

Regionális klímamodellek és hazánkra vonatkozó eredményeik

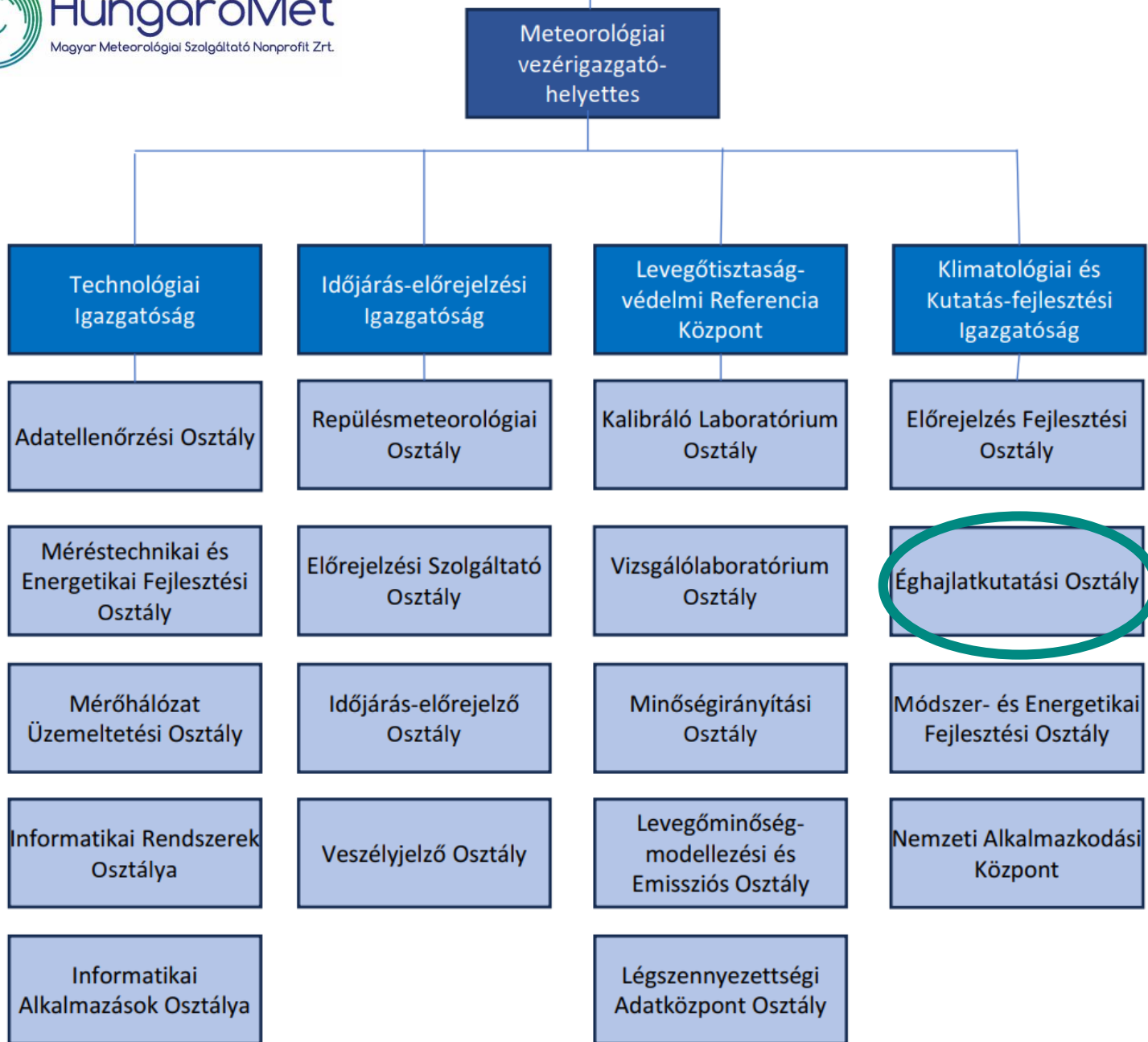
Bordi Sára

Duics-Korosecz Lilla, Megyeri-Korotaj Otília, Schuchné Bán Beatrix

Klímamodellező Csoport, Éghajlatkutató Osztály



Nyári gyakorlat az ELTE meteorológus BSc hallgatók számára
2024.06.02.



Schuchné Bán Beatrix



Allaga-Zsebeházi Gabriella

Klímamodellező csoport



Megyeri-Korotaj Otília



Duics-Korosecz Lilla



Bordi Sára

Meteorológiai
vezérigazgató-
helyettes

Tech
Igazg

Adatellenő

Méréste
Energetik
Os

Mérő
Üzemelte

Informatikai Rendszerek
Osztálya

Informatikai
Alkalmazások Osztálya

Regionális klímamodellezés

Schuchné Bán Beatrix

Bordi Sára, Duics-Korosecz Lilla, Megyeri-Korotaj Otília,
Zempléni Zsuzsanna

Klímamodellező Csoport, Éghajlatkutató Osztály



Nyílt Nap az ELTE meteorológus BSc hallgatók számára
2024.04.16.

Veszélyjelző Osztály

Levegőtisztaság-
modellezési és
Emissziós Osztály

Nemzeti Alkalmazkodási
Központ

Légszennyezettségi
Adatközpont Osztály



Schuchné Bán Beatrix



Allaga-Zsebeházi Gabriella

Klímamodellező csoport



Megyeri-Korotaj Otília



Duics-Korosecz Lilla



Bordi Sára

Ismétlés

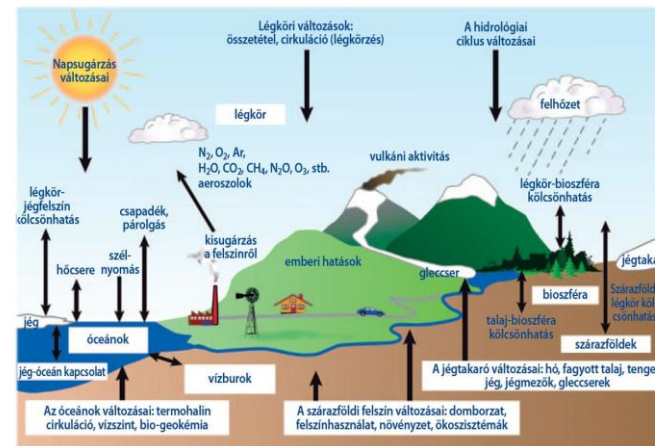
Tartalom

1. Éghajlat, éghajlatváltozás
2. Az éghajlat modellezése
3. Mivel foglalkozunk?

Az éghajlati rendszer

Az alábbi geoszféra kölcsönható együttese:

- Légkör
- Vízburok (felszíni és felszín alatti vizek)
- Jégfelszín (hó- és jégtakaró)
- Földfelszín
- Élővilág



Éghajlat alakító tényezők

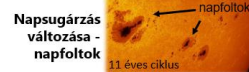
Természetes kényszerek

Föld pályaelemeinek módosulása

Tengelyferdeség változása (~41 ezer év)
Tengelypörgettyű jellegű mozgása (~21 ezer év)



Ellipszis lapultságának változása (~95-100 ezer év)



Napsugárzás változása - napfoltok
11 éves ciklus



Vulkánkitörések
eseti jellegű

Antropogén kényszerek



Energiatermelés



Ipari tevékenység



Mezőgazdaság

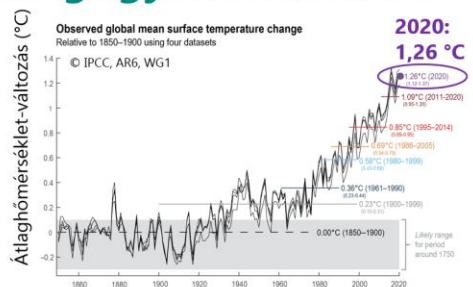


Közlekedés

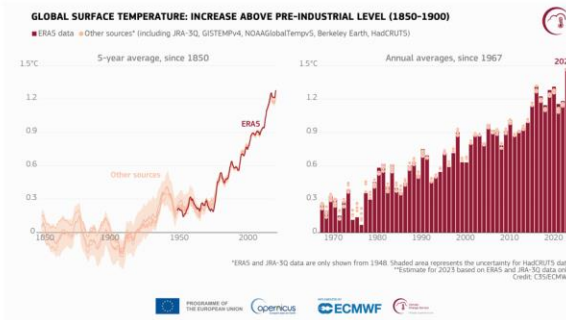
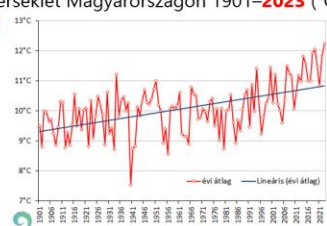


Háztartások

Megfigyelt változások



Évi középhőmérséklet Magyarországon 1901-2023 (°C)
Trend: 1,53 °C



- 2023: 0,60°C-kal melegebb volt, mint az 1991-2020-as átlag
- 1,48 °C-kal haladta meg az iparosodás előtti (1850-1900) időszak átlagát

Ismétlés

Tartalom

1. Éghajlat, éghajlatváltozás
2. **Az éghajlat modellezése**
3. Mivel foglalkozunk?

Meteorológiai modellezés

- az éghajlati rendszert és minden elemét, valamint a közöttük lévő kölcsönhatásokat **fizikai törvények** kormányozzák



Modellezés: a valóság leképezése

A hidro-termodinamikai egyenletrendszer

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

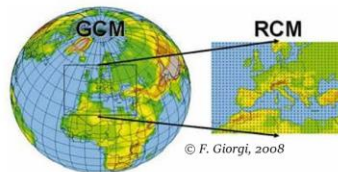
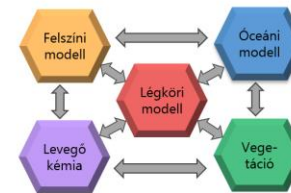
- ezeket **matematikai egyenletrendszerrel** írjuk le (áramlási sebesség, hőmérséklet, nedvesség és nyomás időbeli fejlődése)
- **célja:** a valós időjárást, éghajlatot megismerni, leírni, előrejelezni
- keressük az egyenletrendszer megoldását, **nincs „megoldóképlet”** ➔ **Közelítő módszereket** kell alkalmaznunk

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Az éghajlat modellezése

Globális modellek

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



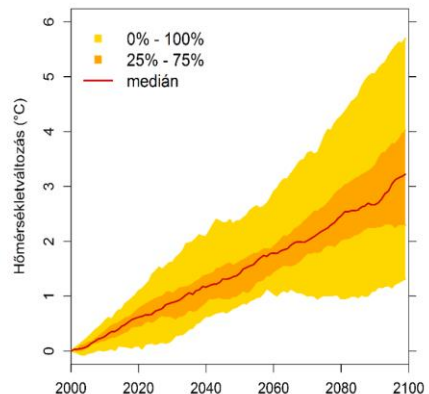
Regionális modellek

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

A modellezés bizonytalansága

- **A bizonytalanság számszerűsítése ensemble (együttes) módszerrel történik:** egy modellkísérlet helyett több szimulációt együttesen veszünk figyelembe
- Több forgatókönyv, több (globális és regionális) modell
- Az így készített projekciók egyformán lehetségesek ➔ **valószínűségi információ**

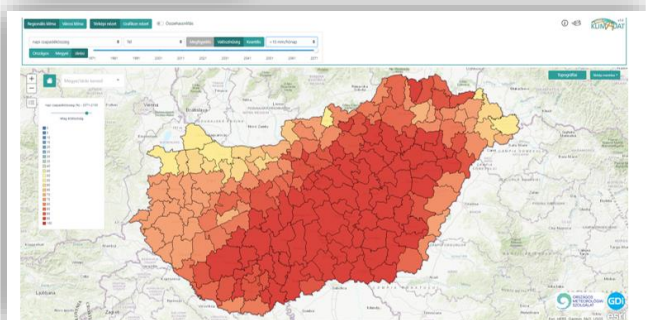
Magyarországi évi átlaghőmérséklet változása [°C]
Referencia: 1971-2000



Ismétlés

Tartalom

1. Éghajlat, éghajlatváltozás
2. Az éghajlat modellezése
3. Mivel foglalkozunk?



