

Szabó Péter



Budapest, 2024. február 28.

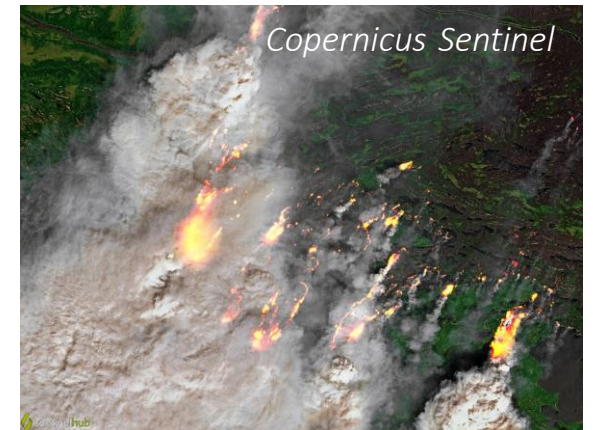
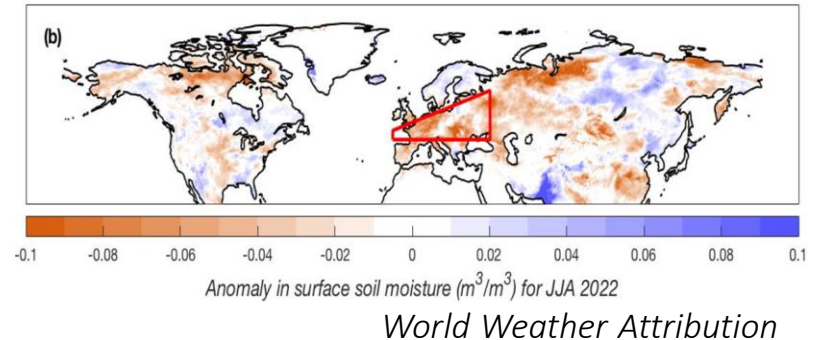
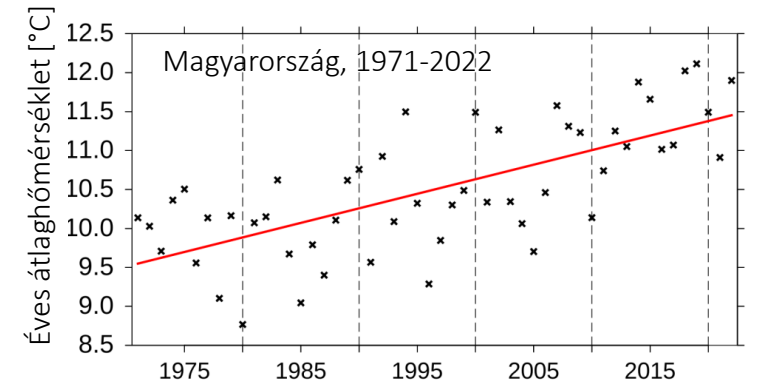
Kritikus energetikai infrastruktúra elemek
(villamosenergia, gáz, távhő rendszerek) éghajlati és
földtani sérülékenységének értékelése c. projekt

MaTáSzSz Online Akadémia

A PROJEKT KLIMATOLÓGIAI EREDMÉNYEI: INFRASTRUKTÚRA ÉS IGÉNYOLDAL

Bevezetés, motiváció

- 2023: globálisan legmelegebb év
 - +1,48 °C 1850-1900-hoz („iparosodás-előtti időhöz”) képest
 - **Mo.-on is a legmelegebb év, 1971 óta +2 °C-os növekedés**
- **2022-es szárazság: 20 évente egyszer fordul elő Európában**
 - Talaj szárazsága 5-6x gyakoribb az emberi tevékenység miatt
 - Sok egyéb hatással járt – potenciál erdőtüzeknek, vízmegvonás, hatalmas gazdasági károk (mg., turizmus)
- 2023: erdőtüzek éve
 - Kanada, Görögország, Hawaii, Kazahsztán
 - épületek, infrastruktúra elveszik, levegőminőség + extra CO₂
- Épített környezetet befolyásolja az éghajlatváltozás:
 - magas hőmérséklet, nagycsapadékok, szélviharok, téli csapadékok
 - IDF (intenzitás-tartam-gyakoriság) nő a jövőben
- Energiaigények megváltoznak:
 - téli fűtési igény csökken, nyári hűtési igény nő



Módszertan

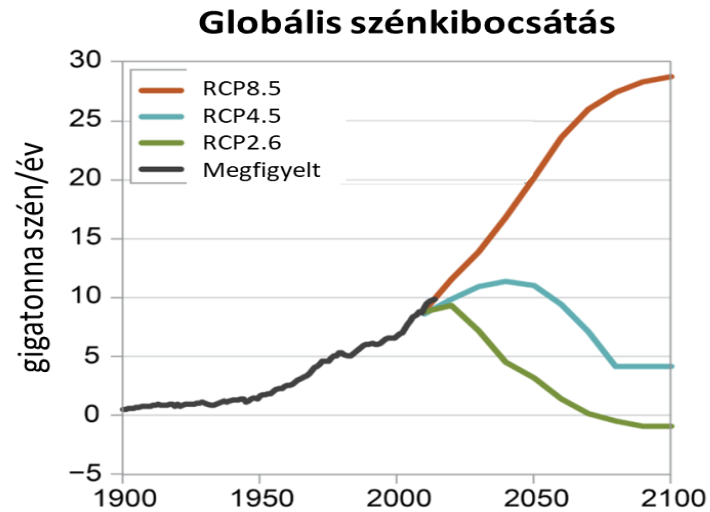
- „**NATÉR továbbfejlesztése**” című, KEHOP-1.1.0-15-2016-00007 azonosítós számú projektben megkezdett módszertan átnézése
- **Nemzetközi szakirodalom** összegyűjtése és átnézése: 14 cikk bevonása
- **Indikátorlista** összeállítása → hazánkban potenciálisan megjelenik az infrastruktúrára és az energiatermelésre hatva: 32
→ szükséges: 11 napi és 6 napon belüli éghajlati **alapváltozó**
- **Megfigyelési adatbázisok:**
pl. $T_{\text{átlag}} = (T_{\text{min}} + T_{\text{max}}) / 2$ NEM JÓ MÓDSZERTAN; fagy júliusban HIBÁS; adatbázis csak 2001-től elérhető KEVÉS
→ legjobb: HUCLIM, de nem mindenre elérhető adatbázis (HungaroMet-től)
- **Regionális klímamodellek feltérképezése a Duna-vízgyűjtőjére:**
modellek függetlenek, elérhetőek a változókra és legalább két jövőbeli forgatókönyvre (6 modell)
+ 2 HungaroMet-es és 2 ELTE-s modell → **10 modell**
- **Kiválasztott időszakok és forgatókönyvek:**
1981-2010 + 2021-2050 és 2071-2100
RCP4.5 (2040-től kibocsátás-csökkentés, kissé optimista) és RCP8.5 (nincs 2100-ig kibocsátás-csökkentés, pesszimista)

