

MAGYARORSZÁGRA VONATKOZÓ REGIONÁLIS ÉGHAJLATI MODELLEREDMÉNYEK

Bán Beatrix, Megyeri-Korotaj Otília, Suga Réka,
Allaga-Zsebeházi Gabriella, Szépszó Gabriella

*Modellezési Osztály
Országos Meteorológiai Szolgálat*

KlimAdat projekt zárórendezvény
Budapest, 2022.03.30.

SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Kohéziós Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE



TARTALOM

- **Motiváció**
- **Modellkísérletek**
- **A modellezés menete**
- **Eredmények:**
 - **Validáció**
 - **Projekció**
- **Összefoglalás és tervek**

TARTALOM

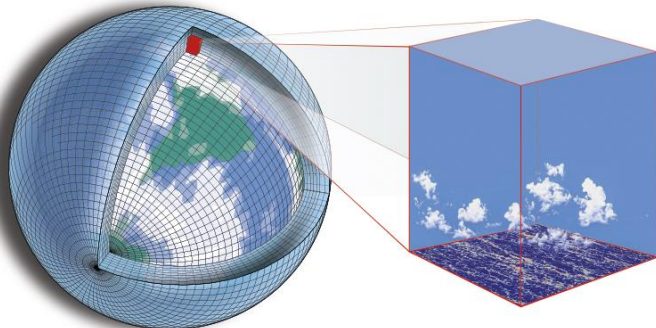
- **Motiváció**
- **Modellkísérletek**
- **A modellezés menete**
- **Eredmények:**
 - **Validáció**
 - **Projekció**
- **Összefoglalás és tervek**

MOTIVÁCIÓ

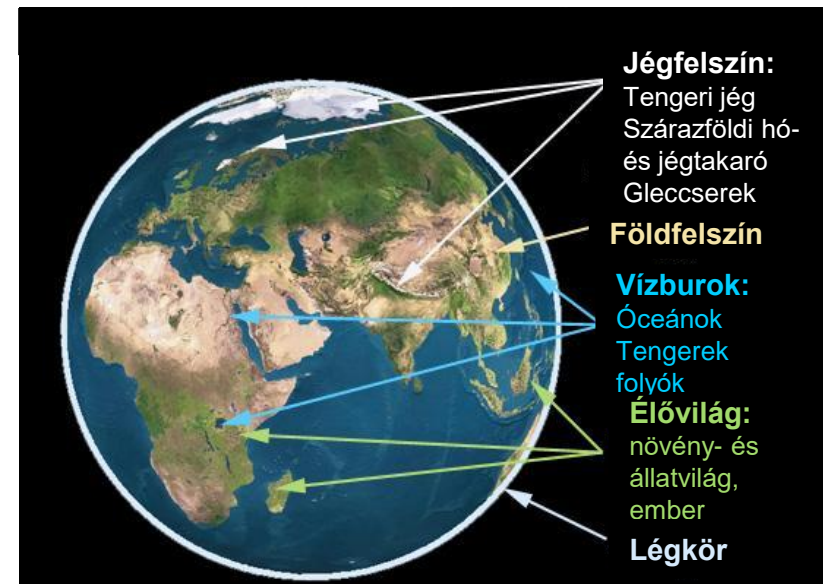
A klímaváltozás magyarországi hatásaira való felkészüléshez elengedhetetlen a változások irányának és mértékének ismerete



Eszköze: **éghajlati modellezés** → a teljes éghajlati rendszer fizikai folyamatainak közelítő leírása (pl. 3-dimenziós térbeli rács, időlépések)



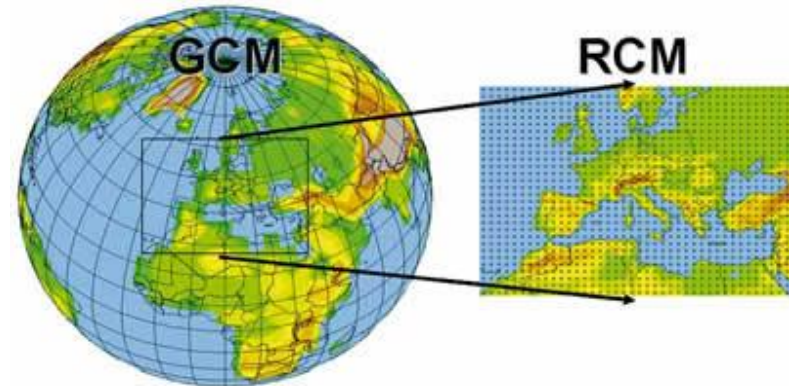
pl. 6 perc



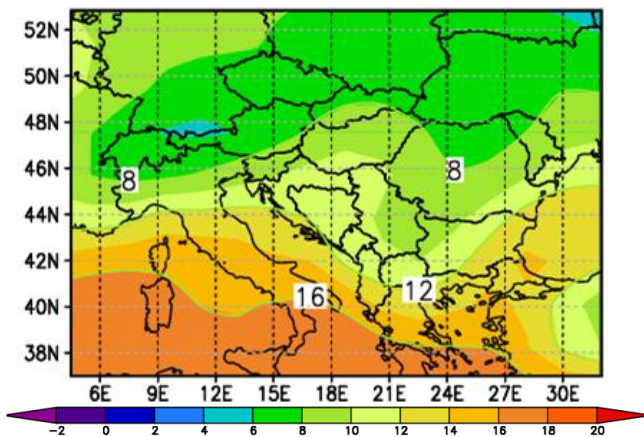
MOTIVÁCIÓ – KLÍMAMODELLEK FAJTÁI

Globális modellek (GCM)

- 250-100 km felbontás
- Magyarországra néhány pont
- Alkalmazás: az éghajlati rendszer válasza a megváltozott kényszerre



Átlaghőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$], 1961–1990
Globális (200 km)



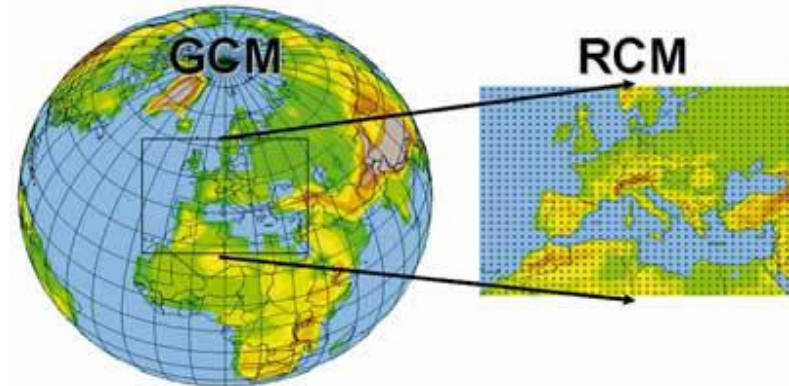
Regionális modellek (RCM)

- Kiseb terület, finomabb felbontás
→ folyamatok pontosabb leírása
- Alkalmazás: a globális információ finomítása, a lokális változások vizsgálata

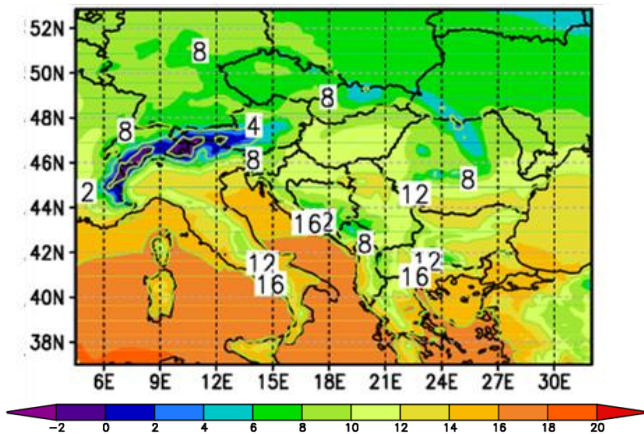
MOTIVÁCIÓ – KLÍMAMODELLEK FAJTÁI

Globális modellek (GCM)

- 250-100 km felbontás
- Magyarországra néhány pont
- Alkalmazás: az éghajlati rendszer válasza a megváltozott kényszerre



Átlaghőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$], 1961–1990
Regionális (25 km)

