

A jövőbeli éghajlatváltozás vizsgálata és a 21. században várható változások Magyarországon

Megyeri-Korotaj Otília

Klímamodellező Csoport, Éghajlatkutató Osztály

megyeri.o@met.hu



TARTALOM

- 1. Az éghajlat modellezése**
2. A jövőbeli projekciók és az eredmények felhasználása



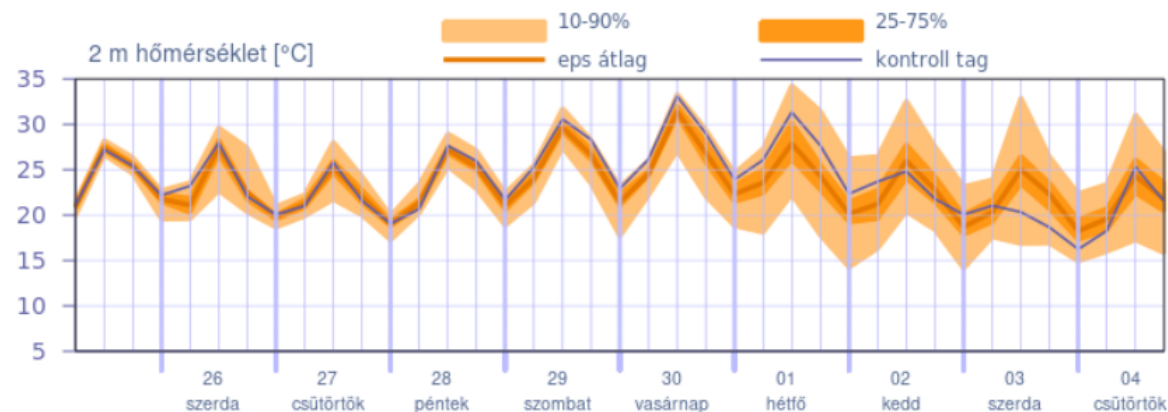
Időjárás előrejelzés vs. Várható éghajlatváltozás vizsgálata

Időjárás előrejelzés:

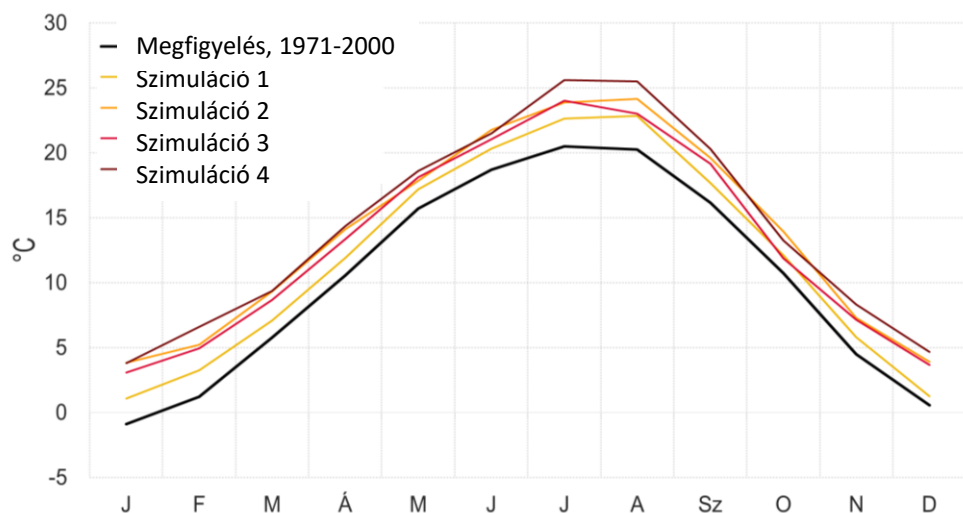
- A **kiindulási állapot** pontos meghatározása kulcsfontosságú
- Főként a légköri és felszíni folyamatok változását tekintjük
- Előrejelzés: **részletes időbeli és térbeli leírás**

ECMWF valószínűségi előrejelzés: Budapest

Készült: 2024.06.25 00 UTC-s futtatásból



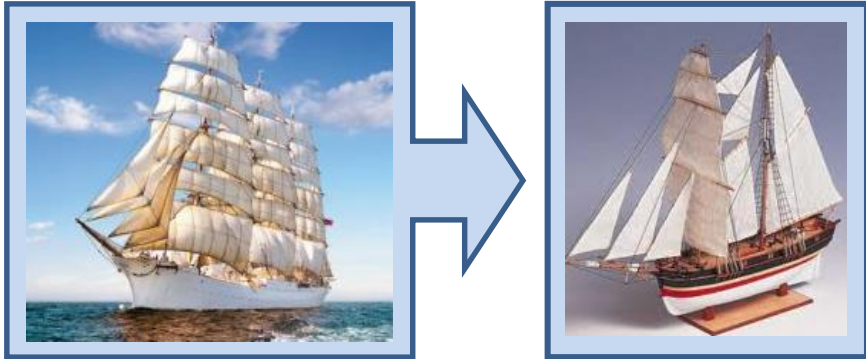
Magyarországi havi átlaghőmérséklet, 2071-2100



Klíma-modellezés → Éghajlati projekció:

- Valamely **megváltozott kényszerre** adott választ vizsgáljuk
- Hosszú időtávon a lassú folyamatok (pl. óceáni) meghatározók
- A **szokásos viselkedést** akarjuk leírni (több tíz évet tekintünk)

A jövőbeli éghajlatváltozás vizsgálata – A klímamodellezés



Az éghajlati rendszer folyamatait **fizikai törvények** kormányozzák

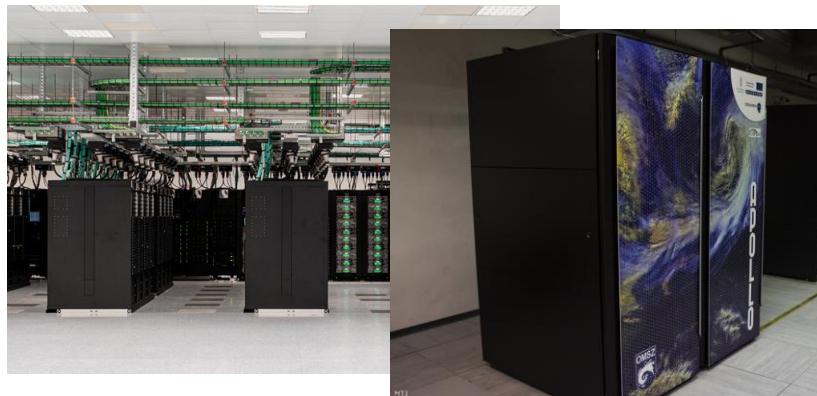
A meteorológiai modellezés célja: a valóságot (időjárást, éghajlatot)

1. Megismerni
2. Leírni
3. Előrejelezni

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{g} - 2\vec{\Omega} \times \vec{V}$$
$$\frac{d\rho}{dt} = -\rho \nabla \cdot \vec{V}$$
$$\frac{dq}{dt} = -\frac{M}{\rho}$$
$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\rho c_p} Q + \frac{RT}{\rho c_p} \frac{dp}{dt}$$
$$p = \rho RT$$

Nincs pontos megoldás
↓
közelítések

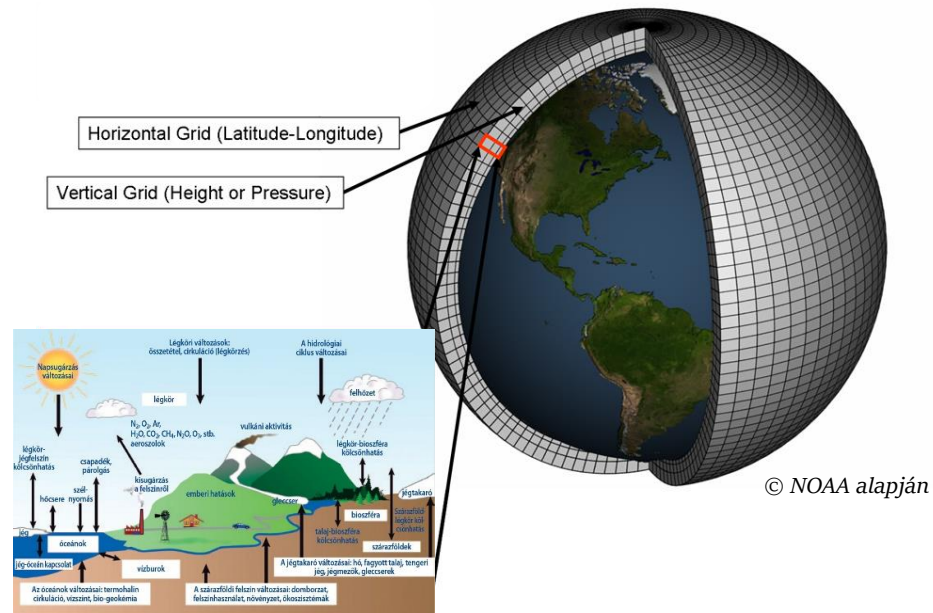
A megoldás előállítása rendkívül számításigényes