Módszertan

- Egyeztetés a szakemberekkel → **kiválasztott indikátorok:**
 - villamosenergia átviteli hálózat: 9 indikátor
 - felszíni és nagynyomású földgázvezetékek: 3-3
 - távhővezetékek: 5
 - igényoldal: 5
 - napenergia: 6
- **Hibakorrekció:** a modellek nem tökéletesek → delta módszer:
pl. relatív delta-korrekció: $\text{korrigált}_{2021-2050} = \text{modell}_{2021-2050} / \text{modell}_{1981-2010} * \text{megfigyelt}_{1981-2010}$
- Utófeldolgozás: várható hatás nagysága szerinti **súlyozás** az indikátorokra → **komplex éghajlati kitétségek** → **skálázás módszerével** [0-1] közötti számra dimenziótlanítottuk → háromosztatú skála (kis-közepes-nagy)
- **Bizonytalanság:**
rácspontonként 6-8-10 szimuláció alapján vett **minimum-medián-maximum** változás megadása
- **NATéR-os utómunka:**
azonos színskálák és értékhatárok (2 időszak*2 forgatókönyv*3 változás)
META-adatbázis a térképi rétegekről

Adatok

- Indikátorok képzése **napi adatokból**
- **Megfigyelések: 1981-2010**
 - HuClim (HungaroMet) ~10 km, hazai megfigyelések minőségellenőrzött + homogenizált
 - ERA5 (EU Copernicus) ~25 km, kvázi megfigyelések amikor a HuClim nem elérhető
- **Szimulációk a jövőre:**
Euro-CORDEX regionális klímamodellek ~10 km
2021-2050, 2071-2100
kétféle forgatókönyv: **RCP4.5 és RCP8.5**
eredményekben bizonytalanság: **6-8-10 szimuláció**
hibakorrekció (**delta módszer**)



napi alapadatok	megfigyelések
átlaghőmérséklet	HUCLIM
csapadék	HUCLIM
relatív nedvesség	HUCLIM
maximumhőmérséklet	HUCLIM
minimumhőmérséklet	HUCLIM
globálsugárzás	ERA5
hóesés	ERA5
maximális szélökés	ERA5
maximális órás csapadékintenzitás	ERA5

A 11 infrastruktúra indikátorhoz használt modellek

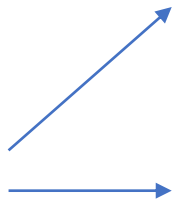
Modell neve	Globális modell	Forrás	Indexek száma
RCA4	CNRM-CM5	EURO-CORDEX	11
RCA4	EC-EARTH	EURO-CORDEX	11
RCA4	IPSL-CM5A-MR	EURO-CORDEX	11
RCA4	NorESM1-M	EURO-CORDEX	11
RACMO22E	CNRM-CM5	EURO-CORDEX	11
RACMO22E	EC-EARTH	EURO-CORDEX	11
RegCM4-3	HadGEM2-ES	ELTE	5
RegCM4-3	MPI-ESM-MR	ELTE	5
ALADIN5.2	CNRM-CM5	OMSZ	7
REMO2015	MPI-ESM-LR	OMSZ	7

Kritikus infrastruktúra éghajlati indikátorai

- 11 indikátor kiválasztása a szakemberekkel közösen
 - Villamosenergia átviteli hálózat: 9 indikátor
 - Felszíni és nagynyomású földgázvezetékek: 3-3
 - **Távhővezetékek: 5**

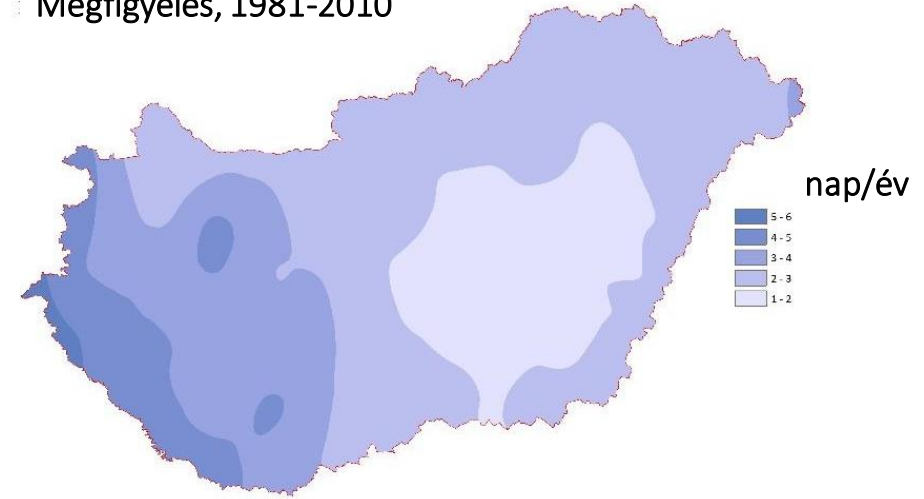
<i>Indikátor</i>	<i>Egység</i>	<i>Számítás</i>
23 mm feletti csapadékú napok éves száma	nap	Pre > 23 mm
órás csapadékintenzitás éves maximuma	mm/h	max_év(Pint)
téli csapadékintenzitás	mm/nap	amikor Pre > 1 mm
viharos napok éves száma	nap	Wgust > 99.6 percentilis
éves szélsébség maximuma	km/h	max_év(Wgust)
téli nagy szelek és csapadékos napok együttes előfordulása	nap	Wgust > 95 percentilis, Pre > 1 mm
tapadó havas napok éves száma	nap	Tmax > 0 °C, Tmin < 0 °C és havazás van (> 0 mm)
ónos esős napok éves száma	nap	Tmax < 0 °C és eső van (Pre-havazás > 0.1 mm)
maximumhőmérséklet éves maximuma	°C	max_év(Tmax)
erdőtűz veszélyes napok éves száma	nap	Tmax > 30 °C. nedvesség < 30%. sum(Pre30nap) < 30 mm
fagypont körüli és csapadékos napok együttes éves előfordulása	nap	Tmax > 0 °C, Tmin < 0 °C és Pre > 0.1 mm