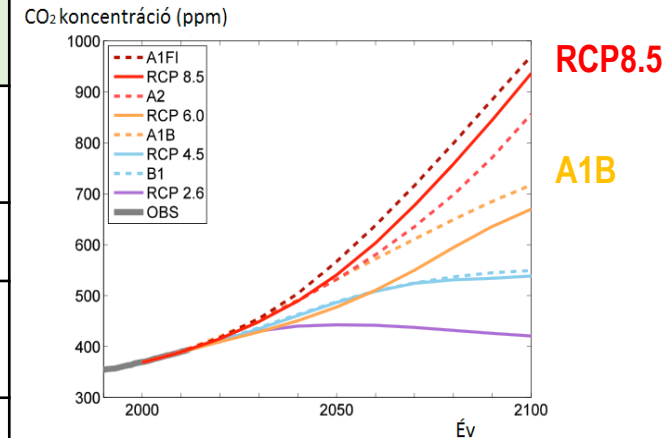


Regionális modellek (RCM)

- Kiseb terület, finomabb felbontás
→ folyamatok pontosabb leírása
- Alkalmazás: a globális információ finomítása, a lokális változások vizsgálata

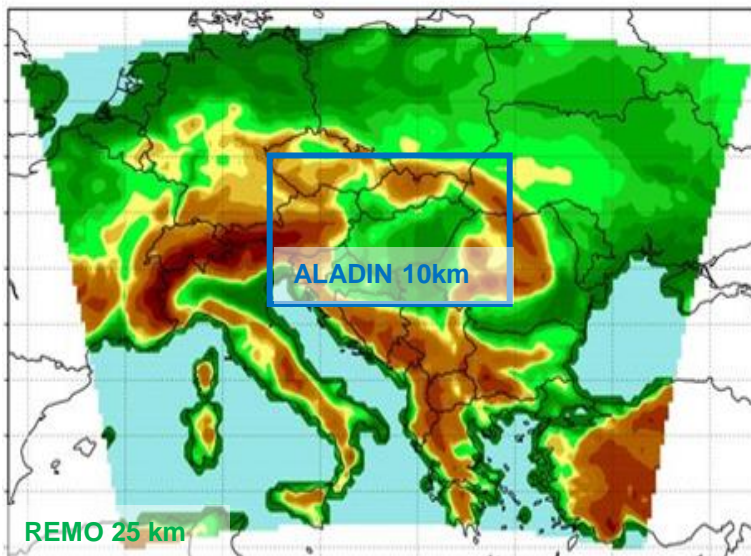
MOTIVÁCIÓ – KORÁBBI SZIMULÁCIÓK

Regionális modell	Határfeltétel	Felbontás	Időszak	Forgatókönyv
ALADIN4.5	ARPEGE-Climat/OPA	10 km	1961–2100	A1B
	ERA40		1961–2000	-
REMO5.0	ECHAM5/MPI-OM	25 km	1951–2100	A1B
	ERA40		1961–2000	-



Miért volt szükség a továbbfejlesztésre?

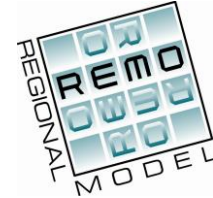
- Felbontás finomítása → a REMO5.0 adaptálásakor (2000-es évek eleje) az elérhető horizontális felbontás 25 km volt
- Tartomány → ALADIN4.5 esetén túl kicsi, a széleken zavart okoz az orográfia, vízgyűjtők nincsenek lefedve
- Forgatókönyv → SRES helyett RCP



TARTALOM

- **Motiváció**
- **Modellkísérletek**
- **A modellezés menete**
- **Eredmények:**
 - **Validáció**
 - **Projekció**
- **Összefoglalás és tervek**

MODELLKÍSÉRLETEK



Modell	ALADIN5.2	ALADIN5.2	REMO2015	REMO2015
Határfeltétel (LBC)	ERA-Interim	CNRM-CM5 → ALADIN5.2	ERA-Interim	MPI-ESM-LR → REMO2015
Horizontális felbontás	10 km			
Vertikális szintek száma	31		23	
LBC horizontális felbontása	80 km	50 km	80 km	50 km
Futtatási időszak	1980-2000	1950-2100	1980-2000	1950-2100
Szenárió	-	RCP4.5, RCP8.5	-	RCP4.5, RCP8.5

TARTALOM

- **Motiváció**
- **Modellkísérletek**
- **A modellezés menete**
- **Eredmények:**
 - **Validáció**
 - **Projekció**
- **Összefoglalás és tervek**

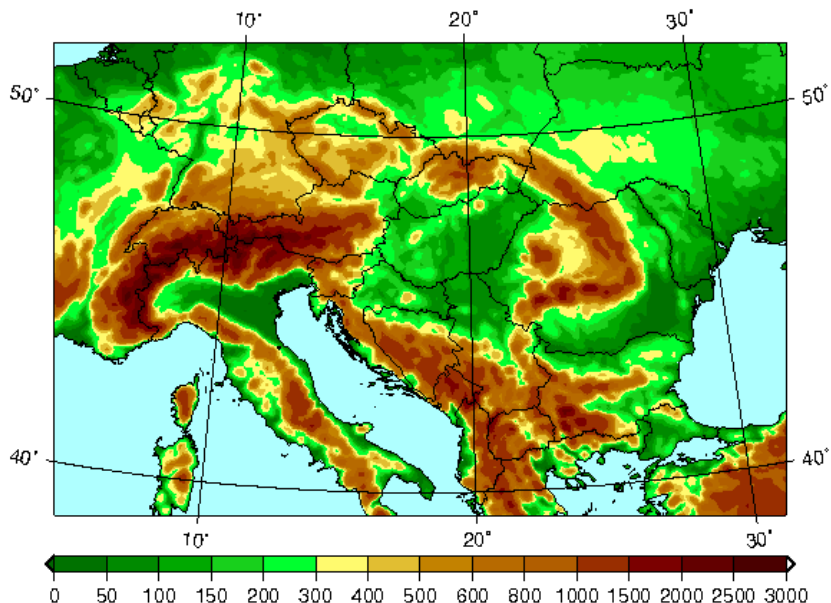
A MODELLEZÉS MENETE – ÉRZÉKENYSÉG-VIZSGÁLAT

Tesztfuttatások alapján meghatároztuk a megfelelő integrálási tartományt

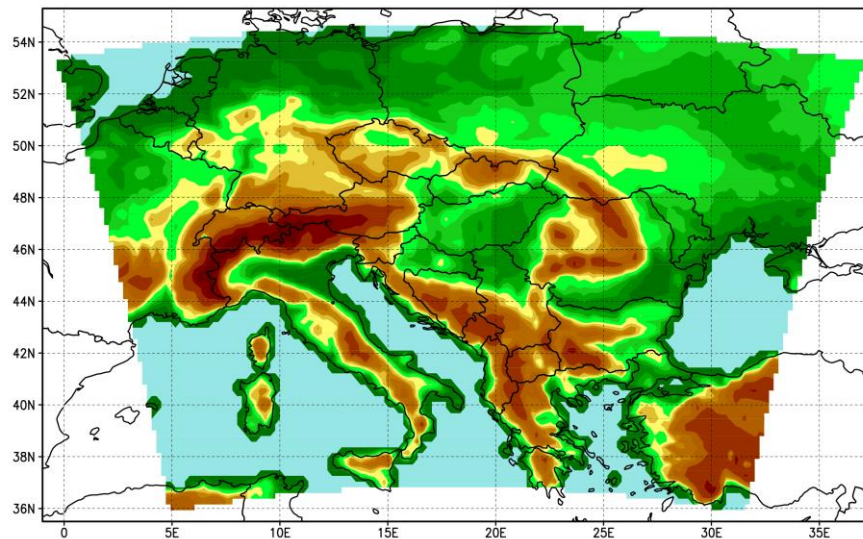
- Integrálási időszak: 1971–1980
- 3-3 próbatartomány
- Nagyságát meghatározó tényezők: vízgyűjtő területek, peremek elegendő távolsága magas domborzati elemektől
- Referencia: rácsra interpolált megfigyelés

