

# Városi éghajlati modellszimulációk

**Allaga-Zsebeházi Gabriella**  
(zsebehazi.g@met.hu)

Országos Meteorológiai Szolgálat

KlimAdat projektzáró esemény  
2022. március 30.

**SZÉCHENYI** 2020



MAGYARORSZÁG  
KORMÁNYA

Európai Unió  
Kohéziós Alap



**BEFEKTETÉS A JÖVŐBE**



# TARTALOM



# TARTALOM

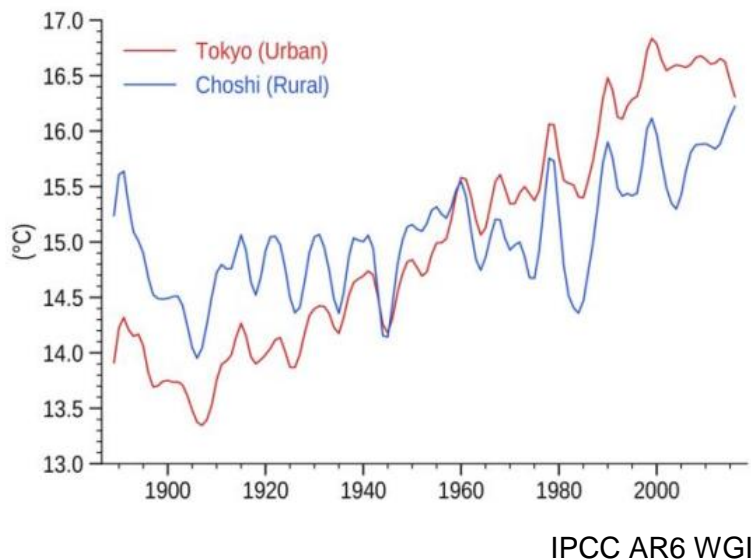


- Bevezetés
- A SURFEX modell
- Validációs eredmények
- Projekciós eredmények
- Az eredmények beépítése a KLIMADAT térinformatikai rendszerbe
- Összefoglalás és a kitekintés

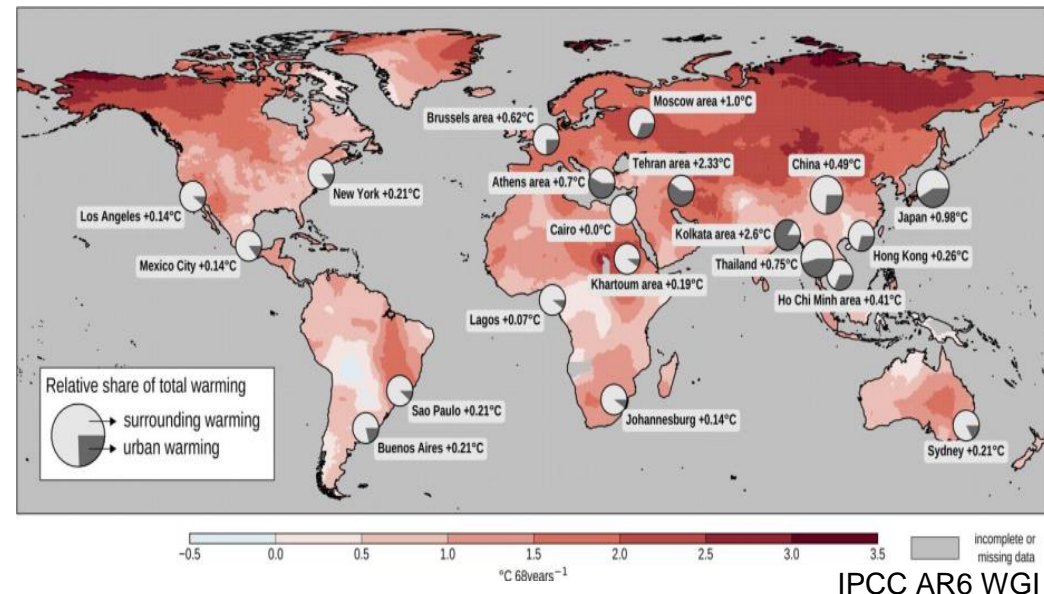
# BEVEZETÉS – IPCC 6. JELENTÉSE A VÁROSOKRÓL

- A városokban az átlaghőmérséklet általában nagyobb mértékben emelkedik, mint a környezet hőmérséklete → **a városi hőtöbblet összemérhető lehet a globális átlaghőmérséklet-emelkedés mértékével** (különösen a minimumhőmérséklet esetén)
- A gyakoribbá váló **extrém éghajlati események súlyosabban érintik a városokat**, mint természetes környezetüket

## Hőmérséklet-emelkedés



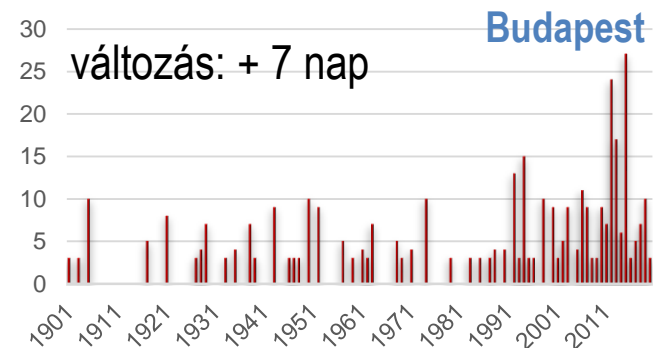
## Globális átlaghőmérséklet-emelkedés 1950–2018 között



# BEVEZETÉS – HAZAI MEGFIGYELT VÁROSI ÉGHAJLATVÁLTOZÁS

- Az éghajlatváltozás hazánkban is fokozottan érinti a városi területeket (pl. magas hőmérséklettel kapcsolatos események gyakorisága)
- Népeség jelentős része érintett: Budapest lakossága Magyarország népességének 17%-a
- A **városi szintű felkészülés támogatásához** olyan eszközre van szükség, ami a teljes városra ad részletes, számszerű információt és éghajlati skálán alkalmazható