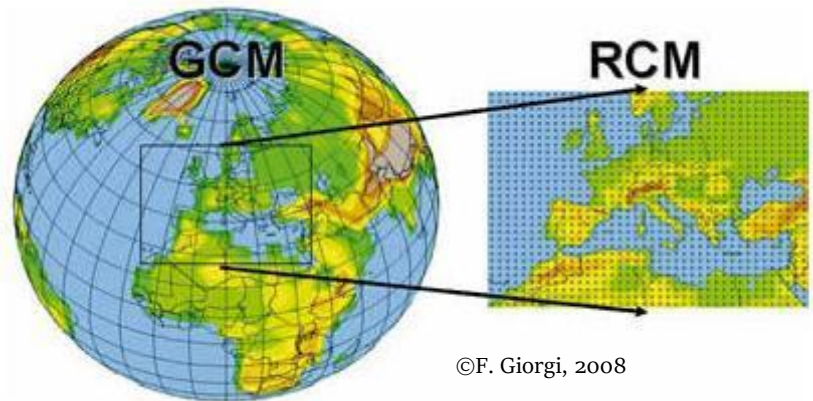
Éghajlati modellek főbb típusai

Globális modellek

- 100–250 km horizontális felbontás
- Légköri-óceáni modellek, Föld rendszer modellek, stb.
- Alkalmazás: az éghajlati rendszer válasza valamilyen megváltozott kényszerre



© NOAA alapján



©F. Giorgi, 2008

Regionális modellek

- Általában légköri modellek
- Kisebb tartomány, finomabb felbontás (10–25 km) → folyamatok pontosabb leírása
- Alkalmazás: a globális információ finomítása, regionális változások vizsgálata

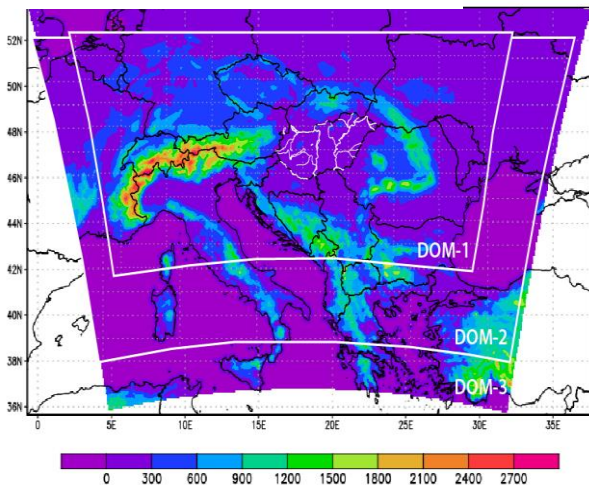
A klímamodellezés folyamata

A modelleket egy múltbeli időpontból indítjuk és a XXI. század végéig futtatjuk: jellemzően 1950–2100-ig.

Tesztelés/érzékenység vizsgálat:

futtatás rövidebb, pl. 10 éves időszakon, integrálási tartomány kiválasztása

REMO2015 tartományok

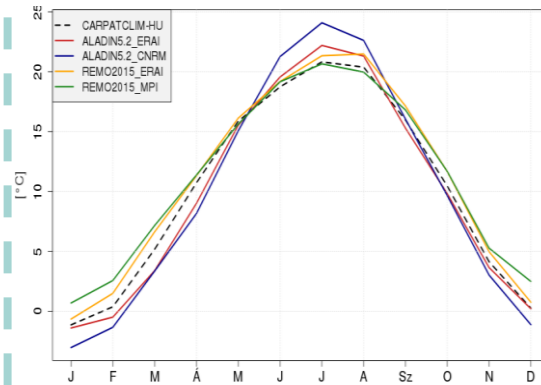


Suga et al., 2021.

Validáció:

a modelleredményeket múltbeli időszakon mérésekkel vetjük össze.

Elvárt pontosság: az éghajlati jellemzők leírása (legalább 20–30 évet vizsgálva)



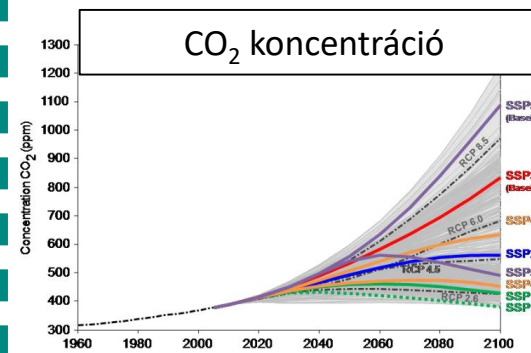
Megyeri-Korotaj et al., 2023.

Projekció:

jövőbeli időszakon az emberi tevékenység alakulása bizonytalan, leírására

forgatókönyvekkel történik

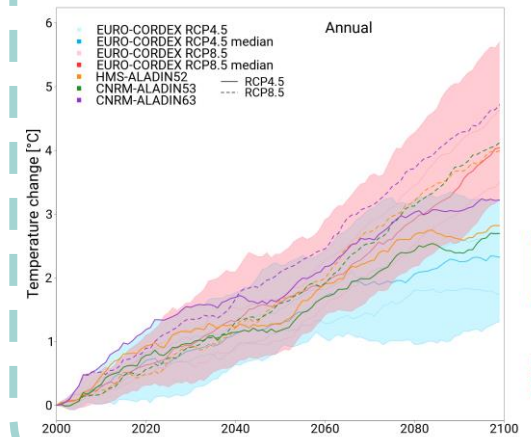
~~Előrejelzés~~ → feltételes projekciók



O'Neill et al., 2016

Utófeldolgozás:

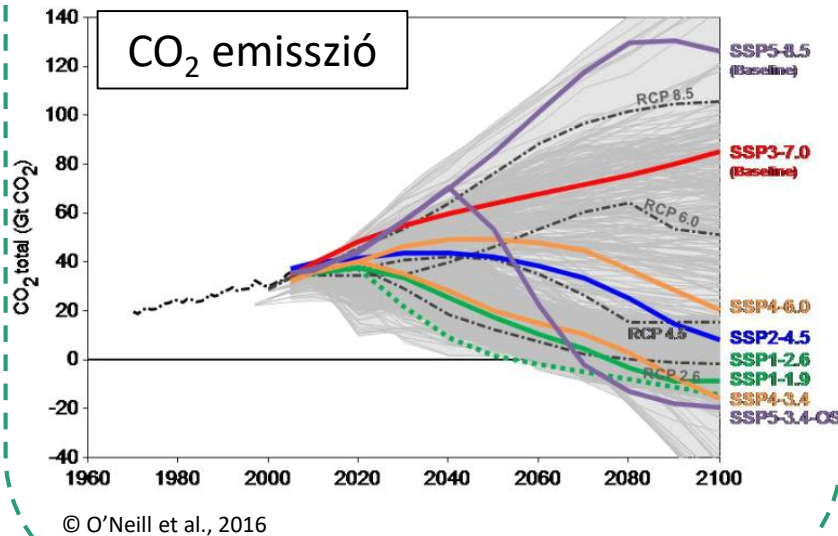
Hibakorrekció, döntést segítő információk előállítása (speciális paraméterek számítása, bizonytalanság becslése)



Bán et al., 2021.