Modellszimulációk tartománya

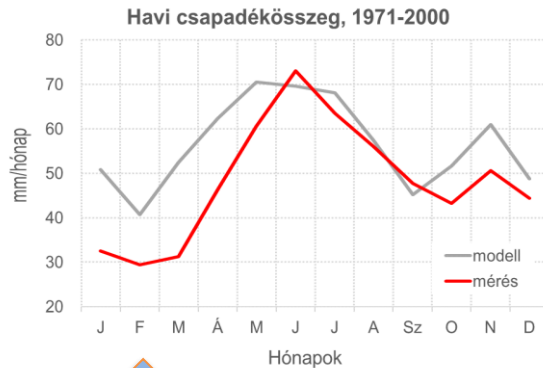
ALADIN5.2



REMO2015



A MODELLEZÉS MENETE – VALIDÁCIÓ ÉS PROJEKCIÓ



SZIMULÁCIÓ A MÚLTRA

Validáció: a modelleredményeket mérésekkel vetjük össze. Elvárt pontosság: az éghajlati jellemzők megfelelő leírása (többtíz évet vizsgálva)

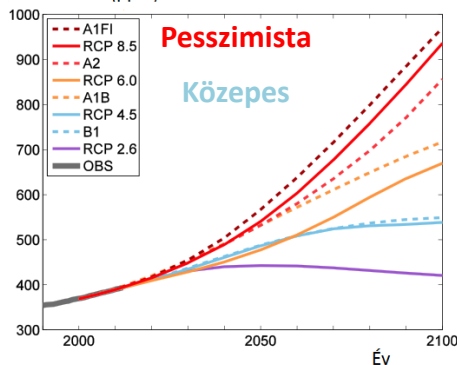
SZIMULÁCIÓ A JÖVŐRE

Kényszer: légköri szennyező anyagok megfigyelt változása

Kényszer: légköri szennyező anyagok forgatókönyvek szerinti változása



CO₂: koncentráció (ppm)



A jövőbeli időszakon az emberi tevékenység leírására **forgatókönyvekkel**.

Ha ... → ... akkor típusú kérdés. → **feltételes projekciók**

A MODELLEZÉS MENETE – VALIDÁCIÓ ÉS PROJEKCIÓ

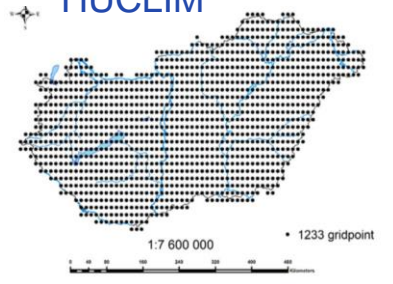
Validáció

2 modell x 2 határfeltétel = 4 szimuláció

Re-analízis (kvázi-valóság) → információ a regionális modell hibájáról

Globális klímamodell → információ a globális és regionális modell együttes hibájáról

Referencia:
HUCLIM



- 0,1° horizontális felbontás (kb. 10 km)
- Homogenizált és interpolált

- Vizsgálati időszak: **1981-2000**

Projekció

2 modell x 2 scenárió = 4 szimuláció



RCP4.5
RCP8.5

- Referencia: modell múltbeli időszaka (**1971-2000**)
- Kitüntetett vizsgálati időszakok: **2021-2050, 2071-2100** (A KlimAdat adatbázis ezeken felül több időszakot tartalmaz)

Vizsgált változók: hőmérséklet, csapadék → átlagok, éghajlati indexek
Napi, havi, évszakos, éves értékek (validáció: hiba, projekció: változás)

A MODELLEZÉS MENETE – UTÓFELDOLGOZÁS

Az adaptációs és mitigációs feladatokhoz jó minőségű mért és **modellezett meteorológiai információkra** van szükség

A nyers modelleredmények gyakran nem alkalmasak arra, hogy a felhasználók azokat közvetlenül használják



Utófeldolgozás

• Bizonyos hatásvizsgálói modellekhez **hibakorrigált adatok**

• Adatokból **döntést segítő információk:**

- Éghajlati indexek
- A modellegyüttes legkisebb / legnagyobb / medián jövőbeli értéke
- Bizonyos „kimenetek” valószínűsége

Hibakorrekció a **HUCLIM** megfigyelési adatbázishoz (30-éves átlagos éves, évszakos, havi):

Hőmérsékletre: **additív korrekció**

$$\bar{X}_{corr,f} = (\bar{X}_{RCM,f} - \bar{X}_{RCM,p}) + \bar{X}_{obs,p}$$

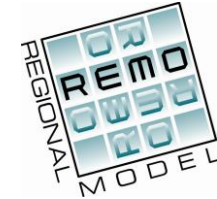
Csapadékösszegre és éghajlati indexekre: **multiplikatív korrekció**

$$\bar{X}_{corr,f} = \bar{X}_{obs,p} \times \left(\frac{\bar{X}_{RCM,f}}{\bar{X}_{RCM,p}} \right)$$

TARTALOM

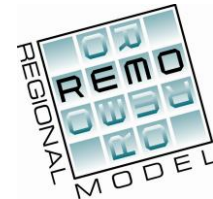
- **Motiváció**
- **Modellkísérletek**
- **A modellezés menete**
- **Eredmények:**
 - **Validáció**
 - **Projekció**
- **Összefoglalás és tervek**

EMLÉKEZTETŐÜL - MODELLKÍSÉRLETEK



Modell	ALADIN5.2	ALADIN5.2	REMO2015	REMO2015
Határfeltétel (LBC)	ERA-Interim	CNRM-CM5 → ALADIN5.2	ERA-Interim	MPI-ESM-LR → REMO2015
Horizontális felbontás	10 km			
Vertikális szintek száma	31		23	
LBC horizontális felbontása	80 km	50 km	80 km	50 km
Futtatási időszak	1980-2000	1951-2100	1980-2000	1951-2100
Szenárió	-	RCP4.5, RCP8.5	-	RCP4.5, RCP8.5

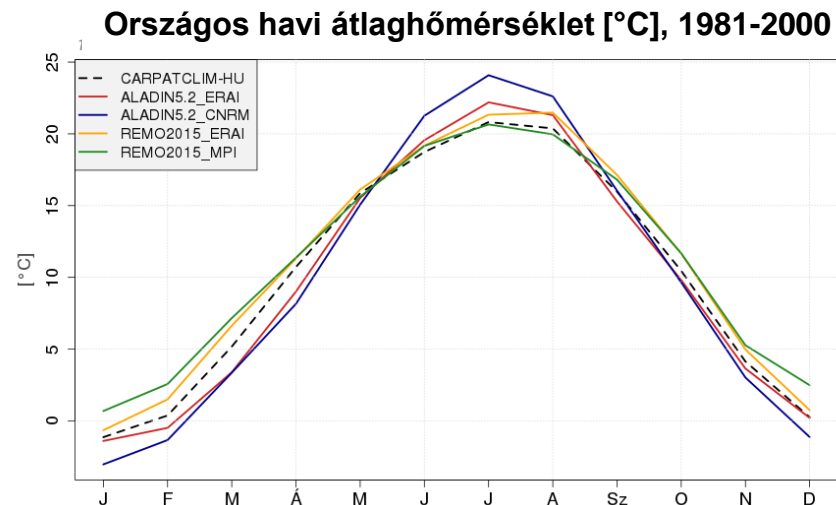
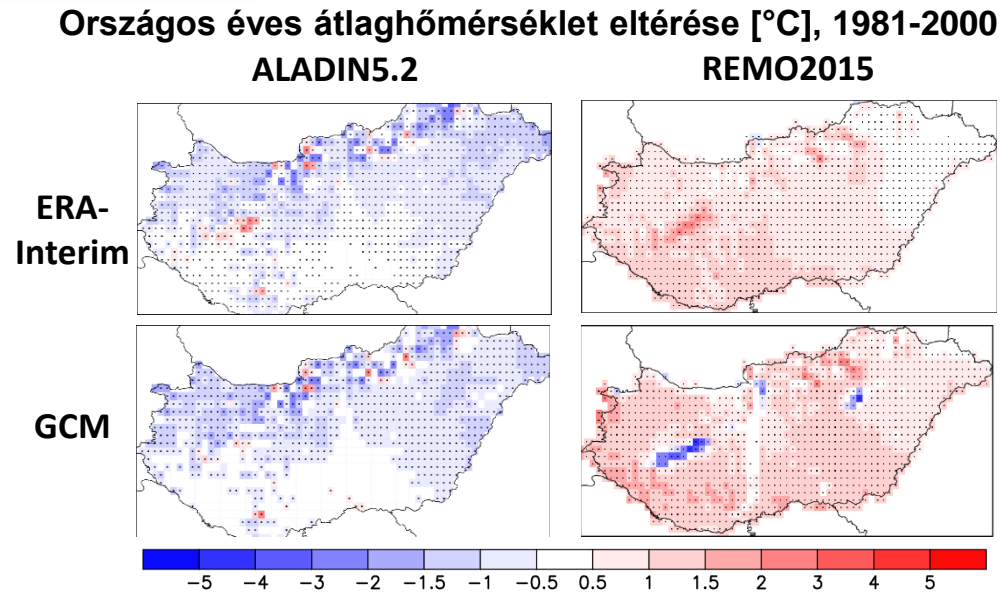
VALIDÁCIÓS KÍSÉRLETEK