Tartós hőhullámos napok  
( $T_{avg} \geq 30 \text{ °C}$  3 napig), 1901–2020



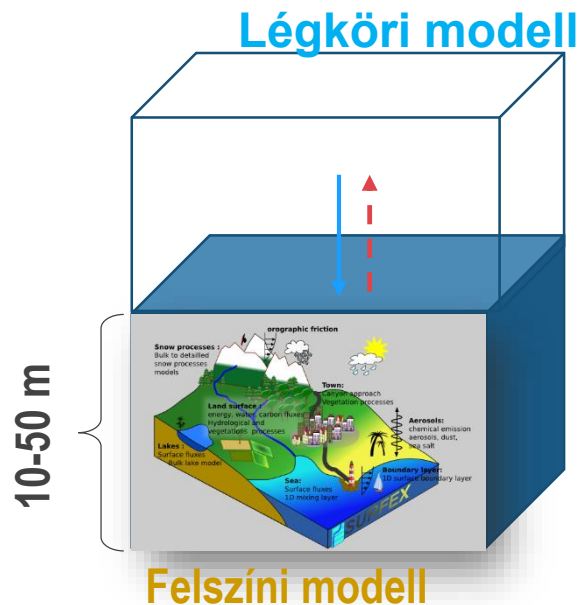
Forrás: OMSZ, Éghajlati Osztály



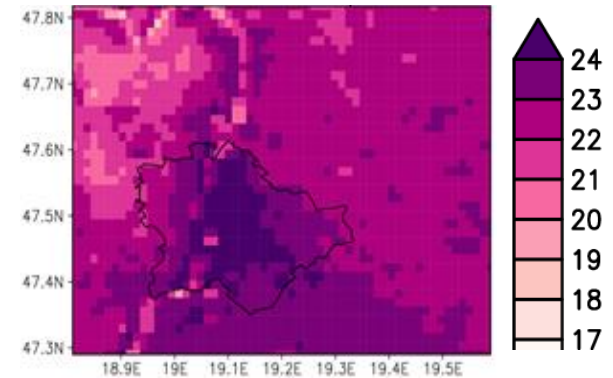
Forrás: OMSZ, Éghajlati Osztály

# A JÖVŐBELI VÁROSI ÉGHAJLATVÁLTOZÁS MODELLEZÉSE

- A jelenlegi **regionális éghajlati modellek** a városi éghajlatváltozást nem képesek kellő részletességgel leírni (horizontális felbontásuk: ~ 10 km) → eredményeik finomítása **felszíni modellekkel**



Nyári 2-m hőmérséklet, 1971-2000  
**felszíni modell**



- A **felszíni modellek** elsősorban a városi hőmérsékleti- és szélviszonyokat képesek leírni néhány 10 m-es rétegben (csapadékot nem!)
- Légekri információk regionális modellből

# TARTALOM

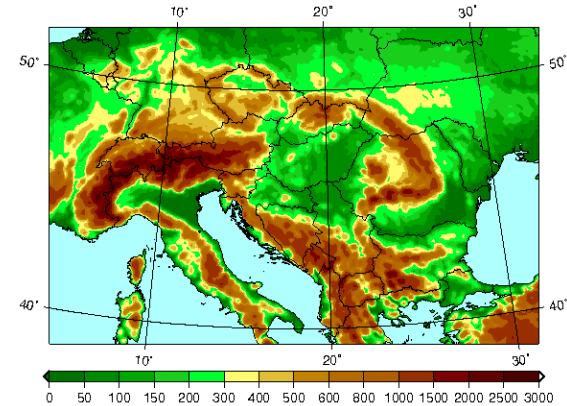


# A SURFEX FŐBB JELLEMZŐI

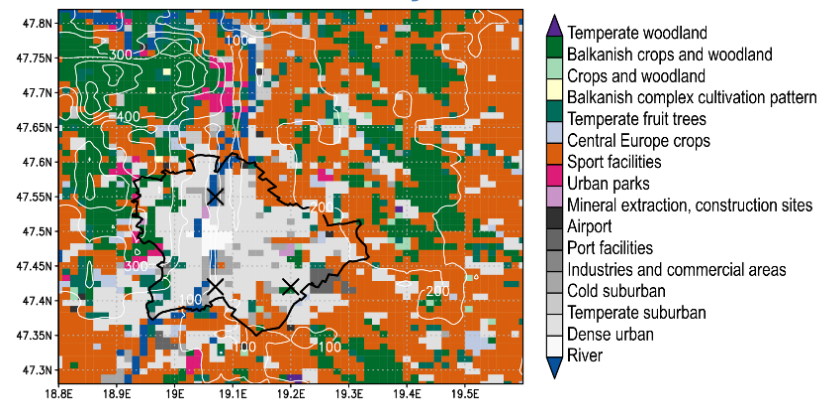
Meghajtó modell	ALADIN5.2
Felbontás	1 km
Terület	Budapest

- Felszínborítási kategóriák → 1x1 km-es rácscellákban 4 fő felszíntípus relatív aránya: város, természetes földfelszín, folyó/tó, tenger
- Városi felszínekre: jellemző utcakarakterisztikák (pl. épületmagasság, utcaszélesség) és egyéb paraméterek (pl. albedó)

ALADIN tartomány



SURFEX tartomány és felszínborítás



Forrás: ECOCLIMAP felszíni adatbázis



# TARTALOM

- Bevezetés
- A SURFEX modell
- Validációs eredmények
- Projekciós eredmények
- Az eredmények beépítése a KLIMADAT térinformatikai rendszerbe
- Összefoglalás és a kitekintés

# MÚLTRA VONATKOZÓ VALIDÁCIÓS KÍSÉRLETEK

Módszertan: regionális klímamodellezésben alkalmazottal azonos

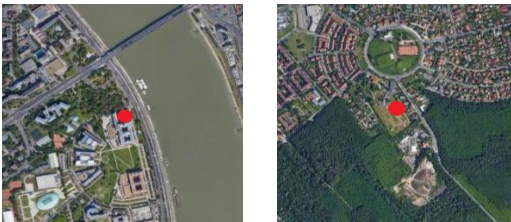
	1. kísérlet: SURFEX_EI	2. kísérlet: SURFEX_ARP
Meghajtó regionális klímamodell	ALADIN5.2	
Regionális klímamodell határfeltétele	ERA-Interim	CNRM-CM5
Időszak	1996–2005	1970–2005
Forgatókönyvek	Nincs (Mért kibocsátás)	
Terület	Budapest	

