

# VÁROSI HŐSZIGET VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ FELSZÍNI ADATBÁZISOK HASZNÁLATÁVAL A WRF IDŐJÁRÁS ELŐREJELZŐ MODELL SEGÍTSÉGÉVEL

Göndöcs Júlia, Breuer Hajnalka, Bartholy Judit, Pongrácz Rita

ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A  
e-mail: gondocs.julia@gmail.com, bhajni@nimbus.elte.hu, bartholy@caesar.elte.hu,  
prita@nimbus.elte.hu

## Bevezetés

A két amerikai kutatóintézet – NCEP<sup>1</sup> és NCAR<sup>2</sup> – együttműködésében kifejlesztett WRF<sup>3</sup> modell (Skamarock, 2008) az egyik legdinamikusabban fejlődő időjárás előrejelző modell, hiszen forráskódja szabadon letölthető a világhálóról és tetszés szerint módosítható. A WRF egy nem-hidrosztatikus, korlátos tartományú numerikus időjárás előrejelző modell, mely az 1000 km-estől akár az 1 km alatti horizontális felbontásig is képes a légkör vizsgálatára. Finomabb (< 20 km) horizontális felbontás esetén azonban már a modellterületek egymásba ágyazására van szükség. Ekkor a modellterületen belül kijelölünk további kisebb részterületeket, ún. nesteket, így növelve a felbontást és csökkentve a leskálázásból adódó hibákat. A hidrotermodinamikai egyenletrendszer megoldása mellett almodelleket alkalmaznak a sugárzás-átvitel, a határréteg átkeveredés, a felhő-képződés, a talaj-felszín kölcsönhatások és a városi turbulens energiatranszport leírására.

A WRF modellben a városi folyamatok számítására az egyszintes városi modell (Kusaka et al., 2001; Kusaka & Kimura, 2004) mellett a többszintes városi modell is alkalmazható, mely Martilli et al. (2002) nevéhez fűződik. Számításaink elkészítésében ez utóbbit használtuk. A szimulációk során a városi folyamatok közvetlen kapcsolatban vannak a légkörrel, illetve a modell számításba veszi a város egyedi geometriáját. Ezáltal megváltoznak az áramlási és hőmérsékleti viszonyok, ezzel is elősegítve a városi hősziget kialakulását (Chen et al., 2011). Az emberi tevékenység is jelentős mennyiségű hőt juttat a légkörbe a közlekedéssel, fűtéssel, légkondicionáló berendezések működtetésével (Sailor, 2011), ezért nem elhanyagolható a számításokban az antropogén hőkibocsátás sem.

A városi hősziget akkor alakul ki, ha a városi felszíni és felszín közeli légtömegek melegebbé válnak, mint a várost körülvevő természetes felszínek, illetve növényzettel borított területek fölötti légtömegek. A jelenség jól dokumentált mind mérési adatokkal (Landsberg, 1981; Oke, 1981; Dezső et al., 2005), mind numerikus modellekkel (Kimura és Takahashi, 1991; Avissar, 1996; Taha, 1999; Kusaka et al., 2000). Számos kutatás született különböző nagyvárosokra, melyben szintén a WRF modellt alkalmazták a hősziget elemzésére. Ilyen például Chen et al. (2014) tanulmánya, amiben a kínai Hangzhou városára készültek vizsgálatok, vagy Gutiérrez & Gonzalez (2015) New York városára készítettek hasonló vizsgálatokat, illetve Liao et al. (2014) a Jangce folyótorkolat vidékén található városok légszennyezettségét vizsgálták.

Korábban az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszékén a budapesti városi hősziget elemzése elsősorban műholdas mérések alapján történt (Dezső et al., 2012), jelen vizsgálatok keretében azonban célul tűztük ki, hogy numerikus modellekkel is megkíséreljük leírni a felszíni hőmérsékletből számított városi hősziget jelenséget (Göndöcs et al., 2015b), és megvizsgáljuk a különböző felszíni adatbázisok hatását annak kialakulására. Végül