Modell	ALADIN5.2	ALADIN5.2	REMO2015	REMO2015
Határfeltétel (LBC)	ERA-Interim	CNRM-CM5 → ALADIN5.2	ERA-Interim	MPI-ESM-LR → REMO2015
Horizontális felbontás	10 km			
Vertikális szintek száma	31		23	
LBC horizontális felbontása	80 km	50 km	80 km	50 km
Futtatási időszak	1980-2000	1951- 2005	1980-2000	1951- 2005

VALIDÁCIÓS EREDMÉNYEK – HŐMÉRSÉKLET

- A hibák javarészt szignifikánsak, kivéve néhány rácspontot → itt a megfigyeléstől vett eltérés nem haladja meg a 0,5 fokot
- ALADIN5.2: alulbecslés → éves országos átlag 0,6 °C, de nyáron túl meleg (0,9-2,5 °C), főleg a GCM meghajtású,
- REMO2015: felülbecslés → éves országos átlag 0,8-0,9 °C
- nyáron a GCM meghajtású REMO2015 a legjobb eredményű



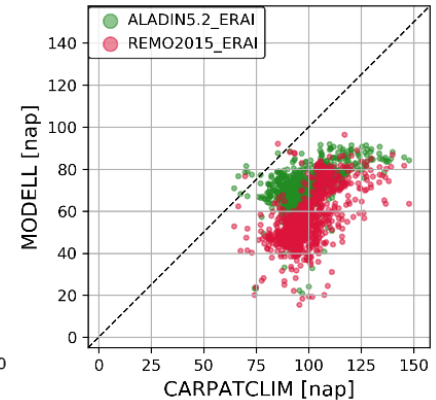
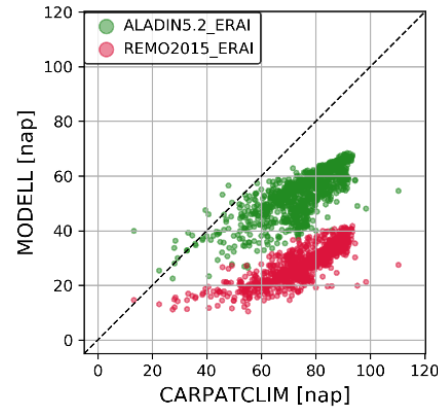
VALIDÁCIÓS EREDMÉNYEK – HŐMÉRSÉKLETI INDEXEK

- Éves átlagos értékek a magyarországi rácspontokban
- Általában alulbecslés mindkét index esetén, REMO2015 jobban, mint az ALADIN5.2
- ALADIN5.2 GCM meghajtás teljesít a legjobban

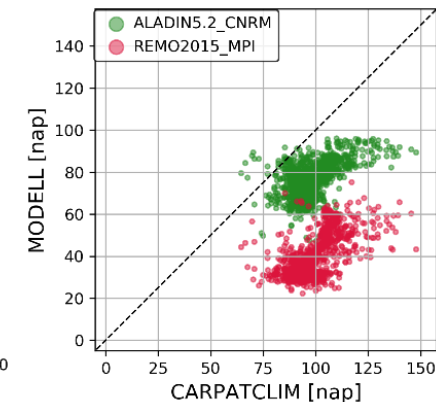
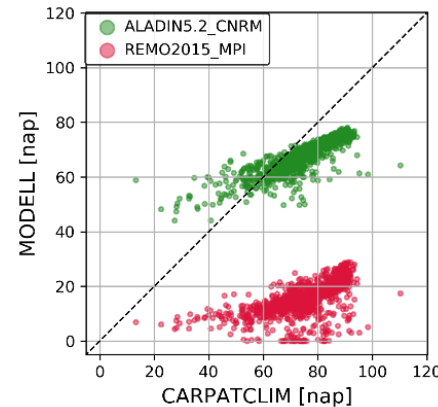
Nyári napok száma
($T_{max} > 25\text{ °C}$)

Fagyos napok száma
($T_{min} < 0\text{ °C}$)

ERA-
Interim



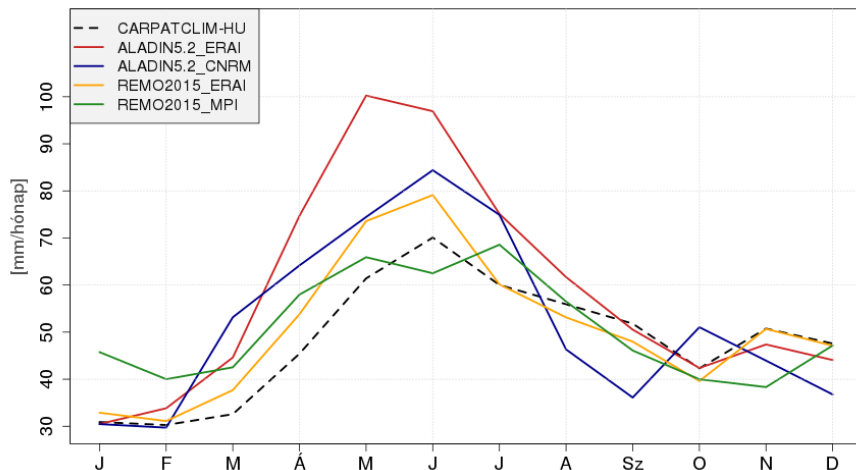
GCM



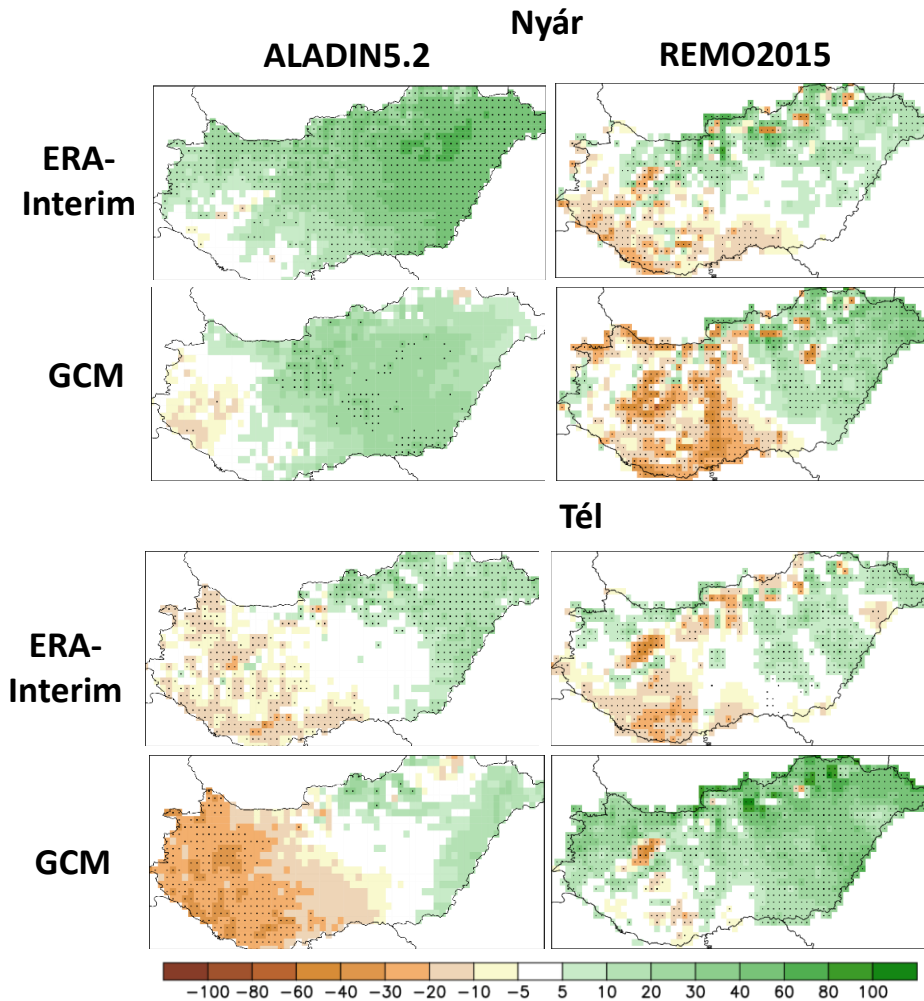
VALIDÁCIÓS EREDMÉNYEK – CSAPADÉK

- A kísérletek túl sok csapadékot adnak → főleg tavasszal és nyáron
- A REMO2015 hibáiban megfigyelhető a domborzat és a felszín hatása
- Éves maximum: REMO2015 közelíti legjobban
- Éves minimum: ALADIN5.2 GCM közelíti a legjobban
- az éves csapadékeloszlás az ALADIN5.2 szerint változókényebb, a REMO2015 szerint kiegyenlítettebb