**nagyobb
súllyal!**



Eredmények – 23 mm csapadékú napok száma

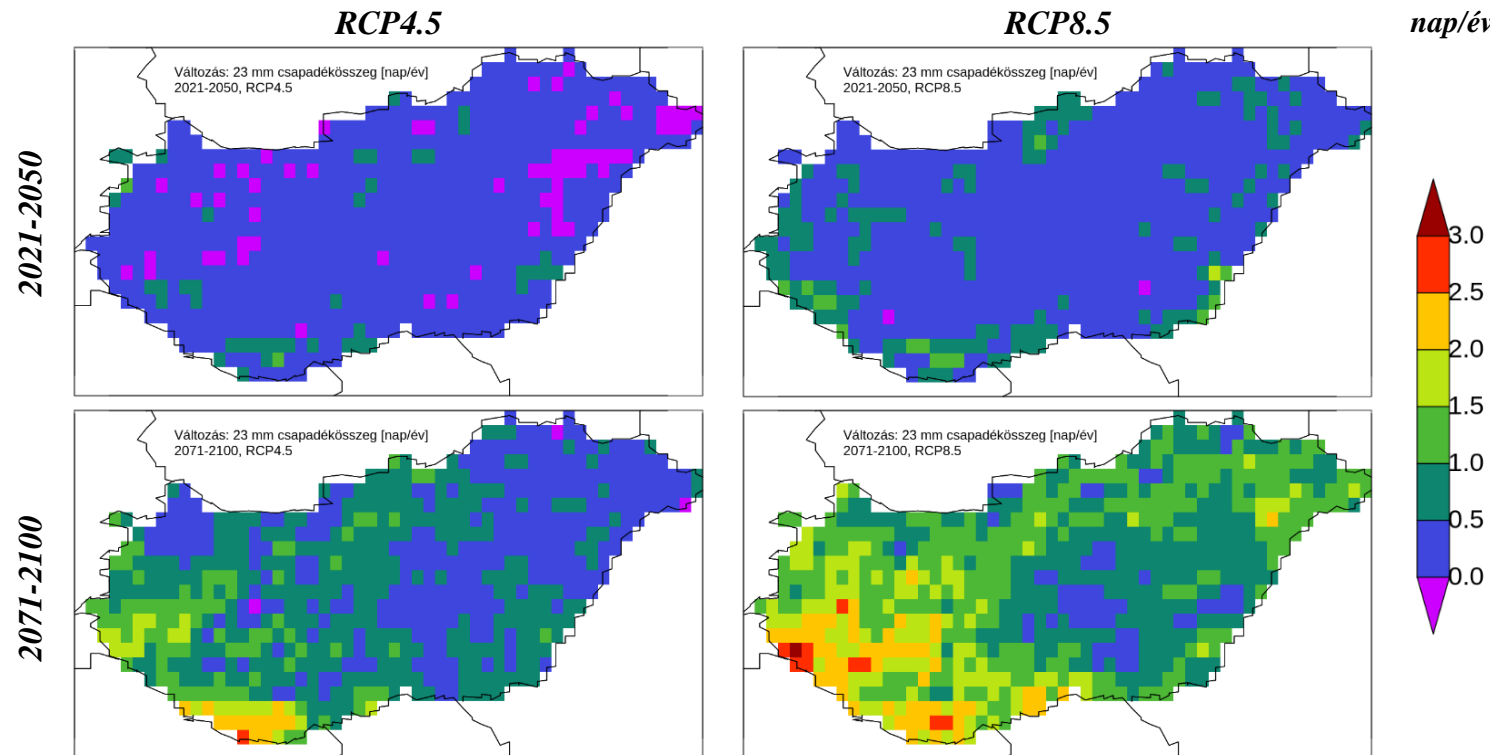
Megfigyelés, 1981-2010



- **1981-2010:** évi néhány nap, legkevesebb az Alföld közepén, legtöbb DNy-on

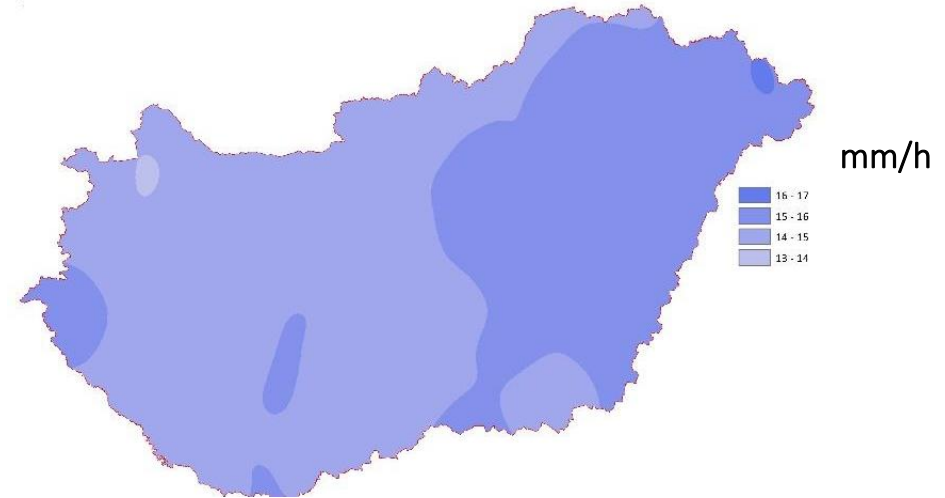
(medián változások a jövőre)

- **2021-2050:** kis változások csak
 - RCP4.5 szerint gyenge csökkenés is lehetséges
- **2071-2100:** nagyobb változások
 - RCP4.5 szerint is inkább növekedés
 - RCP8.5: néhány napos növekedés → de ez: 50-100%