<sup>1</sup> National Centers for Environmental Prediction

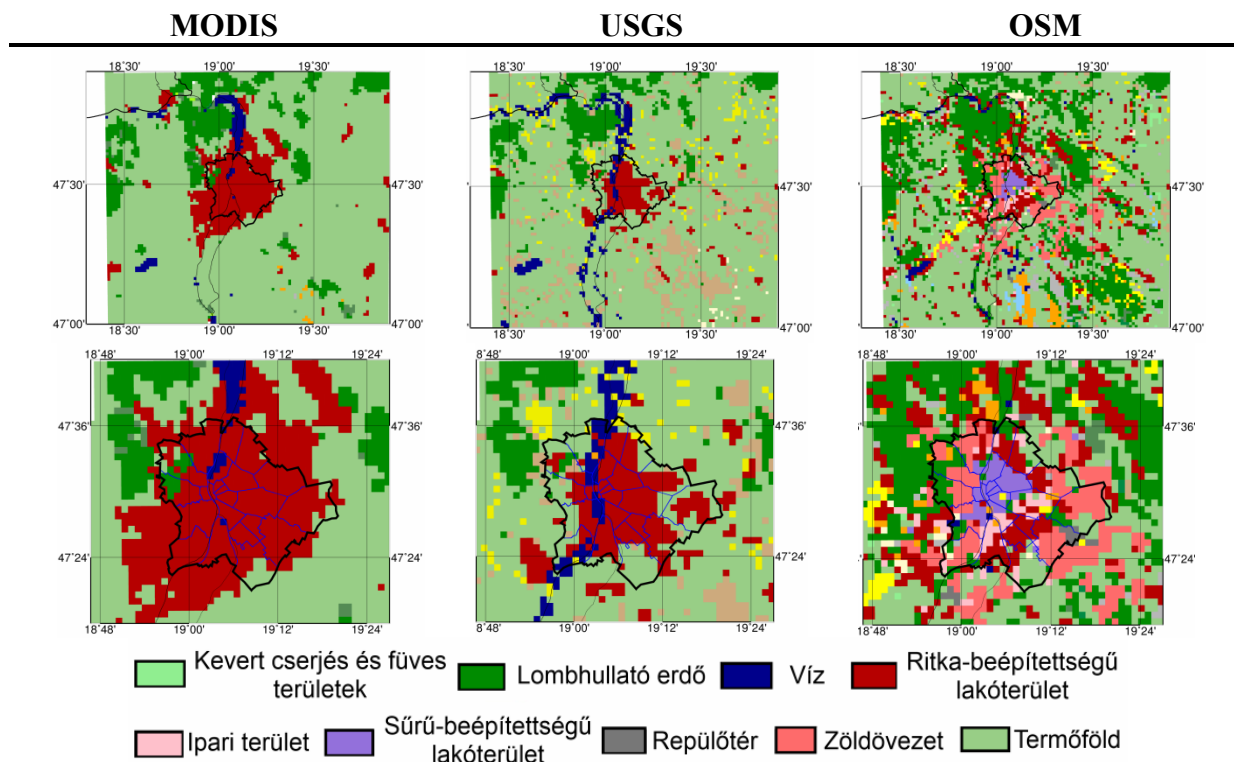
<sup>2</sup> National Center for Atmospheric Research

<sup>3</sup> Weather Research and Forecasting Model

eredményeinket műholdas felszínhőmérséklet-mérésekhez hasonlítottuk, ezzel feltárva a modell és az alkalmazott adatbázisok esetleges hibáit.

### Felszíni statikus adatok

A felszíni városi hősziget intenzitás erősen függ a felszín tulajdonságaitól, mint például felszínhasználat, albedó vagy a felszíni emisszivitás, továbbá a modellben a városi környezetre jellemző fizikai alapú modul használatával a városi területeken további paraméterek (pl. térfogati hőkapacitás és hővezetés) is erősen befolyásolják a városi hősziget alakulását. A WRF modellben eredetileg a MODIS<sup>4</sup> és a USGS<sup>5</sup> felszínhasználati adatbázisok találhatóak meg, melyek felbontása közel 1 km. Az 1. ábrán látható, hogy ezen adatbázisokban Budapest kiterjedése nem pontos, illetve a külterületeken is felfedezhetők hibásan kategorizált pontok (pl. a MODIS adatbázisban a Szentendrei-sziget helyén tó található). Továbbá felbontásuk sem elég finom ahhoz, hogy városi hatásokat is vizsgálhassunk velük. E kutatás keretében célunk volt létrehozni egy aktuális és nagyfelbontású adatbázist, mellyel a budapesti városi hősziget vizsgálható a WRF modellel. Ehhez az ingyenesen hozzáférhető és online szerkeszthető OpenStreetMap és a műholdképek alapján készült CORINE 2006 adatbázisokat használtuk, a készített felszínhasználat területi eloszlását az 1. ábra utolsó oszlopa mutatja. A USGS és MODIS adatbázisok csupán egyetlen városi felszínkategóriát tartalmaznak, míg az OSM segítségével öt különböző városi felszínét különítettünk el: ritkán, illetve sűrűn beépített területek, ipari területek, repülőtér és zöldövezet. Az új felszínborítottsági adatbázis felbontása is sokkal finomabb (közel 90 m), mint a WRF-ben eredetileg található adatbázisoké.



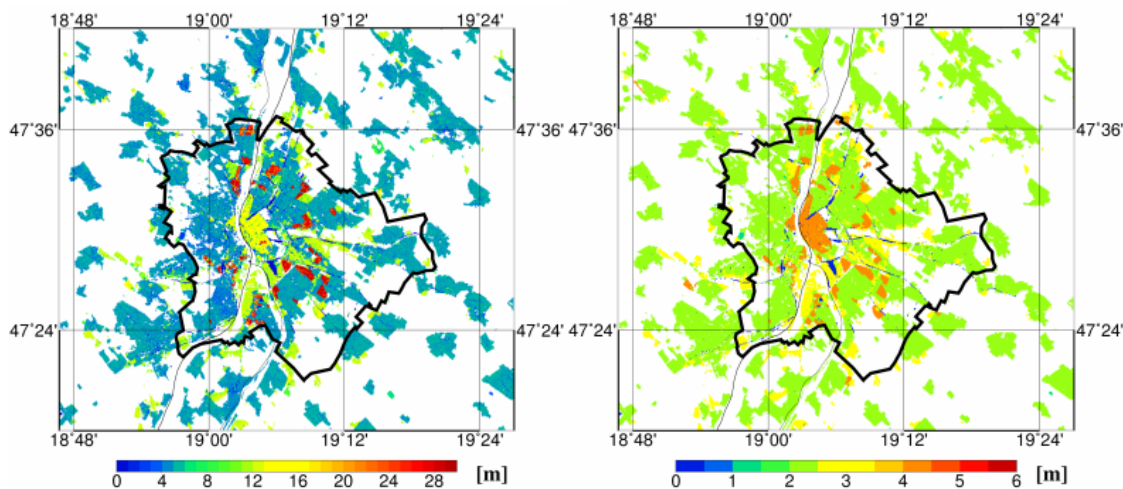
1. ábra: Alkalmazott felszínhasználati adatbázisok (MODIS, USGS, OSM). A felső sorban Budapest és a környező területek egyaránt jól látszanak, míg az alsó sorban csak Budapest és szűkebb környezete található.