Országos havi csapadékösszeg [mm], 1981-2000



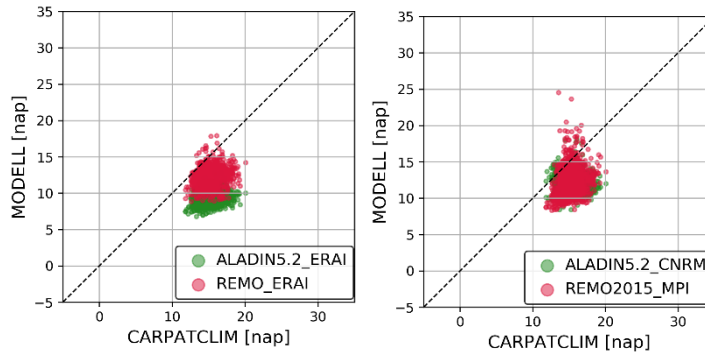
Országos csapadékmennyiség eltérése [mm/hónap], 1981-2000



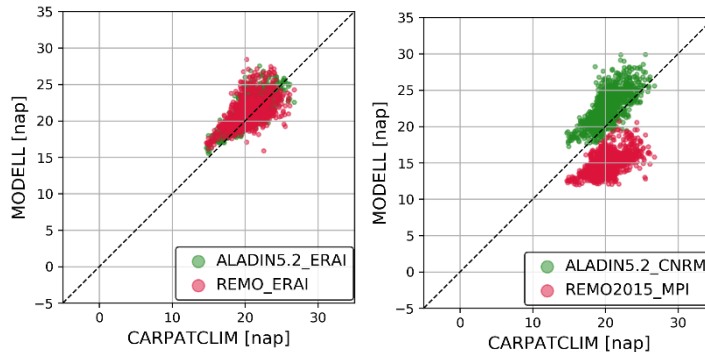
VALIDÁCIÓS EREDMÉNYEK – CSAPADÉK INDEXEK

Egymást követő száraz napok maximális száma ($R_{\text{nap}} < 1 \text{ mm}$)

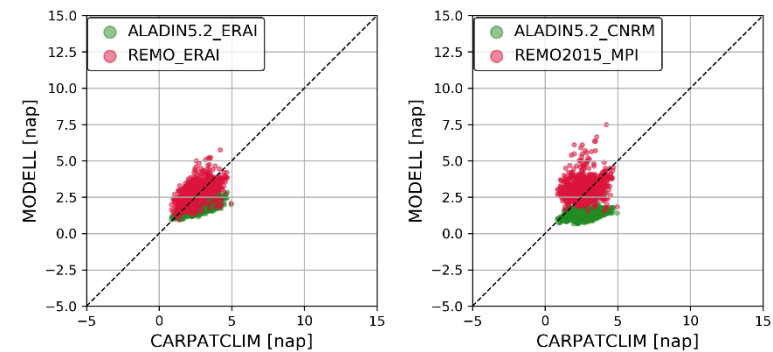
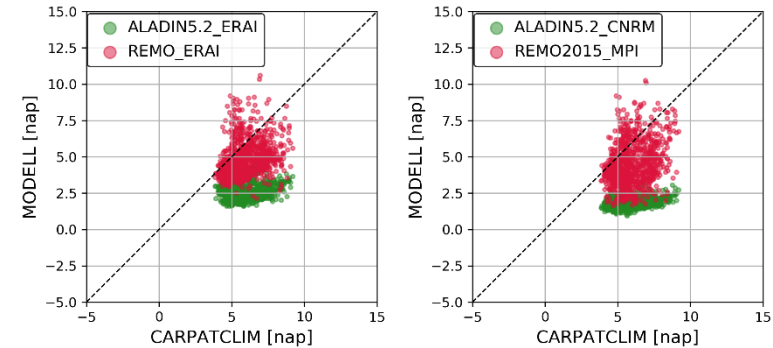
Nyár



Tél



Nagy csapadékú napok száma ($R_{\text{nap}} \geq 10 \text{ mm}$)



- Nyári és téli átlagos értékek a magyarországi rácspontokban
- Nyári alulbecslés: kevesebb egymást követő száraz nap és kevesebb nagy csapadékú nap
- Télen a REMO GCM meghajtással több csapadékos napot és kevesebb száraz napot mutat, ALADIN fordítva

VALIDÁCIÓS EREDMÉNYEK – CSAPADÉK INDEXEK

Nyári alulbecslés: kevesebb egymást követő száraz nap és kevesebb nagy csapadékú nap



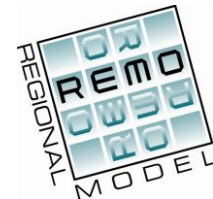
- Eközben a kicszapadékú napok számából többlet
- Korábban is kimutatható volt a kísérletek „szitálása”

Csapadék éghajlati indexek átlagos eltérése					
Egymást követő száraz napok éves maximális hossza [nap]					
	Éves	MAM	JJA	SON	DJF
ALADIN52_ERAI	-3	-6	-5	-1	1
ALADIN52_CNRM	-2	-6	-3	-2	2
REMO2015_ERAI	-2	-2	-3	-1	1
REMO2015_MPI	-3	-1	-3	0	-5
1 mm csapadékot meghaladó napok száma [nap]					
ALADIN52_ERAI	-3	5	4	-5	-7
ALADIN52_CNRM	-7	3	3	-5	-7
REMO2015_ERAI	8	5	5	-1	-1
REMO2015_MPI	14	5	6	-1	4
10 mm csapadékot meghaladó napok száma [nap]					
ALADIN52_ERAI	-6	0	-3	-2	-1
ALADIN52_CNRM	-8	-1	-4	-2	-1
REMO2015_ERAI	-1	0	-1	0	0
REMO2015_MPI	-2	0	-1	-1	1

TARTALOM

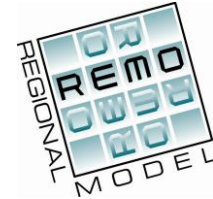
- **Motiváció**
- **Modellkísérletek**
- **A modellezés menete**
- **Eredmények:**
 - **Validáció**
 - **Projekció**
- **Összefoglalás és tervek**

EMLÉKEZTETŐÜL - MODELLKÍSÉRLETEK



Modell	ALADIN5.2	ALADIN5.2	REMO2015	REMO2015
Határfeltétel (LBC)	ERA-Interim	CNRM-CM5 → ALADIN5.2	ERA-Interim	MPI-ESM-LR → REMO2015
Horizontális felbontás	10 km			
Vertikális szintek száma	31		23	
LBC horizontális felbontása	80 km	50 km	80 km	50 km
Futtatási időszak	1980-2000	1951-2100	1980-2000	1951-2100
Szenárió	-	RCP4.5, RCP8.5	-	RCP4.5, RCP8.5