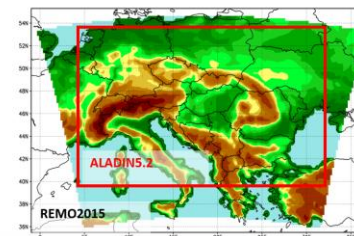
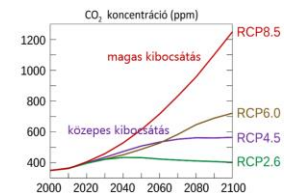
Regionális modellkísérleteink

A vizsgálatok 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

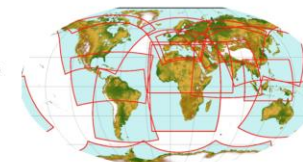
- További vizsgálatok európai modelleredmények felhasználásával
 - Jövőbeli változások vizsgálatának fő időszakai: 2021–2050, 2041–2070, 2071–2100
 - Referencia: 1971–2000
- + új éghajlati modell **Harmonie-Climate (HCLIM)** adaptálása



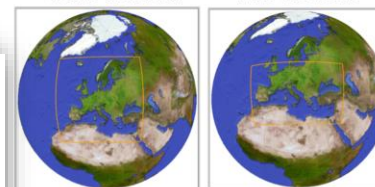
Európai modelleredmények használata

Regionális Modellezési Program: **CORDEX** (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment)

- előre meghatározott szempontok szerint szimulációk készítése
→ összehasonlítható eredmények
- globális modellek leskalázása



EURO-CORDEX MED-CORDEX



WCRP CORDEX

Modelleredmények felhasználása

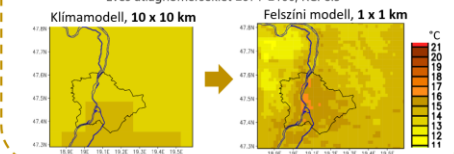
- Alkalmazkodási és mérséklési tervek, cselekvések támogatása meteorológiai információkkal
- Hatásvizsgálatok: az éghajlatváltozás hogyan hat a környezetre, társadalomra, gazdaságra, stb.

Hatások vizsgálata a HungaroMet-nél:

Városi környezet modellezése

A városi körülményeket a regionális modellek **ma még nem** tudják leírni → **felszíni modell** alkalmazása

Éves átlaghőmérséklet 2071-2100, RCP8.5



Éghajlatváltozás vizsgálata (modelleredmények + bizonytalanság)

Hatások vizsgálata (speciális modellel, éghajlati indikátorok számításával)



Eredmények felhasználása: **tervezés, döntéshozatal során** (pl. városfejlesztés)

Mire emlékszünk mindebből?

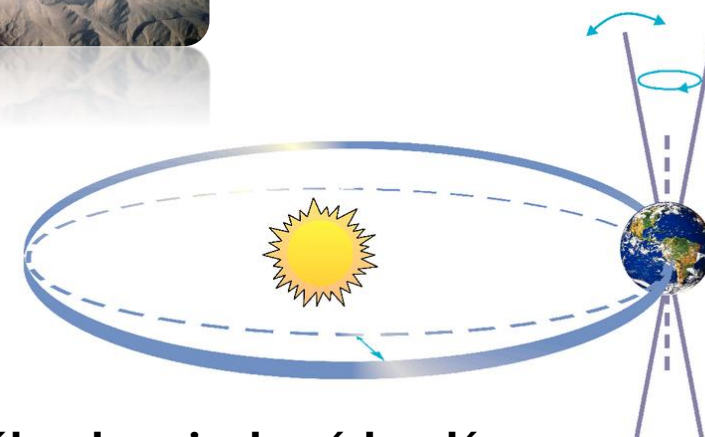
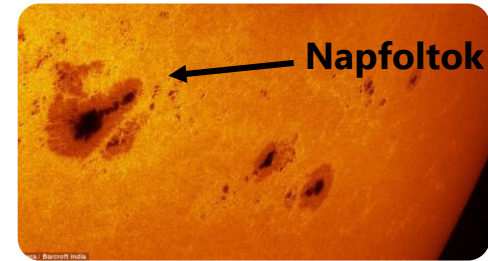
Kvíz

1. Melyik nem antropogén éghajlatváltozási kényszer?

- a) Energiatermelés
- b) Közlekedés
- c) Mezőgazdaság
- d) Vulkánkitörés
- e) Ipar
- f) Háztartások

1. Melyik nem antropogén éghajlatváltozási kényszer?

- a) Energiatermelés
- b) Közlekedés
- c) Mezőgazdaság
- d) **Vulkánkitörés**
- e) Ipar
- f) Háztartások

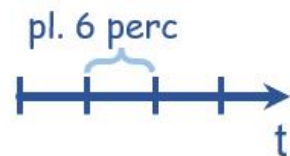
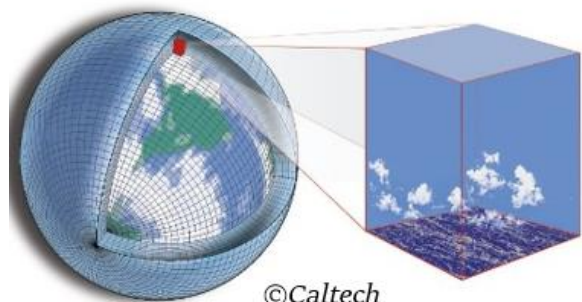


2. Hogyan modellezünk?

- a) **Kézzel megoldjuk a HTER-t** (hidro-termodinamikai egyenletrendszer)
- b) **Szuperszámítógéppel megoldjuk a HTER-t**
- c) **Szuperszámítógéppel közelítő megoldást keresünk a HTER-re**
- d) **Szuperszámítógépen illusztrációkat készítünk az időjárási folyamatokról**

2. Hogyan modellezünk?

- Kézzel megoldjuk a HTER-t
- Szuperszámítógéppel megoldjuk a HTER-t
- Szuperszámítógéppel közelítő megoldást keresünk a HTER-re
- Szuperszámítógépen illusztrációkat készítünk az időjárási folyamatokról



A hidro-termodinamikai egyenletrendszer

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{g} - 2\vec{\Omega} \times \vec{V}$$

$$\frac{d\rho}{dt} = -\rho \nabla \cdot \vec{V}$$

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{M}{\rho}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\rho c_p} Q + \frac{RT}{\rho c_p} \frac{dp}{dt}$$

$$p = \rho RT$$

- keressük az egyenletrendszer megoldását, **nincs „megoldóképlet”** → **Közelítő módszereket** kell alkalmaznunk

~~$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$~~

3. Melyikre igaz?

„A kiindulási állapot elveszíti jelentőségét, **külső kényszerek** kormányozzák a rendszert”

- a) **Időjárás-előrejelző modell**
- b) **Klíمامodell**

3. Melyikre igaz?

„A kiindulási állapot elveszíti jelentőségét, **külső kényszerek** kormányozzák a rendszert”

a) **Időjárás-előrejelző modell** →

b) **Klímamodell**



- A **kiindulási állapot** meghatározása kulcsfontosságú



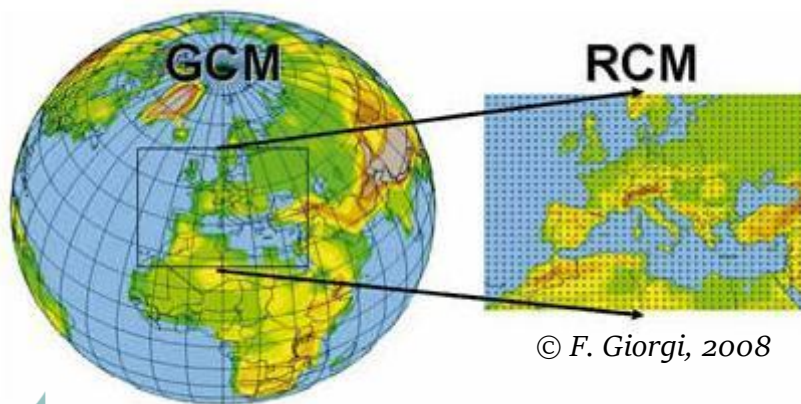
- A **teljes éghajlati rendszer** hosszú távú, lassú változásait írjuk le
- Szokásos viselkedést írunk le (nem 2050 egyik napjának időjárása)

4. Jellemzően mekkora egy regionális klímamodell felbontása?

- a) **100-250 m**
- b) **1-2,5 km**
- c) **10-25 km**
- d) **100-250 km**

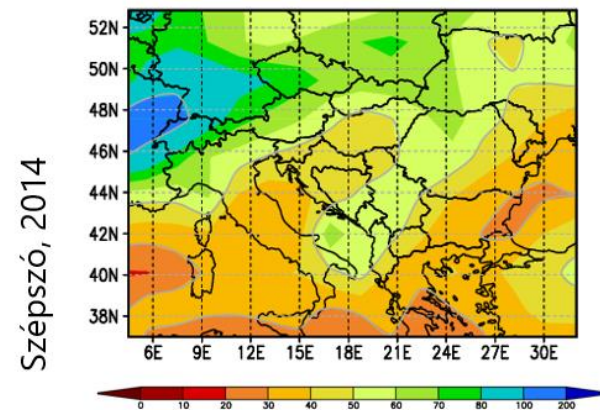
4. Jellemzően mekkora egy regionális klímamodell felbontása?

- a) 100-250 m
- b) 1-2,5 km
- c) 10-25 km
- d) 100-250 km

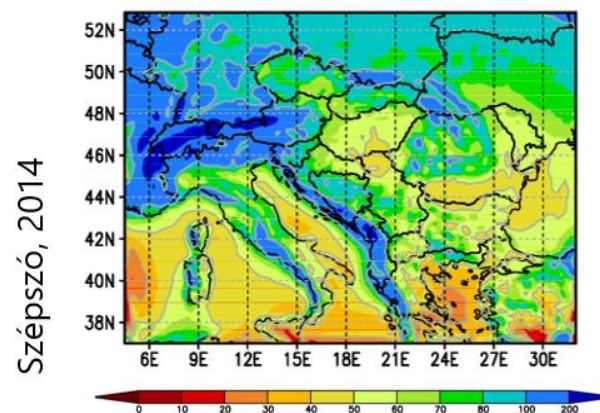


leskálázás („downscaling”)

Átlagos évi csapadék [mm/hónap]
1961–1990, globális (200 km)



Átlagos évi csapadék [mm/hónap]
1961–1990, regionális (25 km)



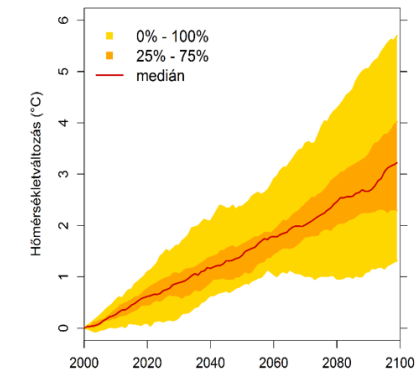
5. Igaz vagy hamis?

„Az éghajlatváltozás vizsgálata során **elegendő egyetlen modelleredményre támaszkodnunk.**”

- a) **Igaz**
- b) **Hamis**

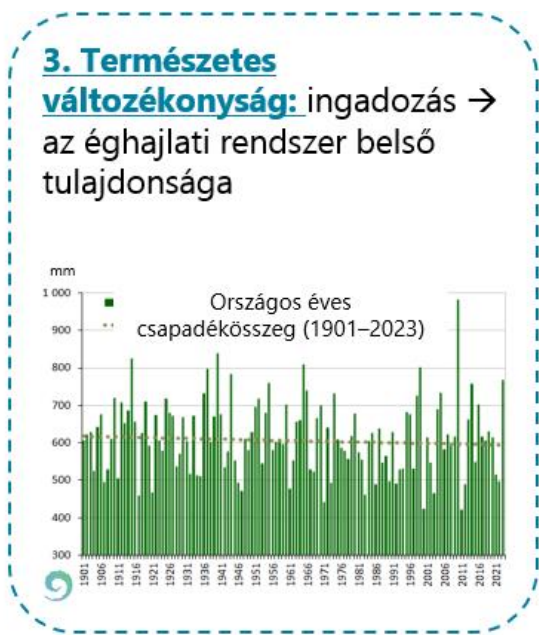
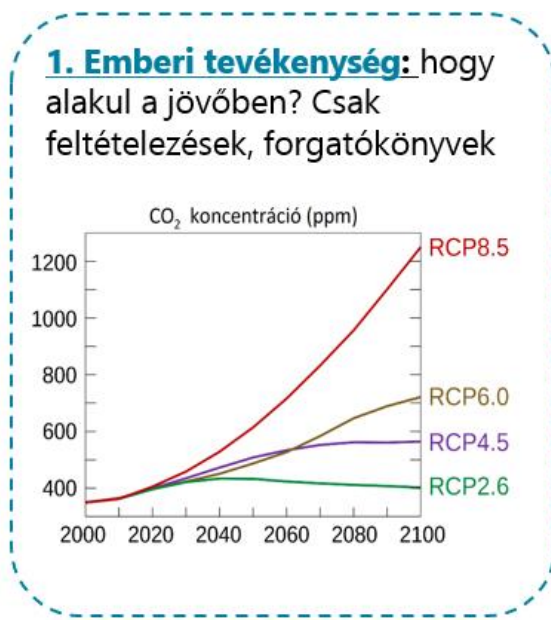
5. Igaz vagy hamis?