<sup>4</sup> Moderate-resolution imaging spectroradiometer

<sup>5</sup> United States Geological Survey

A WRF-ben rendelkezésre álló albedó adatbázis aktualizálását is elvégeztük a MODIS szenzor mérései alapján. Erre azért volt szükség, mert a modellben 1985–1987 és 1989–1991 között az AVHRR szenzorral mért albedó értékek vannak eredetileg (Csiszár, 2009). Az adatbázis létrehozásához a rövidhullámú tartományban (0,3–5,0  $\mu\text{m}$ ) végzett méréseket átlagoltuk és hoztuk létre havonta a térbeli eloszlást a 2000.01.01.–2015.12.31. időszakra nézve 1 km felbontással.

A városi környezet fizikai leírása mellett opcionális, hogy a felhasználó paraméterekkel adja meg a városi felszíntípusokra a városi geometriát, vagy létrehozza a város kétdimenziós paramétereit. A 2. ábrán a Budapestre vonatkozó átlagos épületmagasságokat és azok szórását láthatjuk. Jól észrevehető a belváros sűrű beépítettsége, illetve az ott található magasabb épületek. Műholdképek alapján a tízemeletes (panel) épületek leválogatása is megtörtént, így ezek is jól kivehetők a térképeken, kb. 30 méteres magasságukkal.



2. ábra: Budapestre vonatkozó kétdimenziós városi paraméterek.  
Bal oldal: Átlagos épületmagasság; Jobb oldal: Épületmagasságok szórása.

A számítások során a talaj nedvességtartalma és a talaj textúrája is hatással van a kialakuló felszínhőmérsékletre, így a WRF-ben megtalálható talajtextúra adatbázist is módosítottuk a DK SIS<sup>6</sup> adatbázis alapján (Pásztor et al., 2010; Göndöcs et al., 2015a).

## Modell konfiguráció

A városi hősziget jelensége anticiklonális időben figyelhető meg a legtisztábban, amikor az égbolt derült és gyenge a légmozgás, ezért a szimulációkat egy nyári hétre készítettük el: a 2015. július 2–9. időszakra. A modellintegráláshoz szükséges kezdeti mezőket az ECMWF<sup>7</sup> központ IFS<sup>8</sup> modelljének analízis mezői biztosították számunkra. A kezdeti mezők nyolcadfokos felbontásban voltak elérhetőek, és rendelkezésre álltak a WRF-modellfuttatáshoz szükséges talaj adatok négy szintre, valamint a hőmérséklet- és szélmezők több nyomási szintre.

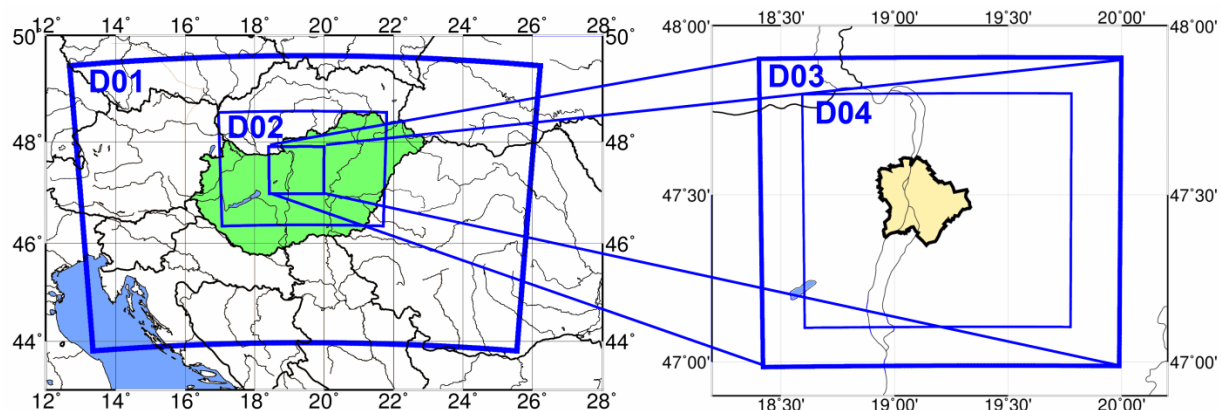
A számításokhoz szükséges modellterületek az ELTE Meteorológiai Tanszéken folyó korábbi városi hősziget kutatások alapján lettek meghatározva (3. ábra). A numerikus instabilitásokat elkerülendő, több beágyazott modellterületet különítettünk el: a legkülső a Kárpát-medencét fedi le 10 km-es felbontásban, míg a köztes területek felbontása 3333 m és 1111 m.