PROJEKCIÓS KÍSÉRLETEK

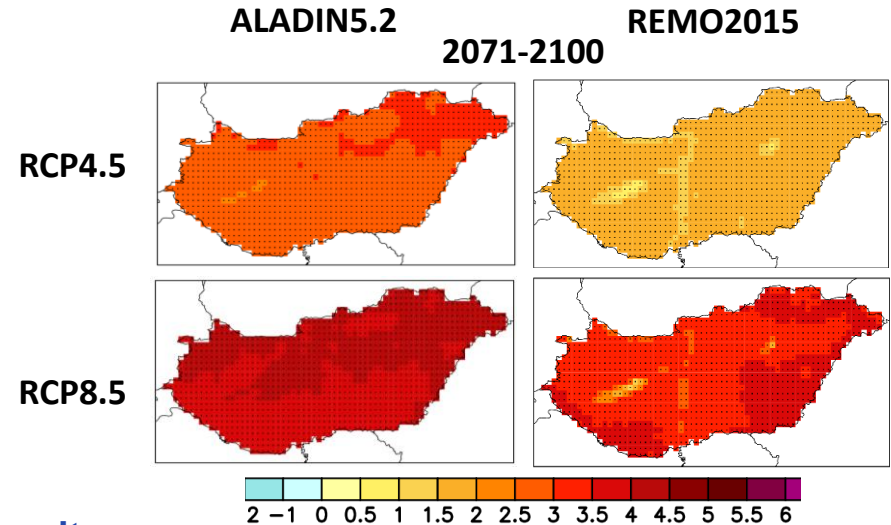


Modell	ALADIN5.2	ALADIN5.2	REMO2015	REMO2015
Határfeltétel (LBC)	CNRM-CM5 → ALADIN5.2		MPI-ESM-LR → REMO2015	
Horizontális felbontás	10 km			
Vertikális szintek száma	31		23	
LBC horizontális felbontása	50 km			
Futtatási időszak	2006-2100			
Szenárió	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5

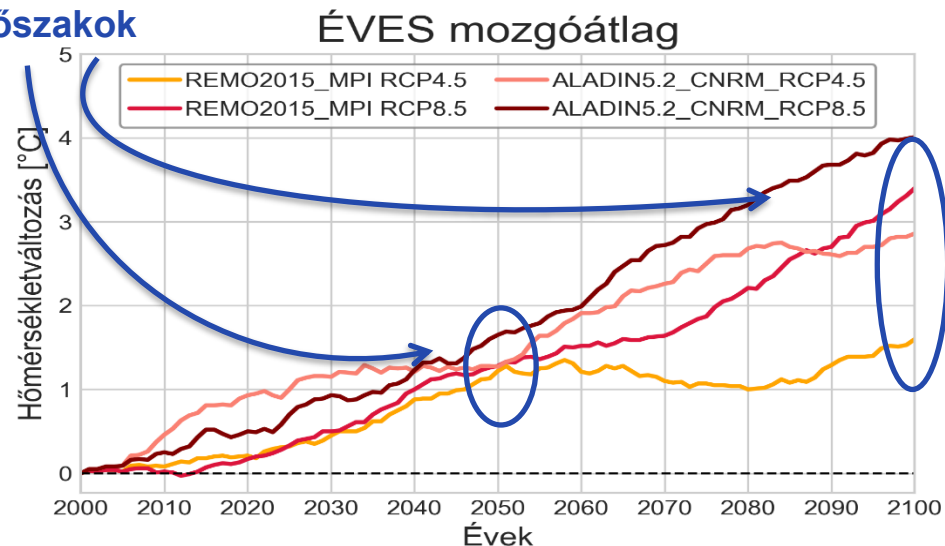
PROJEKCIÓS EREDMÉNYEK – HŐMÉRSÉKLET

- Szignifikáns hőmérséklet-emelkedés
- Éves átlagos növekedés:
 - 2021-2050: **1-2 °C**
 - 2021-2050: **2-4 °C**
- Az évszázad közepére 3 szimuláció kb. ugyanakkora melegedést feltételez (1,2-1,3 °C)
- A század folyamán a szimulációk sokáig a modellek alapján válnak szét, azonban az utolsó évtizedekben az RCP4.5 mérsékeltebb növekedést mutat → **forгатókönyvek szerinti elkülönülés**

Országos éves átlaghőmérséklet változás [°C]

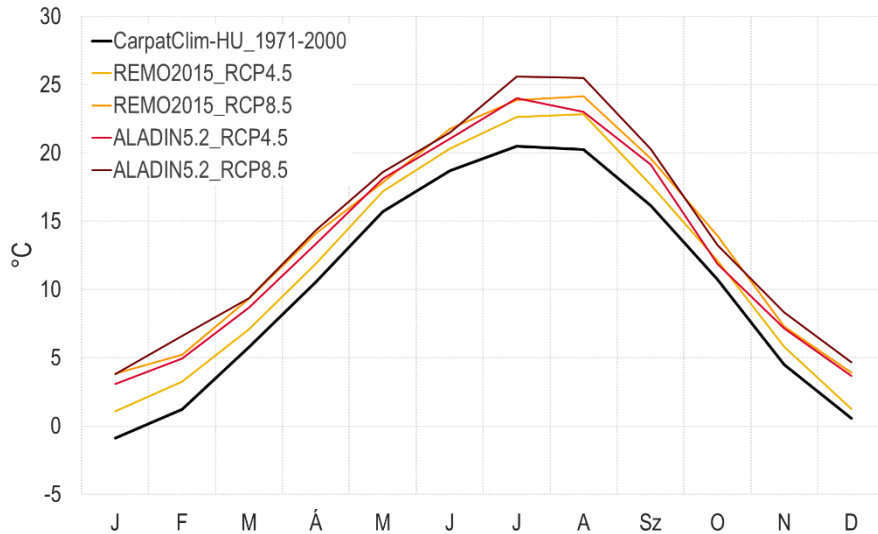


Kiemelt időszakok



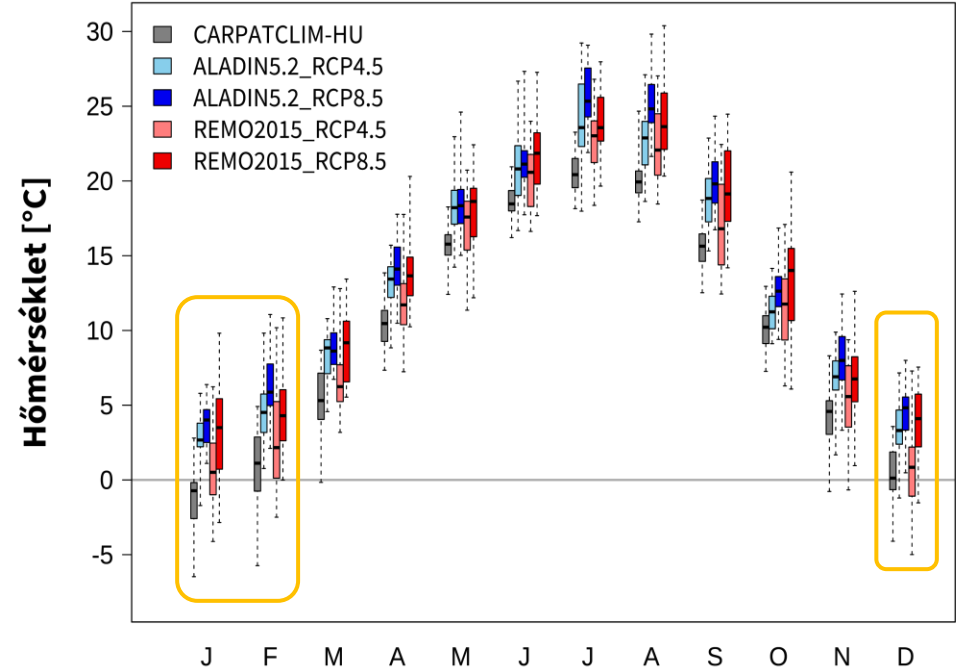
PROJEKCIÓS EREDMÉNYEK – HŐMÉRSÉKLET

Magyarországi havi átlaghőmérséklet, 2071-2100



- A megfigyelés éves menetét jól követik
- Legnagyobb változás: január és július
- Július és augusztus > 20 °C
- Téli hónapok: < 0 °C alatti egyre kevesebb évben

- 4 szimulációból 3 a 30-éves időszak ¾-edére 0 °C feletti átlaghőmérsékleteket projektál, februárban már mind a 4

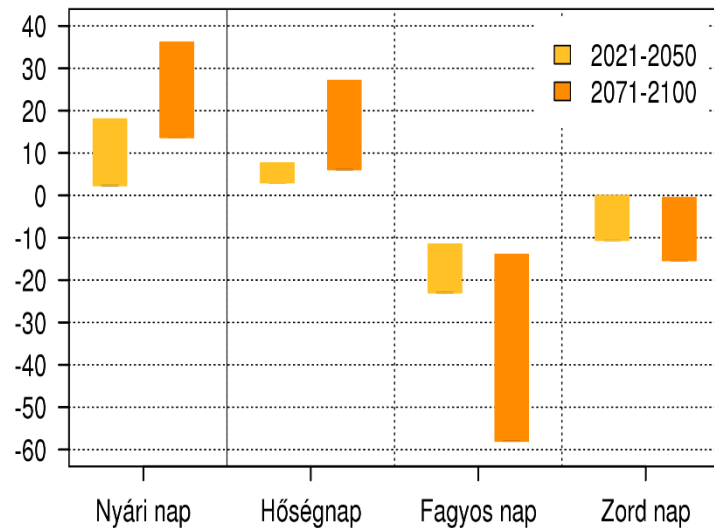


A HUCLIM (CARPATCLIM-HU) 1971-2000-re és a 4 modellszimuláció 2071–2100-ra vonatkozó évenkénti országos havi átlaghőmérsékletei.