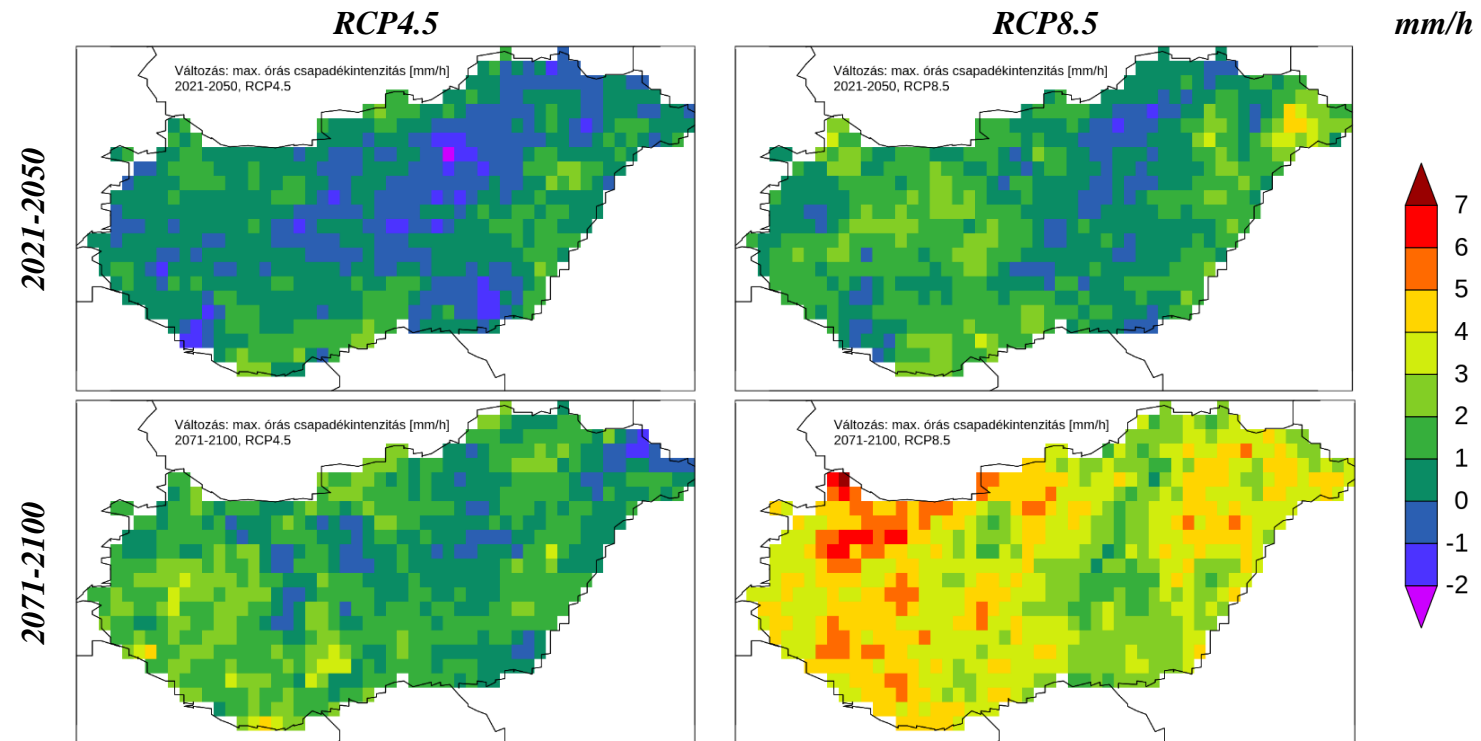


Eredmények – Órás csapadékkintenzitás

Megfigyelés, 1981-2010



- **1981-2010:** ÉK-en a legintenzívebb
- **2021-2050:** kis változások csak, gyenge csökkenés is lehetséges
- **2071-2100:**
 - RCP4.5 szerint továbbra is kis változás
 - RCP8.5: mindenhol jelentős növekedés → de ez: 30-40%

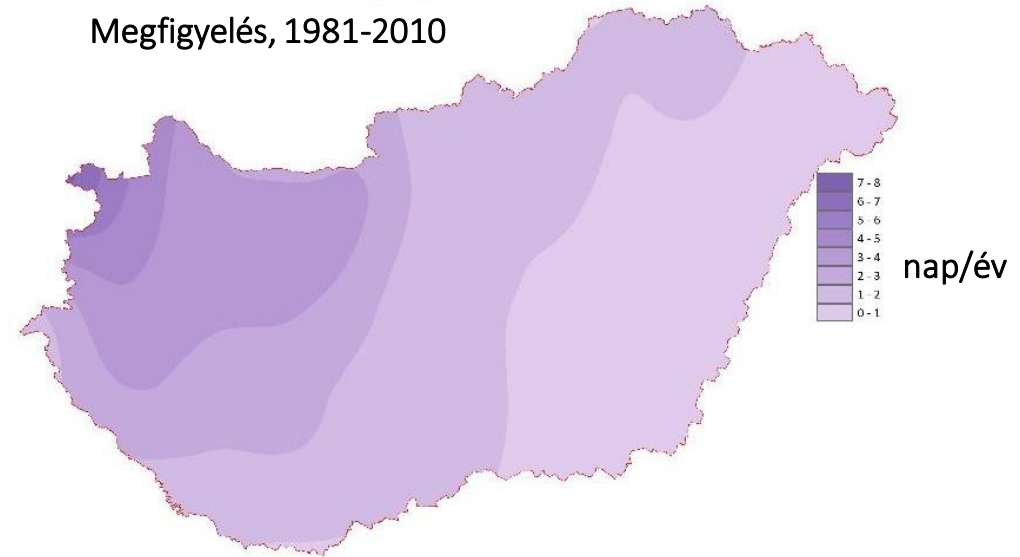


Eredmények – Viharos napok száma

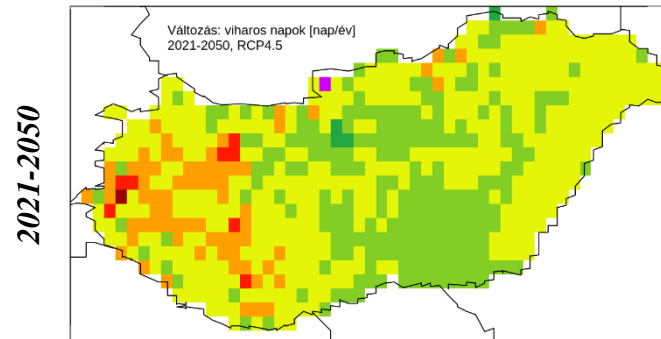
(Wgust > országos 99.6 percentilis)

- **1981-2010:** Tiszántúlon egy-két nap, ÉNy-on a legtöbb
- **2021-2050:** Alföldön gyenge csökkenés is lehet; hegységek, Balaton körül gyenge növekedés
- **2071-2100:** csökkenés eltűnik