Eredmények összevetése állomási, rácsponti és műholdas mérésekkel

# FELHASZNÁLT MÉRÉSI ADATOK

## Állomási mérések

Lágymányos (belváros)  
Pestszentlőrinc (külváros)



- + „hosszú” mérési sor
- + órás mérések
- csak lokális információ

Felh.: validálás éghajlati skálán

## Műholdas mérések

MODIS Aqua és Terra szenzorok

Budapest feletti áthaladás időpontja

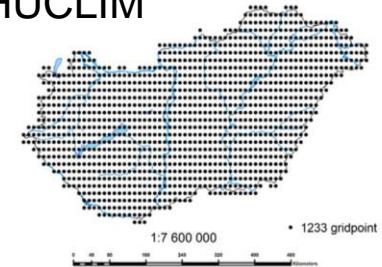
	Aqua	Terra
nappal	11:30	9:54
éjjel	0:43	20:42

- + teljes városra, 1 km-es
- csak napi 4 adat
- rövid közös időszak a modellszimulációkkal

Felh.: térbeli jellemzők validálása

## Rácsponti mérések (klasszikus validációs eszköz)

HUCLIM



- + teljes városra
- 10 km-es, városi éghajlat nem jelenik meg

Felh.: a regionális modell validálása (+ felszíni modell módosító hatása)

# VALIDÁCIÓ AZ 1971-2000 IDŐSZAKON

## REFERENCIA: RÁCSPONTI ÉS ÁLLOMÁSI MÉRÉS

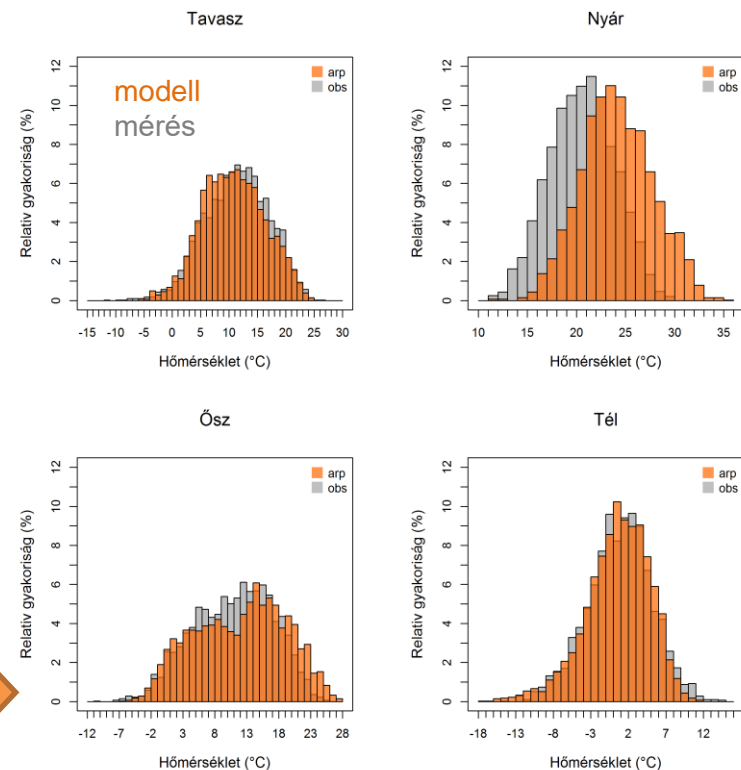
Évszakos átlaghőmérséklet-eltérés (°C) a HUCLIM adatbázistól (terület: budapesti modelltartomány)

	Tavaszi	Nyári	Őszi	Téli
ALADIN_ARP	-2,0	2,9	-0,7	-2,0
SURFEX_ARP	-1,2	3,0	0,6	-0,7

- A légköri kényszereket adó ALADIN hibái jelentősen befolyásolják a SURFEX hibáit
- Erős felülbecslés nyáron, többi évszakban az ALADIN túl hideg, a SURFEX ezeket a hibákat mérsékli (melegítő hatás)

- Állomási méréssel összevetve a nyári szisztematikus felülbecslés kivételével kis hibák az évszakos eloszlásban

Napi átlaghőmérsékletet (°C) évszakos eloszlása Pestszentlőrincen



# VALIDÁCIÓ A 2000-2005 IDŐSZAKON: TÉRBELI JELLEMZŐK, REFERENCIA: MŰHOLDAS MÉRÉS

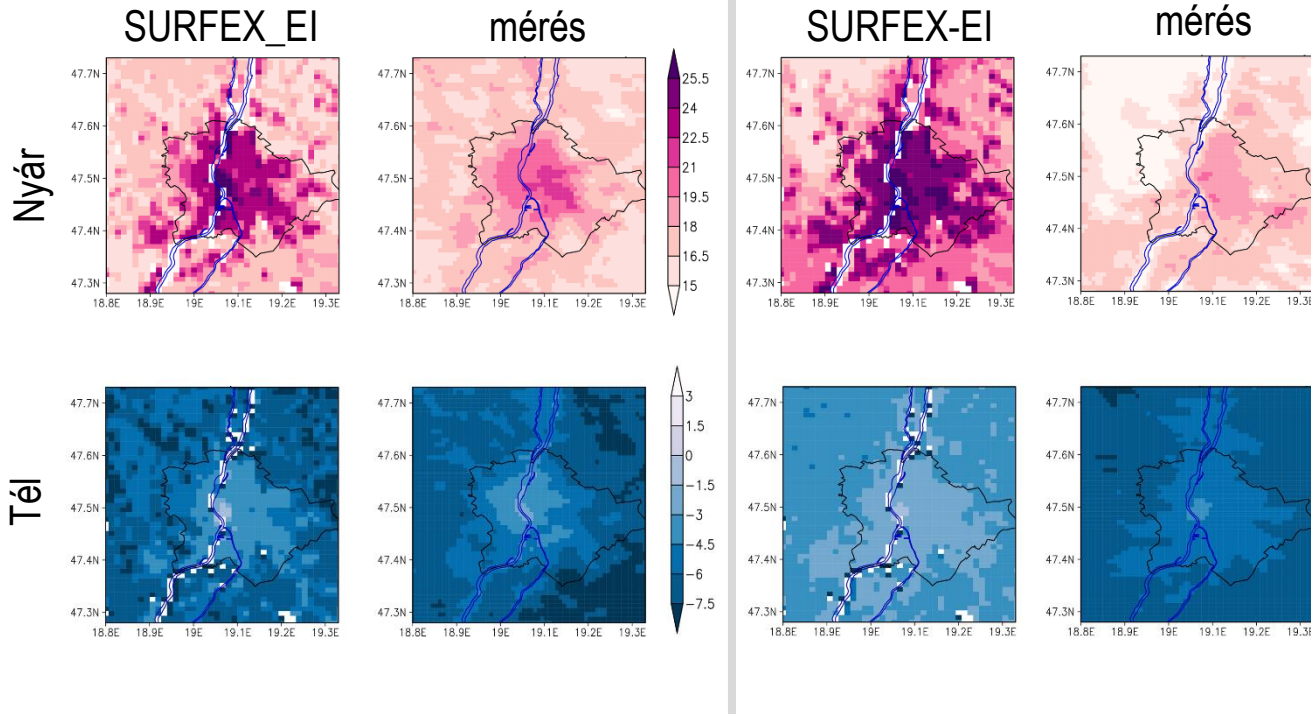
## Évszakos átlagos felszínhőmérséklet (°C)