Magyarországi évi átlaghőmérséklet változása [°C]
Referencia: 1971-2000



„Az éghajlatváltozás vizsgálata során **elegendő egyetlen modelleredményre támaszkodnunk.**”

- a) **Igaz**
- b) **Hamis**



ensemble módszer

6. Ez a legideálisabb városi környezet modellezésére:

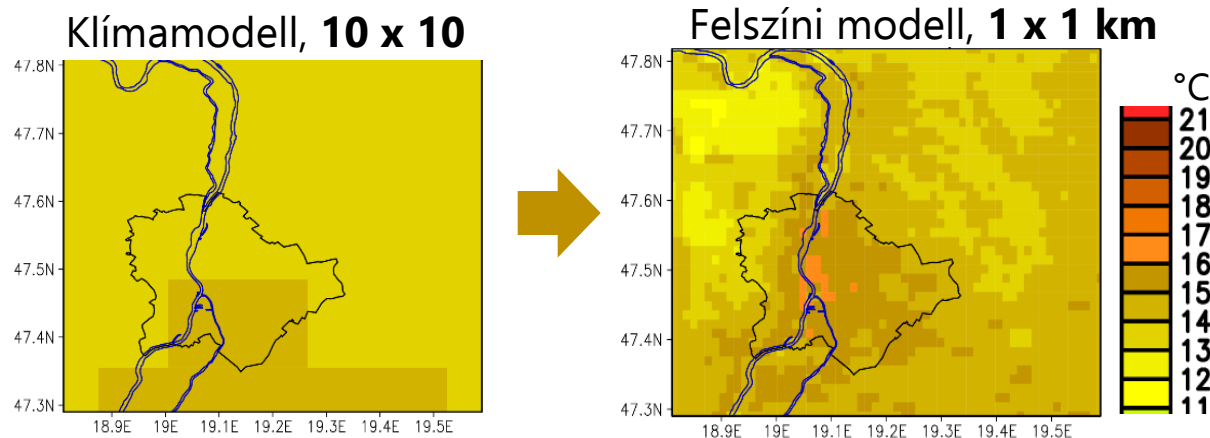
- a) **Globális klímamodell**
- b) **Regionális klímamodell**
- c) **Országos modell**
- d) **Felszíni modell**

6. Ez a legideálisabb városi környezet modellezésére:

- a) Globális klímamodell
- b) Regionális klímamodell
- c) Országos modell
- d) **Felszíni modell**

A városi körülményeket a regionális modellek **ma még nem** tudják leírni → **felszíni modell** alkalmazása

Éves átlaghőmérséklet 2071-2100, RCP8.5



7. Mit nem csinál egy klímamodellező?




- a) **Klímamodelleket telepít, tesztel, futtat**
- b) **Feldolgozza és kiértékeli a modelleredményeket**
- c) **Információt és szolgáltatást nyújt számos vizsgálathoz**
- d) **Eredményeit publikálja tudományos folyóiratokban**
- e) **Kiadványokat készít**

7. Mit nem csinál egy klímamodellező?

- Klímamodelleket telepít, tesztel, futtat
- Feldolgozza és kiértékeli a modelleredményeket
- Információt és szolgáltatást nyújt számos vizsgálathoz
- Eredményeit publikálja tudományos folyóiratokban
- Kiadványokat készít
- Be akarsz csapni a kérdéssel, mert ez mind feladata



Article
Assessment of Climate Indices over the Carpathian Basin Based on ALADIN5.2 and REMO2015 Regional Climate Model Simulations

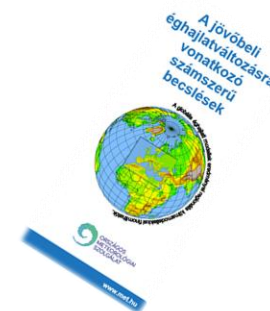
Otilia A. Megyeri-Korotaj , Beatrix Bán , Réka Suga, Gabriella Allaga-Zsebeházi  and Gabriella Szépszó

IDŐJÁRÁS

Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service
 Vol. 125, No. 4, October – December, 2021, pp. 647–673

ALADIN-Climate at the Hungarian Meteorological Service:
 from the beginnings to the present day's results

Beatrix Bán^{*1}, Gabriella Szépszó¹, Gabriella Allaga-Zsebeházi¹,
 and Samuel Somot²

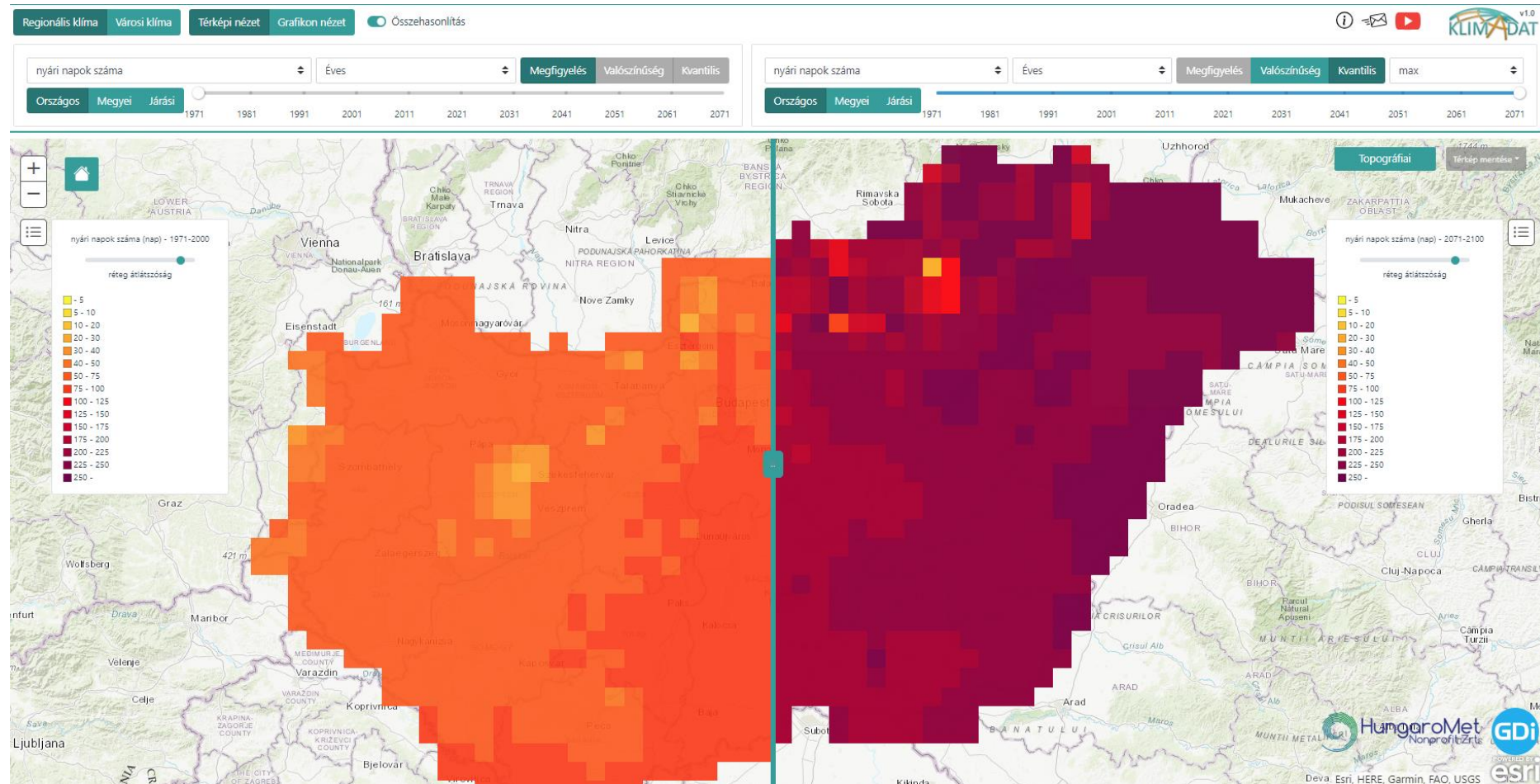


KLIMADAT adatbázis



- **KLIMADAT:** Magyarországra és Budapestre vonatkozó, méréseken és modelleredményeken alapuló **éghajlati adatbázis és megjelenítő rendszer**

- Publikusan elérhető honlap: <https://klimadat.met.hu>



KLIMADAT adatbázis



Regionális klíma

Városi klíma

Térképi nézet

Grafikon nézet

Összehasonlítás

napi átlaghőmérséklet

Éves

Megfigyelés

Valószínűség

Kvantilis

min

napi átlaghőmérséklet

napi maximumhőmérséklet

napi minimumhőmérséklet

napi csapadékösszeg

nyári napok száma

hőségnapok száma

túl meleg éjszakák száma

másodfokú hóhullámos napok száma

fagyos napok száma

zord napok száma

téli napok száma

egymást követő fagyos napok maximális száma

vegetációs időszak hossza

1 2011 2021 2031 2041 2051 2061 2071

- **30 éves időszakok**
- múlt: **megfigyelés**
- jövő: **modellszimulációk**

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

KLIMADAT adatbázis



Regionális klíma Városi klíma **Térképi nézet** Grafikon nézet Összehasonlítás

napi átlaghőmérséklet Éves Megfigyelés Valószínűség Kvantilis min

Országos Megyei Járási

1971 2001 2011 2021 2031 2041 2051 2061 2071

Éves
Évszakos
Tavaszi
Nyári
Őszi
Téli
Havi
Január
Február
Március
Április
Május
Június

- **30 éves időszakok**
- múlt: **megfigyelés**
- jövő: **modellszimulációk**

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

KLIMADAT adatbázis



Regionális klíma Városi klíma Térképi nézet Grafikon nézet Összehasonlítás

napi átlaghőmérséklet Éves Megfigyelés Valószínűség Kvantilis >1 °C

Országos Megyei Járási

1971 1981 1991 2001 2011 2021 2031 2041 2051 2061

Jövőre vonatkozó modelleredmények megjelenítési módja: adott küszöbértéket meghaladó változás valószínűsége a 2021–2100 időszakon

>1 °C
>2 °C
>3 °C
>5 °C
>10 °C

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

Referencia időszak: **1971-2000**

KLIMADAT adatbázis



Regionális klíma Városi klíma Térképi nézet Grafikon nézet Összehasonlítás

napi átlaghőmérséklet Éves Megfigyelés Valószínűség **Kvantilis** min

Országos Megyei Járási

1971 1981 1991 2001 2011 2021

Jövőre vonatkozó modelleredmények megjelenítési módja: várható jövőbeli értékek kvantilis (pl. minimum, medián) értékei a 2021–2100 időszakon

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

Kvantilis érték:

- Megadja a szimulációk:
 - **minimumát**
 - **maximumát**
 - **mediánját**

KLIMADAT adatbázis



Regionális klíma

Városi klíma

Térképi nézet

Grafikon nézet

napi átlaghőmérséklet

Éves

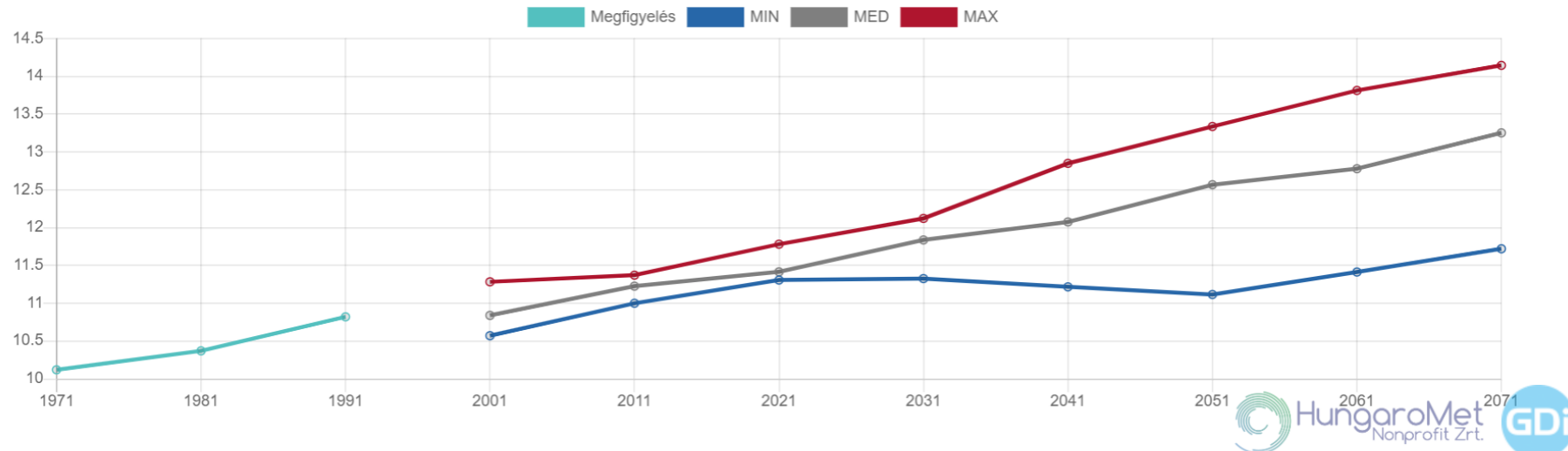
Országos

Válasszon megyét

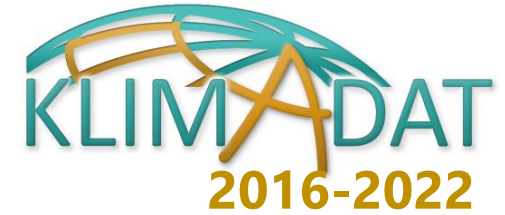
Válasszon járást

Grafikon letöltése

Napi átlaghőmérséklet, éves átlag (°C)



KLIMADAT adatbázis



Regionális klíma Városi klíma Térképi nézet Grafikon nézet Összehasonlítás

napi átlaghőmérséklet Megfigyelés Valószínűség Kvantilis min

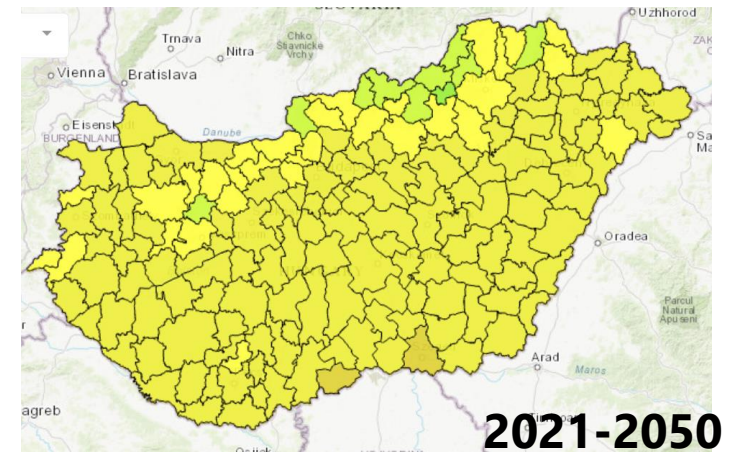
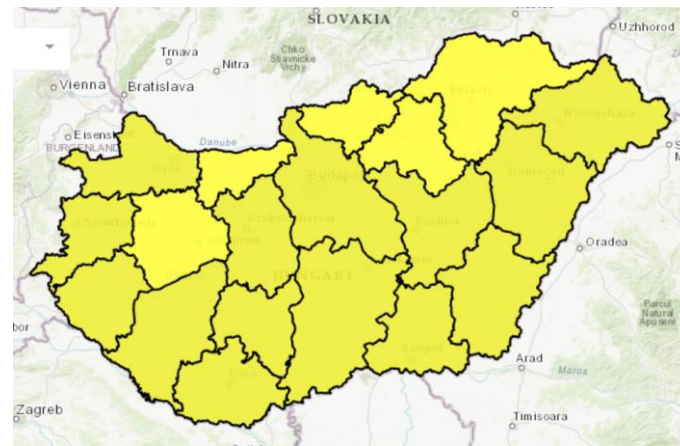
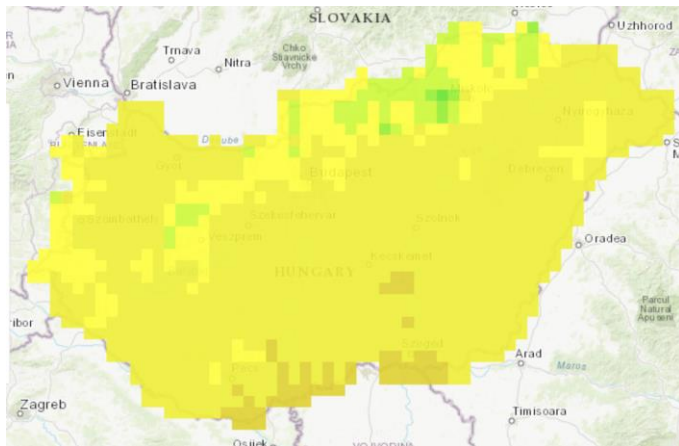
Országos Megyei Járási

1971 1981 1991 2001 2011 2021 2031 2041 2051 2061 2071

napi átlaghőmérséklet (°C) - 2021-2050

réteg átlátszóság

- 7 - 8
- 8 - 9
- 9 - 10
- 10 - 11
- 11 - 12
- 12 - 13
- 13 - 14
- 14 - 15
- 15 - 16
- 16 - 17
- 17 - 18
- 18 - 19



KLIMADAT adatbázis



Regionális klíma

Városi klíma

Térképi nézet

Grafikon nézet

Összehasonlítás

napi átlaghőmérséklet

Éves

Megfigyelés

Kvantilis

max

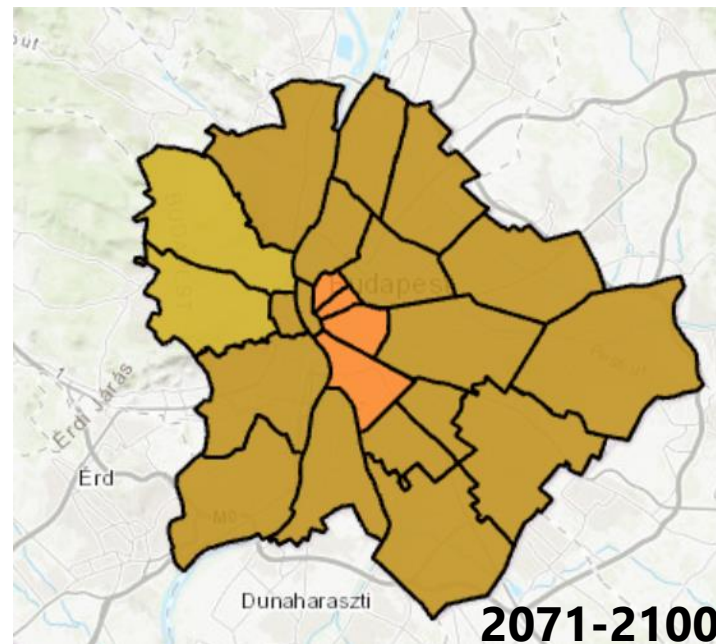
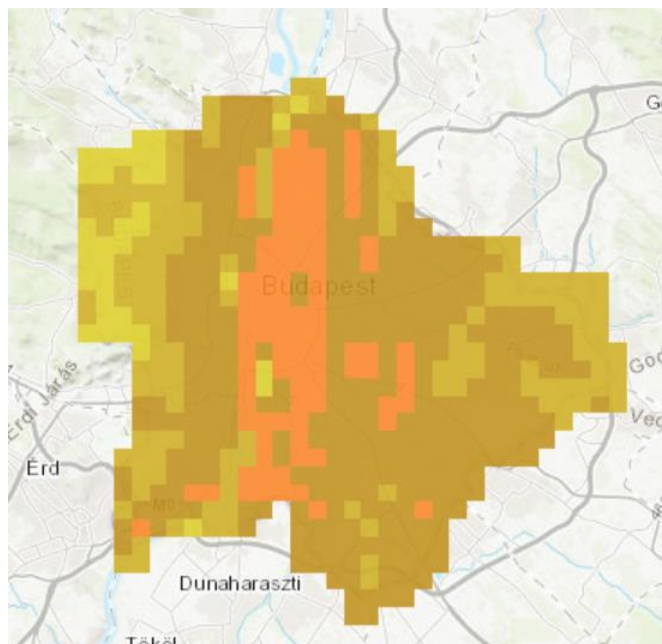
Budapesti

Kerületi

1971 1981 1991 2001 2011 2021 2031 2041 2051 2061 2071

napi maximumhőmérséklet (°C) - 1971-2000

réteg átlátszóság



KLIMADAT adatbázis



Regionális klíma

Városi klíma

Térképi nézet

Grafikon nézet

Összehasonlítás

napi maximumhőmérséklet

Éves

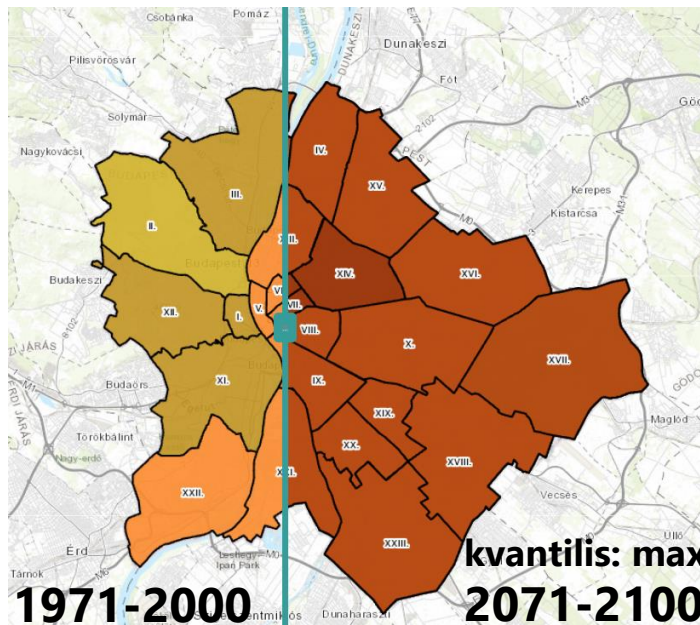
Megfigyelés

Kvantilis

Budapesti

Kerületi

1971 1981 1991 2001 2011 2021 2031 2041 2051 2061 2071



napi maximumhőmérséklet (°C) - 1971-2000



réteg átlátszóság

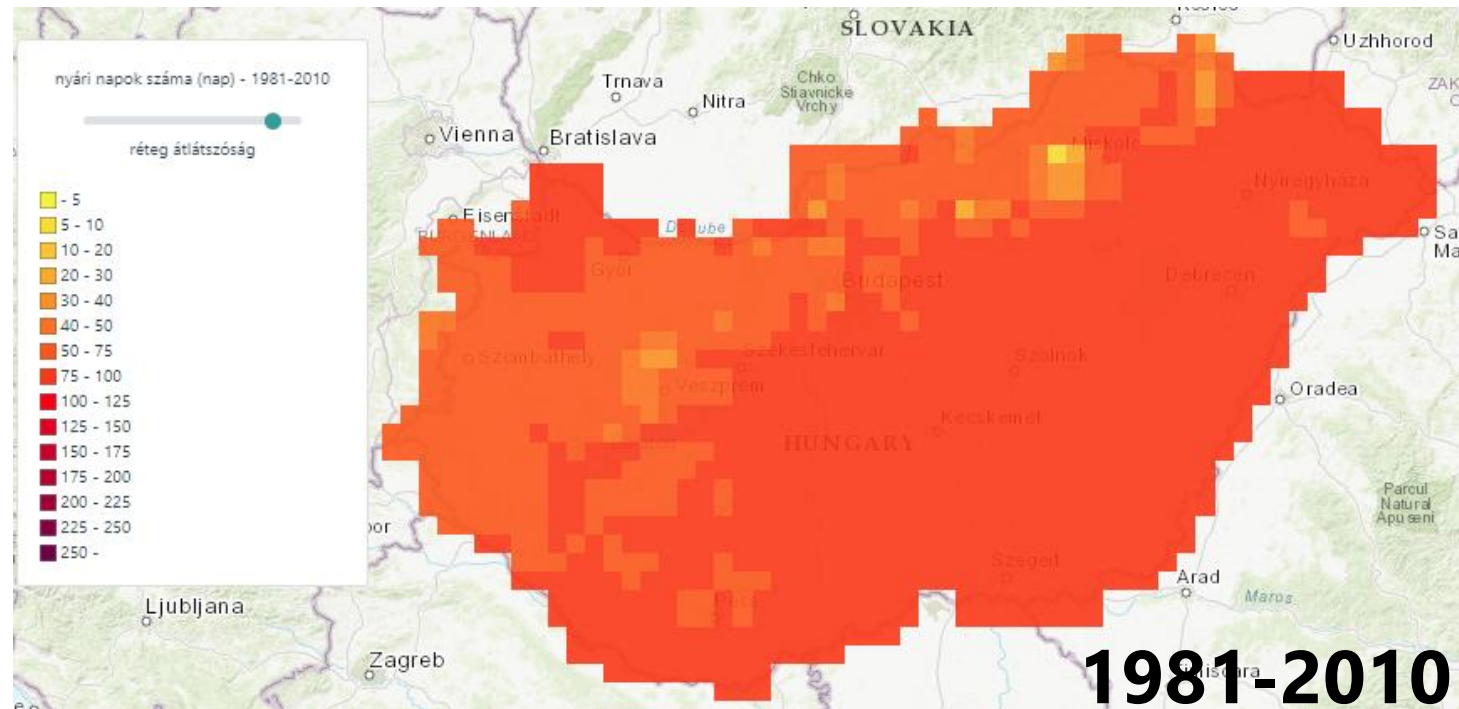
- 9 - 10
- 10 - 11
- 11 - 12
- 12 - 13
- 13 - 14
- 14 - 15
- 15 - 16
- 16 - 17
- 17 - 18
- 18 - 19
- 19 - 20
- 20 - 21

Klíma Bingó

- éghajlati indexek -

Nyári nap

- **A napi maximumhőmérséklet meghaladja a 25 °C-ot** ($T_{\max} > 25 \text{ °C}$)
- **Átlag: 30-75 nap**



1. Hány nap lesz?



Nyári nap



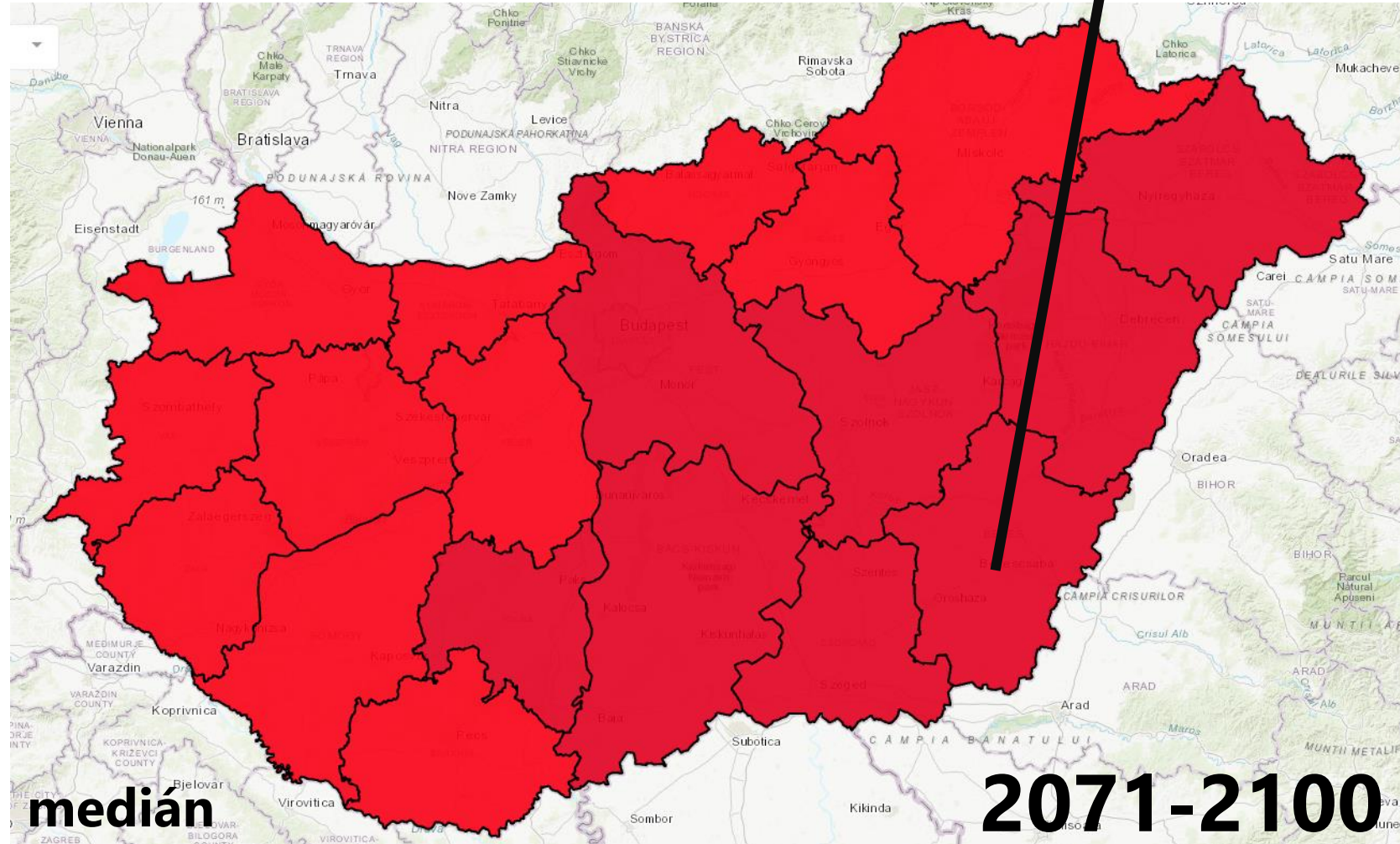
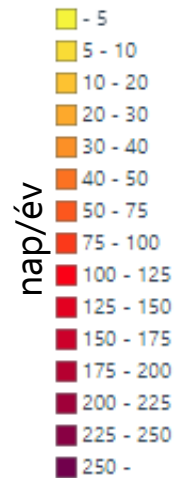
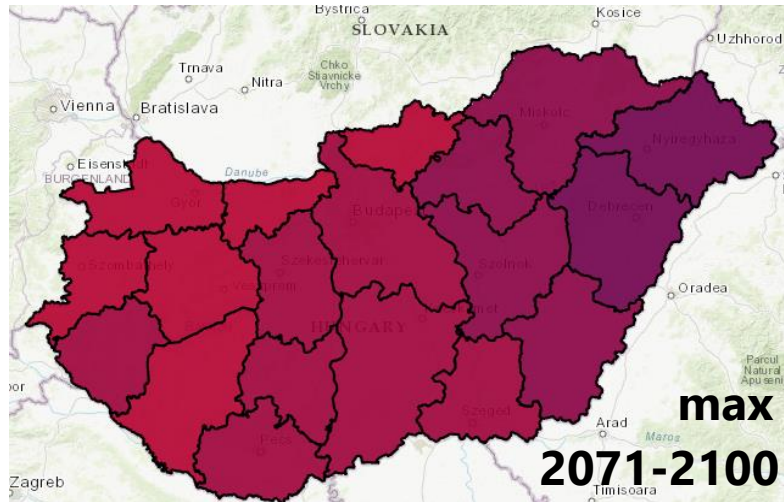
Mikor: 2071-2100

Hol: Békés vármegyében

Kvantilis: medián

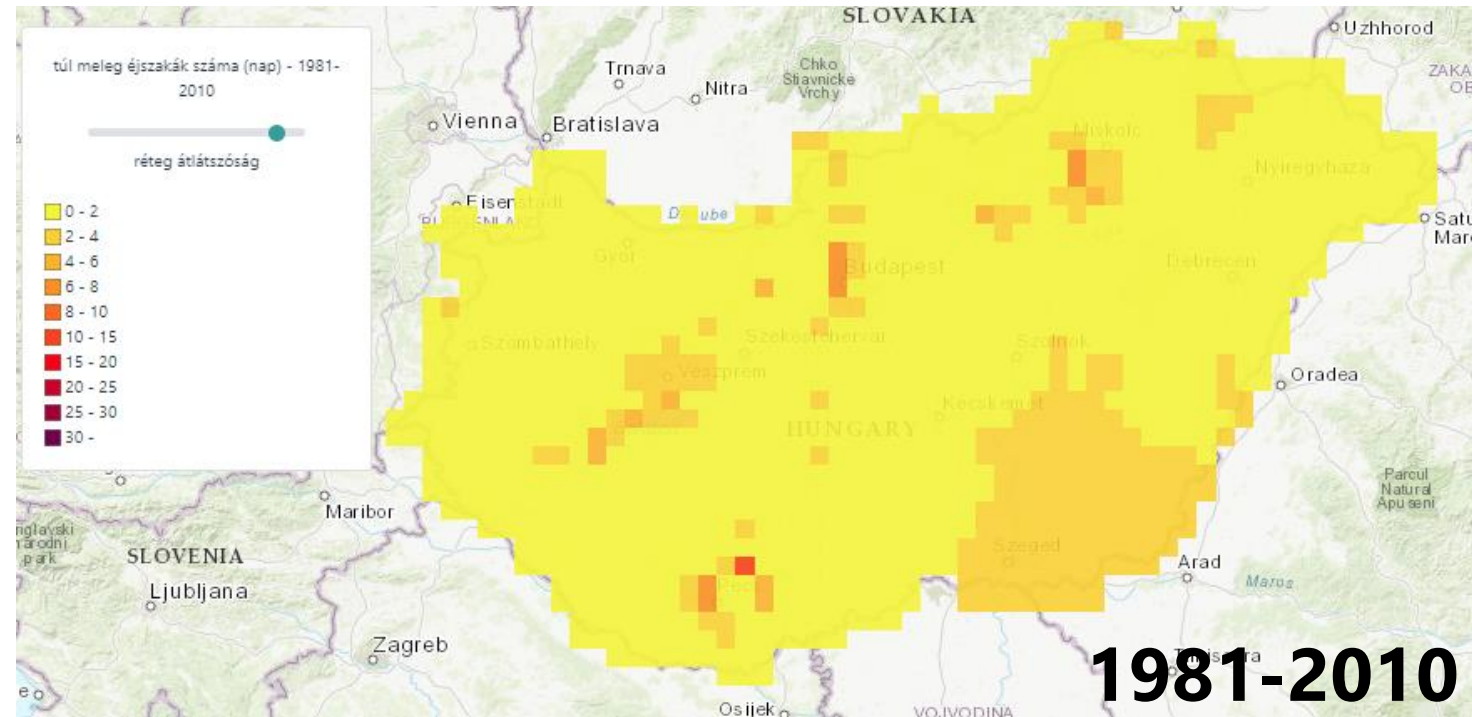


1. Nyári nap



Túl meleg éjszaka

- **A napi minimumhőmérséklet meghaladja a 20 °C-ot** ($T_{\min} > 20\text{ °C}$)
- **Átlag: 0-8 nap**