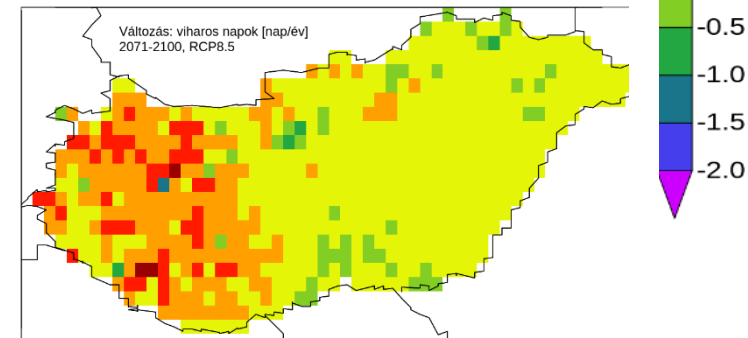
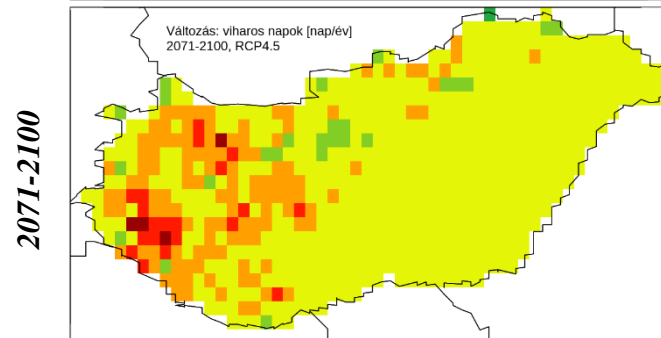
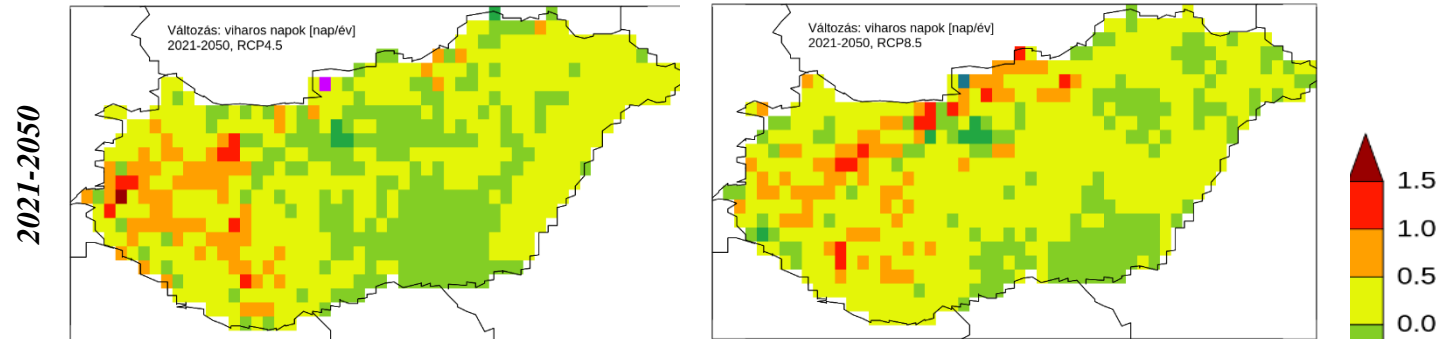
Megfigyelés, 1981-2010



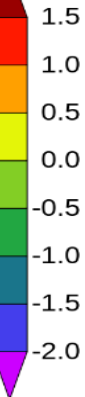
RCP4.5



RCP8.5



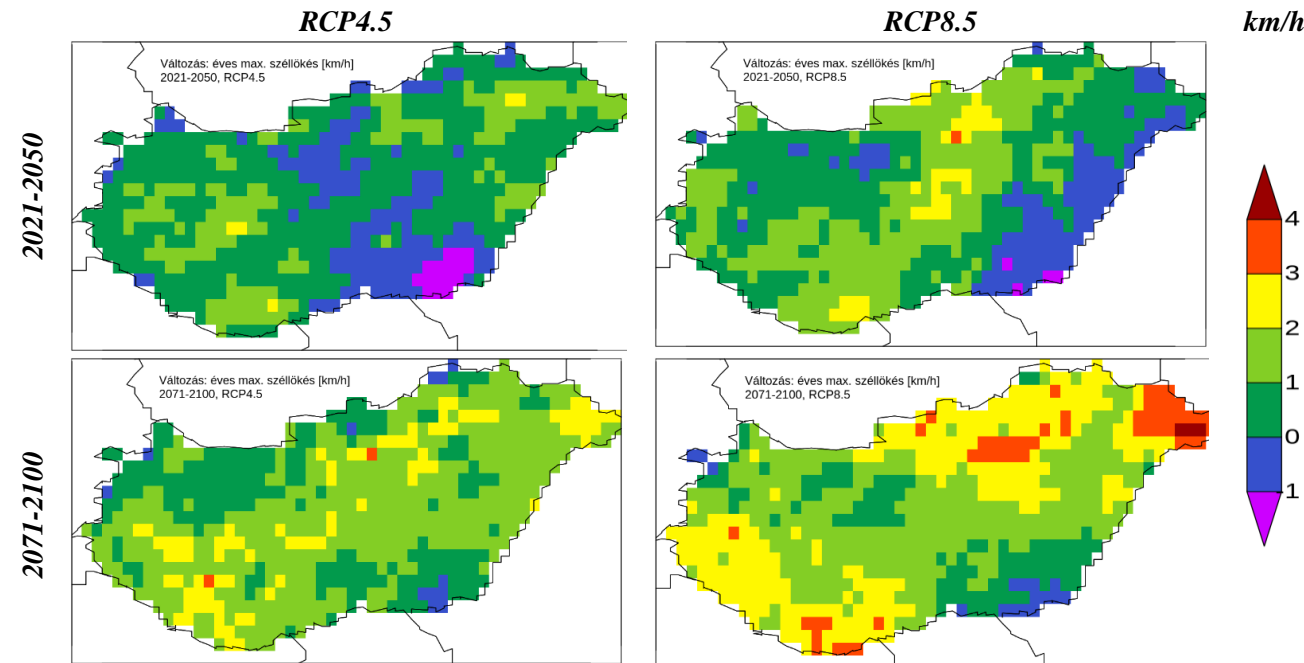
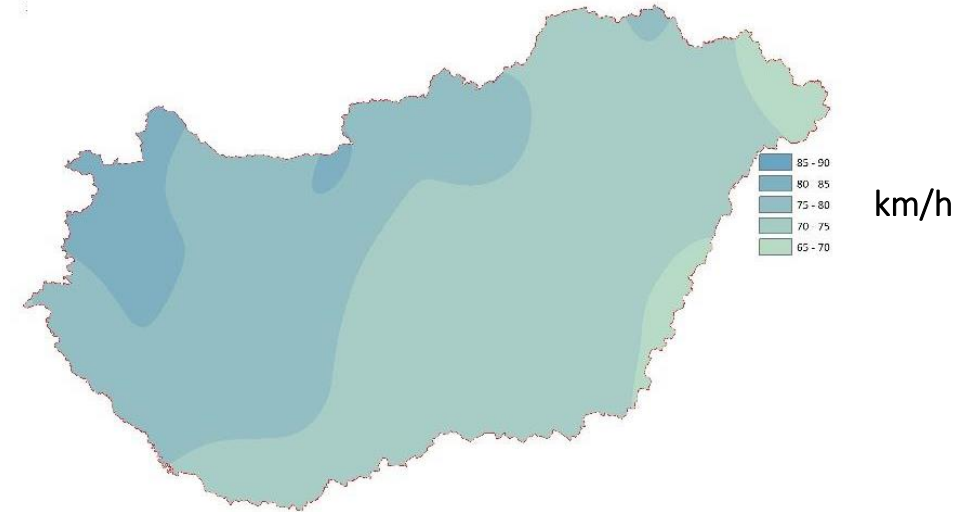
nap/év