<sup>6</sup> Digital Kreybig Soil Information System

<sup>7</sup> European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

<sup>8</sup> Integrated Forecast System

A legbelső terület, mely Budapestet és annak környékét fedi le, 370 m horizontális felbontással és 87 vertikális szinttel rendelkezik.



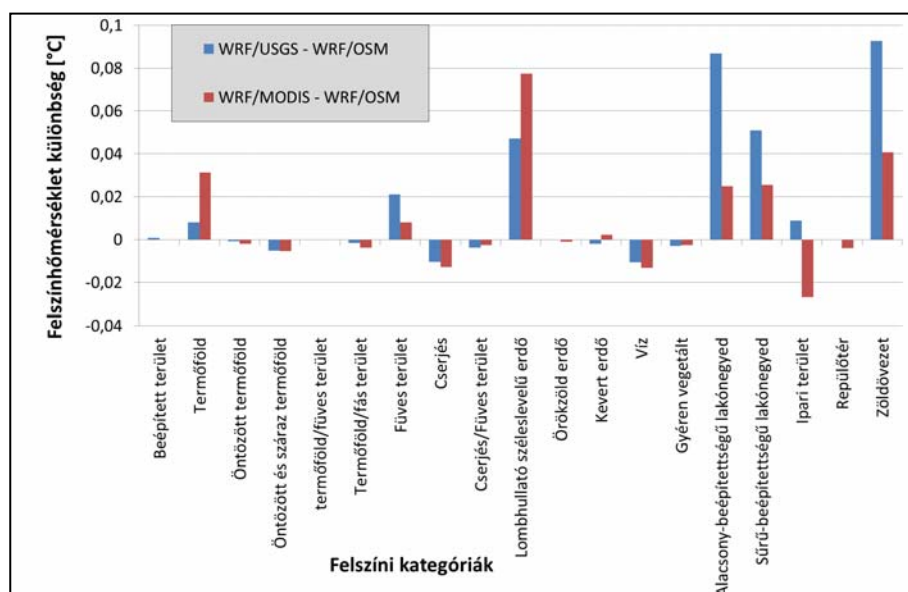
3. ábra: A WRF szimulációknál alkalmazott egymásba ágyazott területek.

A vizsgálatok elkészítéséhez három szimuláció készült. Az első szimuláció felszínborítását a MODIS adatbázisa szolgáltatta (továbbiakban: WRF/MODIS), a második szimulációban a USGS által létrehozott felszínborítás szerepelt (továbbiakban: WRF/USGS), végül a harmadikban az általunk definiált felszínborítottság alkotta a peremfeltételt (továbbiakban: WRF/OSM).

A szimulációk során alkalmazott fizikai parameterizációkat korábbi vizsgálatok alapján állítottuk be (Göndöcs, 2013) és végig ugyanazokkal dolgoztunk.

## Eredmények

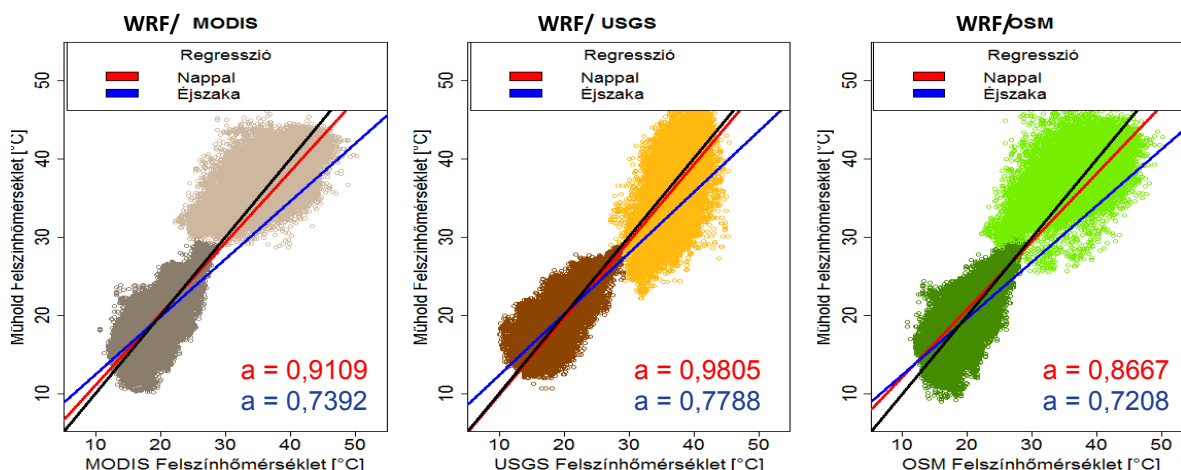
A kapott eredmények értékelésekor a városi hőszigetek erősségét vizsgáltuk. Ehhez meghatároztuk a felszínhőmérsékleti mezőket mind a műholdas mérések (MODIS szenzor 1 km felbontású produktumai) alapján, mind a modellszimulációkban, majd kiszámítottuk a közöttük lévő különbséget.