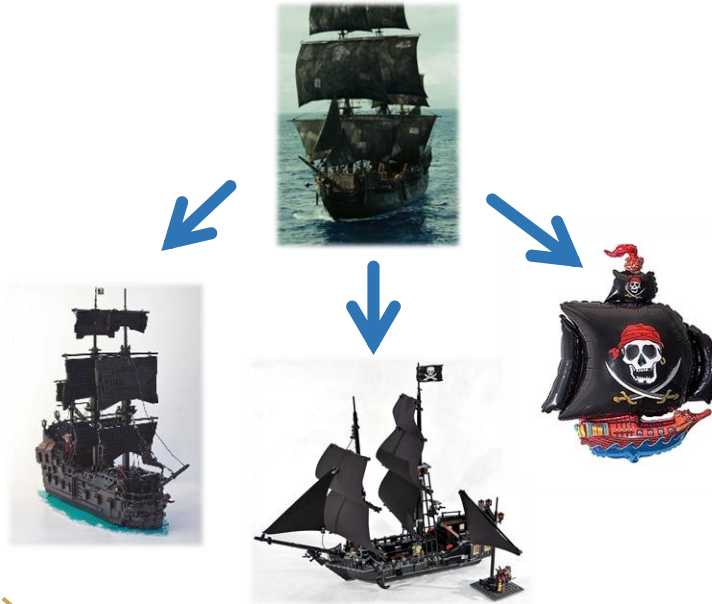
A klímamodellezés bizonytalanságai

1. Emberi tevékenység: hogy alakul a jövőben? Csak feltételezések, forgatókönyvek

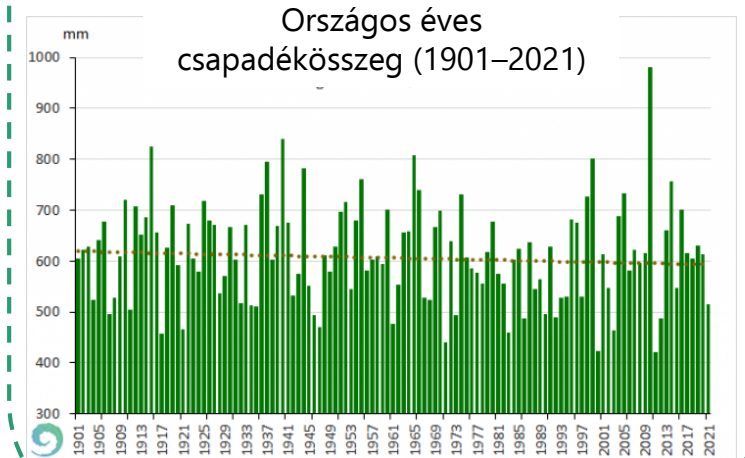


+1: **Eltérő peremfeltételek**

2. Modellek közelítő jellege: eltérő közelítő módszerek → eltérő eredmények



3. Természetes változékonyság: ingadozás → az éghajlati rendszer belső tulajdonsága

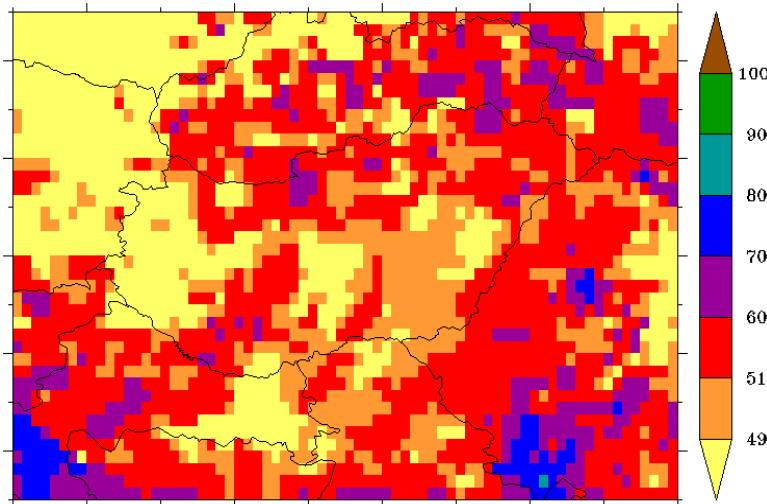


Az éghajlatváltozás vizsgálatakor nem támaszkodhatunk egyetlen modellkísérlet eredményére!

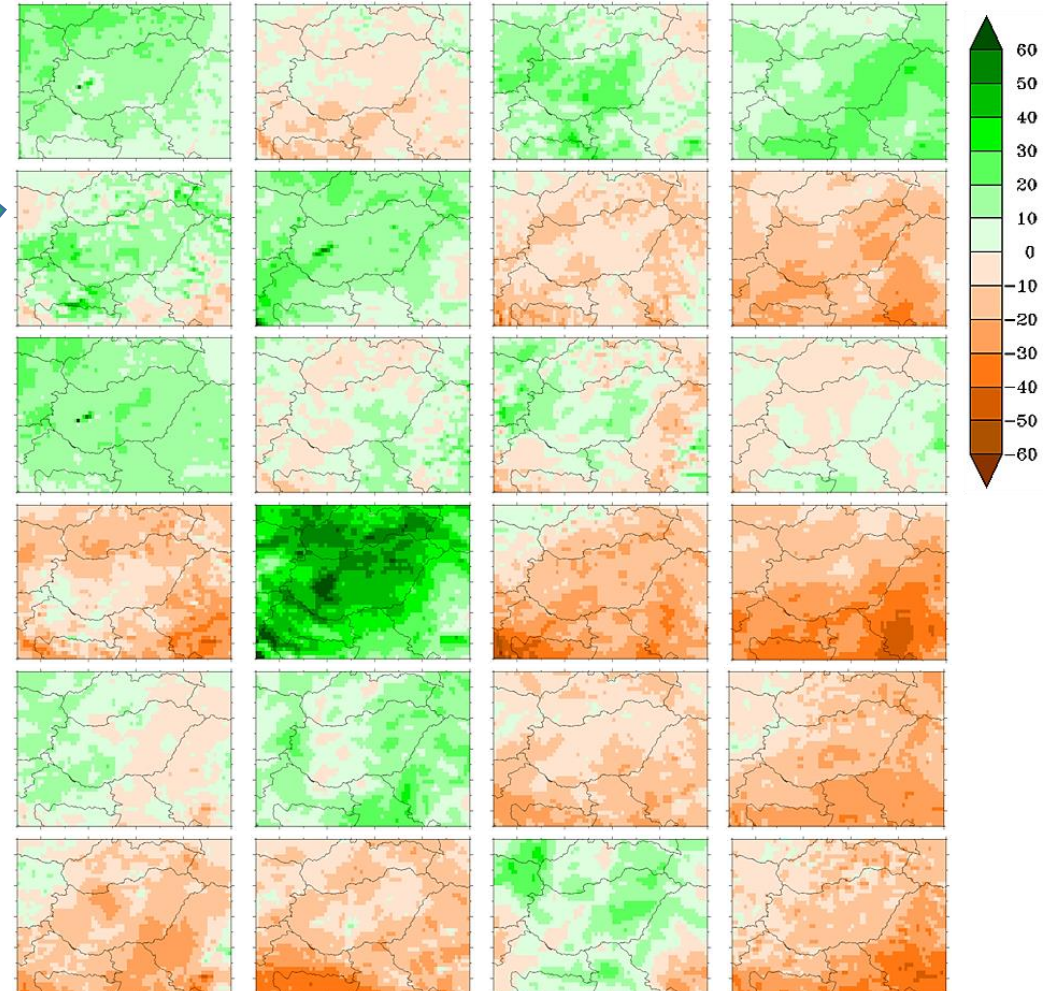
A klímamodellezés bizonytalanságai

- A bizonytalanság számszerűsítése ún. ensemble (együttes) módszerrel történik: egy modellkísérlet helyett **több modellt és több forgatókönyvet** együttesen veszünk figyelembe
- Az így készített projekciók egyformán lehetségesek → **valószínűségi információ**

Nyári csapadékcsökkenés valószínűsége (%)



Nyári csapadékváltozás (%) 24 európai modellszimuláció eredménye alapján, 2071-2100.
Referencia-időszak: 1971–2000



Allaga-Zsebeházi G. et al., 2022

Vizsgálatok a HungaroMet-nél

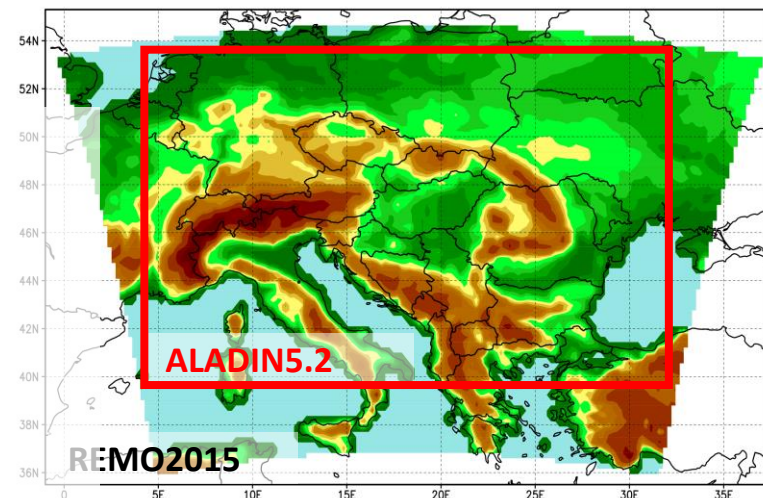
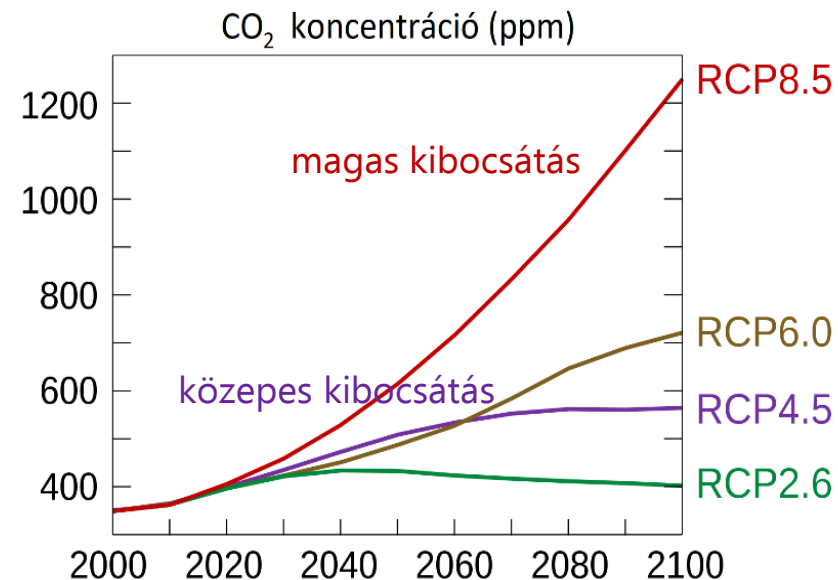
A HungaroMet-nél a kutatások két modellel és két forgatókönyvvel folynak:

Modell	Felbontás	Időszak	Forgatókönyv
REMO2015	10 km	1950–2100	RCP4.5, RCP8.5
ALADIN5.2	10 km	1950–2100	RCP4.5, RCP8.5



Ez összesen 4 szimulációt jelent

- Jövőbeli változások vizsgálatának fő időszakai: 2021–2050 → 2041–2070; 2071–2100
- Referencia: 1971–2000
- További vizsgálatok európai központok modelleredményeinek felhasználásával



WCRP
CORDEX

A városi éghajlatváltozás vizsgálata

1 modell és 2 forgatókönyv → 2 szimuláció

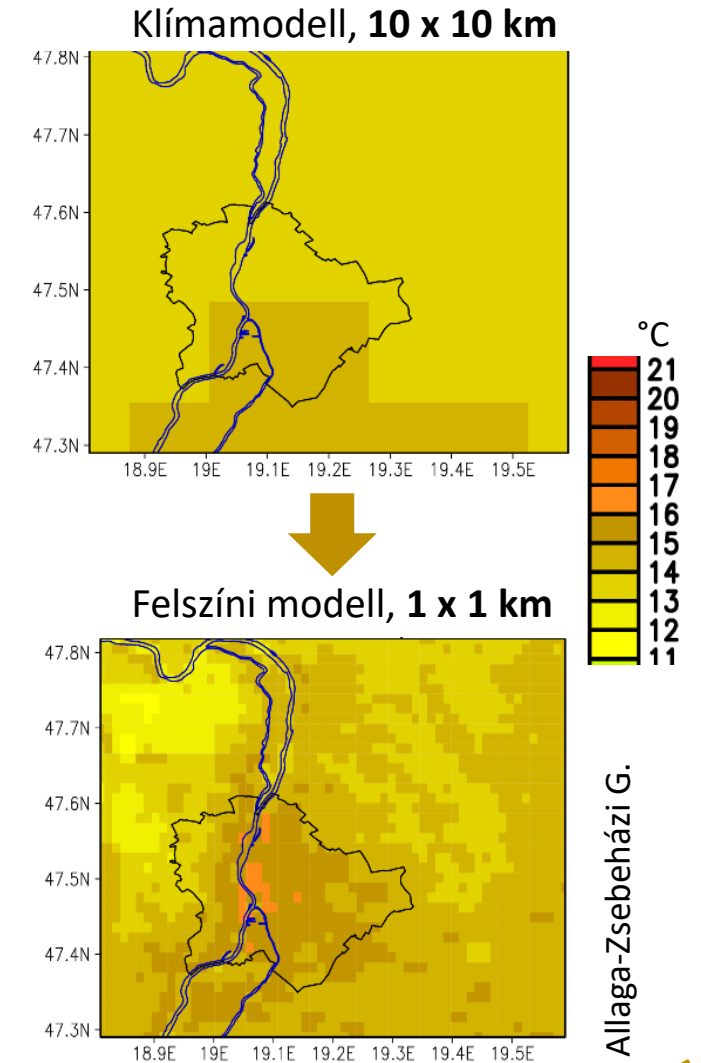
Meghajtó légköri modell	Modell	Felbontás	Időszak	Forgatókönyv	Terület
ALADIN5.2	SURFEX v5.1	1 km	1970–2100	RCP4.5, RCP8.5	Budapest, Szeged

- A városi körülményeket (felszín-légkör kölcsönhatások) a regionális modellek **ma még nem** tudják leírni
→ eredmények finomítása **felszíni modellekkel**

SURFEX felszíni modell:

- A rácscellákban **4 felszíntípus** (tó, tenger, növényzet, város) relatív aránya
- A **városi hőmérsékleti- és szélviszonyokat** képes leírni néhány 10 m-es rétegben (csapadékot nem!)

Éves átlaghőmérséklet 2071-2100, RCP8.5

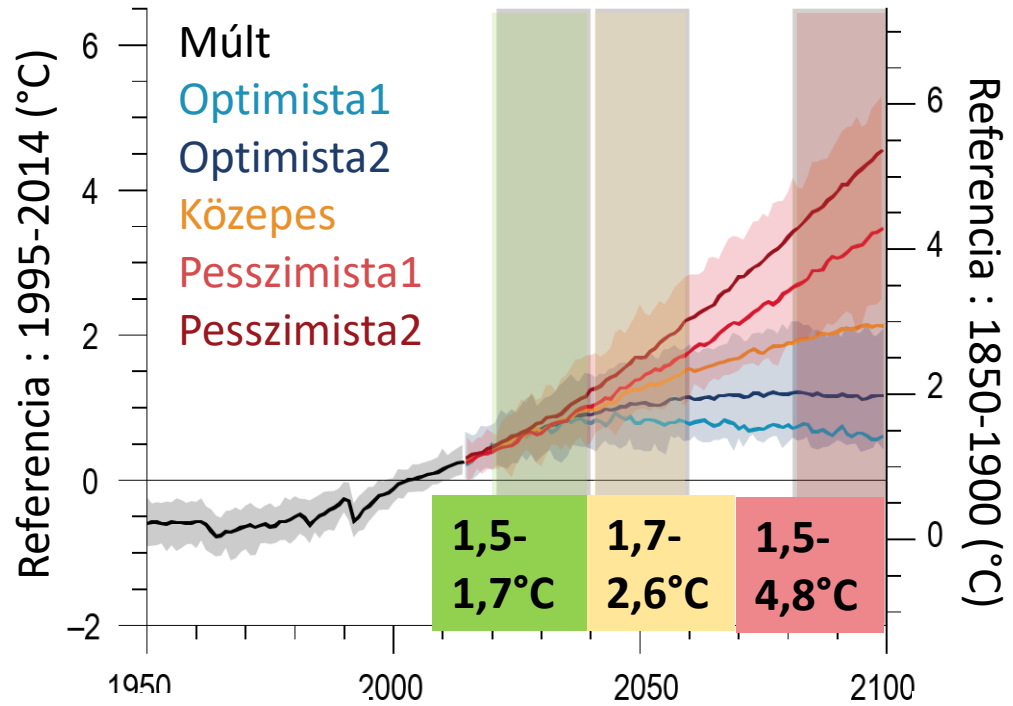


TARTALOM

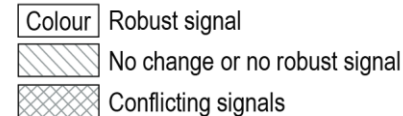
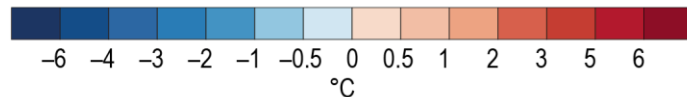
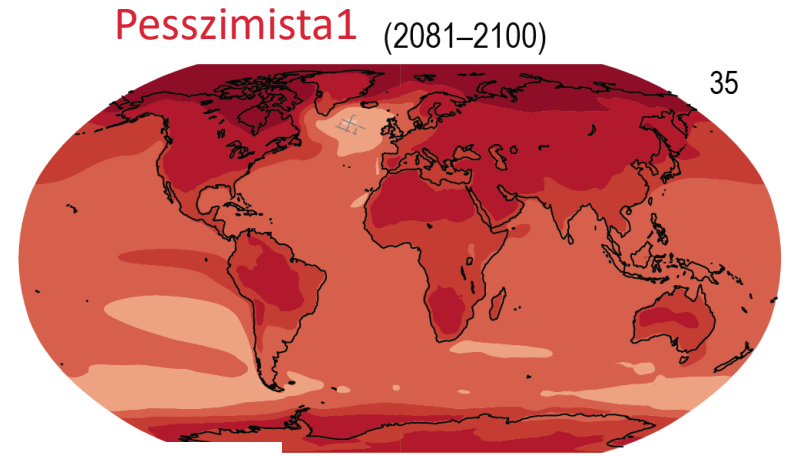
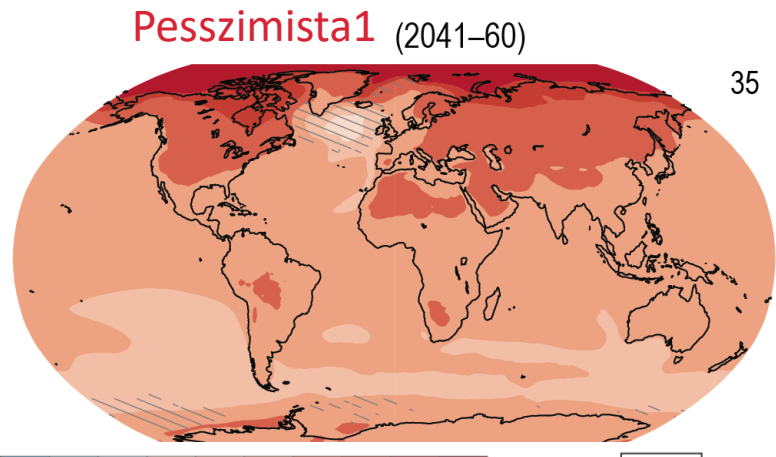
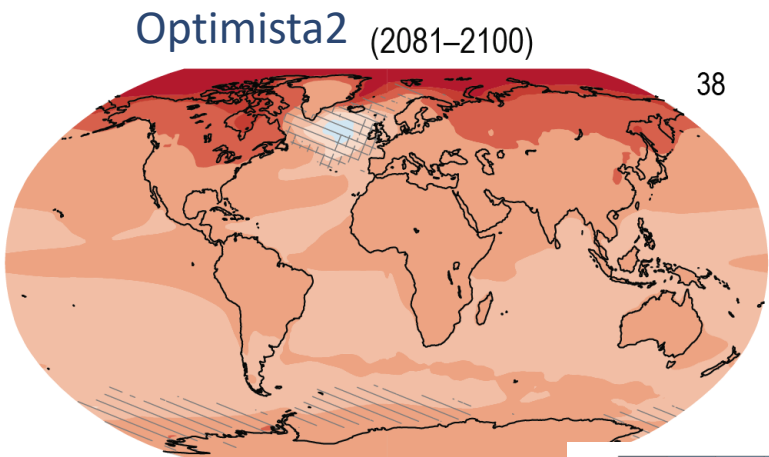
1. Az éghajlat modellezése
- 2. A jövőbeli projekciók és az eredmények felhasználása**