Értelmezés: téglalapok alsó és felső határai: alsó és felső kvartilisek, középső vonal: medián.

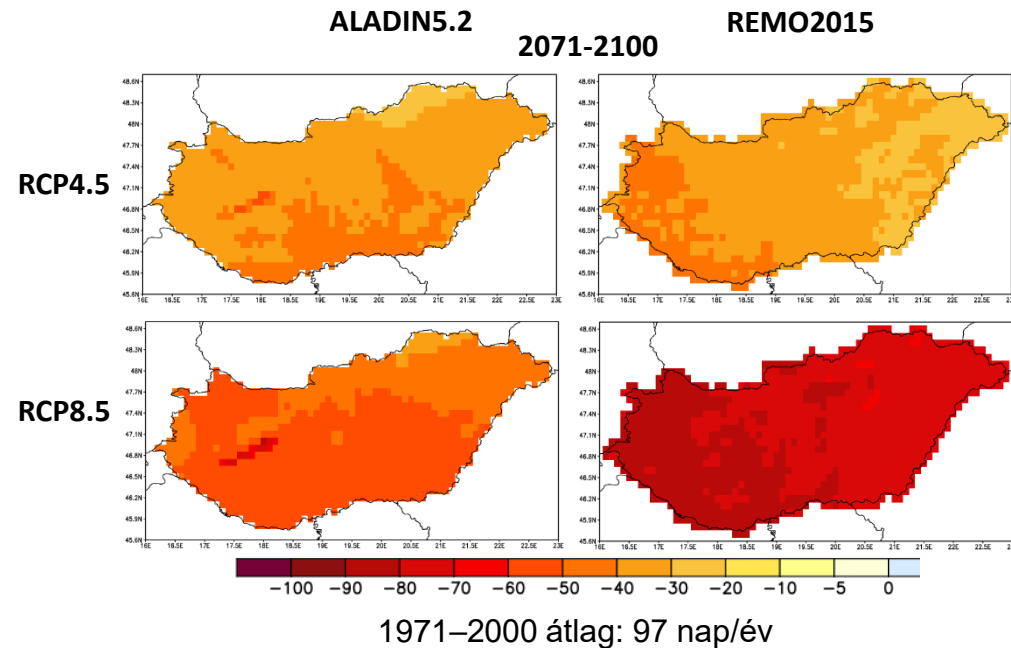
PROJEKCIÓS EREDMÉNYEK – HŐMÉRSÉKLET

Hőmérsékleti indexek várható éves változása [nap]



Nyári napok száma: $T_{max} > 25 \text{ }^\circ\text{C}$
Hőségnapok száma: $T_{max} \geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$
Fagyos napok száma: $T_{min} < 0 \text{ }^\circ\text{C}$
Zord napok száma: $T_{min} < -10 \text{ }^\circ\text{C}$

Fagyos napok számának éves relatív változása [%]



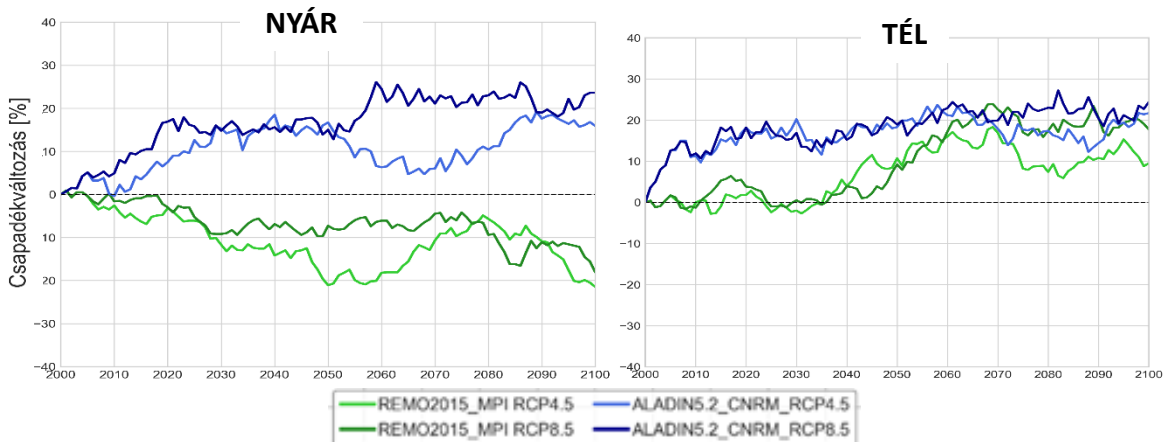
- Nyári napok és hőségnapok számának egyértelmű növekedése, főleg a 2071-2100 időszakra
- Fagyos napok előfordulásának jelentős csökkenése az évszázad végére

Akár 90-100%-os csökkenés a nyugati országrészben

PROJEKCIÓS EREDMÉNYEK – CSAPADÉK

- **Éves** csapadékösszeg: növekedés, 1 tagot kivéve:

- 2021-2050: **0-17%**
- 2071-2100: **-4 - 24%**

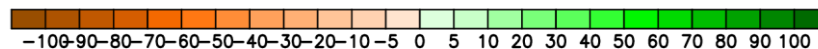
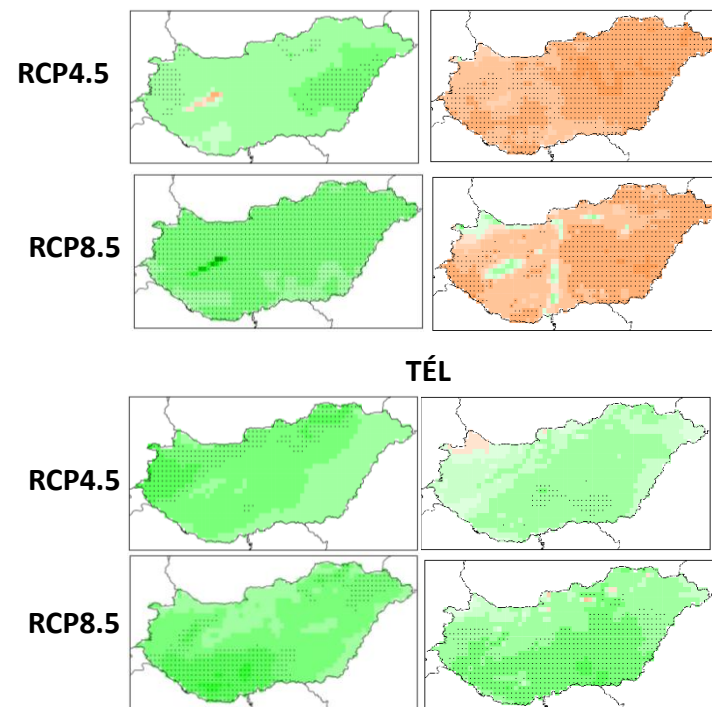


- Az eredmények modellek szerint válnak szét
- Bizonytalan nyári csapadékváltozás az egész évszázadra:
2 szimuláció csökkenést, 2 növekedést mutat
- Téli növekedés: a 4 szimuláció egyetért az irányban

Országos csapadékösszeg relatív változása [%]

