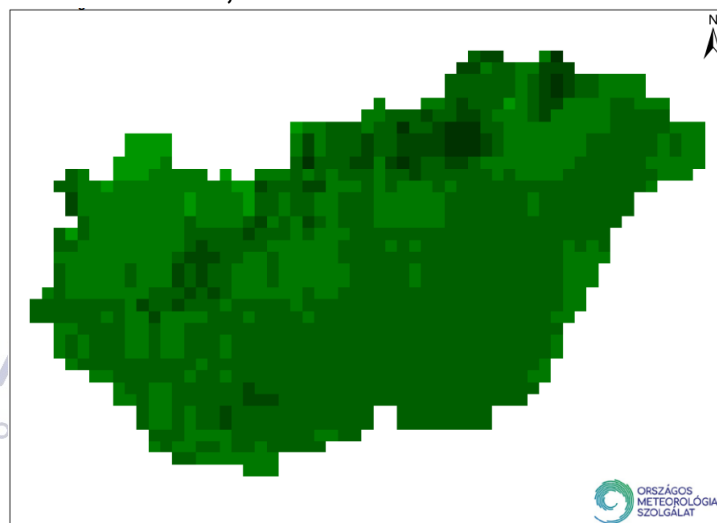
2041–2070, 4 modellkísérlet minimuma



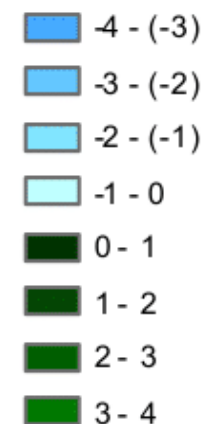
1991–2020, mérés



2041–2070, 4 modellkísérlet maximuma



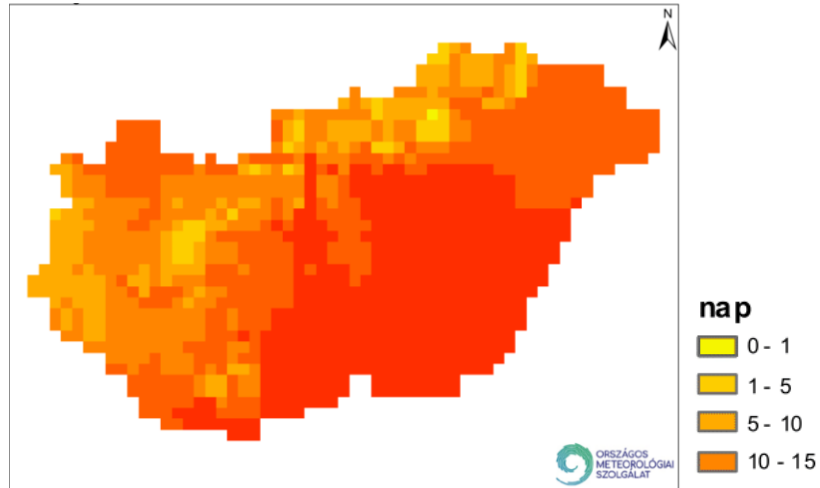
- Január átlagosan a leghidegebb hónap
- 0 °C felett az ország jelentős részén
- Hamarosan még északon is eltűnhetnek a fagypont alatti átlaghőmérsékletű területek