4. ábra: A felszíni kategóriákban tapasztalt javulás/romlás mértéke a WRF modellel, különböző felszínborítottsági kategóriákkal (OSM, USGS, MODIS) futtatott szimulációk között a MODIS felszínhőmérsékleti adatbázishoz képest 2015.07.02–08. időszakra átlagolva.

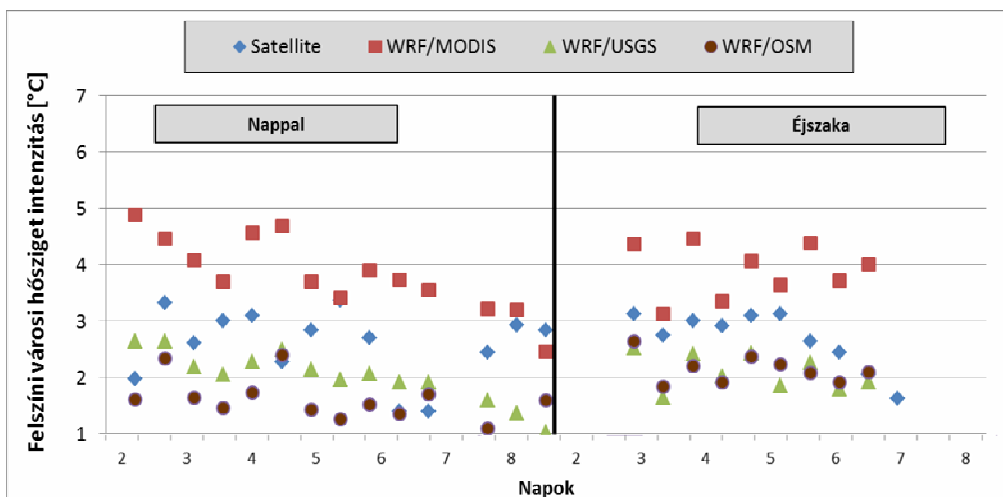
Az új adatbázis létrehozását követően megvizsgáltuk, hogy a szimulációk eredményei alapján a különböző felszíni kategóriákban mekkora javulást értünk el a régi adatbázisokkal készült szimulációkhoz képest (WRF/USGS, WRF/MODIS). A 4. ábrán a pozitív intervallumban a javulást, míg a negatív tartományban a romlást láthatjuk (A kapott eredmények az adott felszínkategória megjelenésével súlyozva vannak.). Városi területek esetén egyértelmű javulást (+0,04 °C – +0,06 °C) mutatnak az eredmények (kivéve a WRF/MODIS esetén az ipari területeken (–0,025 °C)) mindkét adatbázis cseréjét követően, továbbá a lombhullató erdő esetén is javulást láthatunk (+0,079 °C). Ez a javulás azzal is magyarázható, hogy a városi és erdő kategóriák lefedik a vizsgált terület jelentős részét (> 90%). A vízzel borított területek és cserjés területek esetén kismértékű romlást tapasztalunk (–0,01 °C) az új adatbázis használatával a WRF/MODIS és WRF/USGS-hez képest.

Elkészítettük továbbá a szimulációk és a műholdas mérések pontdiagramjait is (5. ábra). Az éjszakai és nappali értékek jól elkülönülve jelennek meg az ábrán: az alacsonyabb értékeknél sötéttel az éjszakai pontok, míg világos színnel a nappali pontok. Az eredményeink lineáris kapcsolatot mutatnak, melyhez erős korreláció is párosul. Napszakonként lineáris regressziós egyenest illesztve az adatsorra szintén látható az erős korrelációs kapcsolat. Legjobb egyezést a WRF/USGS szimuláció mutat a nappali órákban 0,9805 meredekséggel, míg a leggyengébbet az OSM adatbázissal kaptuk (0,72) az éjszakai átvonulásokkor.