00 UTC



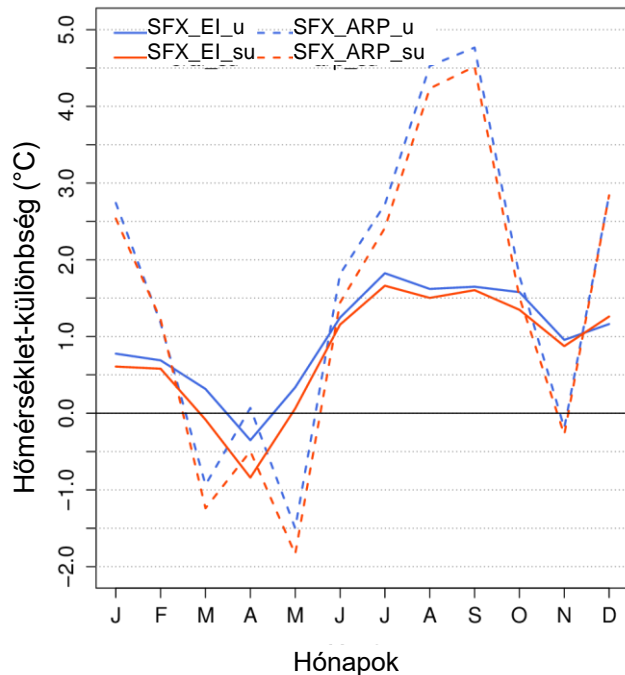
12 UTC



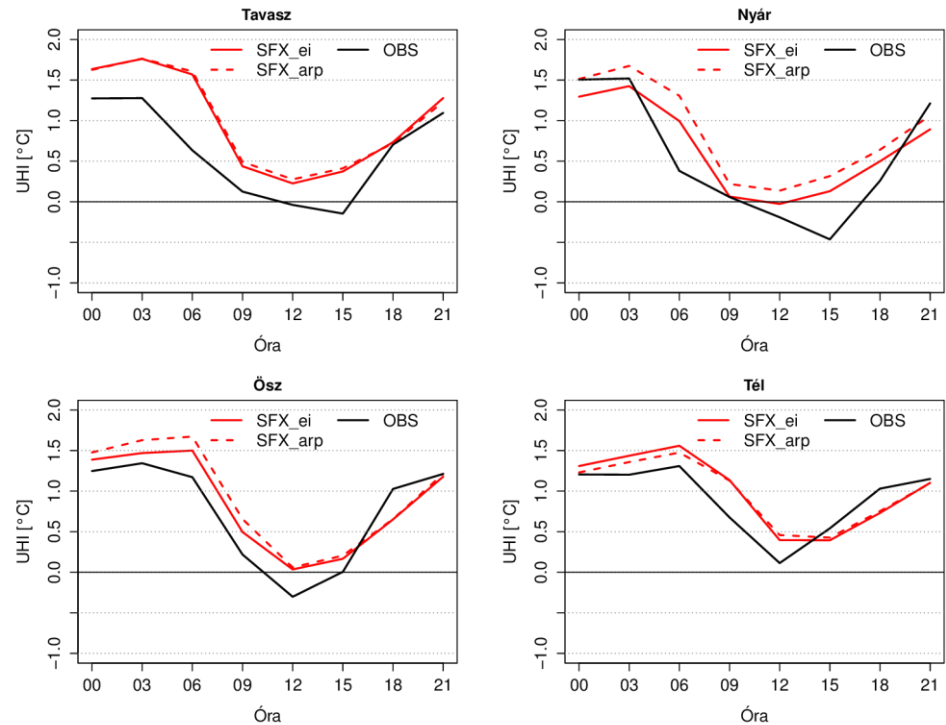
- Mérés: nyáron a városi hősziget alakja nappal és éjszaka eltérő → SURFEX-ben nincs igazán különbség
- Nyáron, nappal a város 8,3 °C-kal melegebb a SURFEX-ben, mint a mérés szerint
- Télen kis hibák (< 1 °C)