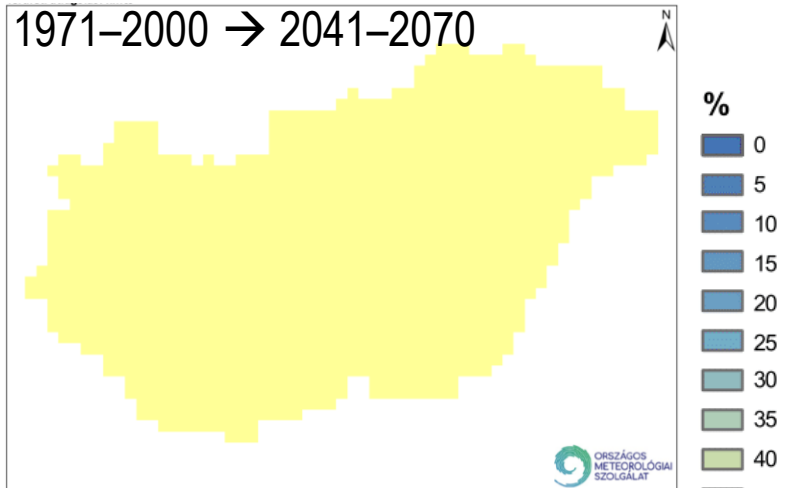
Hőségnapok előfordulása

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

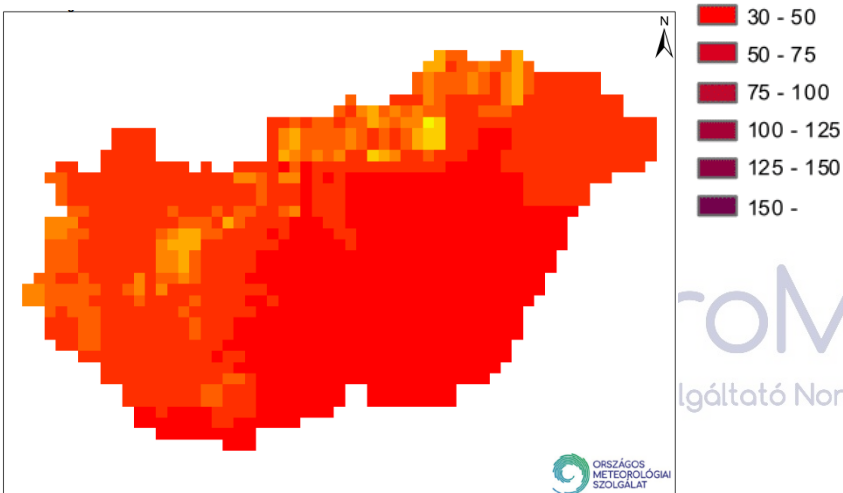
1971–2000, mérés



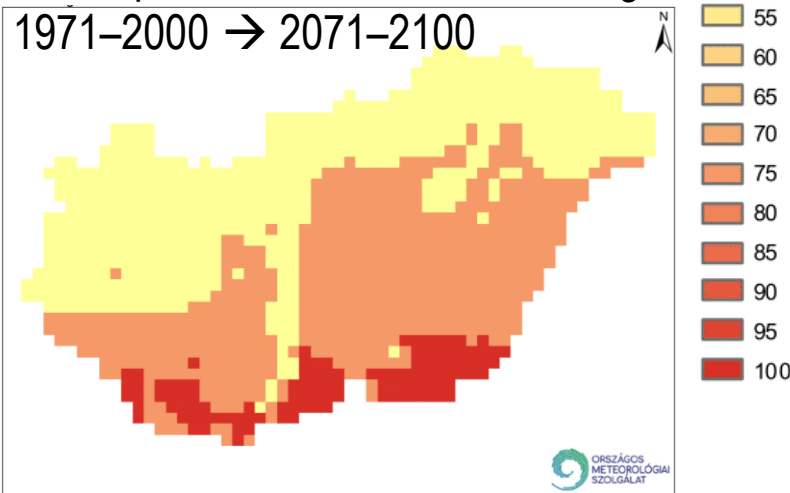
>10 napos növekedés valószínűsége



1991–2020, mérés