Globális hőmérsékletváltozás - áttekintés



- A forgatókönyvek szerint 1,5-1,7°C közötti átlagos hőmérséklet emelkedésre számíthatunk a közeljövőben (2021-2040), 1,7-2,6°C között a 2041-2060-es időszakban és 1,5-4,8°C közötti a 2081-2100-as időszakban
- Az északi és szárazföldi területek fognak továbbra is jobban melegedni



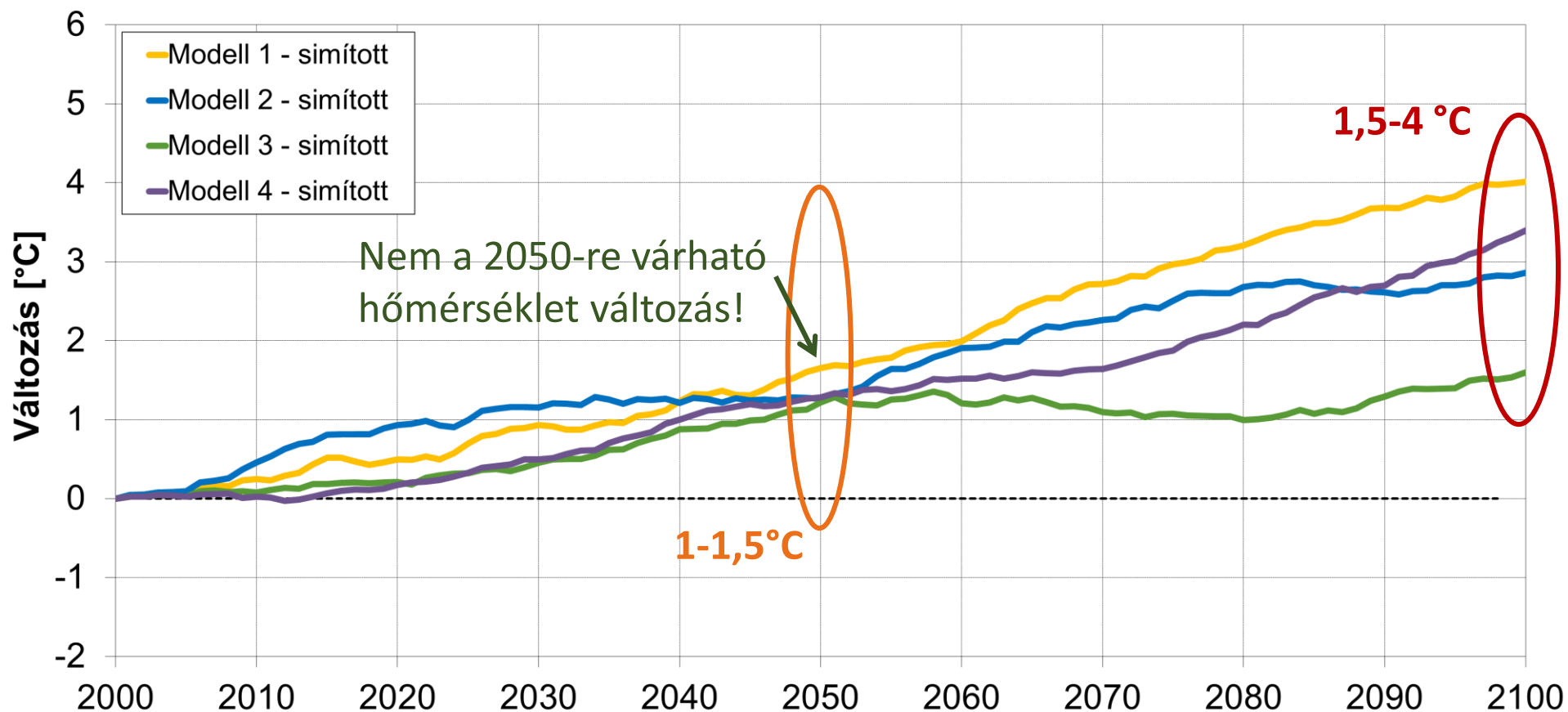
Vizsgálatok a HungaroMet-nél – hőmérséklet



„A jövőben egyre melegebb lesz...”

Igen, de milyen mértékben?

Magyarországi éves hőmérsékletváltozás
Referencia: 1971–2000



- Egyértelmű hőmérséklet emelkedés a közeli és a távoli jövőben is
- **2050:** a 2021–2050 és az 1971–2000 időszakok átlaghőmérsékletének eltérése

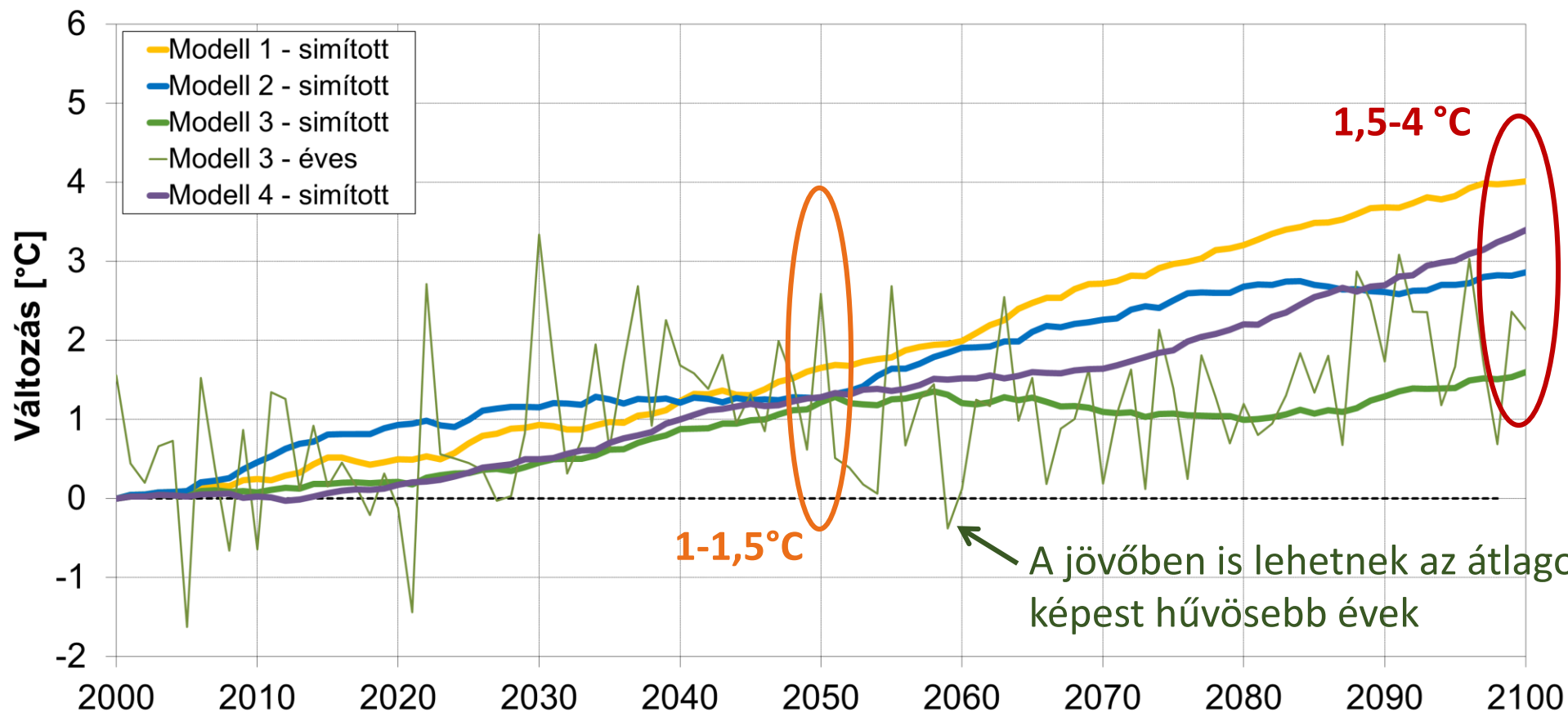
Vizsgálatok a HungaroMet-nél – hőmérséklet



„A jövőben egyre melegebb lesz....”

