

### 1. Motiváció

A növekvő **urbanizáció** és a klímaváltozás számos környezeti és gazdasági problémát vet fel a világ számos részén, így **Budapest** is. A várható hatások enyhítésére hatékony védekezési stratégiákra van szükség, melyek **mérési és modellezett** eredmények felhasználásával dolgozhatók ki. A legújabb légköri modellekkel lehetőség nyílik a **városi felszín hatásának fizikai leírására** és ezáltal a városi hősziget (UHI: Urban Heat Island) jelenségének vizsgálatára. Az általánosan használt **regionális éghajlati modellek** – finom rácsfelbontásuk révén – részletes információval szolgálnak egy ország vagy egy kisebb térség éghajlati jellemzőiről, azonban felbontásuk még mindig túl durva a mezo- és mikroszkálájú **városi folyamatok** figyelembevételére. Ehhez a városi környezethez igazított fizikai parametrizációk alkalmazására van szükség. Vizsgálatainkat Budapest és környezetére végeztük, a **WRF időjárás előrejelző modell** és a **RegCM regionális klímodell segítségével**, mely során a klímodell eredmények **dinamikus leskálázását** hajtottuk végre. A leskálázás folyamán a WRF modellt a **RegCM modell** eredményeinek felhasználásával inicializáltuk, kiválasztva a **hőhullámok, illetve extrém meleg időszakokat**. A WRF szimulációkat egy **múltbeli (1971–2000) és két jövőbeli időszakra** (közelebbi jövő: 2016–2045; távolabbi jövő: 2061–2090) fókuszálva készítettük el. A vizsgálataink középpontjában az **UHI intenzitásának** és jövőbeli lehetséges **változásának** értékelése állt.

### 6. Összefoglalás és további tervek

- Az **UHI változás** függ a szinoptikus skálájú áramlásoktól → **szélerány**
- A városi területekről advektált hőtöbblet eltávolítása a vidéki területekről
- Az éjszakai órákban az UHI mérsékelt csökkenése várható a múltbeli időszakhoz képest (nappali órákban növekedés)
- További tervek:**
  - Hőhullámok esetek összehasonlítása átlagos napokkal → hőhullám okozta hőtöbblet/hőstressz meghatározása
  - UHI változásának meghatározása átlagos napok esetén is

### Hivatkozások

Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Rauscher, S., Zakey, A., Giuliani, G., 2011: Regional climatic model RegCM – User manual, Version 4.3. ICTP, Trieste, Italy, 32p.

Göndöcs, J., Breuer, H., Pongrácz, R., Bartholy, J., 2017: Urban heat island mesoscale modelling study for the Budapest agglomeration area using the WRF model. Urban Climate, 21: 66–86.

Göndöcs, J., Breuer, H., Pongrácz, R., Bartholy, J., 2018: Projected changes in heat wave characteristics in the Carpathian Basin comparing different definitions. Int. J. of Global Warming, 16: 119–135.

Pieczka, I., Pongrácz, R., Szabóné András, K., Kelemen, F.D., Bartholy, J., 2017: Sensitivity analysis of different parametrization schemes using RegCM4.3 for the Carpathian Region. Theoretical and Applied Climatology, 130: 1175–1188.

Pieczka, I., Pongrácz, R., Bartholy, J., Szabóné András, K., 2018: Future temperature projections for Hungary based on RegCM4.3 simulations using new representative concentration pathways scenarios. Int. J. of Global Warming, 15: 277–292.

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X.-Y., Wang, W., Powers, J. G., 2008: A Description of the Advanced Research WRF – 59- Version 3 NCAR/TN–475+STR, June 2008. NCAR Technical Note.

Spinoni, I. and the CARPATCLIM project team (39 authors), 2015: Climate of the Carpathian region in 1961–2010: Climatologies and trends of ten variables. Int. J. Climatol., 35: 1322–1341.

van Vuuren, D.P., Edmonds, J.A., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A.M., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Key, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S., 2011: The Representative Concentration Pathways: an overview. Climate Change, 109: 5–31.

### Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat támogatta az OTKA K-129162 és K-120605 pályázat, valamint az AGRÁRKLIMA2 projekt (VKSZ-12-1-2013-0034). A RegCM4.3 szimulációk az EEA támogatás HU04 (Adaptation to Climate Change Programme: EEA-CL13-10, RCMT4) és az EEA támogatás HU04 (Adaptation to Climate Change Programme: EEA-CL13-10, RCMT4) és az Európai Regionális Fejlesztési Alap és a Magyar Kormány (AgrárOP projekt, GINOP-2.3.2-15-2016-00028) támogatásával valósultak meg.

### 5. Eredmények

#### Kutatás célja

##### 1. Hőhullámok időszakok során várható UHI változás Budapest területén

- Szimulációk összehasonlítása a múltbeli futással
- A kiválasztott hőhullámok különböző meteorológiai viszonyokat reprezentálnak
- Az UHI változás térbeli eloszlása magyarázható a szélerányi változásával és a városi és környékbeli területek eltérő felmelegedésével

##### 2. Városi területről advektált hő eltávolítása

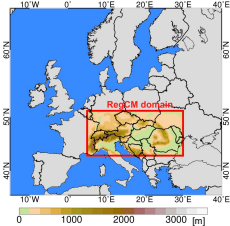
- További szimulációk készítése a megvalult hőhullám esetekre városi terület használata nélkül (no\_urb simulation)
- Hőtöbblet eltávolítása a külterületekről:  $T_{no\_adv} = T_{ori} - (T_{ori} - T_{no\_urb})$
- A jövőben az alacsony sebességek (2-3 m/s) relatív gyakorisága csökken