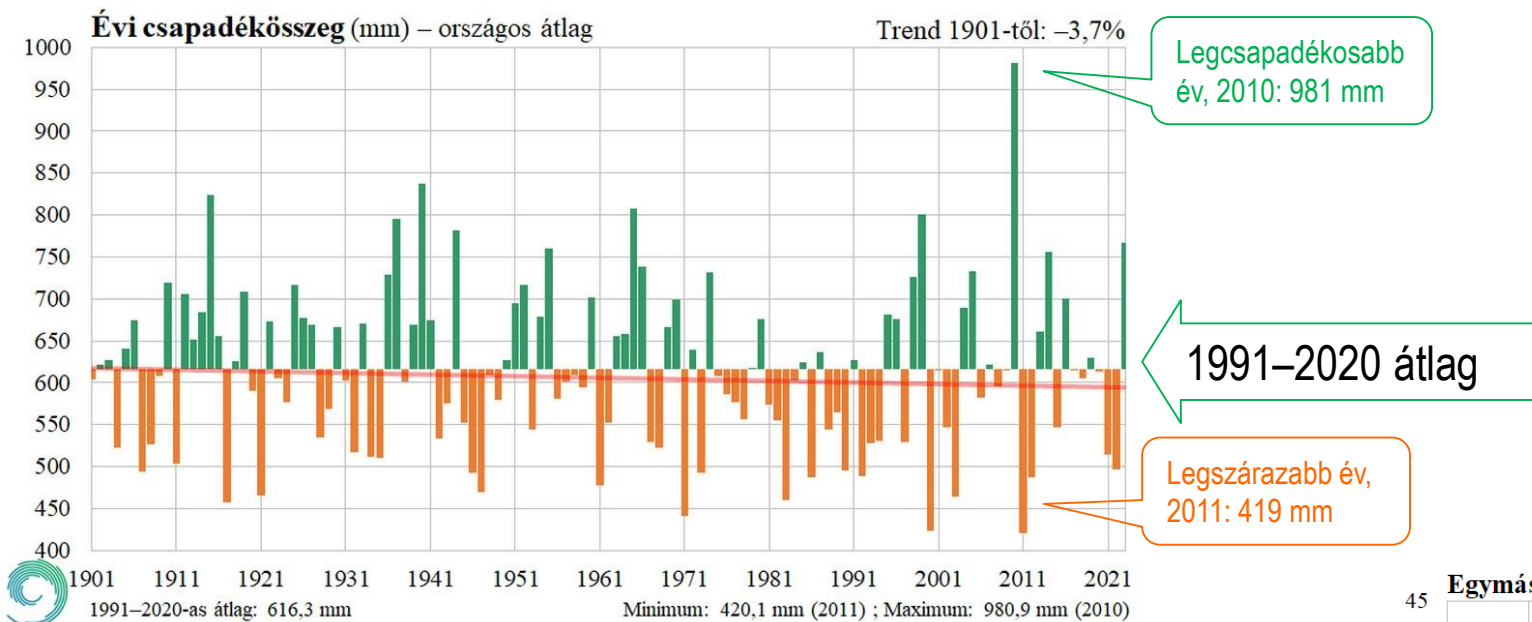


>10 napos növekedés valószínűsége



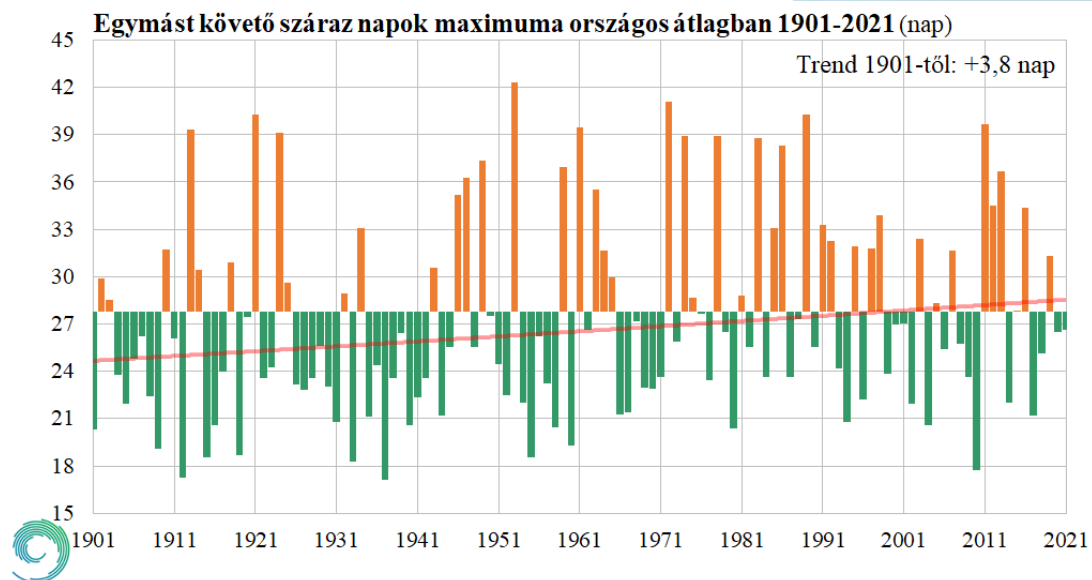
- Alföld területén 20-40 nap
- Évszázad közepén már 50%-os valószínűségű a legalább 10-napos növekedés
- Évszázad végén délen nagy valószínűség