# VALIDÁCIÓS A 2000-2005 IDŐSZAKON: VÁROSI HŐSZIGET, REFERENCIA: ÁLLOMÁSI MÉRÉS

Havi hőmérséklet-eltérés (°C) a lágymányosi (u) és pestszentlőrinci (su) pontban



Évszakos városi hősziget-intenzitás (°C) napi menete



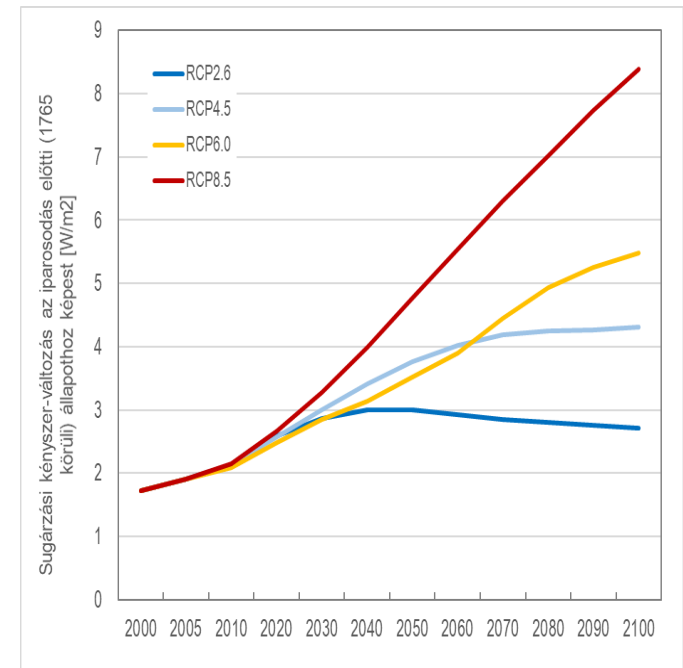
- A hőmérsékletben nagyobb különbségek a két kísérlet között → városi hősziget számításakor a hibák egy része eliminálódik
- A 2 m-es hőmérséklet hibája jóval kisebb, mint a felszíni hőmérsékleté

# TARTALOM



# JÖVŐRE VONATKOZÓ VALIDÁCIÓS KÍSÉRLETEK

Meghajtó regionális klímamodell	ALADIN5.2
Regionális klímamodell határfeltétele	CNRM-CM5
Időszak	2006-2100
Forgatókönyvek	RCP4.5, RCP8.5
Terület	Budapest

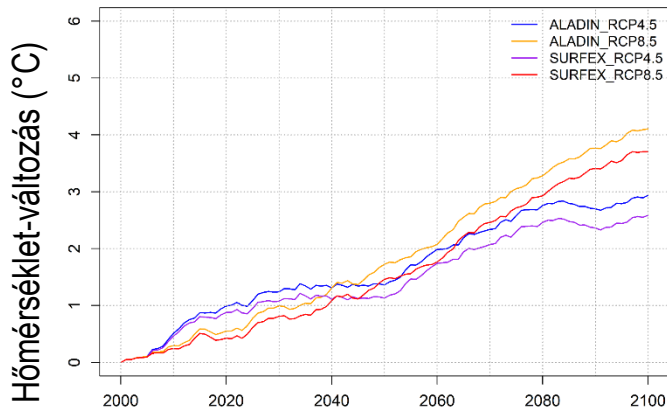


- Kiértékelési időszak: elsősorban 2021–2050 és 2071–2100
- Referencia-időszak: 1971–2000

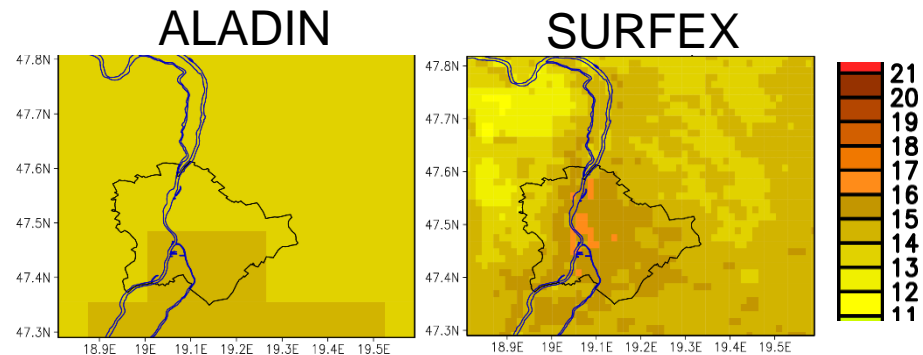


# ÁTLAGHŐMÉRSÉKLET-VÁLTOZÁS BUDAPESTEN

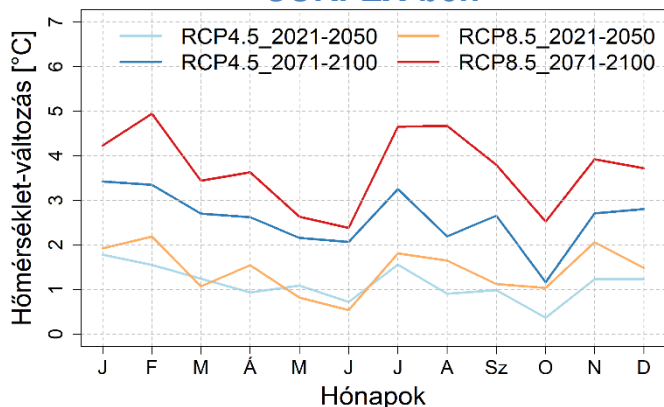
Éves átlaghőmérséklet változásának (°C) évenkénti menete az ALADIN és SURFEX alapján



2071–2100, RCP8.5 (nyers eredmények)



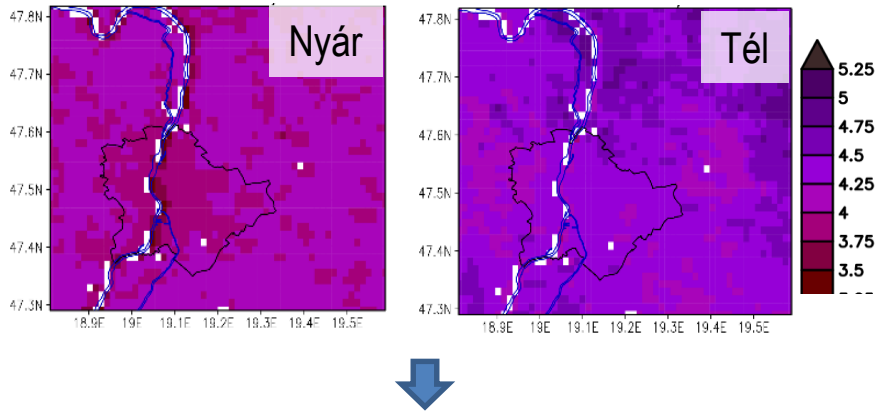
Havi átlaghőmérséklet-változás (°C) a SURFEX-ben