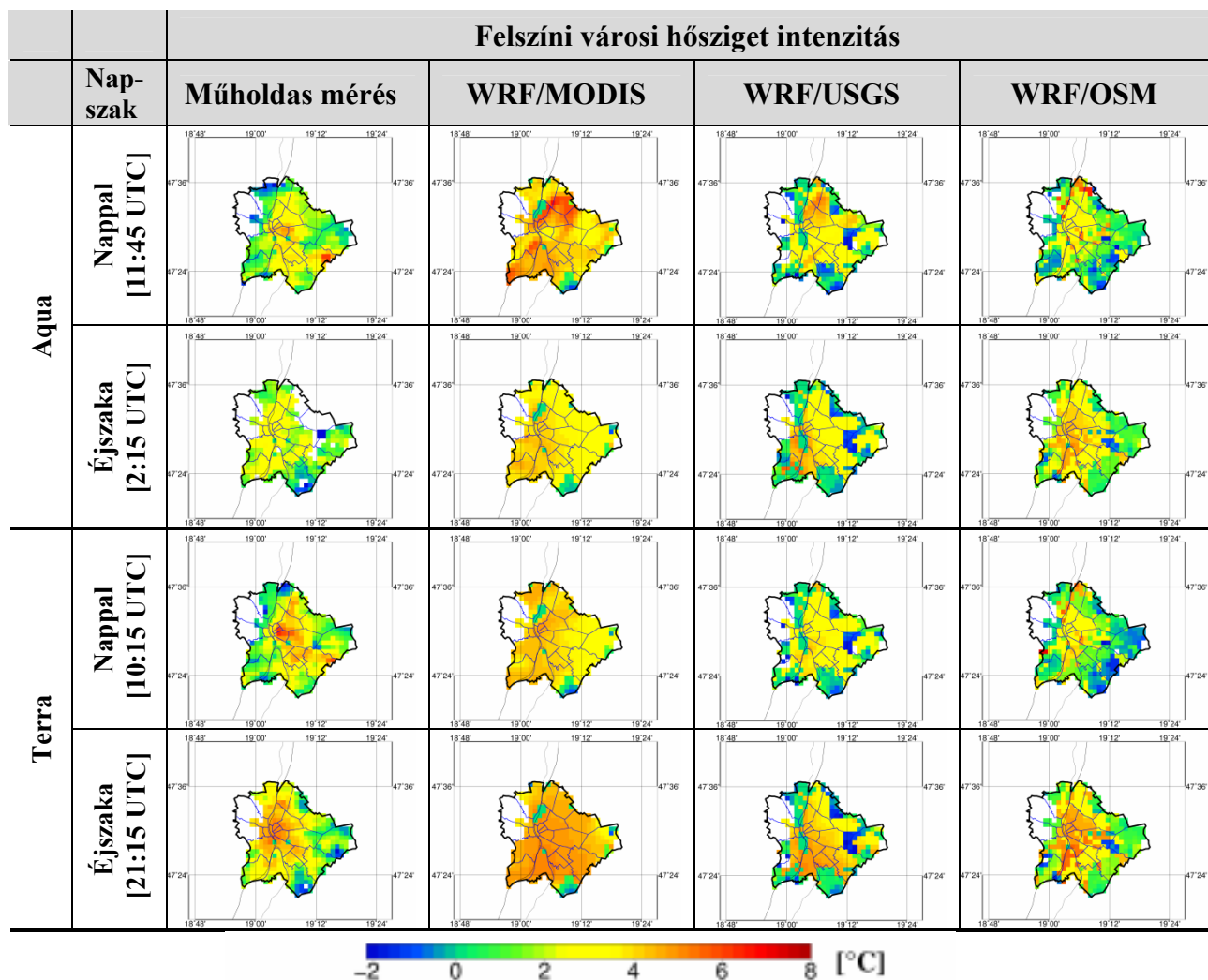


5. ábra: A műholdas mérések alapján és a WRF szimulációk által számított felszínhőmérsékletek pontdiagramjai az egyes szimulációkra az adatsorokra illesztett regressziós egyenesekkel (piros: nappal, kék: éjszaka, fekete: tökéletes illeszkedés,  $a = 1$ ) (a vízzel fedett rácsponokat nem ábrázoltuk).

A következőkben a felszíni városi hősziget viselkedését vizsgáltuk meg az egyes szimulációkban és a műholdas mérésekben. A hősziget intenzitások számításakor nem vettük figyelembe a vízzel fedett rácsponokat, a 200 m-nél magasabban fekvő területeket, illetve maszkolás segítségével elkülönítettük a városi, illetve a városon kívül eső növényzettel fedett rácsponokat. A kapott intenzitásokat a 6. ábra szemlélteti. A legerősebb hősziget intenzitást a WRF/MODIS szimulációval kaptuk (piros jelölés), ami több mint 1 °C-kal (átlagosan 1,1 °C-kal) felülbecsülte a műholdas méréseket (kék jelölés). Ez utóbbiak átlagosan 2,5 °C intenzitás érték körül mozogtak. A nappali órákban a WRF/USGS szimulációval sikerült a legkisebb hibát (átlagosan 0,47 °C) elérni, míg az éjszakai órákban az WRF/OSM mutat jobb egyezést. A számított felszíni hőmérsékletek és a műholdas mérések négyzetes hibáinál a legkisebb eltéréseket az WRF/OSM szimulációban értük el (3,16 °C), míg a WRF/MODIS szimuláció átlagosan 3,31 °C-os eltérést mutatott, a WRF/USGS szimuláció pedig 3,44 °C-ban tért el a műholdas mérések alapján meghatározott értékektől.



6. ábra: Számított felszíni hősziget intenzitások a WRF szimulációkra és a műholdas mérésre a műholdátvonulások időpontjában a vizsgált időszakra (2015. 07. 02–07.).



7. ábra: Budapest területén megjelenő városi hősziget intenzitás 2015.07.03-án. Első oszlopban a műholdas mérések alapján meghatározott városi hősziget intenzitás, további oszlopokban a szimulációk alapján számított városi hősziget intenzitások a műhold áthaladások idejében.