2. Mennyi a valószínűsége?

Túl meleg éjszakák száma > 30 nap



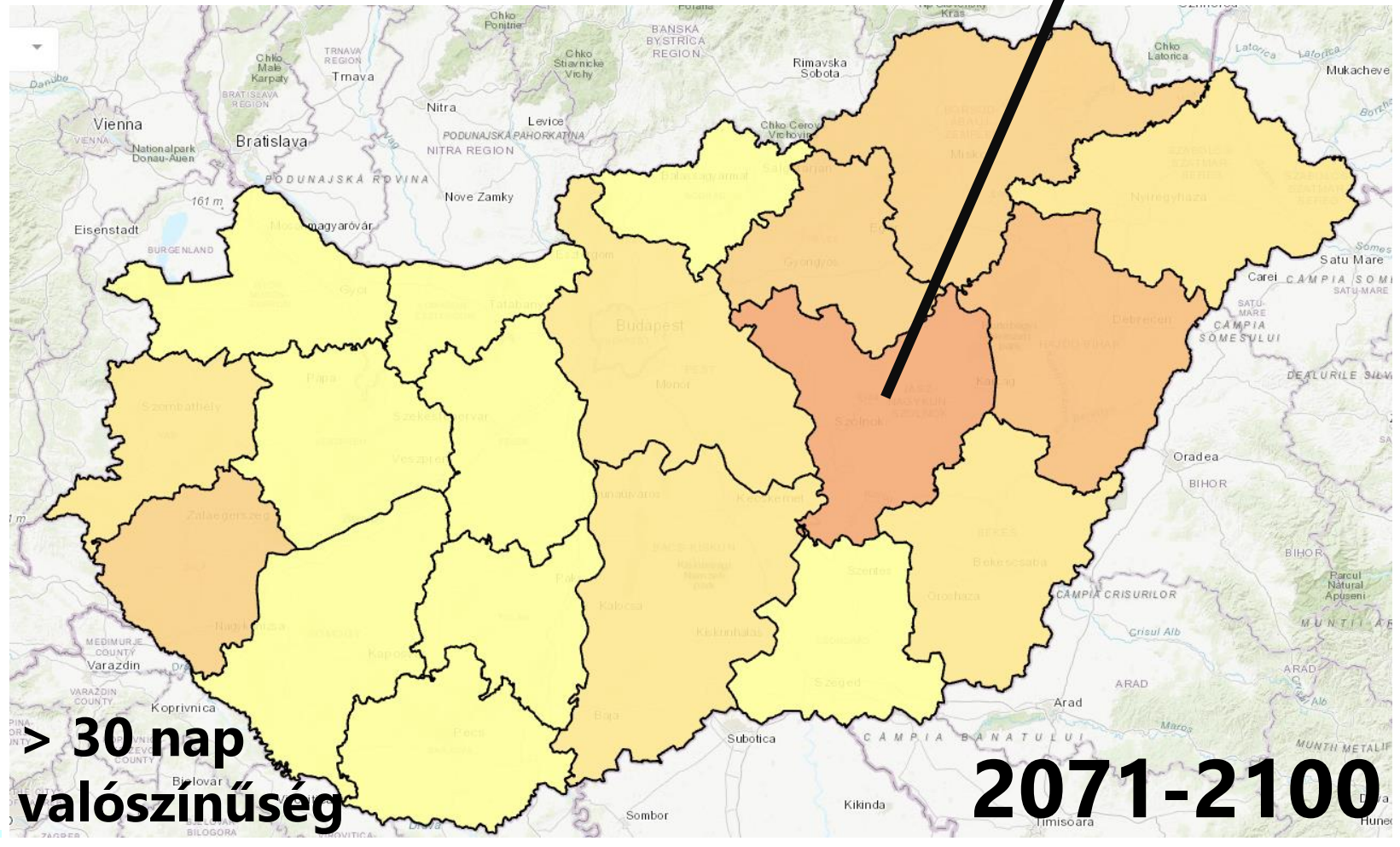
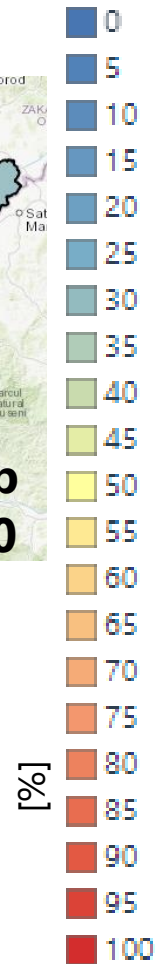
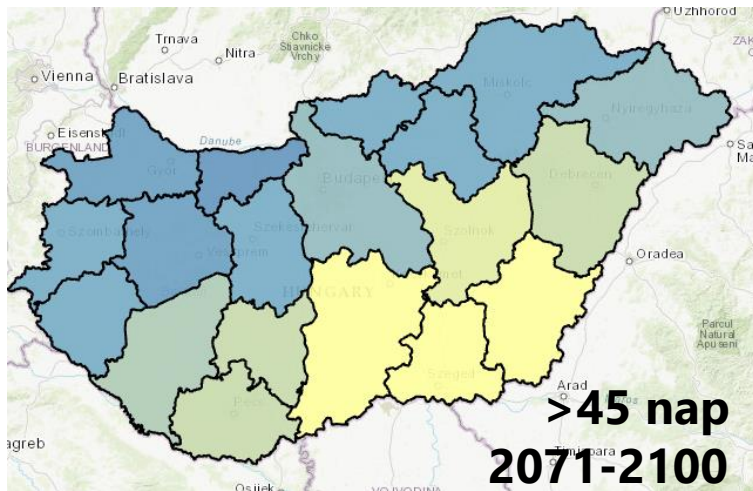
Mikor: 2071-2100

Hol: Jász-Nagykun-Szolnok
vármegye

Valószínűség



2. Túl meleg éjszaka



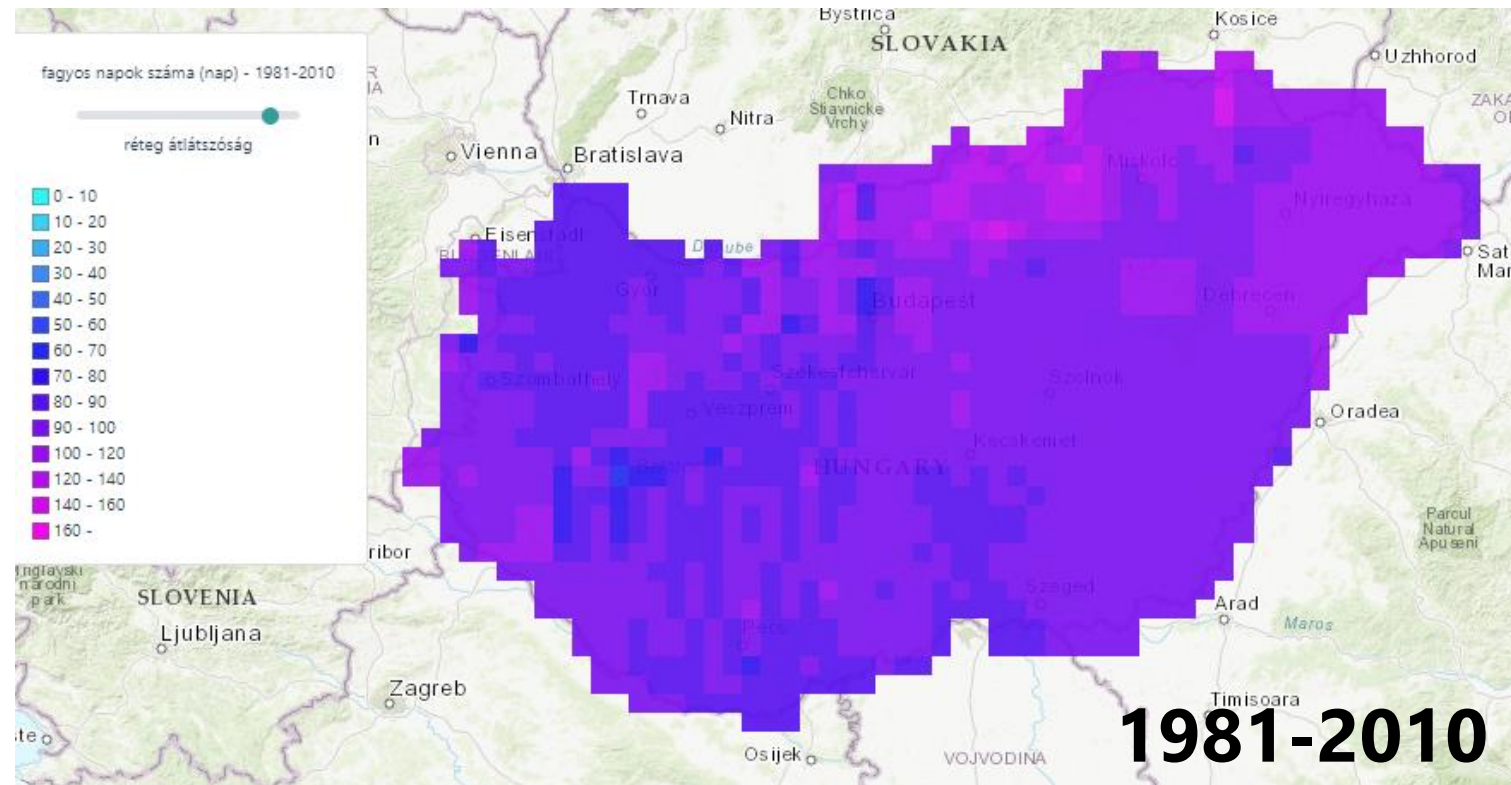
65,6 %

> 30 nap
valószínűség

2071-2100

Fagyos nap

- **A napi minimumhőmérséklet $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt marad ($T_{\min} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$)**
- **Átlag: 70-140 nap**



3. Hány nap lesz?

Fagyos nap



Mikor: 2071-2100

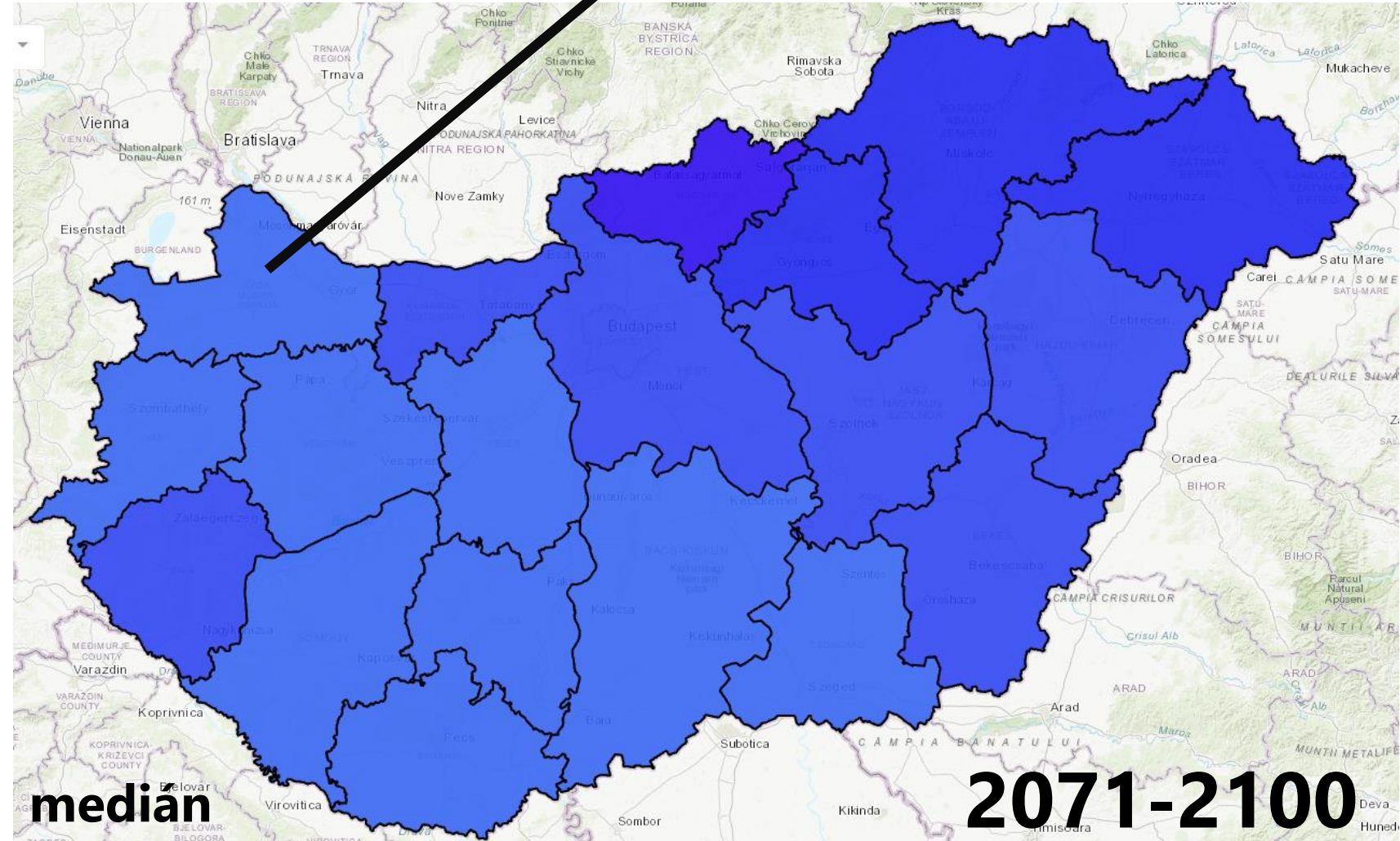
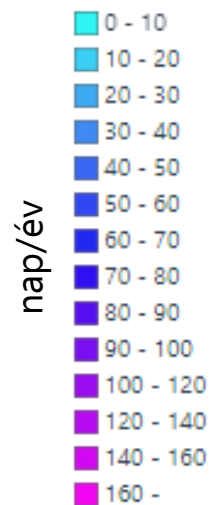
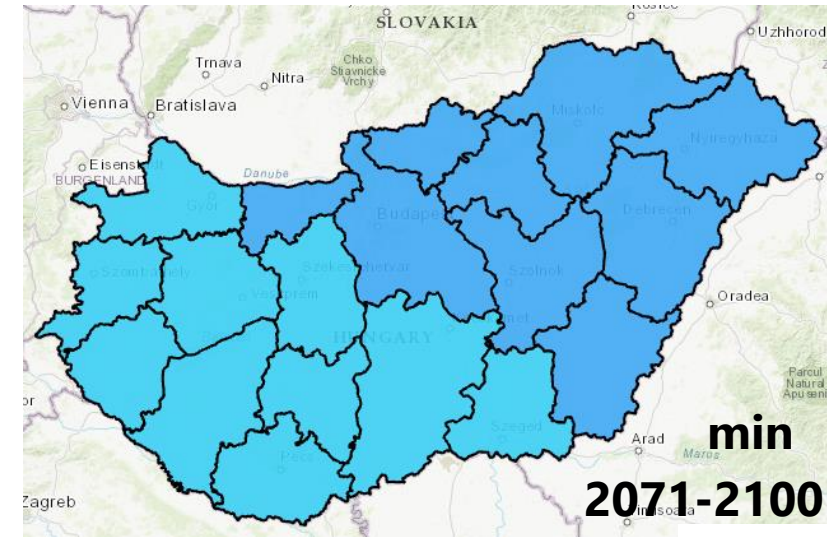
**Hol: Győr-Moson-Sopron
vármegye**