Csapadék alakulása



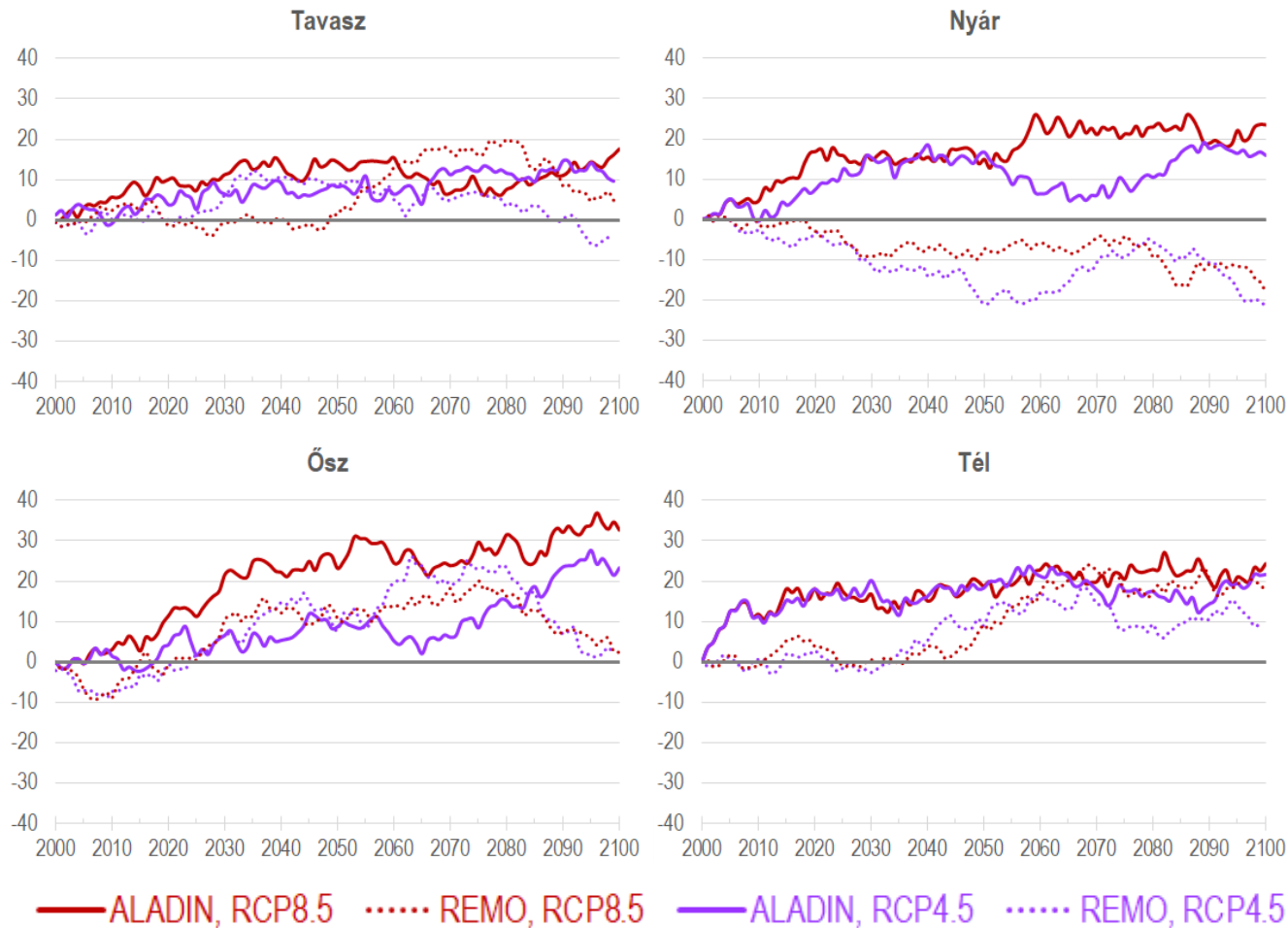
- Nagy változékonyság
- Éves szinten kevesebb csapadék (1901 óta 4% csökkenés)
- Szárazabb tavasz és ősz, több csapadék nyáron és télen