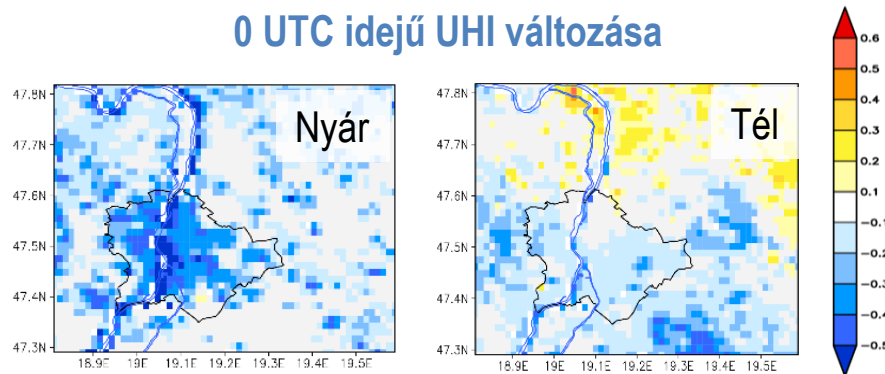
- A melegedés alakulása mindkét modellben hasonló, de mértéke a SURFEX-ben kisebb, mint az ALADIN-ban
- A hőmérséklet-változás havi változékonysága az évszázad végén és a nagyobb kibocsátás esetén nagyobb
- Legnagyobb hőmérséklet-emelkedés télen (2071–2100-ban 3,2-4,3 °C)

# A VÁROS ÉS A KÜLTERÜLET FELETTI HŐMÉRSÉKLETI VISZONYOK ALAKULÁSA, RCP8.5, 2071–2100

## Átlaghőmérséklet-változás (°C)



## 0 UTC idejű UHI változása

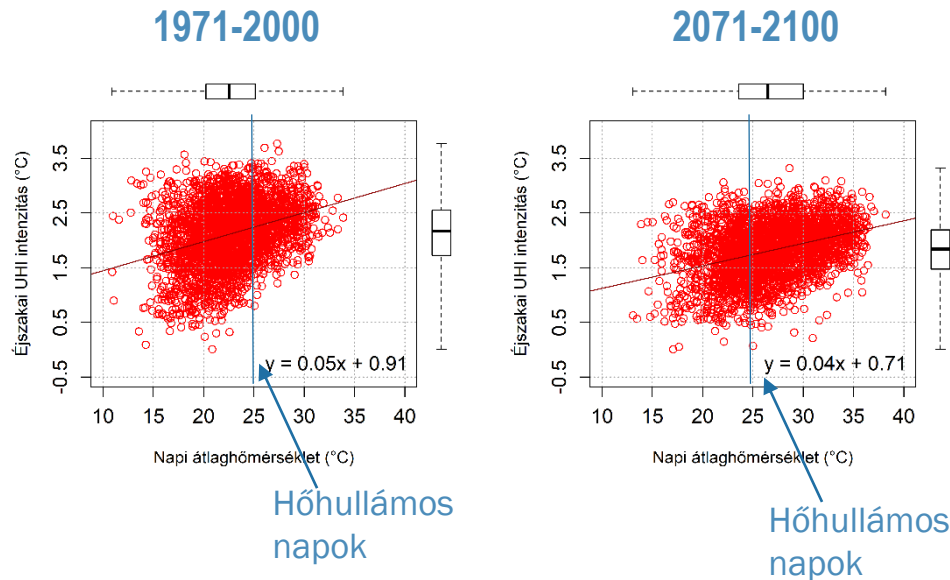


UHI: az egyes rácspontok és a vidéki rácspontok átlagos hőmérsékletének különbsége

- Különösen nyáron a város felett mérsékeltebb melegedés (~0,25 °C-kal), mint a vidék felett
- Következmény: éjszakai UHI kismértékben gyengül (egy nagyságrenddel kisebb, mint az átlagos UHI)
- A változás mértéke az RCP4.5 forgatókönyvvel és az évszázad közepén kisebb
- Nappali és téli UHI-ban nincs változás

# UHI INTENZITÁS VÁLTOZÁSA NYÁRON, RCP8.5

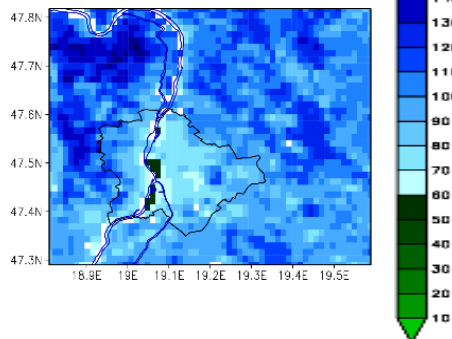
Nyári napi átlaghőmérséklet és 0 UTC időpontbeli UHI kapcsolata RCP8.5 forgatókönyvvel Budapest felett



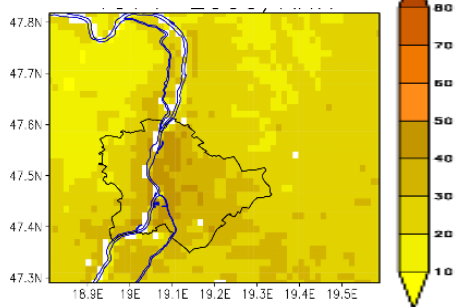
- A jövőben várható melegebb hőmérséklethez nem társul erősebb UHI-intenzitás
- Sőt a 2,5 °C feletti UHI értékek gyakorisága lecsökken
- Hasonló átlaghőmérsékletekhez is gyengébb UHI társul a jövőben
- Következtetés: a városi élettelen területeknek van egy fizikai korlátja, hogy mennyi többletenergiát tud tárolni, kibocsátani  $\leftrightarrow$  természetes területek a talajnedvesség révén felerősíthetik a globális változás lokális hatását