Kvantilis: medián



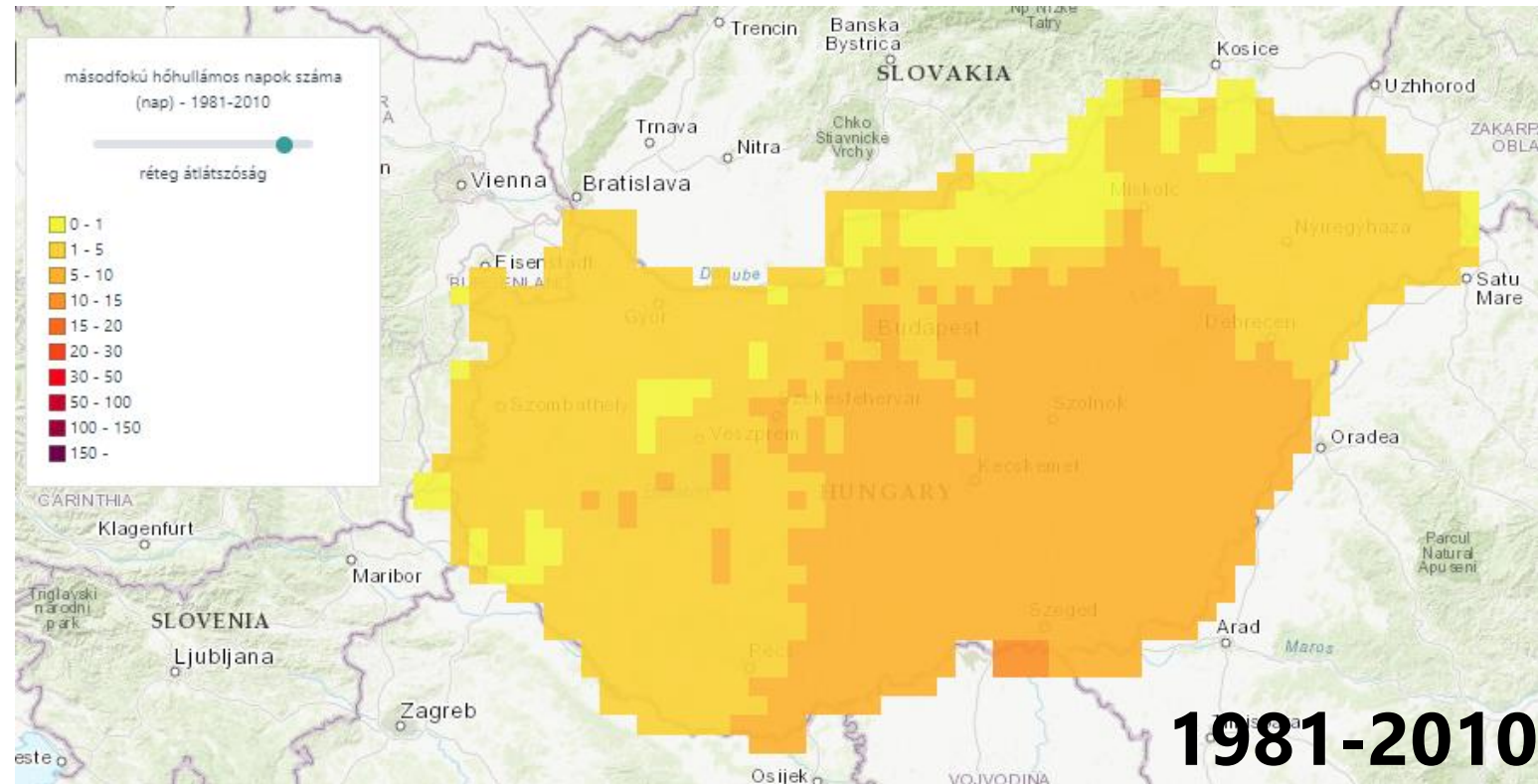
3. Fagyos nap

48 nap



Másodfokú hőhullámos nap

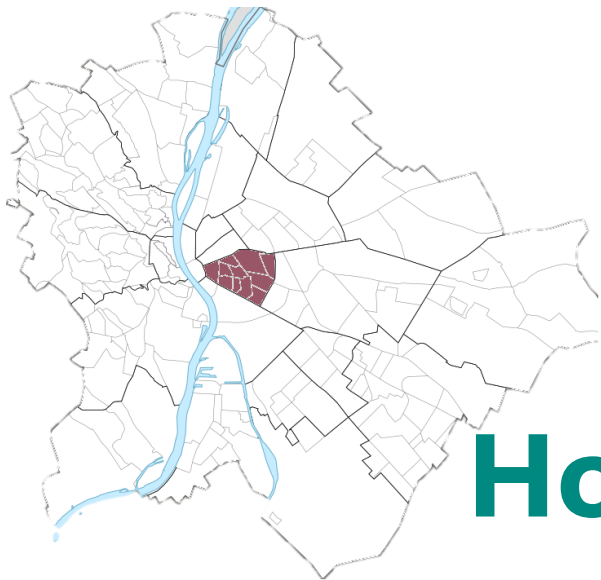
- A napi átlaghőmérséklet legalább 3 napig eléri a **25 °C -ot** ($T_{\text{átl}} \geq 25 \text{ °C}$, 3 napig)
- **Átlag: 0-15 nap**



4. Hány nap lesz?



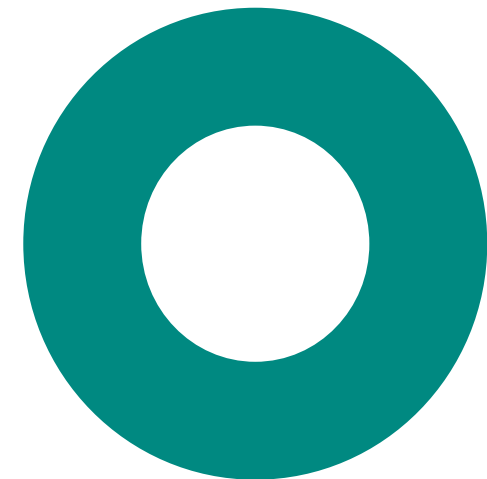
Másodfokú hőhullámos nap



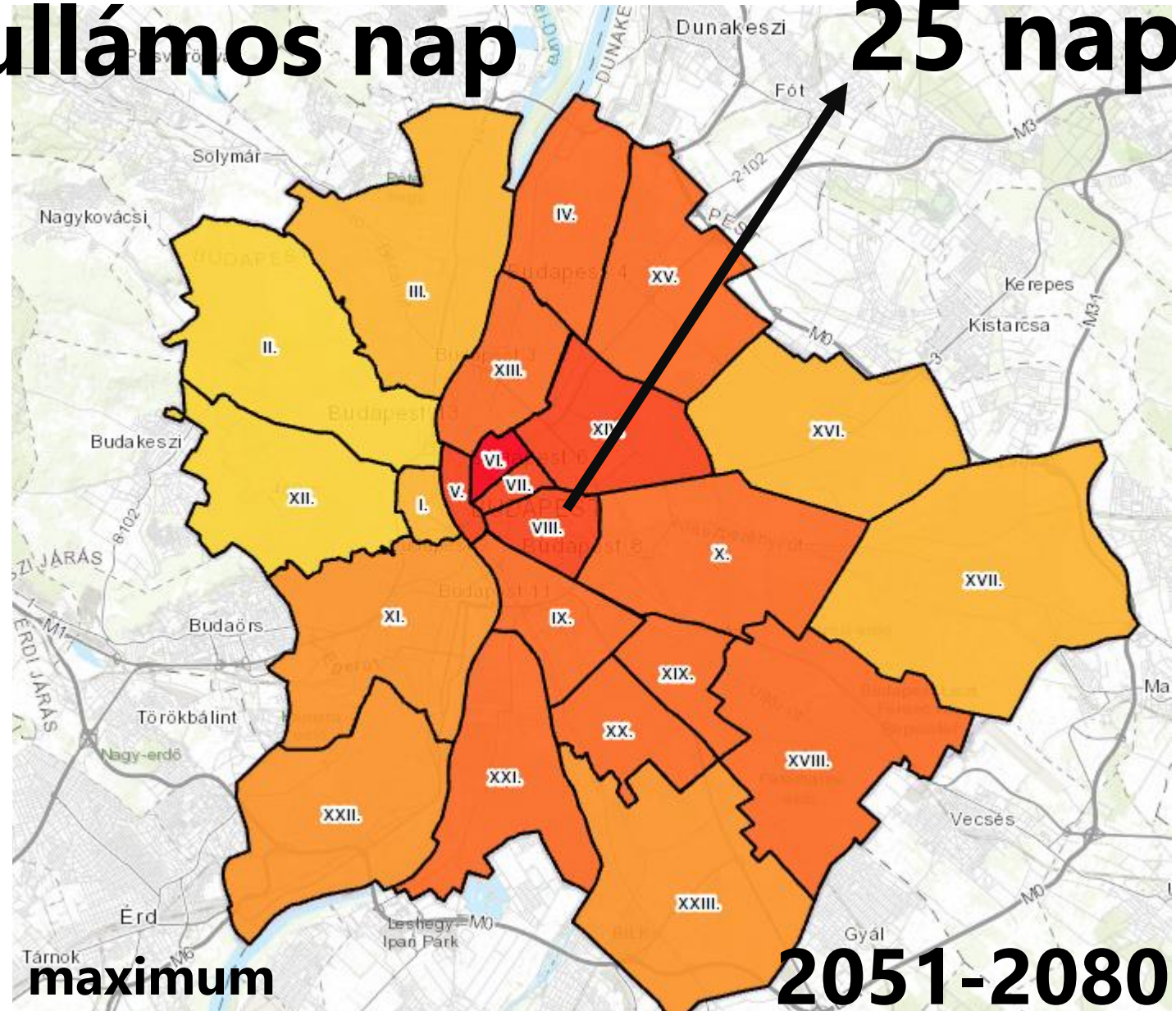
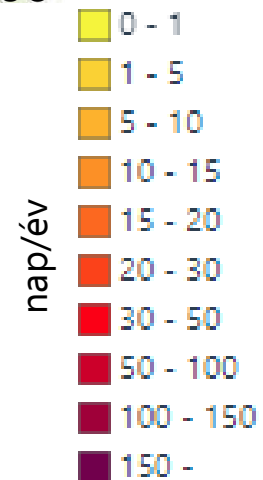
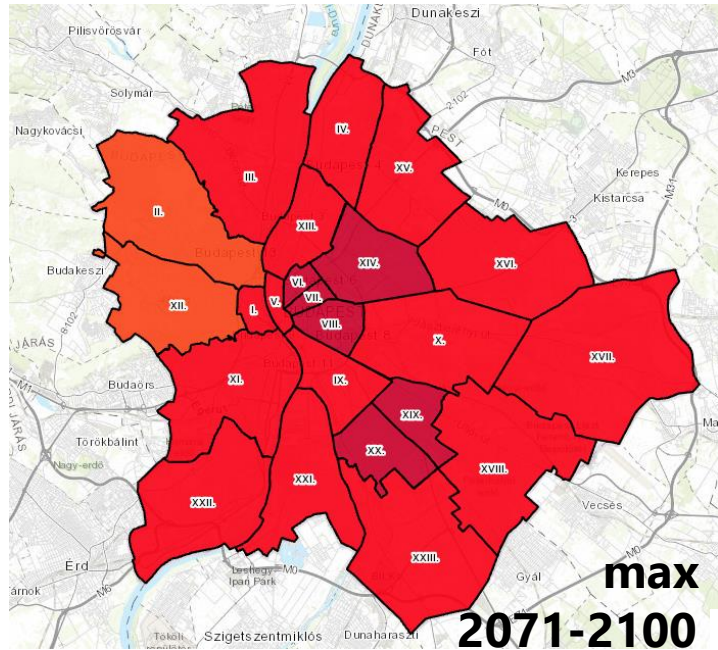
Mikor: 2051-2080