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



Magyarországi csapadékváltozás

Referencia időszak: 1971–2000

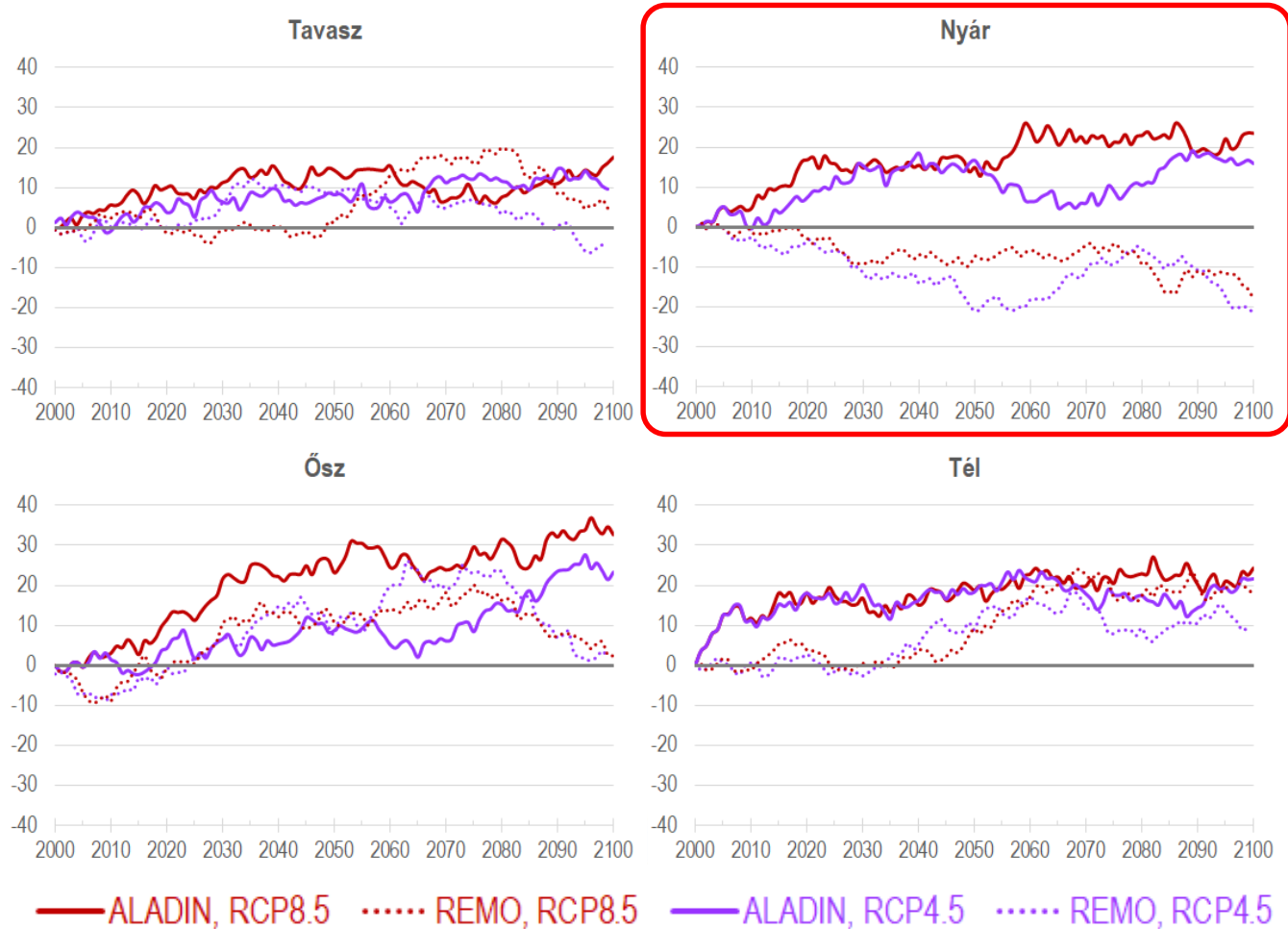


Az adatsorok 30-éves mozgóátlaggal simítottak

- 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

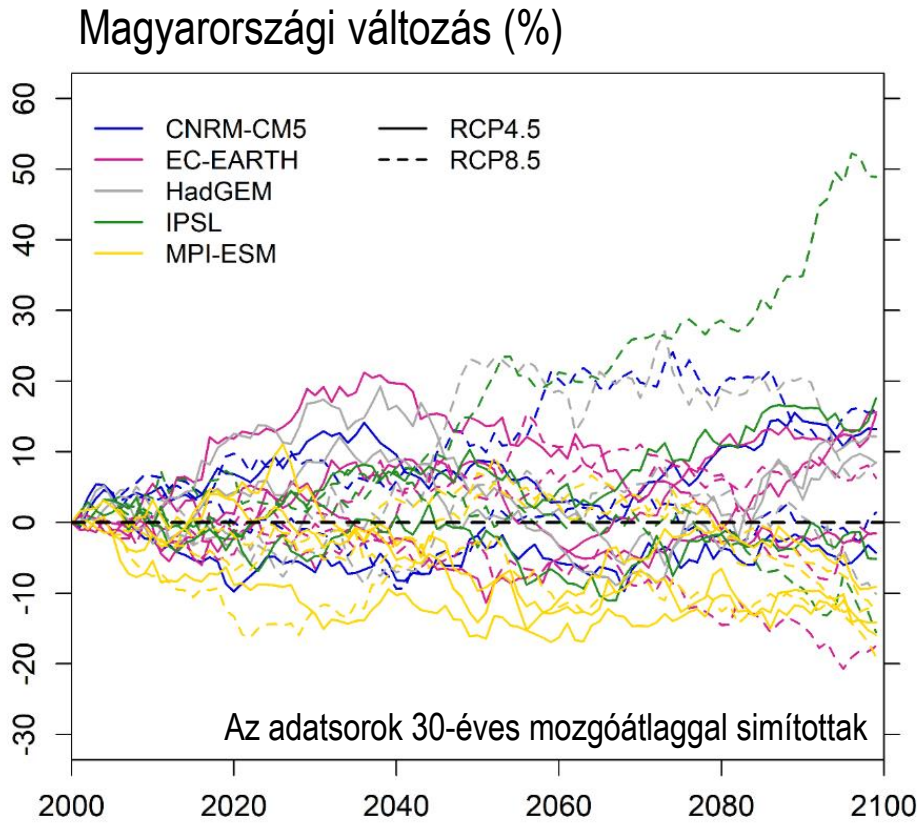
— ALADIN, RCP8.5 REMO, RCP8.5 — ALADIN, RCP4.5 REMO, RCP4.5