Eredmények – Szélesebesség maximuma

- **1981-2010:**
ÉNy-on a legmagasabb, átlagban 90 km/h feletti
- **2021-2050:**
kis változások, akár gyenge csökkenés is
- **2071-2100:**
DNy-ÉK tengely mentén növekedés,
főleg RCP8.5 szerint

Megfigyelés, 1981-2010

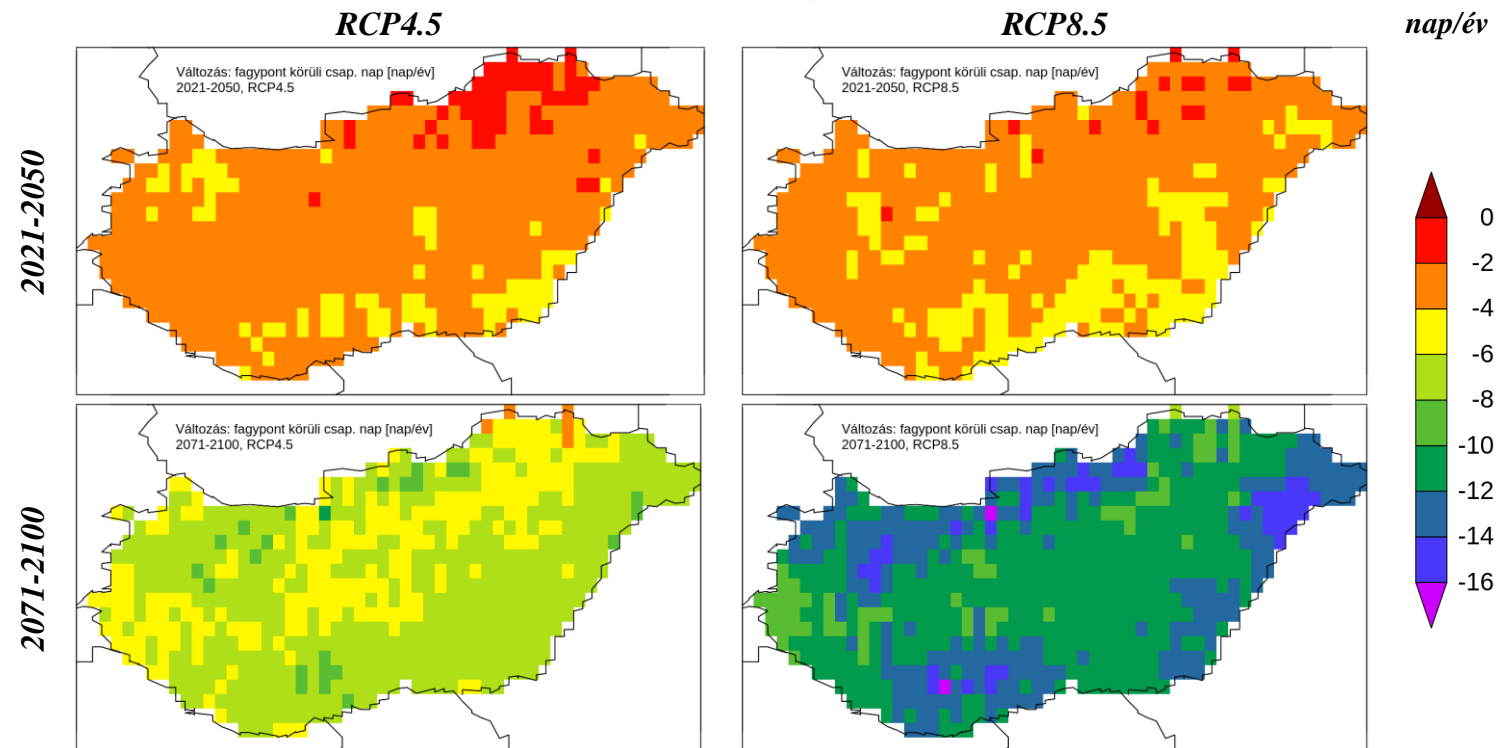
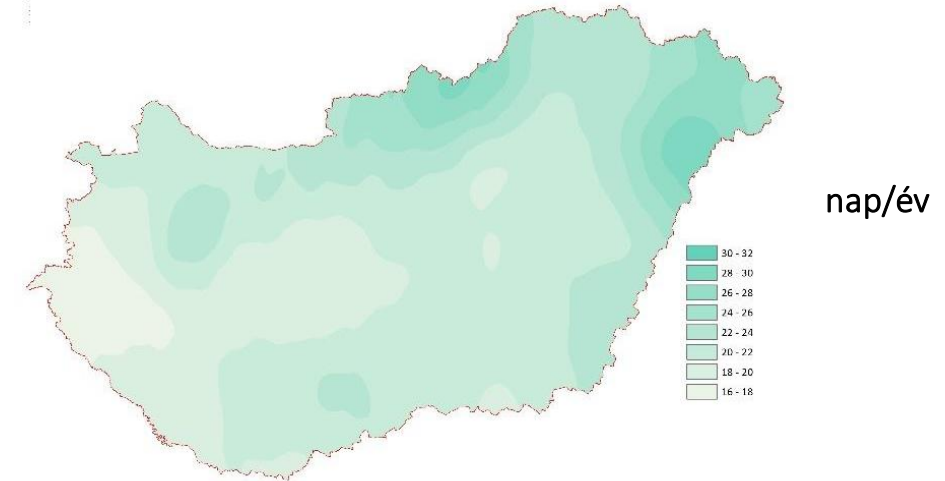


Eredmények – fagypont körüli és csapadékos napok száma

($T_{max} > 0\text{ °C}$, $T_{min} < 0\text{ °C}$ és csapadék van)

- 1981-2010: É-ÉK-en egy hónap, Ny-on a legkevesebb
- **2021-2050:** gyenge csökkenés
- **2071-2100:** RCP8.5: jelentős csökkenés

Megfigyelés, 1981-2010



Eredmények összefoglalása – változás nagysága

<i>Index neve</i>	2021-2050		2071-2100	
	<i>RCP4.5</i>	<i>RCP8.5</i>	<i>RCP4.5</i>	<i>RCP8.5</i>
23 mm feletti csapadékú napok éves száma	0	0	+	+++
órás csapadékontenzitás éves maximuma	0	0+	0+	++
viharos napok éves száma	0	0+	+	++
éves szélesség maximuma	0	0+	0+	++
téli csapadékontenzitás	0+	0+	++	+++
téli nagy szelek és csapadékos napok együttes előfordulása	0+	0+	+	+
tapadó havas napok éves száma	0-	-	--	---
ónos esős napok éves száma	0	0	0	-
maximumhőmérséklet éves maximuma	+	+	++	+++
erdőtűz veszélyes napok éves száma	0	0	0+	++
fagypont körüli és csapadékos napok együttes éves előfordulása	0-	0-	-	---

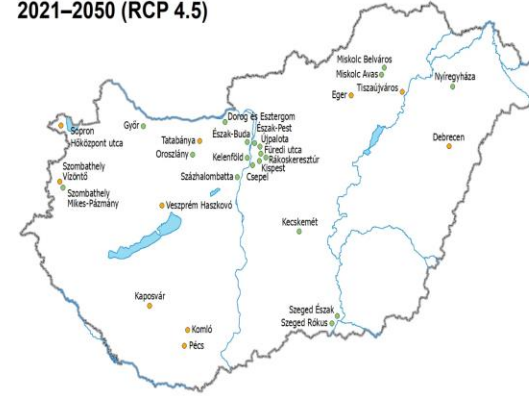
- Kezdetben csak kis különbség a két forgatókönyv között
- Legnagyobb változások: RCP8.5 és 2071-2100-ra
- Pozitív hatás: fagypont körüli-csapadékos napok csökkenése
- Negatív hatás: a többi növekedése!

Eredmények – távhővezetékek komplex éghajlati kitettsége

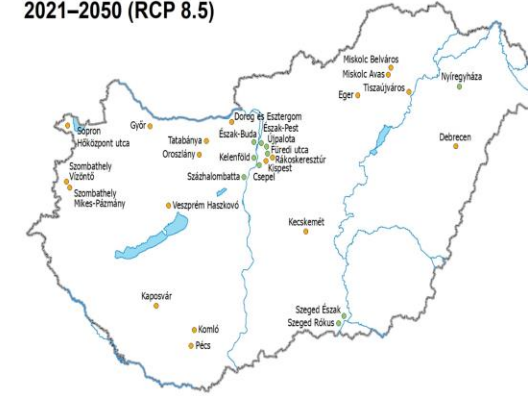
- 5 indikátor **súlyozása** szakemberekkel egyeztetve
- **Skálázás:** $z_i = (x_i - \min(x)) / (\max(x) - \min(x))$
dimenziótlanítás 0-1 közé
- Háromosztatú skála: **kevésbé kitett, kitett, erősen kitett**
- **2071-2100 > 2021-2050 ÉS RCP8.5 > RCP4.5: erősebb kitettség**

Távhőközpontok

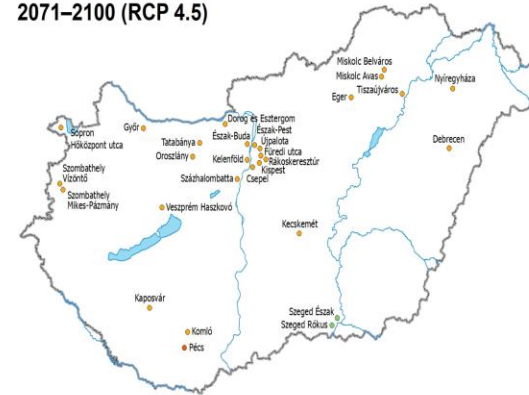
2021–2050 (RCP 4.5)



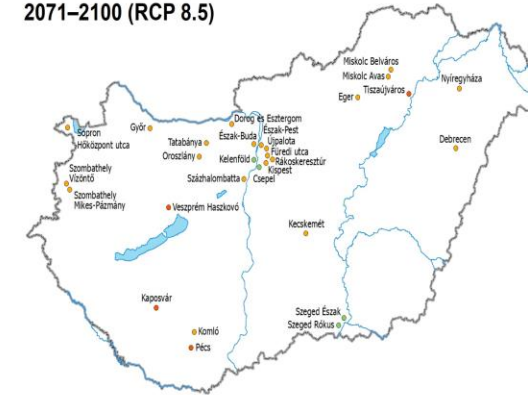
2021–2050 (RCP 8.5)



2071–2100 (RCP 4.5)



2071–2100 (RCP 8.5)