Igen, de milyen mértékben?

Magyarországi éves hőmérsékletváltozás
Referencia: 1971–2000

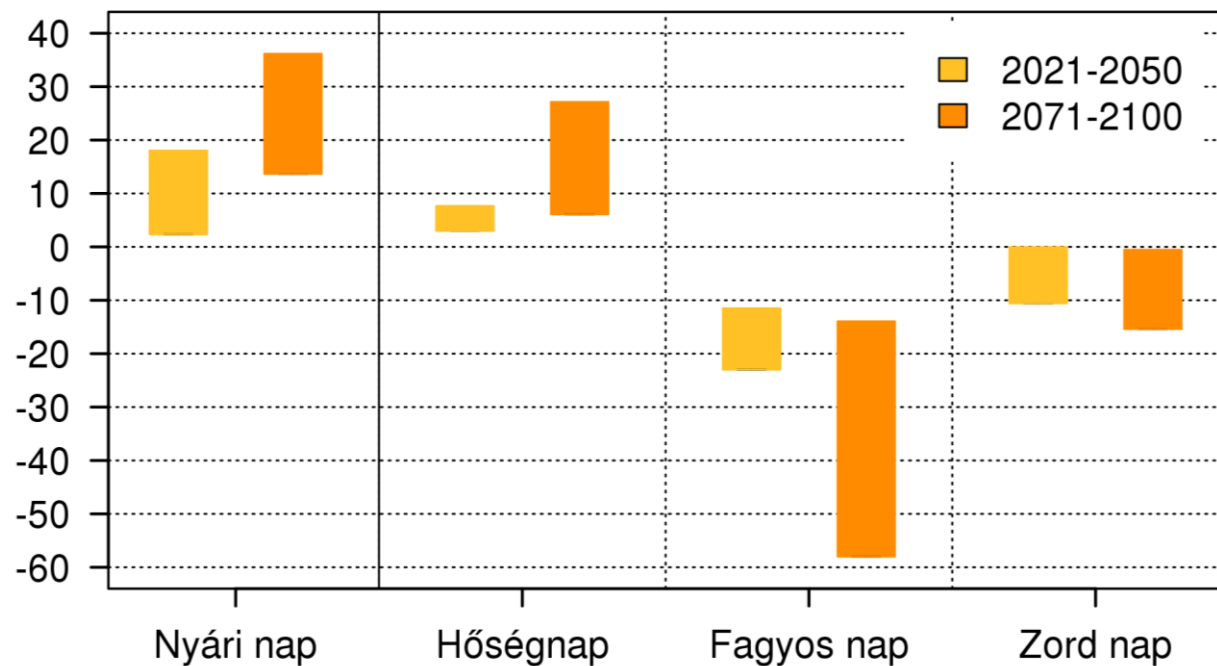


- **Egyértelmű hőmérséklet emelkedés a közeli és a távoli jövőben is**
- **2050:** a 2021–2050 és az 1971–2000 időszakok átlaghőmérsékletének eltérése

Hőmérsékleti indexek

- **Nyári napok** éves számában ($T_{\max} > 25\text{ °C}$) **2-18** és **14-36** nap közötti növekedésre számíthatunk
- **Hőségnapok** éves számában ($T_{\max} \geq 30\text{ °C}$) **2-8** és **6-27** nap növekedés várható
- A **fagyos napok** ($T_{\min} < 0\text{ °C}$) és **zord napok** ($T_{\min} < -10\text{ °C}$) éves száma várhatóan csökkenni fog a század végéig: rendre **14-58**, illetve **1-9** nappal.

Hőmérsékleti indexek éves számának várható változása [nap]



71,6 nap

17,2 nap

97,2 nap

9 nap

Megfigyelt értékek az 1971-2000-es referencia időszakban
(HUCLIM adatbázis)

Éghajlati indexek



©Pixabay

Adatok forrása:
klimadat.met.hu

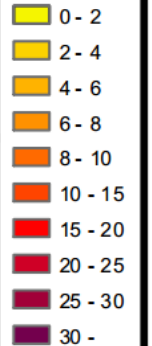
Túl meleg éjszakák ($T_{\min} > 20\text{ °C}$) éves száma