Az adatsorok 30-éves mozgóátlaggal simítottak

Nyári csapadékváltozás

2x12 modellszimuláció eredménye

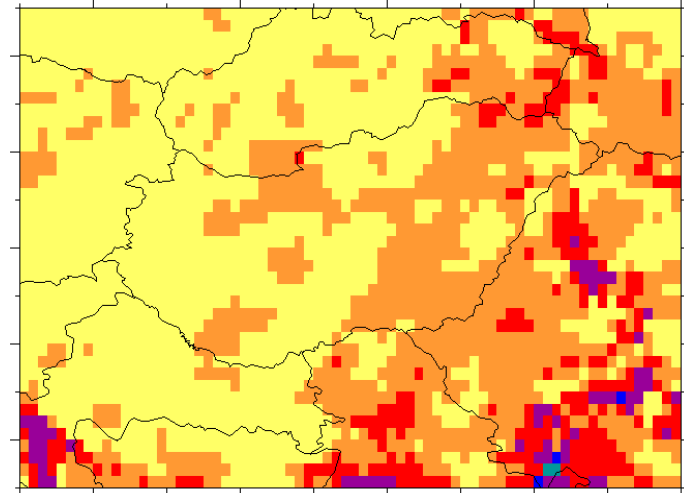
Referencia időszak: 1971–2000



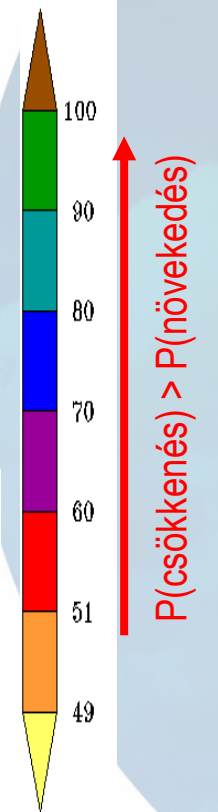
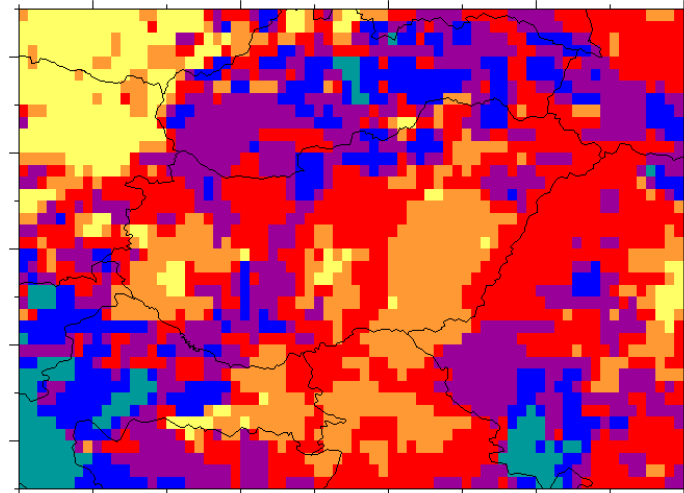
- Nagyobb kibocsátás mellett az ország nagy részén valószínűbb a csökkenés