##### 3. UHI változásának becslése elhanyagolva a városi területek által okozott külterületi melegedést

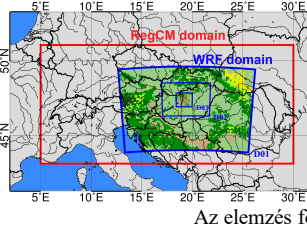
- cél: meteorológiai viszonyoktól független esetek összehasonlítása
- Városi területeken az UHI térbeli eloszlása megegyezik a korrigált és korrigálatlan esetben, azonban intenzitása növekedett a külterületi hőmérsékletcsökkenés hatására (korrekciót követően)
- Intenzívebb UHI, amely így független a meteorológiai viszonyoktól

### 2. Adatok és módszerek

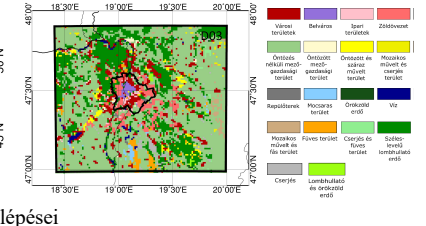
#### RegCM modell terület és domborzat



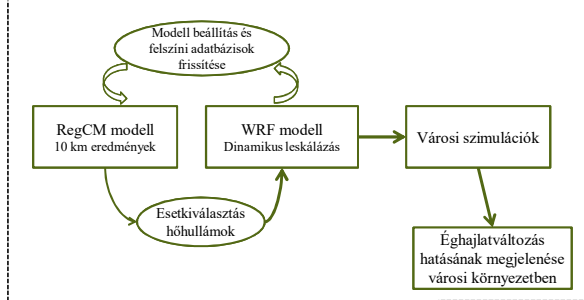
#### WRF modell területek a RegCM területén belül



#### WRF D03 felszínhasználat



#### Az elemzés fő lépései



- RegCM klíma szimulációk** a Kárpát-medence területére az RCP 4.8 és 8.5 scenáriókat felhasználva a **múltbeli (1969–2000) és jövőbeli időszakokra (2005–2099)** 10 km felbontással
- A WRF számára szükséges kezdeti feltételek a RegCM4.3 (Elguindi et al., 2011) szimulációk (Pieczka et al., 2017, 2018) 6 óránkénti eredményeinek felhasználásával készült
- Kiválasztott **hőhullámok** esetekre, 3 választott éghajlati normálidőszakra vonatkozóan:
  - múlt: 1971–2000;
  - közel jövő: 2016–2045 és távoli jövő: 2061–2090
- WRF v3.8 modell (Skamarock et al., 2008)

#### Modell területek horizontális felbontása:

- D01: 10 km; D02: 3.3 km; D03: 1, 1, 1 km

#### WRF modellben alkalmazott fizikai sémák:

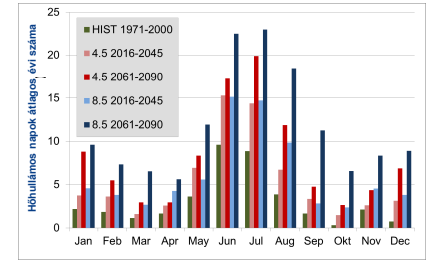
- Adaptív időlépcső
- 5 városi felszíni kategória
- Noah felszíni séma
- Mellor-Yamada-Janjic határreteg séma
- RRTM és Dudhia sugárzási séma
- Thompson graupel mikrofizikai séma
- 43 vertikális szint,  $p_{top}=50$  hPa
- Cumulus parameterizáció: D01, D02
- Épületenergetikai modell (BEP+BEM) (Göndöcs et al., 2017)

### 3. Hőhullámok időszakok

#### Alkalmazott hőhullám definíció:

- Mín. **öt egymás utáni napon** át tartó időszak, mely során a **napi maximum** hőmérséklet **5 °C**-kal meghaladja az arra a naptári napra jellemző **átlagos maximum hőmérsékletet**
- A **referencia időszak (1971–2000) átlagait** a CarpatClim adatbázis alapján határoztuk meg, 3 napos mozgó átlagolással.

	RegCM HIST (1971–2000)	RCP 4.5 (2016–2045)	RCP 4.5 (2061–2090)	RCP 8.5 (2016–2045)	RCP 8.5 (2061–2090)
Átlagos hőhullám hossz (nap)	9,17	9,38	11,49	9,70	12,83
Júliusi esetek száma	20	32	30	34	28
Augusztusi esetek száma	15	20	32	26	35



### 4. Városi hősziget változásának komponensei

$$\Delta UHI = (T_u - T_r)_D - (T_u - T_r)_H$$

$T_u$ : városi hőmérséklete  
 $T_r$ : környék hőmérséklete  
 $D$ : kiválasztott időszak, adott szimuláció esetén  
 $H$ : múltbeli adatsor

$\Delta UHI < 0$ – csökkenő UHI intenzitás	$\Delta UHI > 0$ – növekvő UHI intenzitás
A: $T_{u,D} < T_{u,H}$ ; hűvösebb város a jövőben B: $T_{r,D} > T_{r,H}$ ; melegebb környék a jövőben	A: $T_{u,D} > T_{u,H}$ ; melegebb város a jövőben B: $T_{r,D} < T_{r,H}$ ; hűvösebb vidék a jövőben
B > A: a város körüli környezet jobban melegszik, mint amennyire a város hűl	B < A: a városi terület jobban melegszik, mint amennyire a körülötte lévő vidéki terület hűl