Hol: Budapest, VIII. kerület

Kvantilis: maximum

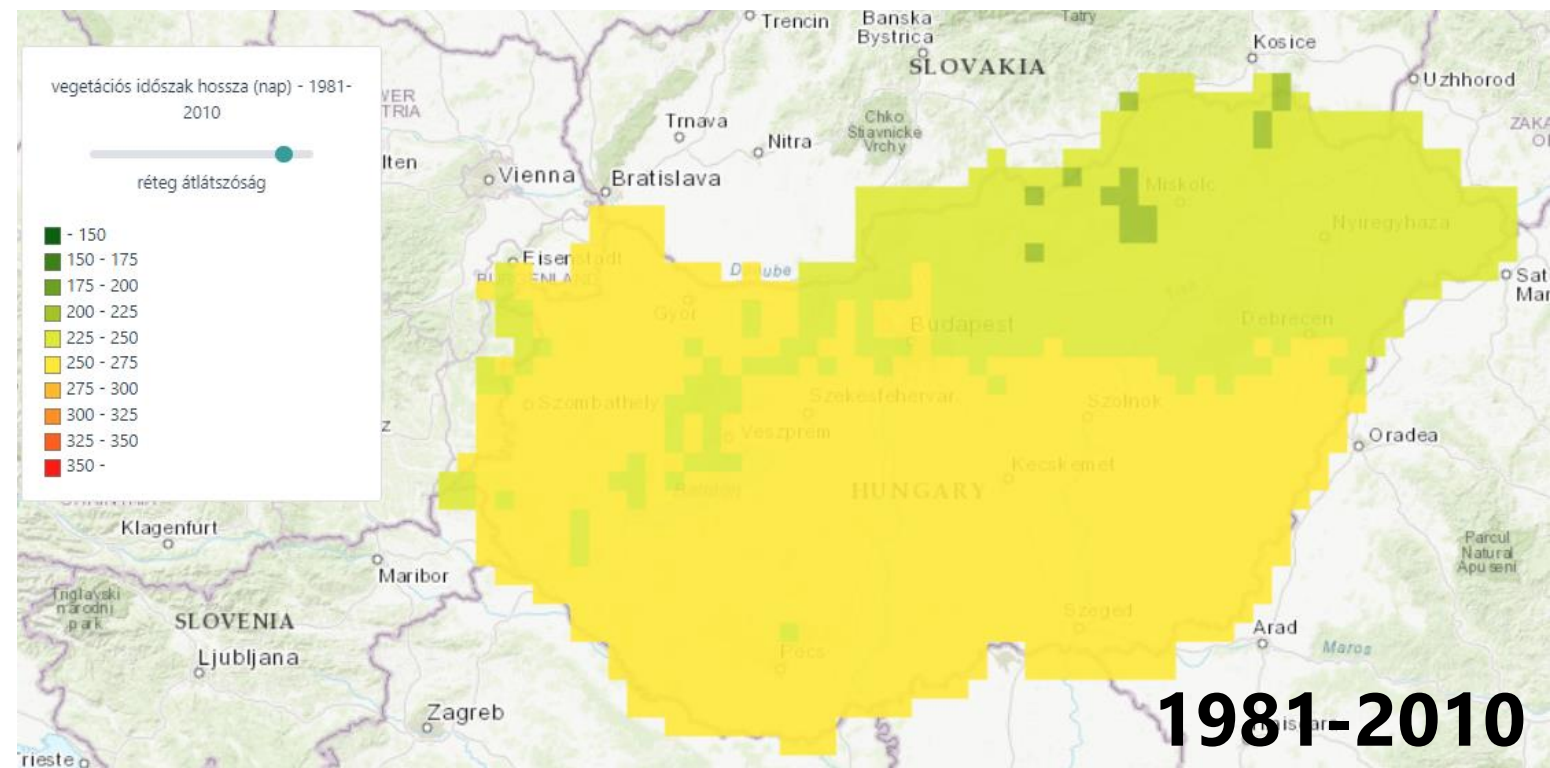


4. Másodfokú hőhullámos nap 25 nap



Vegetációs időszakok hossza

- Amikor az **átlaghőmérséklet legalább 6 egymást követő napon keresztül meghaladja az 5°C-ot, majd (július után) 5 °C alá süllyed**
- **Éves átlag: 225-275 nap**



5. Milyen hosszú lesz?

Vegetációs időszak

Mikor: 2071-2100

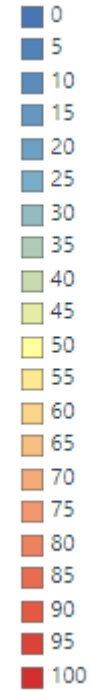
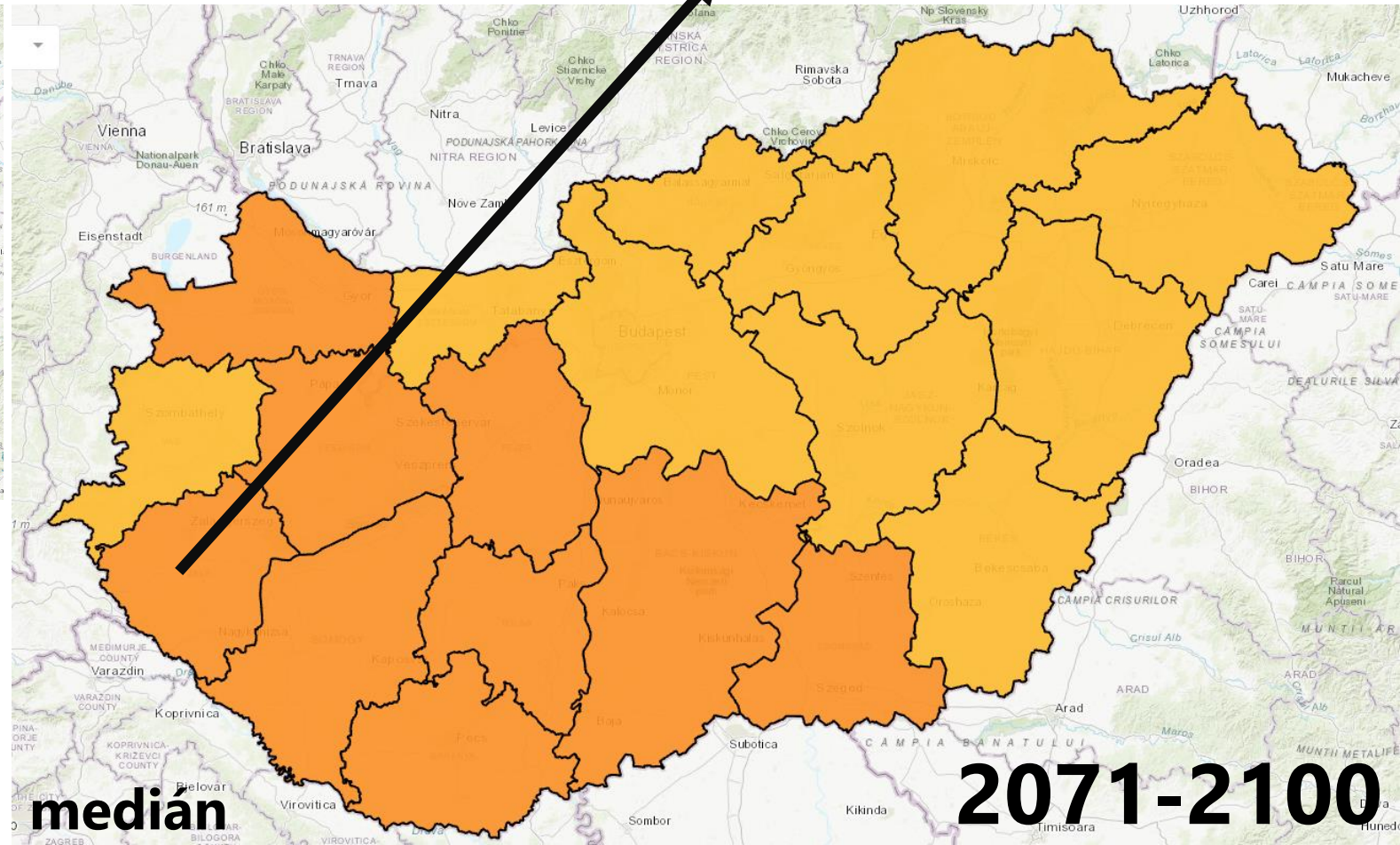
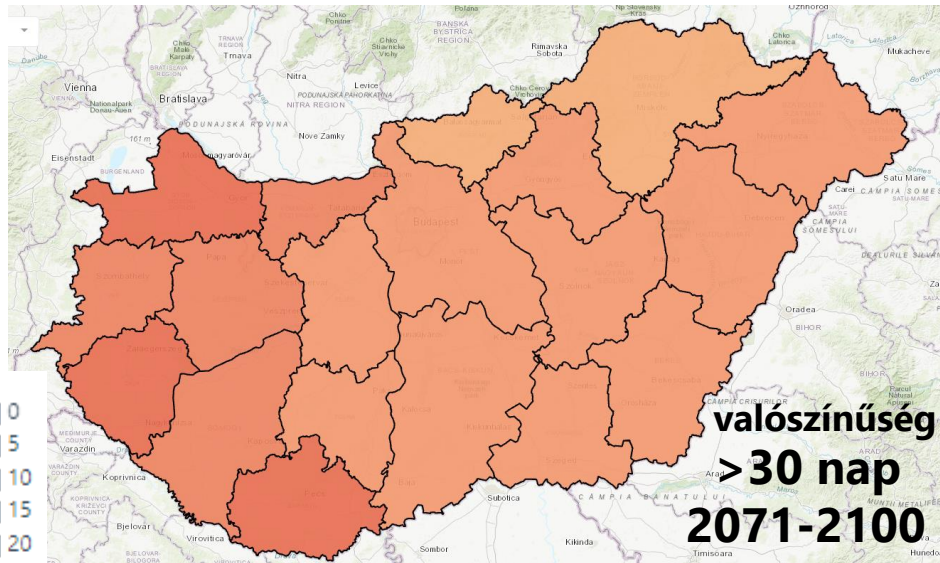
Hol: Zala vármegye



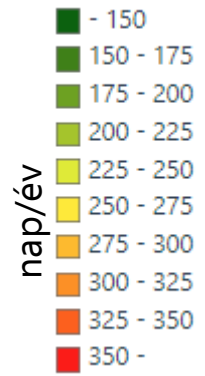
Kvantilis: medián



5. Vegetációs időszak hossza 304 nap



[%]



nap/év

medián

2071-2100

Köszönöm a figyelmet!

Elérhetőségek:

klimadinamika@met.hu

bordi.s@met.hu

Honlap:

www.met.hu/RCM