mérés, 1971-2000

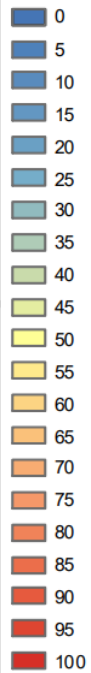
Országos
átlag: 1 nap



Jelkulcs
nap

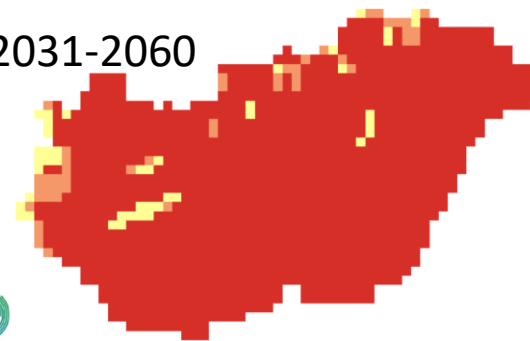


Jelkulcs
%



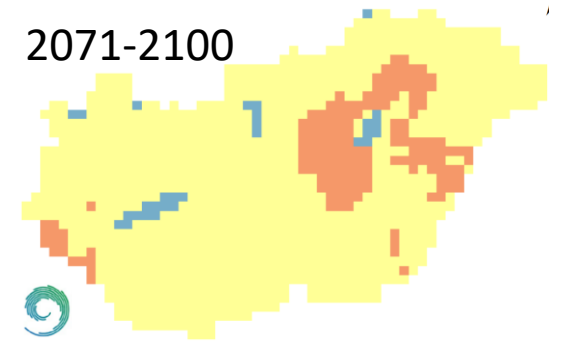
10 napos növekedés
valószínűsége

2031-2060

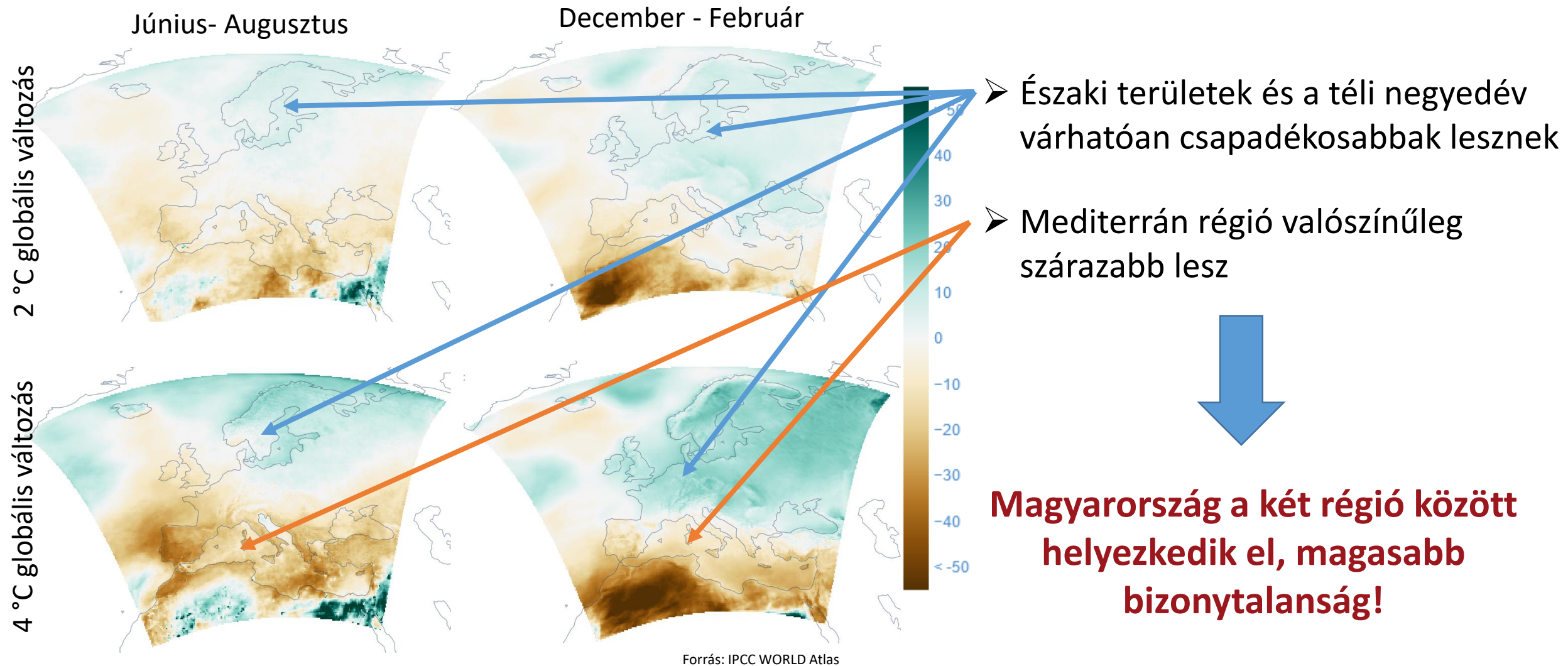


30 napos növekedés
valószínűsége

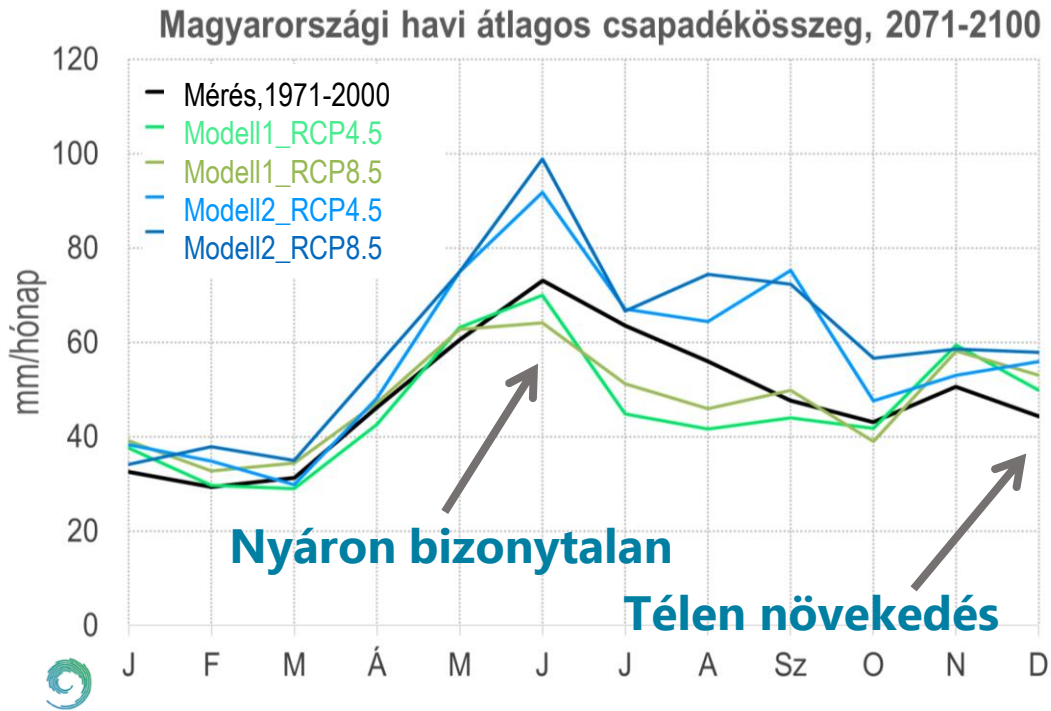
2071-2100



Csapadékváltozás Európában

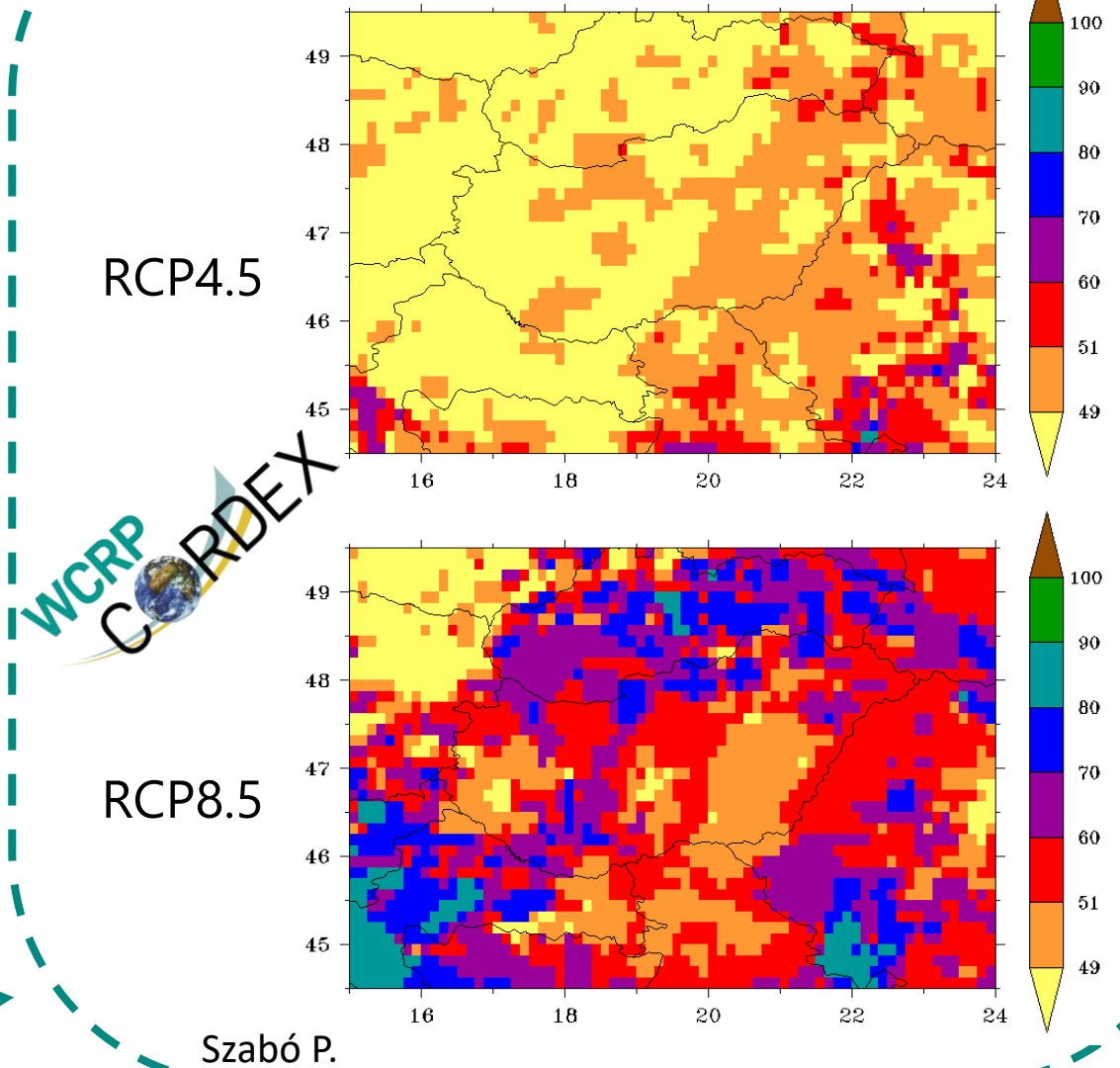


Vizsgálatok a HungaroMet-nél – csapadék



- **Télen csapadéknövekedés** várható
- **Hazai és európai modelleredmények (EURO-CORDEX)** vizsgálata szerint is bizonytalan a **nyári** változás iránya
- Nagy mértékű kibocsátás esetén inkább **csökkenés** várható nagyobb valószínűséggel

Nyári csapadékcsökkenés valószínűsége (%), 2071-2100



Vizsgálatok a HungaroMet-nél – csapadék

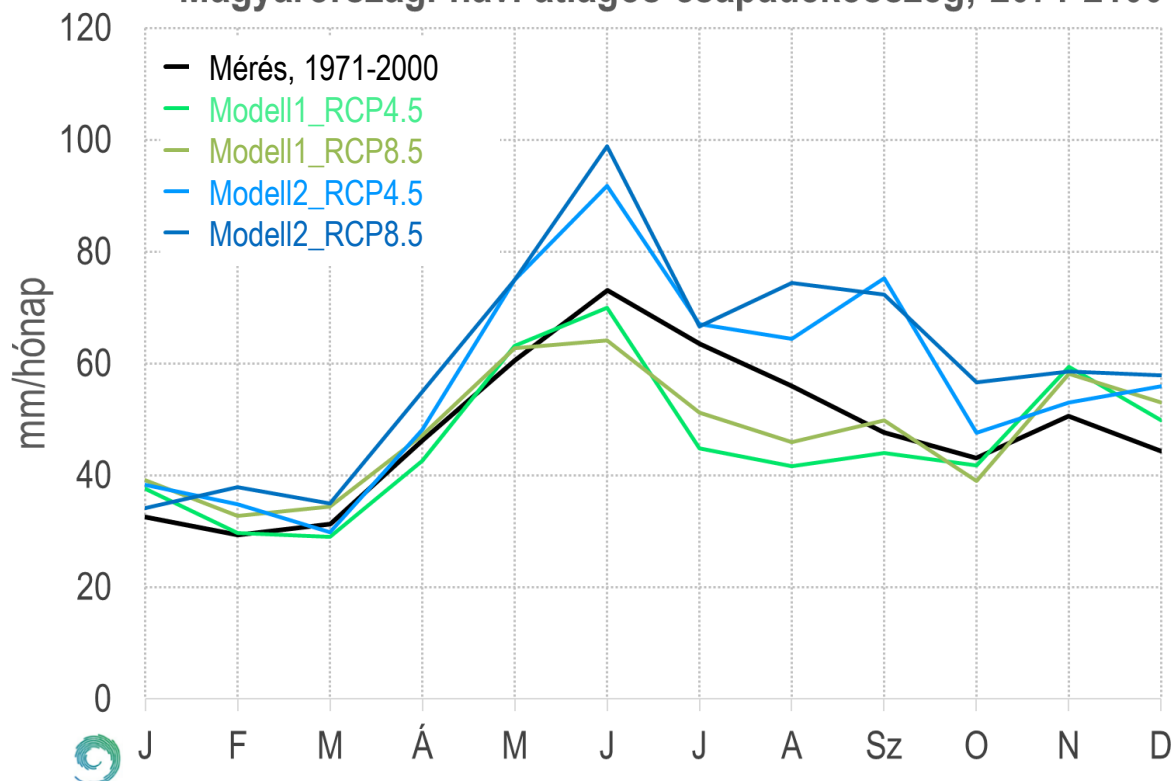


„Mediterrán lesz Magyarország éghajlata”