Csökkenés valószínűsége (%) 2071–2100-ra

RCP4.5



RCP8.5



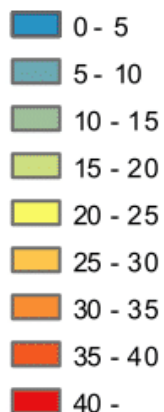
Nyári száraz időszakok hossza

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

1971–2000, mérés; átlag: 15 nap



nap

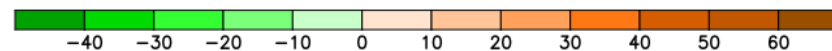
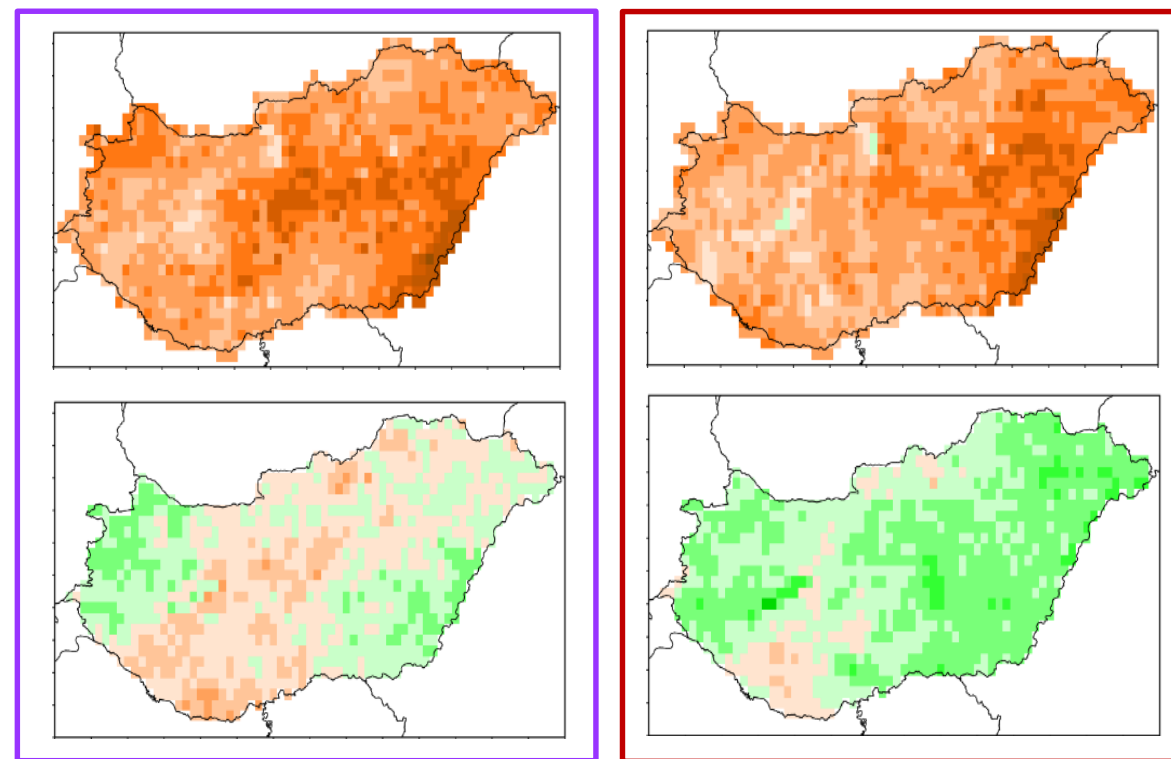


- A száraz időszakok hosszában várható változás nem egyértelmű
- A középső tájakon hosszabb száraz időszakok
- Nagyobb (30-40 %-os) hosszabbodás

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

RCP4.5

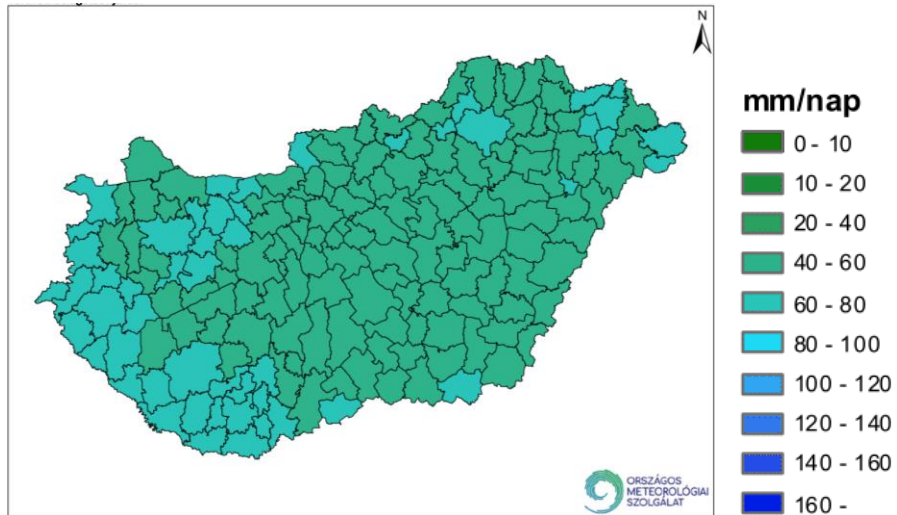
RCP8.5



Maximális napi csapadék

50-éves visszatérésű érték

1971–2000, mérés; átlag: 53 mm/nap

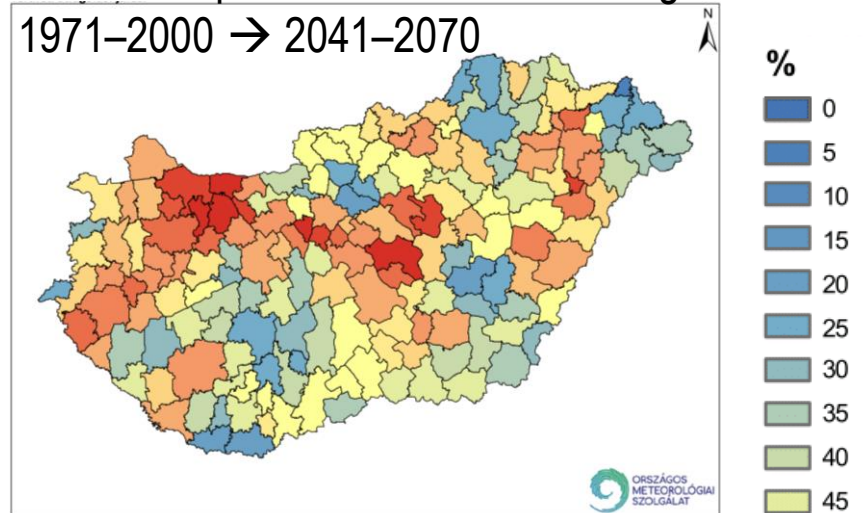


- Lokális eseményekhez köthető → nagy térbeli változékonyság
- Az idővel egyre nagyobb területen 70-100 % valószínűség