# EXTRÉM ÉGHAJLATI ESEMÉNYEK VÁLTOZÁSA

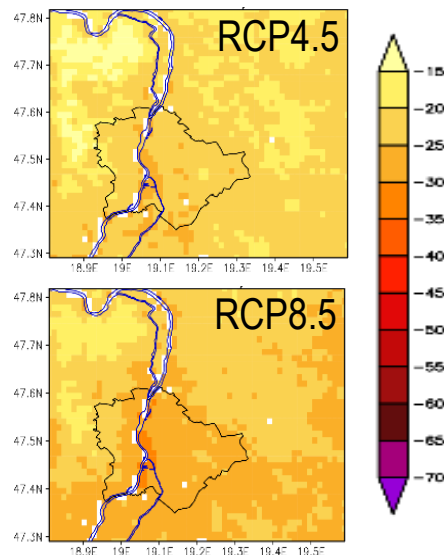
Fagyos napok éves száma, 1971–2000  
( $T_{min} < 0\text{ °C}$ )



Hőhullámos napok száma, 1971–2000  
( $T_{avg} \geq 25\text{ °C}$ )

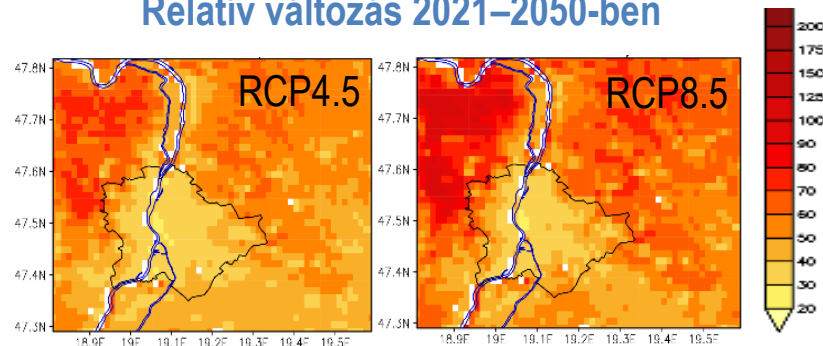


Relatív változás  
2021–2050-ben



- A forgatókönyvek közötti különbség már az évszázad közepén megjelenik
- Fagyos napok: 25-30%-os csökkenés a belvárosban
- Hőhullámos napok: 20-40%-os növekedés a város felett (természetes területeken ennél jóval nagyobb)

Relatív változás 2021–2050-ben



# TARTALOM

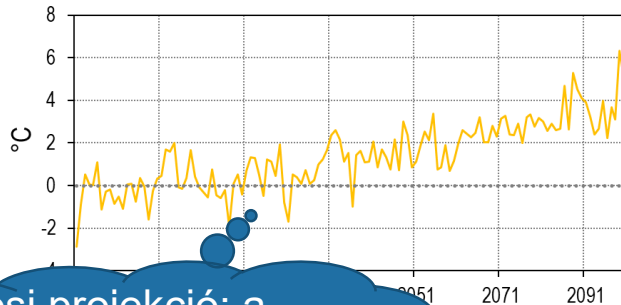


# AZ EREDMÉNYEK UTÓFELDOLGOZÁSA A VÁROSI PROJEKCIÓK ÉRTELMEZÉSÉHEZ

- A SURFEX eredményeinek megfelelő értelmezéséhez és felhasználásához a modelleredményeket utófeldolgozzuk
- A jövőre vonatkozó modelleredmények hibáit ki kell szűrni → klímamodell-eredmények közlési módja:

## Változás formájában

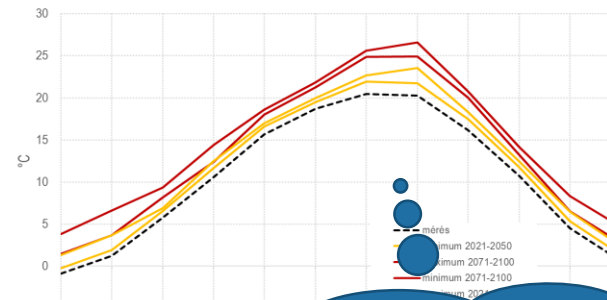
Éves hőmérséklet-eltérés Magyarországon  
Referencia: 1971-2000



Városi projekció: a probléma súlyosságát elfedi

## Hibakorrigálással

Magyarországi havi átlaghőmérséklet  
2021-2050 és 2071-2100 (multimodel min-max)



Mihez korrigáljunk? olyan megfigyelési adat szükséges, ami a városi hőszigetet is leírja

# JÖVŐBELI VÁROSI ÉGHAJLATI JELLEMZŐK ELŐÁLLÍTÁSA

- Megoldás: ALADIN eredményeket hibakorrigáljuk a HuClim-hez (10 km-es információ) + hozzáadjuk a SURFEX „városi jelét” (1 km-es információ)
  - Átlaghőmérsékletre (30-éves átlagos éves, évszakos, havi):

$$\bar{T}_{corr} = \underbrace{(\bar{T}_{RCM,f} - \bar{T}_{RCM,p})}_{\text{ALADIN korrekciója}} + \bar{T}_{obs,p} + \underbrace{UHI_f}_{\text{SURFEX városi jel}}$$

Referencia: 1971–2000

- Éghajlati indexekre: átlagos napi hőmérsékleti értékek korrigálása a fenti módszer szerint = adott 30-éves időszakot jellemző napi hőmérsékleti átlagok (365 adat) → éghajlati index számítása
- Múltbeli időszakokra a HuClim 10 km-es hőmérséklet-értékeihez adjuk az adott időszakra modellezett UHI-t

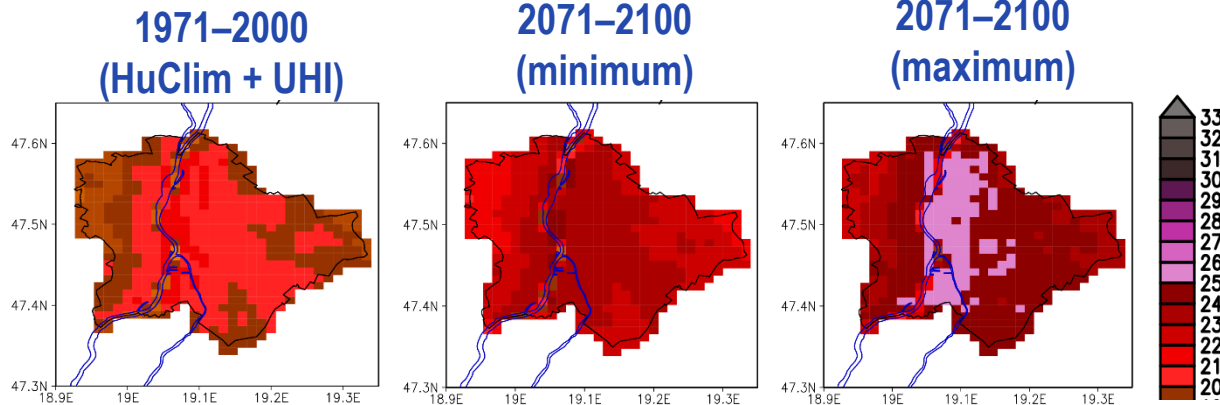
# AZ EREDMÉNYEK BEÉPÍTÉSE A KLIMADAT RENDSZERBE

Két városi éghajlati projekció eltérő forgatókönyvekkel → az emberi tevékenység bizonytalan alakulásának megjelenítése

Múltbeli időszak (1971-2000, 1981-2010, 1991-2020): HuClim + SURFEX által szimulált városi jel

Jövőbeli időszak (2000-2030, ... 2071-2100): a két modellszimuláció alapján az éghajlati változó jövőbeli várható értékének minimuma és maximuma

## Nyári átlaghőmérséklet (°C)

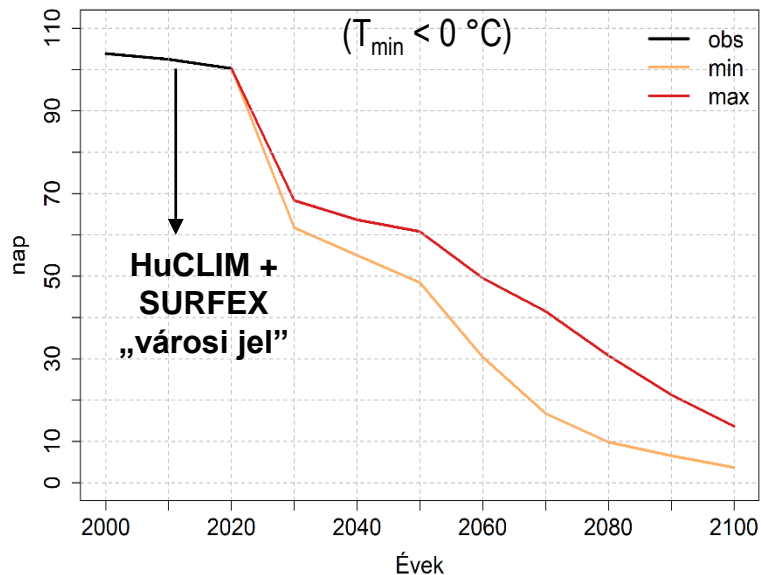




# AZ EREDMÉNYEK BEÉPÍTÉSE A KLIMADAT RENDSZERBE – ÉGHAJLATI INDIKÁTOROK

## A fagyos napok és a másodfokú hőhullámos napok alakulása a 2000–2100 időszakon Budapesten

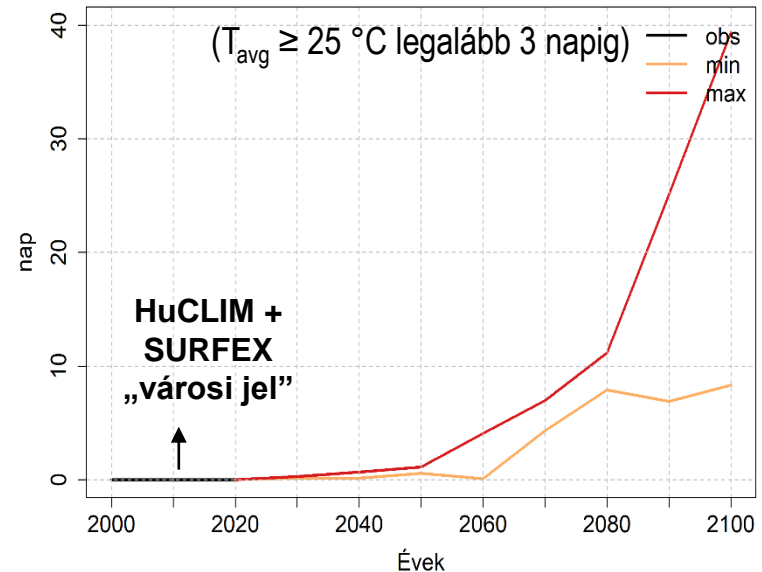
Fagyos napok száma



Évek közötti változékonyság 30-éves mozgóátlaggal simítva

- 2021-2050-re: 40-50%-os csökkenés
- 2071-2100: legfeljebb két hétnyi nap

Másodfokú hőhullámos napok száma



- Nagymértékű növekedés az évszázad végére
- Jelentős különbség a két szimuláció között

# TARTALOM

- Bevezetés
- A SURFEX modell
- Validációs eredmények
- Projekciós eredmények
- Az eredmények beépítése a KLIMADAT térinformatikai rendszerbe
- Összefoglalás és a kitekintés

# ÖSSZEFOGLALÁS

- A regionális éghajlati modellek nem alkalmasak a városi éghajlatváltozás részleteinek leírására → az eredmények finomítása szükséges
- Városi éghajlati modellezés a SURFEX felszíni modellel, légköri jellemzők az ALADIN klímamodell eredményeiből
- Eredmények:
  - A SURFEX megfelelően képes jellemezni a városi éghajlatot, de a regionális modell hibái részben átöröklődhetnek
  - A városi hősziget-intenzitás nyáron kismértékben gyengül (a nagy intenzitásértékek ritkábbá válnak)
  - a város felett kisebb nyári átlaghőmérséklet-emelkedés, mint a vidék felett, de az alacsony hőmérsékleti események (pl. fagyos napok) jobban csökkennek

# FEJLESZTÉSI TERVEK

- A két szimulációból álló modellegyüttes csak a forgatókönyvekből származó bizonytalanságot jeleníti meg → cél a REMO modell eredményeinek leskálázása a SURFEX-szel városi területekre
- Finomskálájú, rácsponti megfigyelési adatbázis előállítása → pontosabb múltbeli városi éghajlati jellemzők és referencia-adatbázis a modelleredmények korrekciójához

*Köszönöm szépen a figyelmet!*