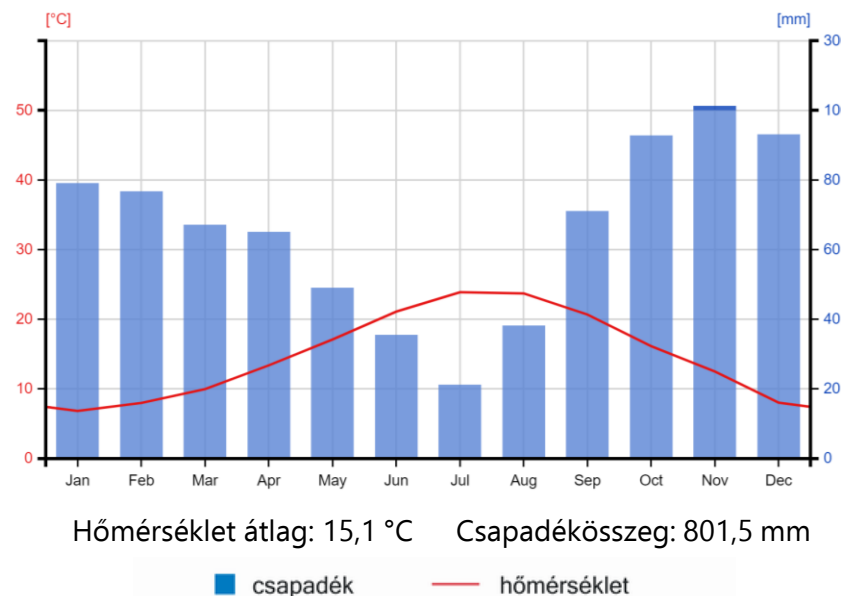
A modelleredmények alapján nem

A nyári csökkenés és a téli növekedés ellenére továbbra is nyári csapadék maximum és téli csapadék minimum lesz jellemző hazánkra.

Magyarországi havi átlagos csapadékösszeg, 2071-2100



Róma/Ciampino, Olaszország (1961-1990)

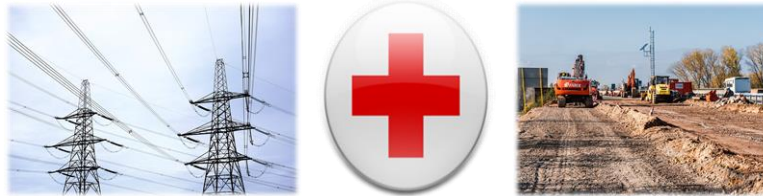


Modelleredmények felhasználása

Éghajlatváltozás vizsgálata
(modelleredmények + bizonytalanság)



Hatások vizsgálata
Objektív hatásvizsgálati módszerek
(Pl.: csapadékváltozás hatása a búzatermesztésre,
folyami vízszintre, városi viszonyokra)



Eredmények felhasználása: **tervezés,**
döntéshozatal során
(Pl.: új fajok honosítása, vízpótlás, **városfejlesztés**)

Irodalom

- Suga et al., 2021: Sensitivity study of the REMO regional climate model to domain size, *Adv. Sci. Res.*, 18, 157–167, <https://doi.org/10.5194/asr-18-157-2021>
- Megyeri-Korotaj et al., 2023: Assessment of Climate Indices over the Carpathian Basin Based on ALADIN5.2 and REMO2015 Regional Climate Model Simulations. *Atmosphere*, 14, 448., <https://doi.org/10.3390/atmos14030448>
- Bán et al., 2021: ALADIN-Climate at the Hungarian Meteorological Service: From the beginnings to the present day's results. *Időjárás*, 125, 647–673., <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.4.6>
- Allaga-Zsebeházi G. et al., 2022: Kisokos a klímamodell-eredmények gyakorlati felhasználására. *KlimAdat (KEHOP-1.1.0) projekt kiadvány*, 28 p.
- Megyeri-Korotaj et al., 2022: A REMO2015 és az ALADIN5.2 regionális klímamodellek projekciós eredményeinek közös kiértékelése. *KlimAdat (KEHOP-1.1.0) projekt beszámoló*, 2022. március, 54 p.



Köszönöm a figyelmet!



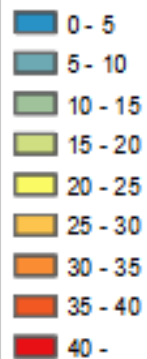
Csapadék indexek



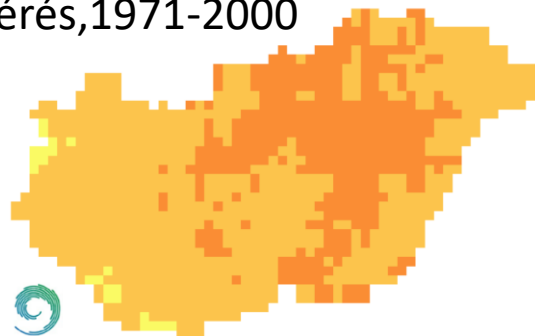
© Unsplash

Egymást követő száraz napok maximális éves átlagos száma

Jelkulcs nap



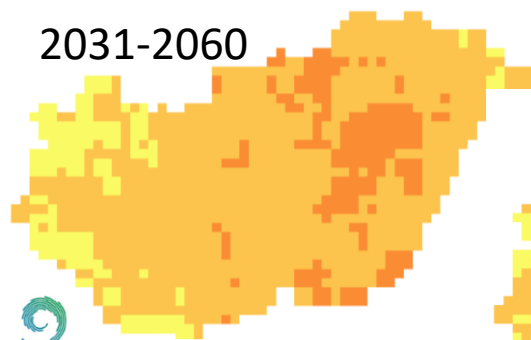
mérés, 1971-2000



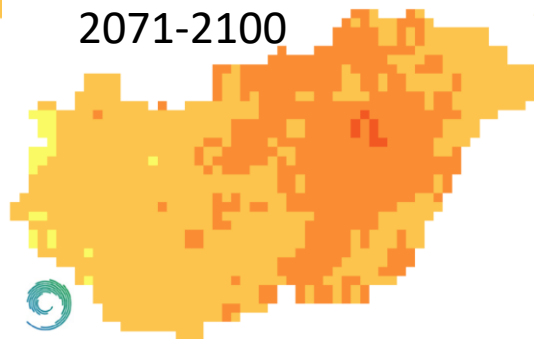
Országos átlag: 29 nap

Medián várható érték

2031-2060



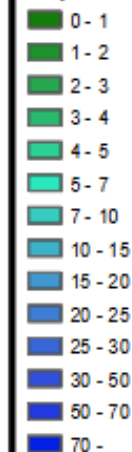
2071-2100



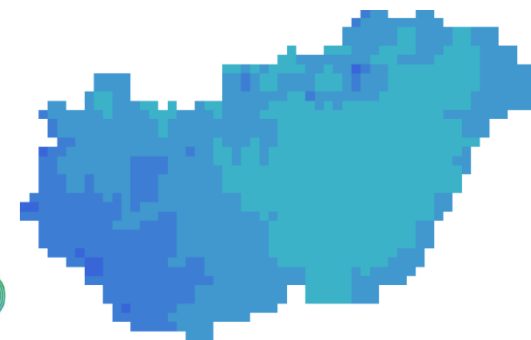
10 mm-t meghaladó csapadékú napok száma

mérés, 1971-2000

Jelkulcs nap

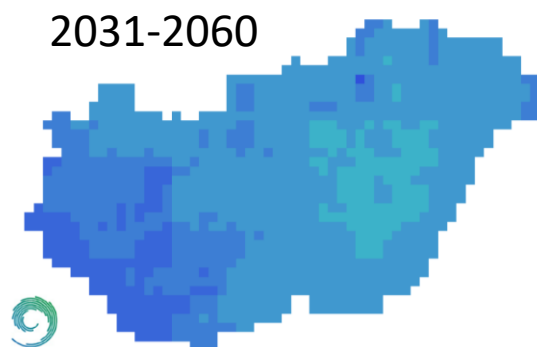


Országos átlag: 16 nap



Medián várható érték

2031-2060



2071-2100