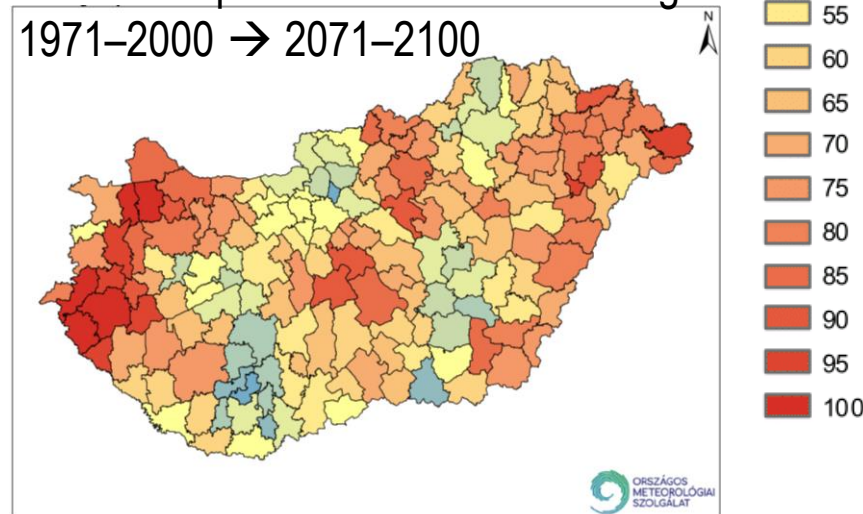
Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt.

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

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



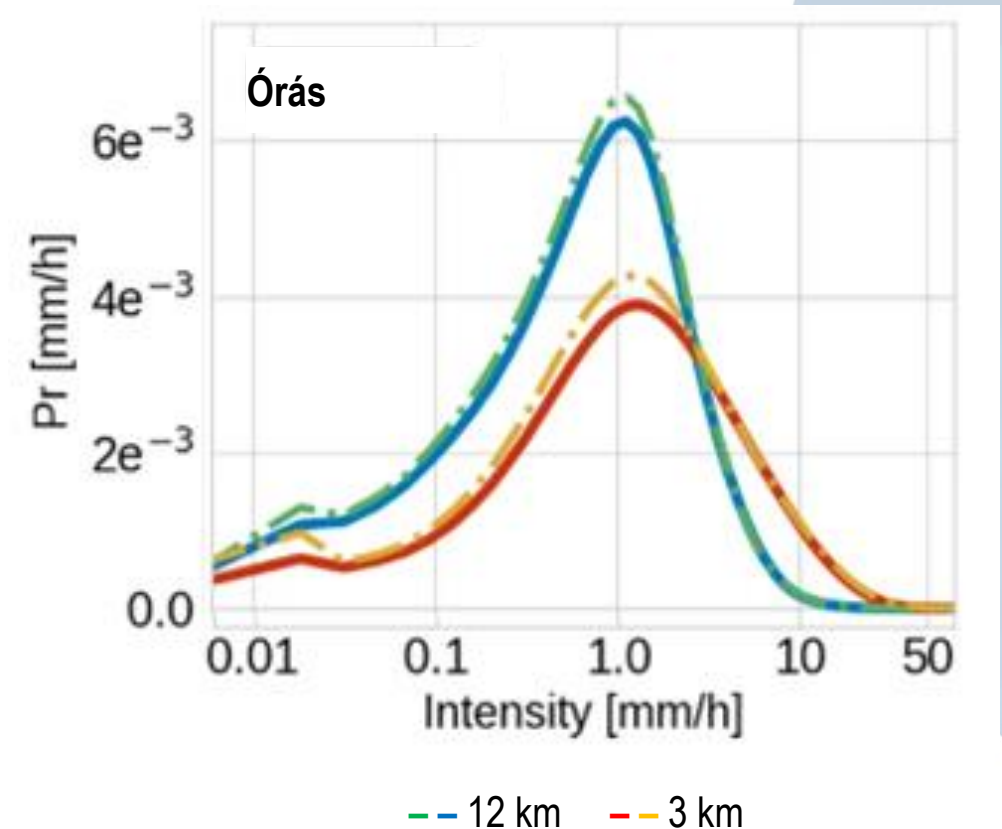
>10 mm/nap növekedés valószínűsége
1971–2000 → 2071–2100



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