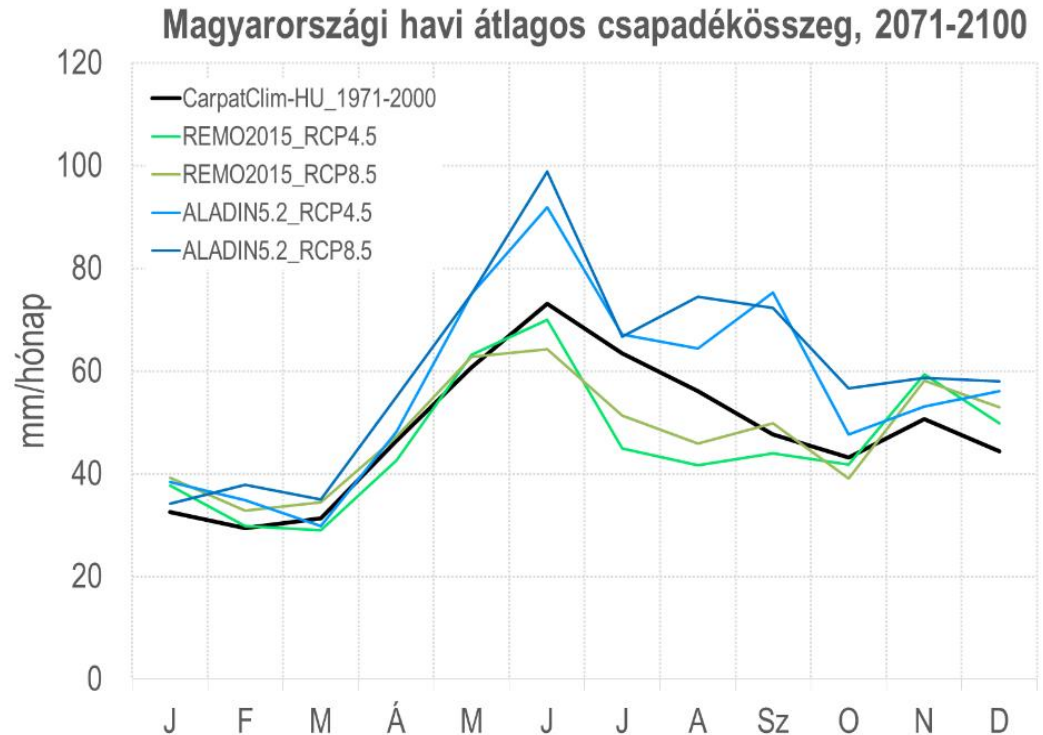
2071-2100

ALADIN5.2 NYÁR REMO2015



PROJEKCIÓS EREDMÉNYEK – CSAPADÉK

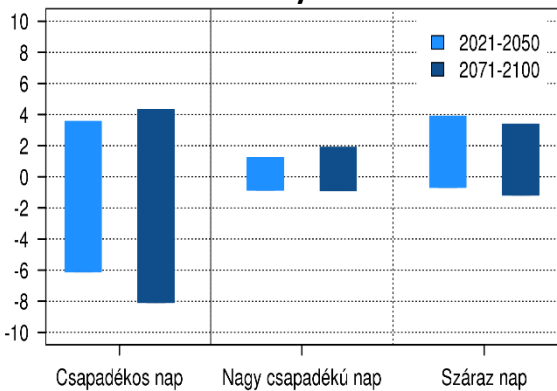
- Változékonyabb éven belüli menet
- Júniusi maximum
- Május és október között modellek szerint szétválnak a tagok
- Minimum: január-március között



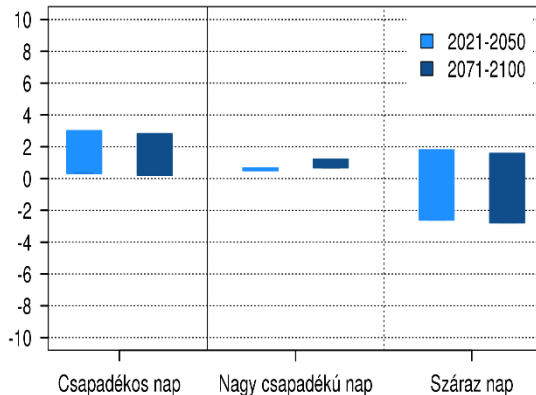
PROJEKCIÓS EREDMÉNYEK – CSAPADÉK

Csapadék indexek várható évszakos változása [nap]

Nyár



Tél

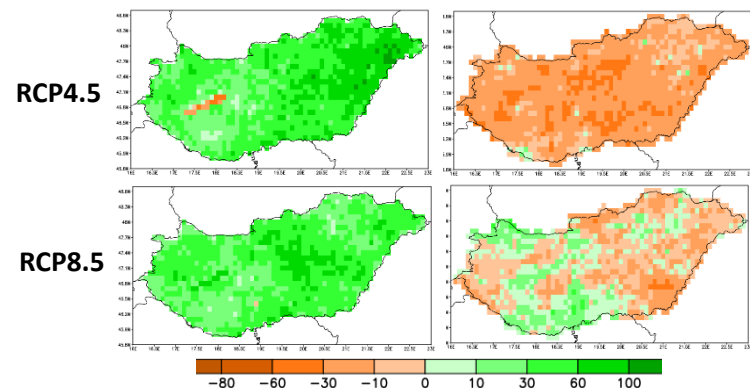


2021-2050

ALADIN5.2

REMO2015

Nagy csapadéku napok számának nyári változása [%]



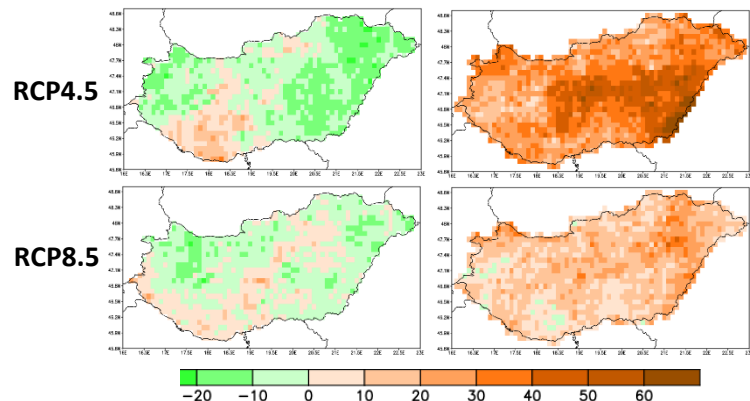
Csapadékos napok száma (RR1): azon napok száma, amikor $R_{nap} \geq 1$ mm

Nagy csapadéku napok száma (RR10): azon napok száma, amikor $R_{nap} \geq 10$ mm

Egymást követő száraz napok maximális számának nyári változása (CDD): a leghosszabb időszak napszáma, amikor $R_{nap} < 1$ mm

- Bizonytalan térbeli változás
- A modellek szerinti elkülönülés, a nyári csapadékváltozás ellentétes irányú jele és a téli csapadéknövekedés az indexeken is visszaköszön

Egymást követő száraz napok maximális számának nyári változása [%]



TARTALOM

- **Motiváció**
- **Modellkísérletek**
- **A modellezés menete**
- **Eredmények:**
 - **Validáció**
 - **Projekció**
- **Összefoglalás és tervek**

ÖSSZEFOGLALÁS ÉS TERVEK

Validáció:

- **Hőmérséklet:** ALADIN5.2 hűvösebb (kivéve a nyár), REMO2015 túl meleg
- **Csapadék:** többnyire felülbecslés, ALADIN5.2 nagyobb mértékben, mint a REMO2015, „modellszítálás”

Tervek:

- A **Euro-CORDEX** modellszimulációk a bizonytalanságok részletesebb leírásához
- **Km-skálájú** éghajlati modellezés az OMSZ-ban: **HARMONIE-Climate** modell adaptálása

Projekció:

- Az átlaghőmérséklet hazánkban növekedni fog, ez a 2071-2100 időszakra elérheti a 4°C-ot (télen akár az 5°C-ot)
- A **hőmérsékleti eredmények** az évszázad végére a **forgatókönyvek** alapján különülnek el
- A meleg extrémek előfordulása növekedni fog, míg a fagyos és zord napok gyakorisága csökken
- Az éves csapadékmennyiség növekedést mutat, kivéve egy tagot a század végén
- A **csapadékra vonatkozó eredmények** az évszázad végére a **modellek** alapján válnak szét → legjobban nyáron ütközik ki
- Az eredmények indokolják további tagok felvételét a modellegyüttesbe → segíthet eldönteni, melyik jövőbeli éghajlati pálya a valószínűbb

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

Honlap: <https://met.hu/klimadat/>

E-mail: ban.b@met.hu

SZÉCHENYI  2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Kohéziós Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE