

## A VÁROSI HŐSZIGET VIZSGÁLATA METEOROLÓGIAI MODELL SEGÍTSÉGÉVEL SZEGEDEN

### ANALYSIS OF URBAN HEAT ISLAND WITH METEOROLOGICAL FORECAST MODEL IN SZEGED

Molnár Gergely, Gyöngyösi András Zénó, Gál Tamás

SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Szeged, Egyetem u. 2.

Urban Climate Research Group – University of Szeged, [molnarge@geo.u-szeged.hu](mailto:molnarge@geo.u-szeged.hu)

**Összefoglalás.** Munkánk célja a WRF (Weather Research and Forecasting) modell városi léptékű alkalmazása és a városi hősziget (UHI) előrejelzése. Ennek érdekében beágyazott modell szimulációkat végeztünk a 2015-ös időszakban Szegedre. A validációhoz részletes mérési adatsor állt rendelkezésünkre. Ahhoz, hogy a modell megfelelően működjön, a felszíni (statikus) információk pontossága kulcsfontosságú. Mivel az alapértelmezett adatbázisok nem elég részletesek a vizsgálatainkhoz, ezért – a Landsat 8 műhold megfigyeléseit és térinformatikai módszereket alkalmazva – új felszínhasználati- és városi paraméter-adatbázist hoztunk létre. Az előzetes szimulációkból kinyert információk alapján megtaláltuk azokat a megfelelő modellbeállításokat, melyek a vizsgálati céljainknak leginkább megfelelnek. Az eredmények arra utalnak, hogy a WRF zavartalan (anticiklonális) időjárás mellett jó egyezést mutat a városklíma-mérőhálózat megfigyeléseivel.

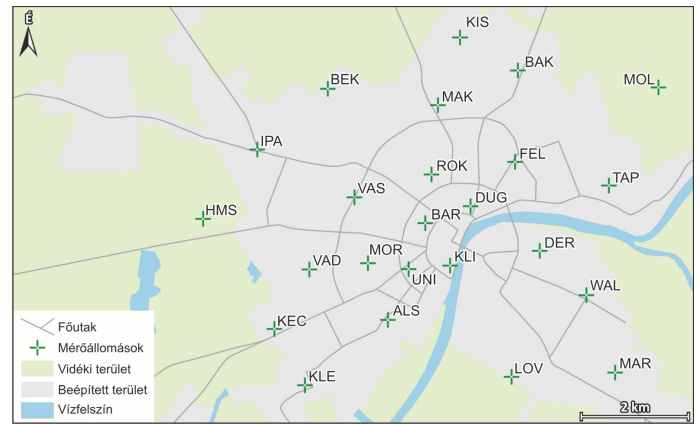
**Abstract.** Aim of our research is the application of Weather Research and Forecasting model (WRF) in urban scale in order to predict the urban heat island (UHI) effect. Therefore, high-resolution, nested simulations were carried out in case of a medium-sized Hungarian city (Szeged) in 2015. In this area, a detailed measurement dataset is available for the model validation process. In numerical weather predictions models, the applied urban land use information is crucial. Consequently, it is essential to improve the details of canopy parameterization if the static data does not manage to represent precisely the urban forms in a specific area. High-resolution remote sensing products of Landsat 8 OLI/TIRS satellite and multiple GIS techniques were applied to determine the sufficient canopy values. Several simulations were made with different model setups and input geographical databases to fine-tune the model performance for optimal agreement with measured UHI parameters. The results suggest that the model reproduces reasonably well the UHI effect related to measurements in case of uninterrupted (anticyclonic) weather conditions.

**Bevezetés.** A légköri folyamatok és jelenségek vizsgálatának egyik módszere a meteorológiai modellezés. Az alkalmazott meteorológia az időjárás-szimulációs modelleket (a rövid- és középtávú prognózisok vagy az éghajlati projekciók mellett) sikerrel alkalmazta a szélenergia-kutatásban, a légköri szennyező anyagok terjedésének, ülepedésének vizsgálata és levegőminőségi előrejelzések során, a közlekedésmeteorológiai (hajózási és repülésmeteorológiai) alkalmazásokban vagy akár a természeti katasztrófák, például áradások, aszályok, bozót- és erdőtüzek előrejelzésében. A városi környezet vizsgálata speciális kihívás, melyben a mérések mellett a modellek további segítséget jelentenek (*Skarbit és Gál, 2016; Grawe et al., 2013*). A városi környezet időjárásának különböző módszerekkel való elemzése már csak azért is különösen indokolt, mivel 2050-re Földünk lakosságának várhatóan több, mint kétharmada fog városokban élni (*UN, 2014*). Továbbá az ENSZ által 2016-ban megfogalmazott „fenntarthatósági célok” egyike a „fenntartható városok és közösségek” létrehozása anélkül, hogy a város struktúrája, funkciója jelentősen módosulna (*Stevance et al., 2015*). A települések összetett, mesterséges anyaggal borított felszínük révén a természetes talaj- és felszín-karakterisztikáikhoz képest jelentősen módosítják környezetük energia- és vízmérlegét, melynek következtében a nagyobb városok speciális időjárást és légköri jelenségeket hoznak létre. Ezek közé sorolható a városi cirkuláció, a városi hősziget vagy éppen a kora délelőtti órákra jellemző negatív hősziget, amikor a városi környezet felmelegedése – a nagyobb hőkapacitás és a szűk utca kanyonok árnyékoló hatása következtében –

elmarad a természetes környezetétől. A jelenség vizsgálatát két irányból közelíthetjük meg. Vagy mérésekkel igyekszünk képet kapni a városi környezet időjárásáról, vagy meteorológiai modell szimulációit alkalmazzuk. Ez utóbbi előnye, hogy megfelelő beállítások esetén, körültekintő tesztelést követően, egy meteorológiai modellt bármelyik városban alkalmazhatunk, függetlenül annak földrajzi elhelyezkedésétől, méretétől vagy funkciójától. Munkánk célja a Weather Research and Forecasting (WRF) időjárás-előrejelző modell alkalmazása Szegeden. Ehhez szükséges a modellhez kapcsolódó statikus (felszín) adatbázis módosítása, valamint a modell paramétereinek megfelelő beállítása. A modell optimalizálásának érdekében a szegedi URBAN-PATH városklíma monitoring rendszer mérési adatbázisát (*URBAN-PATH Project, 2014; Lelovics et al., 2014; Unger et al., 2015*) használtuk fel.

**A vizsgált terület és felhasznált adatok.** Szeged a Dunántúli-dombság, a Dunántúli- és Északi-középhegység, Kárpátalja és az Erdélyi-középhegység, valamint a Bán-sági-hegyvidék és a Tarcál (Fruska Gora) hegyei által körbezárt síkság, az Alföld közepén fekszik, a Maros és a Tisza torkolatánál, a tőle nyugatra elterülő, homokos talajú Kiskunság és a keleten található, szikes, agyagos talajú Körös-Maros köze közötti területen. Tengerszint feletti magassága 75–80 m. Helyi klímájára hatással van a tőle északra található Fehér-tó és a Körtvélyesi Tiszaholtág hűtőhatása, valamint a Vajdaság felől nyaranta gyakran meghatározó időjárást hozó forró déli szél.

Szeged térsége a Köppen-Geiger klímaklasszifikáció alapján a Cfb (meleg-mérsékelt) klímaosztályba sorolható (Kottek et al., 2006). Az évi középhőmérséklet 10–12 °C körül alakul, míg az évi csapadékösszeg jellemzően 500 mm körüli. A magasnyomású képződmények nyári évszakra jellemző dominanciája és a medence hatás erőssége következtében a napsütéses órák száma rendkívül magas (évi átlagban 2000 óra feletti), a nyári hónapok túlnyomó időszakában a helyi hatások a meghatározók. Mindez kedvez a városi hősziget-jelenség kialakulásának. A Tisza parti település hazánk harmadik legnépesebb városa, lakossága 172 ezer fő. A megyei jogú város teljes területe 281 km<sup>2</sup>, ám a beépített terület ennél jóval kevesebb. A különböző városrészeket körutak és sugárutak határolják. A Tisza Lajos körút által meghatározott területet Szeged belvárosának tekintjük, ahol jellemzően irodaházak, üzletek, bérházak és oktatási célokat ellátó épületek találhatóak. A város külső részei felé haladva a bérházakat egyre inkább lakótelepek (pl. Tárján, Felsőváros), családi házak (pl. Újszeged), illetve kertés házak (pl. Móraváros) váltják fel. Ipari területek, logisztikai centrumok különösen a város külső területein és a pályaudvar környékén vannak. 2014 tavaszától egy 24 állomásból álló (22 városi és 2 vidéki) városklímamérőhálózat üzemel Szeged termikus viszonyainak minél részletesebb detektálása érdekében (Unger et al., 2015 – 1. ábra). A mérőpontok úgy lettek kijelölve, hogy termikus, sugárzási és geometriai mérőszámaik alapján megfelelően reprezentálják néhány 100 m sugarú, viszonylag homogén környezetüket. További fontos szempont volt, hogy a hálózat a Stewart and Oke (2012) által bevezetett lokális klímazónák (LCZ) rendszerére is reprezentatív legyen (Leleovics et al., 2014). Az állomások szenzorai sugárzásvédő ernyőben elhelyezve, 4 m magas lámpaoszlopokon kerültek rögzítésre. Az eszközök 1 percenként mérnek hőmérsékletet (10–60 °C között 0,2 °C pontossággal) és relatív nedvességet (10–90% között 1,8% pontossággal), és ezeket az információkat küldik tovább a központi szervernek. Ezzel nagy felbontású mérési adatgyűjtő rendszer biztosított a modelleredmények értékeléséhez. A validációhoz rendelkezésre álló adatsor szemléltetésére a 2. ábrán bemutatunk egy tipikus hőmérsékleti menetet, amely a nyári napokra jellemző abban az esetben, ha azt sem csapadék tevékenység, sem fronthatás, sem egyéb nagytérségű változás nem zavarja meg. A belvárosi Bartók tér (BAR) és az OMSZ Bajai úti állomásán (HMS) mért adatok – legalábbis az éjszakai, hajnali órákra jellemző meleg és a délelőtti órákban szokásos negatív hősziget tekintetében – mintegy burkoló görbe módjára fogják közre az egyes állomásokon mért szürke pontozott vonallal reprezentált értéke-

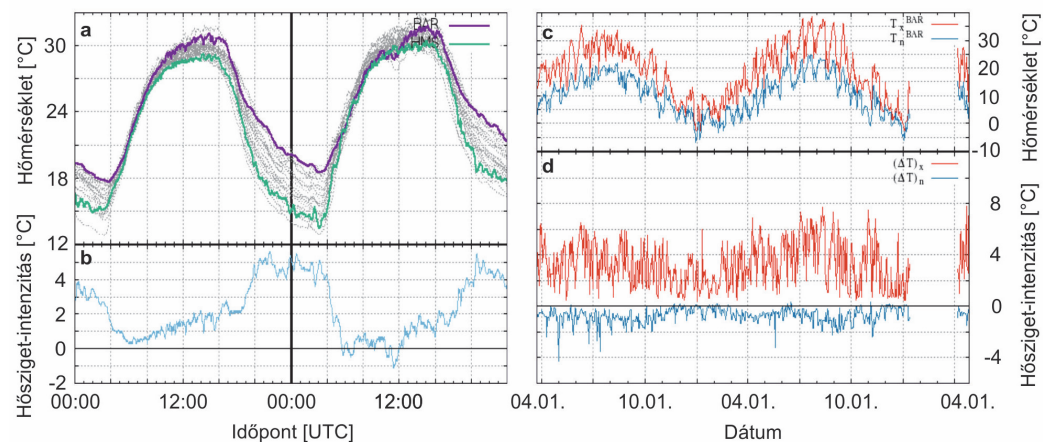


1. ábra: A városklíma mérőhálózat állomásai

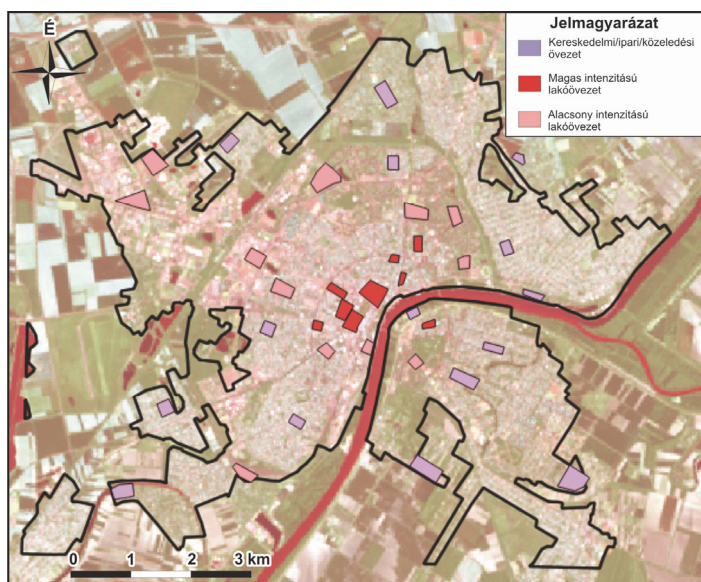
ket. Ennek okán a továbbiakban egy adott időpontra jellemző városi hősziget-intenzitás mérőszámaként a fent említett állomások  $\Delta T$  hőmérsékletkülönbségét értjük. Ennek értéke nyáron jellemzően 3–5 °C körüli, de elérheti a 6–8 °C-ot is. Maximumát napnyugta után általában 4–6 órával veszi fel, délelőtt gyakoriak az 1–2 °C negatív értékek (Unger et al., 2015).

**A modellezési eljárás.** A mesterséges környezet időjárás-módosító hatásának modell vizsgálatához az NCAR Weather Research and Forecasting (WRF) közösségi időjárás-modelljét választottuk. Ennek oka a modell és bemenő adatainak hozzáférhetősége, jól dokumentáltsága és az összehasonlító vizsgálatok széles skálája mellett az is volt, hogy annak konfigurálhatósága nagymértékben hozzájárul a kutatási feladathoz, és hogy rendelkezik kifejezetten a városi környezet modellezésére fejlesztett felszín-parametrizációs lehetőséggel. WRF leírása és konfigurációs lehetőségeinek bemutatása már számos korábbi tanulmányban látott napvilágot (Skamarock et al., 2008; Gyöngyösi et al., 2012), itt csak a városi felszín leírására használt modellre kívánjuk felhívni a figyelmet.

Vizsgálatainkat a Kusaka et al. (2001) által kidolgozott egyrétegű tetőszint modellre (Single Layer Urban Canopy Model, SLUCM) korlátoztuk, hiszen a rendelkez-



2. ábra: Az egyes állomásokon mért hőmérsékleti értékek (a) és a hősziget-intenzitás (b) jellemző napi menete egy zavartalan nyári napon, 2015. június 2-3-án. A napi maximum és minimum hőmérsékletek menete a belvárosban (c) és a hőmérséklet-különbség napi maximuma és minimuma (d) 2014 áprilisa (a mérőhálózat üzemelésének kezdete) és 2016 áprilisa között



3. ábra: A Landsat 8 megfigyelése alapján előállított kompoziton elhelyezett tanulóterületek

zésre álló adatok ehhez a modellhez kapcsolódó paraméterek térbeli vizsgálatát tették csak lehetővé. Az SLUCM egymást követő, végtelen hosszú ún. városi kanyonok sorozatával írja le a felszínt. A modell figyelembe veszi a kanyonok tájolását, a rövid- és hosszuhullámú sugárzás visszaverődését vagy elnyelődését és az árnyékolás hatását az épületek között. Prognosztikus változói közé sorolható a tető, a fal és az út felszínhőmérséklete vagy a tetőszint magasságában uralkodó szélirány és szélesebség. Ahhoz, hogy a modell megfelelően reprezentálja a felszíni viszonyokat, a bemenő időjárási adatok mellett a statikus felszíni információk (talaj- és felszínhasználat), valamint a felszínparaméterek pontos ismerete is kulcsfontosságú. Éppen ezért végrehajtottuk a modell fentiek szerinti adaptálását, majd a 2015. év nyári időszakára integrálásokat végeztünk, hogy összevegyük azokat a mért adatokkal.

**A statikus adatbázis.** A WRF modell alapértelmezett USGS felszínborítási adatbázisában (ez hozzávetőlegesen 900 m-es vagy 30 ívmásodperces felbontású) Szegedet 27 városi felszín típusához tartozó rácspont fedi le, míg a CORINE adatbázis alapján ez a szám 86, amiben nincsenek benne a környező településekhez tartozó rácspontok, csak az egybefüggő szegedi területek. Pontosítási lehetőséget ad a modell számára, ha az egyszerű városi felszínosztályozás helyett egy specifikus beépítettségi kategorizálást alkalmazunk. Ezt a CORINE adatbázis önmagában nem teszi lehetővé, ezért további műholdas információkat kellett igénybe venni. Erre a Landsat 8 napszinkron pályán keringő műhold képeit találtuk a legoptimálisabbnak, ugyanis ez a produktum igen nagy felbontású (1 ívmásodperc, ami körülbelül 30 méter) és havi két időpontra érhető el. Olyan napot választottunk, amikor az áthaladás során – az adott képpont esetében – a felhőborítottság elhanyagolható volt. A kilenc különböző időpontra vonatkozó műholdképekből a két rövidhullámú infravörös és a vörös sáv megfigyeléseit használtuk fel. Ezekből hamis-szín kompozitot készítettünk,

melyen jól detektálhatóak a mesterséges felszínelemek, majd tanulóterületeket határoztunk meg a klasszifikációhoz (3. ábra). A tanulóterületek kiválasztásánál alapvető szempont volt, hogy megfelelően reprezentálják az adott városi terület karakterisztikáit, és azokat hozzávetőleg azonos mértékben fedjék le. A kijelölés alapját a helyszíni megfigyelések és a korábbi szegedi városklíma vizsgálatok tapasztalatai képezték. A tanulóterületeket felhasználva létrehoztunk egy ún. *signature* állományt, mely az elemi részek alapterületét, a lefedő pixelek számát vagy például a területet jellemző spektrális tulajdonságokat tartalmazza. A klasszifikációhoz az ún. maximum likelihood osztályozást választottuk (Ahmad and Quegan, 2012), mely a csoportok képpontjaira jellemző szórásokon és kovarianciákon alapul, és viszonylag egyszerű algoritmusa miatt gyors számítást biztosít. Mivel az így kapott felszínhasználat felbontása jóval finomabb, mint az alapértelmezetté (1, szemben a 30 ívmásodperccel), ezért minden egyes 30×30-as méretű új kategóriacsoportból ki kellett választani azt a legvalószínűbb (azaz a leggyakoribb) kategóriát, ami az eredeti felbontáson a módosított felszínhasználati adatbázisban meg fog jelenni. Végrehajtva ezt az eljárást, azt kaptuk, hogy a modell futtatásánál alkalmazott legfinomabb felbontású, 400 m-es rácson a rácspontok 6%-a (16 rácspont) sorolható a kereskedelmi/ipari/közlekedési, 21%-a (63 rácspont) a magas intenzitású lakóövezet, míg 73%-a (222 rácspont) az alacsony intenzitású lakóövezet kategóriába. Ezzel az eljárással az alapértelmezett USGS vagy CORINE adatbázisokhoz képest tehát egy jóval sokszínűbb és pontosabb városi felszínosztályozási adatbázis állt rendelkezésünkre.

**Az egyrétegű városi tetőszint modell paramétereinek módosítása.** A modell paramétereinek alapértelmezett értékei között megtalálhatóak termodinamikai jellegű változók (pl. albedó, hőkapacitás, hővezető képesség) és geometriai típusúak (pl. épületmagasság, városi felszín aránya, útszélesség) egyaránt. A modell négy városi felszín-típust különböztet meg, mindegyik típushoz más-más paramétereket rendel hozzá. A Kusaka et al. (2001) által publikált eredeti és az általunk módosított változók értékeit az 1. táblázat tartalmazza. A táblázatban nem közölt paramétereket változtatlanul hagytuk, mivel azok megfelelnek a helyi sajátosságoknak vagy nem rendelkezünk jobb ismerettel. A paraméterek megváltoztatásához 5 m-es felbontású RapidEye műholdkép és épület adatbázis állt rendelkezésünkre. A műholdképek feldolgozása során a látható tartományú sávok segítségével kiszámított reflektanciákból albedó értékeket származtattunk, a vörös és közeli infravörös sávok reflektanciáinak megfelelő kombinációjával pedig a vizsgált terület NDVI (Normalizált Vegetációs Index) térbeli eloszlása vált ismertté. Egy adott térrészhez meghatározott küszöbértékek (pl. mesterséges felszín:  $0,0 < NDVI < 0,2$  – Sobrino et al., 2004) hozzárendelésével a beépített területek tipikus mintázata is kirajzolódott. A következő lépésben a felszínhasználati információkat vektoros formátumba kellett konvertálni, majd a már meglévő módosított CORINE városi kategóriákhoz hozzákapcsolni. Ez Szegedet lefedő elemi városi felszínkategória poligonokat eredményezett,



melyek a különböző típusú információkat (pl. albedó, beépítettség stb.) tartalmazzák. Területi átlagokat képezve az egyes poligonokra, majd azokat kategória szerint összegezve, rendelkezésünkre álltak az adatok városi kategória szerinti új értékei (1. táblázat). Az út- ( $r$ ) és tetőszélesség ( $R$ ) kiszámításához ismernünk kell az egyes városi osztályok összterületét ( $T_{ox}$ ), az adott osztályba tartozó épületek összterületét ( $T_{bx}$ ), az adott osztályra jellemző nem beépített összterületét (a  $T_{ox}$  praktikusán az előző kettő különbsége), az adott osztályban lévő épületek számát ( $N_x$ ), valamint a már korábban meghatározott (kategória szerinti) átlagos épületmagasságot ( $M_x$ ). Tég-lalap alakú városi kanyont feltételezve, az útszélességre az

$$r = T_{ox}/M_x/N_x$$

míg a tetőszélességre az

$$R = T_{bx}/M_x$$

összefüggéseket alkalmazhatjuk. Szembetűnő, hogy az új paraméterek szinte mindhárom osztályban alacsonyabb értékekkel rendelkeznek az alapbeállításokhoz képest.

1. táblázat: A városi kategóriákra jellemző alapértelmezett (záró-jelben) és módosított WRF-SLUCM paraméterek

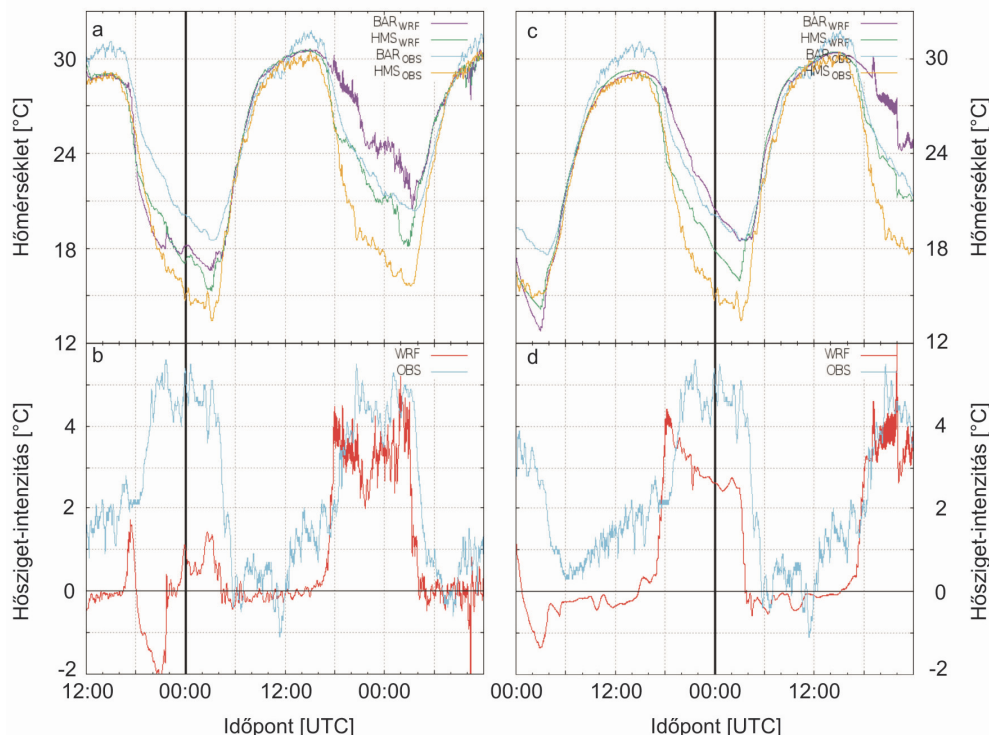
Paraméter	Alacsony intenzitású lakóövezet		Magas intenzitású lakóövezet		Kereskedelmi /Ipari/Közlekedési övezet	
	Érték	(Érték)	Érték	(Érték)	Érték	(Érték)
Épület magasság, m	6,00	(5,00)	6,00	(7,50)	6,00	(10,00)
Tetőszélesség, m	5,50	(8,30)	5,50	(9,40)	6,20	(10,00)
Útszélesség, m	5,50	(8,30)	5,50	(9,40)	6,20	(10,00)
Mesterséges felszín aránya	0,40	(0,50)	0,60	(0,90)	0,70	(0,95)

Megállapítható továbbá, hogy az összes kategóriában átlagosan 6 m magasak Szeged épületei, kizárólag az alacsony intenzitású lakóövezetben haladta meg az átlagos magasság az eredetileg megadott számot (5 m). Az épületmagasságnál tapasztalható változásoknak szerepe lehet a sugárzasi egyenlegben, hiszen az átlagosan alacsonyabb épületek kevésbé árnyékolnak nappal, valamint kevésbé reflektálhatják a rövid- és hosszuhullámú sugárzást, azaz a módosítások következtében a modell nappal melegebbé, éjszaka hidegebbé válhat a városi tetőszint magasságában.

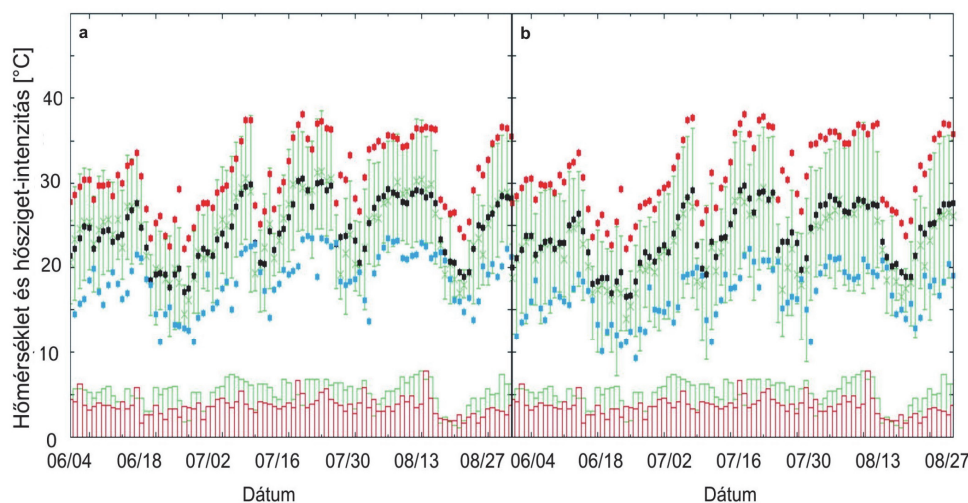
A tető- és útszélességre – kategóriánként megegyezően – 5,5, 5,5 és 6,2 m értékek adódtak, ami markáns csökkenést jelent. A mesterséges felszínborítottságban is hasonló tendencia figyelhető meg, mindez pedig párhuzamosan a természetes (vegetációs) felszínborítottság arányos emelkedését okozza a modellben. Ennek fizikai következménye az energiaelosztásban jelentkezhet: a mesterséges anyagokban nappal tárolódott belsőenergiából kevesebb melegíti a felszín közeli légrétegeket az éjszakai órákban, illetve nappal fokozódhat a növényzet párologtatása, ezzel növelve a felszín látens hő kibocsátását (csökkenő Bowen-arány), ami összességében szintén a városi hőtöbblet ellen dolgozik. A fal, az út és a tető albedója nem változott, elfogadtuk az alapértelmezett 0,2-es értéket.

**Modell beállítások.** Futtatásaink során a modell legújabb 3.8.1-es verzióját alkalmaztuk, amely még a korábbi változatoknál is fejlettebb és könnyebben alkalmazható városi parametizációs opciókat tartalmaz. A modell meteorológiai bemenetét három óránként a GFS negyedfokos felbontású globális adatai szolgáltatták. Ennek megfelelően 10 km-es rácsfelbontást és kétszeres beágyazást választottunk 1:5 arányban. Ennek köszönhetően a legfinomabb, d03 tartomány felbontása mindössze 400 m. Az egyes fizikai folyamatok tekintetében a felbontásnak megfelelő és az SLUCM felszín-parametizációval kompatibilis parametizációk lettek alkalmazva: RRTMG rövid- és hosszuhullámú sugárzás, módosított MM5 felszínközeli réteg és Noah talajfelszín, valamint BouLac határreteg-parametizációt. A mély konvekciót Kain-Fritsch sémával vettük figyelembe 2 km-es felbontásig. Különböző felbontással és beágyazási szintekkel végrehajtott érzékenységi vizsgálatok és esettanulmányok azt mutatták, hogy míg 10 km-es felbontás mellett gyakorlatilag nem jelentkezik városi hatás a kimenő adatokban, addig a harmadik, 400 m-es felbontású tartomány alkalmazása az egyszeres, legfeljebb 2 km-es felbontású beágyazással szemben, nem hoz látványos javulást Szeged városi hőszigetének szimulációjában. A különböző felfutási idővel (spin-up) indított vizsgálatok azonban mind arra engednek következtetni, hogy látványos és a mérésekhez közeli városi hősziget-hatás csak a modell futtatásának második napja éjszakáján detektálható. Erre jellemző a 4. ábrán illusztrált példa, ahol látható, hogy az UTC 00 órakor indított futtatás első éjszakáján gyakorlatilag nem jelentkezik a hősziget-hatás a modell szerint, míg a második éjszaka folyamán ez már jelentős, és a mért értéket megfelelően közelíti. Ugyanezt tapasztaljuk abban az esetben is, ha a futtatást nem éjfélkor, hanem délben indítjuk. A városi területekre kapott hőmérsékleti kimenetek másik jellemző tulajdonsága, hogy azok a napi maximumot követő hűlési időszakban rendkívül zajosak lesznek. A hőmérséklet menetében többfokos, sűrű, egy percnél rövidebb periódus idejű ingadozásokat lehet megfigyelni az integrálási időközökben kiírt pontonkénti értékekben. Ennek a nyilvánvalóan numerikus okból jelentkező zajnak a kiszűrésére a hőmérsékleti adatokból egyperces átlagokat képeztünk, és ezeknek a különbségét vettük figyelembe, illetve ezeket vetettük össze a mért adatokkal. A példaként a 4. ábrán bemutatott modellezett hőmérsékleti diagramon már az egyperces átlagokkal megjelenített értékek szerepelnek, de még ezek esetében is felfedezhető a zaj a lila színű (BAR<sub>WRF</sub>) görbe második napi 18 és 24 óra közötti szakaszán. Fentiek alapján 24 óránként indított, egyenként 48 órás futtatásokat hajtottunk végre, melynek első 24 óráját a feldolgozások során figyelmen kívül hagytuk, és egyperces átlagos értékeket dolgoztunk fel.

**Eredmények és további tervek.** A modellt 2015. év teljes nyári időszakára futtattuk le. Megvizsgáltuk a napi átlag, maximum és minimum hőmérsékleti értékek alakulását a Bartók tér és az OMSZ Obszervatórium közelében található rácspontra, valamint a két hőmérséklet különbségének maximumát (5. ábra).



4. ábra: A mért (OBS) és modellezett (WRF) hőmérsékleti menetek 12 (a) és 24 (c) órás felfutási idővel a belvárosi Bartók tér (BAR), illetve az OMSz Bajai úti meteorológiai állomásán (HMS), valamint a két állomás alapján számított hősziget-intenzitás alakulása hasonlóan 12 (b) és 24 (d) órás felfutási idővel



5. ábra: A mért és modellezett hőmérsékleti értékek a belvárosban (a) és a külterületen (b). A mért napi átlagos, maximum és minimum értékeket a zöld vonal szemlélteti, míg a modell által szolgáltatott napi átlagot a fekete, a maximumot a piros, a minimumot pedig a kék pontok jelzik. A diagram alján a mért (zöld) és modellezett (piros) napi legnagyobb hősziget-intenzitás értéke került feltüntetésre

Összességében elmondható, hogy a külterületeken a modell általában jól teljesít a napi minimumra vonatkozóan és kicsit meleg a maximum tekintetében, ellenben a belvárosra vonatkozó modell eredmények rendre elmaradnak a minimumok környékén. Ez okozza a hőszigetbecslésre vonatkozó szisztematikus negatív torzítást. A modell ilyen jellegű hibája különösen azokra a napokra jellemző, amikor a megfigyelt hősziget-intenzitás 5 °C feletti (például július első és harmadik hetében vagy augusztus elején és végén), hiszen a modell általában

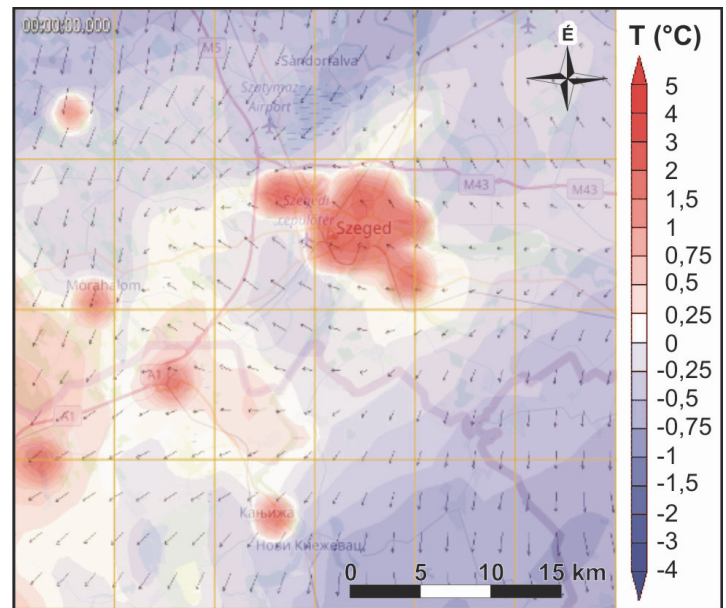
ilyenkor is csupán 2–3 °C intenzitást adott. Azokban az időszakokban, amikor egyéb hatás (tartós csapadék vagy fronttevékenység) miatt a hősziget-intenzitás alacsony, a modell hibája is jóval kisebb. A teljes három hónapos időszak alatt a modell csak négy esetben adott a megfigyeltnél 1–2 °C-kal magasabb hőmérséklet különbséget: június 2-án és 14-én, július 18-án, valamint augusztus 14-én. Ezeket az eseteket megvizsgálva az látható, hogy a modellezett intenzitás rövid ideig tartó, kiugró értékei adták a mértől magasabb maximális értékeket, de az időben simított adatokkal nem jelentkezik túlbecslés ezekben az esetekben sem. A városi hősziget-intenzitás térbeli eloszlását a külvárosban lévő OMSZ állomáshoz legközelebb eső és a többi rácsponthoz hőmérsékletkülönbsége alapján definiáltuk. A hősziget jellegzetes eloszlását egy 2015. június 3. éjféli térképen mutatjuk be (6. ábra), amelyen Szeged és Kiskundorozsma mellett meleg területként a környező települések (pl. Üllés, Mórahalom, Magyarkanizsa, Horgos és Hajdújárás) pozitív hőmérsékleti anomáliái is jól kirajzolódnak. Szembetűnő még a módosított felszínhasználati- és városi tetőszint-parametrizáció hatása is az intenzitás alakulásában, hiszen míg az alapértelmezett statikus adatbázissal leírt kisebb méretű és kevesebb lakosú településeken az intenzitás rendre 2–3 °C, addig a megváltoztatott paraméterekkel jellemzett Szeged esetében – térben jelentősebb szórást mutatva – ez az érték már 4–5 °C. Az első eredmények biztatóak, hiszen látszik, hogy a modell alkalmas a városi környezet sajátosságainak szimulálására. Jól adja vissza a térbeli mintázatot és az időbeli menetet zavartalan időjárási helyzetben, amikor elsősorban a helyi hatások alakítják a hőmérsékleti viszonyokat. A referencia futtatás további elemzésével igyekezünk felderíteni a mérésektől való szisztematikus eltérések okát és a