A vizsgálatok során nem csupán a felszíni hősziget intenzitások átlagát, hanem területi eloszlását is vizsgáltuk Budapestre. A 7. ábra első oszlopa szemlélteti a műholdas mérések alapján meghatározott területi eloszlásokat. A városközpontban jól kivehető egy, a környezeténél melegebb régió (4–6 °C intenzitás értékkel), ami a sűrű beépítettség és a jelentős antropogén hő kibocsátással magyarázható. Megjelenik egy másodlagos maximum is a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér környékén szintén 4–6 °C-os intenzitás értékekkel. A mérések alapján továbbá jól elkülöníthetők a városban a növényzettel borított felszínek a város pereme felé haladva (1–3 °C intenzitás értékkel).

A WRF/MODIS szimuláció eredményei alapján egy homogén 2 °C és 5 °C közötti városi hősziget intenzitást kaptunk, melyben megjelennek alacsony és negatív tartományban mozgó értékek is a növényzettel fedett területek esetén. A WRF/USGS szimuláció során egy szélesebb negatív perem öleli körül a várost –1 °C és 1 °C közötti intenzitás értékekkel, míg a belváros esetén is maximum csupán 3 °C-os intenzitást tapasztalunk. A WRF/OSM alapján jól elkülönülnek a városrészek: a repülőtér 4–5 °C-os intenzitásokkal, a belváros 5–6 °C-os intenzitásokkal és a városperem 1–2 °C-os intenzitásokkal.

## Diszkusszió

A tanulmány egyik fő célja egy nagyfelbontású felszíni adatbázis létrehozása volt. Az elkészült adatbázis tesztelése során első lépésben korábban használt adatbázisokkal készült szimulációkhoz hasonlítottuk az új adatbázist használó szimulációkat. Számszerűsítettük a különböző felszíni kategóriákban kapott romlás és javulás mértékét: vízzel borított felszínek esetén romlást tapasztaltunk, mely a modellben megtalálható vízfelszínre vonatkozó egyenletek hibájával magyarázható. Jelentős javulást tapasztaltunk a különböző városi kategóriákban, mely a felszíni városi kategóriák számának kibővítésével indokolható. A kibővítés lehetőséget nyújt arra, hogy a különböző struktúrájú és tulajdonságú városrészek elkülönüljenek egymástól, mintahogyan az a WRF/OSM szimuláció során történt.

Az eredményeink napszaktól függő erős korrelációs kapcsolatot mutattak a különböző szimulációs és a MODIS felszínhőmérsékleti adatbázisok között, továbbá azt is megfigyeltük, hogy az éjszakai meredekség jellemzően jóval a nappali alatt marad, vagyis az éjszakai szimulált hősziget intenzitás alulbecsli a méréseket.

A különböző felszíni adatbázisok jelentős eltéréseket tartalmaznak Budapest kiterjedésére vonatkozóan, ennek következményeképpen a városi hősziget különbözőképpen jelent meg az egyes szimulációkban. A WRF/MODIS szimulációban a város kiterjedése nagyobb, mint a valóságban (műholdképeken) és ahogy korábban bemutattuk, csupán egyetlen városi kategóriával rendelkezik. Ennek eredményeképpen a WRF/MODIS felülbecsli a méréseket. Ugyanakkor a USGS adatbázis a valóságnál kisebb kiterjedésű várost feltételez, és ezért a WRF/USGS szimuláció alulbecsli a mérések alapján kapott városi hősziget intenzitást.

A szimulációk során a legjobb területi egyezést az OSM adatbázissal értük el, mely a városi kategórián belül öt különböző felszíni tulajdonságokkal rendelkező osztályt különít el. Megjelenik a térképeken a melegebb városközpont és a repülőtér, illetve a melegebb ipari területek is. Ezzel ellentétben a WRF/MODIS és az WRF/USGS szimulációk nem adnak reális képet a budapesti városi hősziget alakulásáról. A WRF/MODIS eredményei egy homogén területi elrendeződést mutatnak, melyben nem rajzolódik ki sem a belváros, sem a hűvösebb, növényzettel borított fás területek. Az WRF/USGS ugyan mutat területi inhomogenitást, azonban az intenzitások maximuma nem a városközpontban helyezkedik el. A város középső területein megjelenik egy alacsony intenzitású sáv, mely a Duna hűtő hatását mutatja, továbbá állandó negatív intenzitású területeket láthatunk a város keleti és délkeleti részein.

## Konklúzió

Munkánk során a budapesti városi hősziget jelenségével foglalkoztunk mérési adatbázis és WRF szimuláció alapján. A számítások elvégzése előtt megalkottunk egy egyedülálló, a WRF-ben használható, közel 90 m horizontális felbontású adatbázist, mely az aktuális felszínhasználatot tartalmazza Budapestre és környékére. A készített szimulációkból a következő eredmények vonhatók le: (1) az új, aktualizált és nagyfelbontású felszínnel számított szimulációk nagyobb pontossággal reprodukálják a városi hősziget térbeli struktúráját. (2) Az új adatbázis használatával jelentős javulást értünk el a régi adatbázisokhoz képest a lombhullató erdők területén (0,08 °C), míg a városok területén 0,04 °C és 0,06 °C között volt a javulás mértéke. (3) A WRF/OSM szimuláció során tapasztaltuk a legkisebb négyzetes hibát a MODIS felszínhőmérsékleti adatbázishoz képest.

A WRF modell alapbeállításai során a MODIS felszínhasználati adatbázisát alkalmazza, azonban az új, korrigált adatbázissal pontosabb eredményeket kaptunk, így a továbbiakban ezzel a modellverzióval érdemes kiterjeszteni vizsgálatainkat.