• Pécs

Éghajlati kitettség

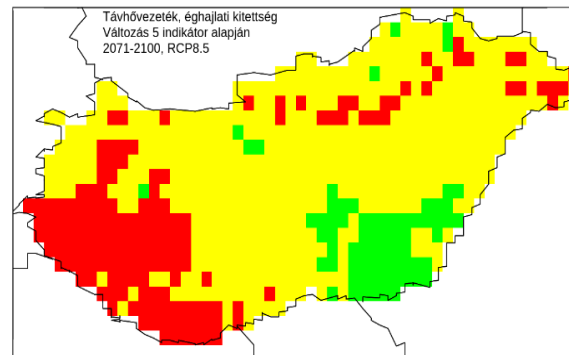
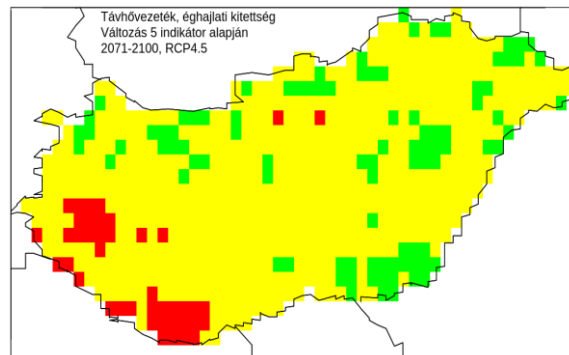
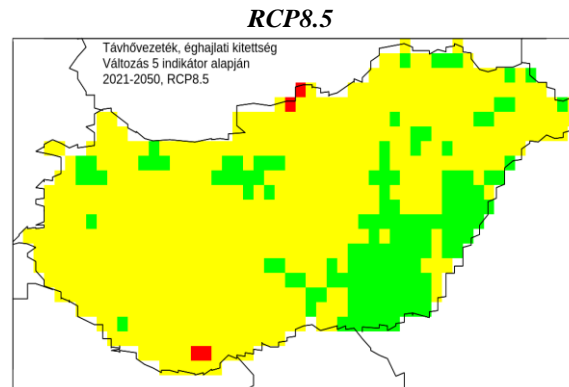
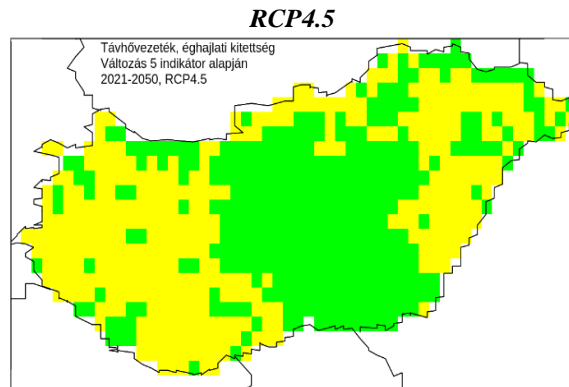
- kevésbé kitett
- kitett
- erősen kitett

• Pécs

• Kaposvár

• Veszprém

• Tiszaújváros



2021-2050

2071-2100

Távhő fűtési igény

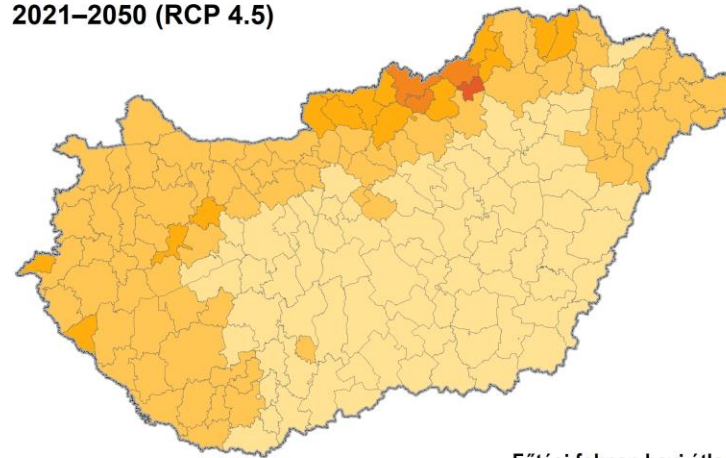
- **Csak 2021-2050-ig** GDP és lakosság adatok elérhetősége miatt
- **Fűtési foknap:** téli féléves igény csökken
- RCP8.5 szerint erőteljesebb változások (10 °C/hónappal)
- Dny-on, ÉK-en és középhegységeinkben jobban csökken

De: nyári hűtési igény nő – távhűtéssel VE helyett?

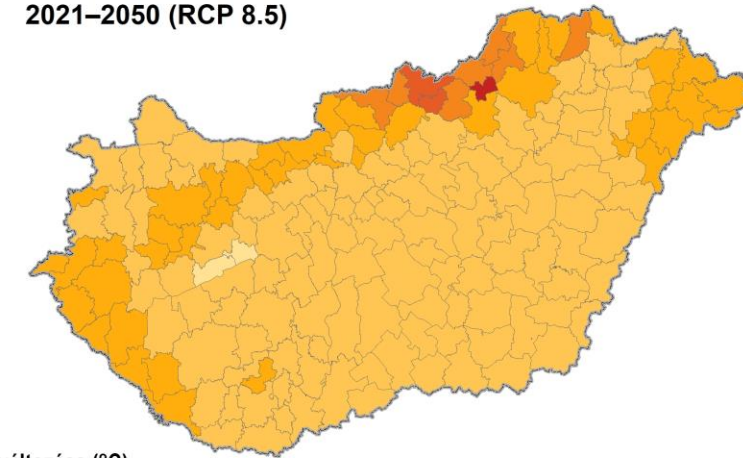
Indikátor	Egység	Számítás
napfokszám éves összege	°C	sum(16-Tave), amikor Tave < 16 °C
fűtési foknap október-március közötti havi átlaga	°C	ha Tmin < 16 °C < Tave -> (16-Tmin)/4 ha Tave ≤ 16 < Tmax -> [(16-Tmin)/2] - [(Tmax-16)/4] ha Tmax ≤ 16 -> 16-Tave
hűtési foknap május-szeptember közötti havi átlaga	°C	ha Tave ≤ 22 °C < Tmax -> (Tmax-22)/4 ha Tmin < 22 < Tave -> [(Tmax-22)/2] - [(22-Tmin)/4] ha Tmin ≥ 22 -> Tave-22
fagypont körüli és csapadékos napok együttes éves előfordulása	nap	Tmax > 0 °C, Tmin < 0 °C és csapadék van (> 0.1 mm)



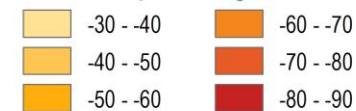
2021–2050 (RCP 4.5)



2021–2050 (RCP 8.5)



Fűtési foknap havi átlagainak változása (°C)



Köszönöm a megtisztelő figyelmet!
szabo.peter.mbfisz@gmail.com