hibák lehetséges csökkentésének irányát. Az antropogén kibocsátás becslésével kísérletet teszünk az összetettebb városi felszínparametrizációk (BEP, BEM – *Martilli et al.*, 2002; *Salamanca et al.*, 2010) alkalmazására is. Meg kívánjuk vizsgálni annak a lehetőségét is, hogy az LCZ kategóriák alapján további városi felszínparametrizációkat definiálva a modell teljesítménye növelhető-e. További elemzések szükségesek annak eldöntésére, hogy esetleg más sugárzási- vagy felszínparametrizációs sémák választása nem javítja-e a modell jóságát. A mérési adatok modellbe történő asszimilációjával vagy a kimenő adatok utófeldolgozásban való alkalmazásával megkíséreljük a városi hőszigetet még pontosabb reprezentálását. A középtávú cél egy olyan modellrendszer kialakítása, amely valós időben képes a hőterhelés prognosztizálására Szeged térségében.

**Köszönetnyilvánítás.** A tanulmány összeállítását az NKFIH (K-111768), valamint az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-IKT/147-1787/8/2016-ÖSZT-114 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programja támogatta.

### Irodalom

- Ahmad, A. and Quegan, S.*, 2012: Analysis of maximum likelihood classification on multispectral data. *Applied Mathematical Sciences* 6, 6425–6436.
- Gyöngyösi, A. Z., André, K., Horányi, A., Mile, M., Szépszó, G., Tasnádi, P. és Weidinger, T.*, 2012: Numerikus meteorológiai modellfuttatások az ELTE Meteorológiai Tanszéken. *Légkör* 57, 177–183.
- Grawe, D., Thompson, H. L., Salmond, A. J., Cai, X. M. and Schlünzen, K. H.*, 2013: Modelling the impact of urbanisation on regional climate in the Greater London Area. *International Journal of Climatology* 33, 2388–2401.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. and Rubel, F.*, 2006: World map of the Köppen-Geiger climate classification update. *Meteorologische Zeitschrift* 15, 259–263.
- Kusaka, H., Kondo, H., Kikegawa, Y. and Kimura, F.*, 2001: A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: Comparison with multi-layer and slab models. *Boundary-Layer Meteorology* 101, 329–358.
- Martilli, A., Clappier, A. and Rotach, M. W.*, 2002: An urban surface exchange parameterization for mesoscale models. *Boundary-Layer Meteorology* 104, 261–304.
- Lelovics, E., Unger, J., Gál, T. and Gál, C. V.*, 2014: Design of an urban monitoring network based on Local Climate Zone mapping and temperature pattern modelling. *Climate Research* 60, 51–62.
- Salamanca, F., Krpo, A., Martilli, A. and Clappier, A.*, 2010: A new building energy model coupled with an urban canopy



6. ábra: A városi hősziget-intenzitás jellemző éjszakai eloszlását példázó kép 2015. június 3-án éjjélkor. A vektorok a 10 m-en jellemző szél irányát és sebességét mutatják

- parameterization for urban climate simulations—part I. formulation, verification, and sensitivity analysis of the model. *Theoretical and Applied Climatology* 99, 331–344.
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X. Y., Wang, W. and Powers, J. G.*, 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3. *NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR*, pp. 113
- Skarbit, N. and Gál, T.*, 2016: Projection of intra-urban modification of night-time climate indices during the 21st century. *Hungarian Geographical Bulletin* 65, 181–193.
- Stevance, A. S., Mengel, J., Young, D. and Glaser, G.*, (eds) 2015: Review of the Sustainable Development Goals: The Science Perspective. *International Council for Science (ICSU), Social Science Council (ISSC)*, Paris pp. 92
- Stewart, I. D. and Oke, T. R.* 2012: Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bulletin of American Meteorological Society* 93, 1879–1900.
- Unger, J., Gál, T., Csépe, Z., Lelovics, E. and Gulyás, Á.*, 2015: Development, data processing and preliminary results of an urban human comfort monitoring and information system. *Időjárás* 119, 337–354.
- United Nations*, 2014: World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. *Department of Economic and Social Affairs, Population Division*, pp. 32
- URBAN-PATH Project*, 2014: Evaluations and Public Display of Urban Patterns of Human Thermal Conditions. <http://urban-path.hu/>