## Köszönetnyilvánítás

E tanulmányban bemutatott kutatásokat támogatta az AGÁRKLIMA2 (VKSZ\_12-1-2013-0034) és az OTKA K-120605 számú projekt.

## Hivatkozások

- Avissar, R., 1996: Potential effects of vegetation on the urban thermal environment. *Atmos Environ.*, 30: 437–448.
- Chen, F., Yang, X., Zhu, W., 2014: WRF simulations of urban heat island under hot-weather synoptic conditions: The case study of Hangzhou City, China. *Atmos Res*, 138: 364–377.
- Chen, F., Kusaka, H., Bornstein, R., Ching, J., Grimmond, C.S.B., Grossman-Clarke, S., Loridan, T., Manning, K.W., Martilli, A., Miao, S., Sailor, D., Salamanca, F.P., Taha, H., Tewari, M., Wang, X., Wyszogrodzki, A.A., Zhang, C., 2011: The integrated WRF/urban modelling system: development, evaluation, and applications to urban environmental problems. *Int J Climatol*, 31: 273–288.
- Csiszar, I., Gutman, G., 1999: Mapping global land surface albedo from NOAA/AVHRR data. *J Geophys Res*, 104: 6215–6228.
- Dezső, Zs., Bartholy, J., Pongrácz, R., 2005: Satellite-based analysis of the urban heat island effect. *Időjárás*, 109: 217–232.
- Dezső, Zs., Bartholy, J., Pongrácz, R., Lelovics, E., 2012: Urban heat island analyses based on satellite and station measurements (in Hungarian). *Légekör*, 57: 170–173.
- Göndöcs, J., 2013: A talajtextúra és felszínhasználat területi eloszlásának hatása a konvektív csapadéokra, Szakdolgozat. 37p.
- Göndöcs, J., Breuer, H., Horváth, Á., Ács, F., Rajkai, K., 2015a: Numerical study on the effect of soil texture and land use distribution on the convective precipitation. *Hungarian Geographical Bulletin*, 61(1): 3–15.
- Göndöcs, J., Breuer, H., Pongrácz, R., Bartholy, J., 2015b: Városi környezet modellezése a WRF időjárás előrejelző modell felhasználásával. In: *Aktuális kutatások az ELTE Meteorológiai Tanszékén. Jubileumi kötet - 70 éves az ELTE Meteorológiai Tanszéke.* (Pongrácz R., Mészáros R., Kis A. szerk.) *Egyetemi Meteorológiai Füzetek* 26., 35–40. ISBN 978-963-284-358-2 (online) <http://nimbus.elte.hu/oktatas/metfuzet/EMF026/PDF/05-Gondocs-et al.pdf>
- Gutiérrez, E., González, J.E., Martilli, A., Bornstein, R., Arend, M., 2015: Simulations of a Heat-Wave Event in New York City Using a Multilayer Urban Parameterization. *J Appl Meteorol Clim*, 54: 283–301.
- Kimura, F., Takahashi, S., 1991: The effects of land-use and anthropogenic heating on the surface temperature in the Tokyo metropolitan area: A numerical experiment. *Atmos Environ*, 25B: 155–164.



- Kusaka, H., Kimura, F.*, 2004: Coupling a single-layer urban canopy model with a simple atmospheric model: impact on urban heat island simulation for an idealized case. *J Meteor Soc Japan*, 82: 67–80.
- Kusaka, H., Kondo, H., Kikegawa, Y., Kimura, F.*, 2001: A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: comparison with multi-layer and slab models. *Bound-Lay Meteorol*, 101: 329–358.
- Kusaka, H., Kimura, F., Hirakuchi, H., Mizutori, M.*, 2000: The effects of land-use alteration on the sea breeze and daytime heat island in the Tokyo metropolitan area. *J Meteor Soc Japan*, 78: 405–420.
- Landsberg, H.E.*, 1981: *The Urban Climate*. Academic Press, 269p.
- Liao, J., Wang, T., Wang, X., Xie, M., Jiang, Z., Huang, X., Zhu, J.*, 2014: Impacts of different urban canopy schemes in WRF/Chem on regional climate and air quality in Yangtze River Delta, China, *Atmos Res*, 145–146: 226–243.
- Martilli, A., Clappier, A., Rotach, M.W.*, 2002: An urban surface exchange parameterization for mesoscale models. *Bound-Lay Meteorol*, 104: 261–304.
- Oke, T.R.*, 1981: Canyon geometry and nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *J Climatol*, 1: 237–254.
- Pásztor, L., Szabó, J., Bakacsi, Zs.*, 2010: Digital processing and upgrading of legacy data collected during the 1:25.000 scale Kreybig soil survey. *Acta Geod Geophys Hu*, 45: 127–136.
- Sailor, D.*, 2011: A review of methods for estimating anthropogenic heat and moisture emission in the urban environment. *Int J Climatol*, 31: 189–199.
- 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.
- Taha, H.*, 1999: Modifying a mesoscale meteorological model to better incorporate urban heat storage: A bulk parameterization approach. *J Appl Meteorol*, 38: 466–473.