

SZEGEDI VÁROSKLÍMA MÉRŐÁLLOMÁS-HÁLÓZAT ÉS INFORMÁCIÓS RENDSZER

URBAN CLIMATE MEASUREMENT NETWORK AND INFORMATION SYSTEM IN SZEGED

Unger János, Skarbit Nóra, Gál Tamás

SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Szeged, Egyetem u. 2., unger@geo.u-szeged.hu

Összefoglalás. Tanulmányunk bemutatja a 24 elemű szegedi városklíma mérőállomás hálózat és információs rendszert, amely 2014-ben lett kialakítva az URBAN-PATH projekt keretében, párhuzamosan az Újvidéken (Szerbia) kiépített hálózattal, valamint néhány példával szolgál a feldolgozott adatokkal kapcsolatban. Az állomások elhelyezésénél a legfontosabb szempont az volt, hogy azok megfelelően reprezentálják a városban előforduló lokális klímazonákat (LCZ). A hálózat adatai az információs rendszeren keresztül online elérhetők diagramok és térképek formájában. Vizsgálatunk az LCZ-k közötti termikus különbségekre irányul egy egyéves időszak adatbázisának felhasználásával. Emellett a városi hősziget-mintázat dinamikáját is bemutatjuk egy – ideális időjárási feltételekkel jellemzett – éjszakán.

Abstract. This study presents the 24-element urban climate measurement network and information system in Szeged which was implemented in 2014 within the framework of URBAN-PATH project together with a similar network in Novi Sad (Serbia) and gives some examples of its processed data. The main aim of station sitting process was to provide that the network represents the different local climate zones (LCZ) in the city. The data of the network are available online through the information system in the form of diagrams and maps. Our present investigation focuses on the thermal differences between the LCZ-s based on a one-year dataset. In addition, the dynamics of the urban heat island pattern is also presented at a night with ideal weather conditions.

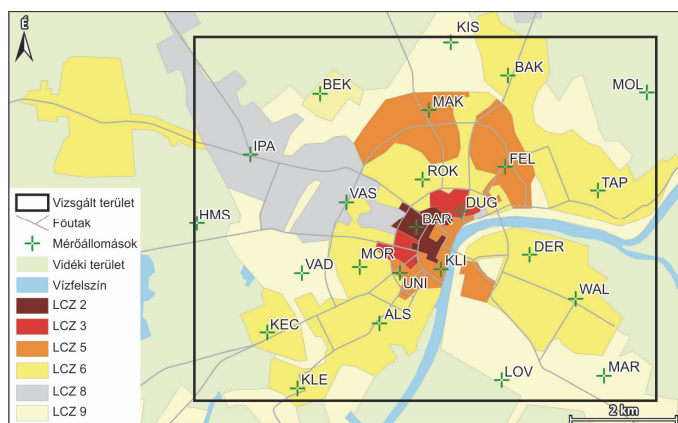
Bevezetés. Az URBAN-PATH EU-projekt keretében Szegeden és a szerbiai Újvidék (Novi Sad) városában két, 24 ill. 27 elemből álló városklíma állomás-hálózat és hozzájuk kapcsolódó információs rendszer létesült 2014-ben, amely folyamatosan regisztrálja a léghőmérséklet (T) és légnedvesség (RH) értékeit és az interneten online módon – feldolgozott formában (térképek, grafikonok) – meg is jeleníti őket (URBAN-PATH Project, 2014; Unger et al., 2014, 2015). A két rendszer összefügg és felépítésük alapvetően hasonló, ezért csak a szegedi ismertetésére térünk ki.

legyen; (2) egy adott LCZ-ben a számuk közel arányos legyen a zóna területével; (3) a hely a zóna szélétől megfelelő távolságra legyen (legalább 2–300 m); (4) a kiválasztott állomás-konfiguráció megfelelően adja vissza azt az átlagos hősziget (ΔT) mintázatot, amit a Balázs et al. (2009) által kifejlesztett empirikus modell generál; (5) a hely mikro környezetének elemei reprezentatívak legyenek az adott zónára nézve; (6) a hely biztonságos (rongálás, lopás elkerülése) és alkalmas legyen a mérőeszköz rögzítésére, árammal való ellátására.

A szempontok közül az utolsó (6) praktikus kérdéseket vetett fel. Városi környezetben adódik a lehetőség, hogy a közvilágítás kandelábereit vagy a villanyoszlopokat alkalmazzuk erre a célra. Az áramellátás ezeken a helyeken adott, és 4 m magasan elhelyezve, a rongálásoktól is viszonylag védettek lesznek a műszerek. Noha a szabványos műszermagasság 2 m, azonban az utca(kanyonban) a levegő jól elkeveredett, így a 4 m-en mért értékek megfelelően reprezentálják az utcaszintű (1,5–2 m) értékeket (Nakamura and Oke, 1988). A külterületi állomásokat természetesen 2 m magasan helyeztük el (Unger et al., 2015).

Az állomások pontos helyeit terepbejárásokat követően véglegesítettük, melyek során számos, nem klimatológiai jellegű probléma adódott (pl. nem voltak villanyoszlopok a kiszemelt környéken). A fenti szempontok lehetőség szerinti figyelembevételével – amiket nem mindig sikerült maradéktalanul teljesíteni az említett problémák miatt – 21 állomás került a hat beépített jellegű zóna területére (LCZ 2, 3, 5, 6, 8 és 9), valamint kettő a nem városias jellegű LCZ D-be (HMS, MOL – 1. ábra).

A hálózathoz adatokat szolgáltat az OMSZ által üzemeltetett két állomás is. A hivatalos szegedi állomás, amelynek műszerkörtjében van a hálózat HMS egysége, globálsugárzás (G) és szélesség (v) adatokkal járul hozzá a rendszerhez. A másik, az egyetemen lévő OMSZ állomás a hálózat UNI állomásaként a 24. egységet jelen-



1. ábra: Az URBAN-PATH állomáshálózat elemeinek elhelyezkedése és az LCZ típusok területi eloszlása Szegeden és környékén (Skarbit et al., 2017)

A hálózat kialakítása. Városi mérőhálózat telepítése a felszín nagyfokú összetettsége és változatossága miatt nem egy egyszerű és egyértelmű feladat. Jelen esetben az állomások elhelyezésének/felszerelésének szempontjait a következőkben lehet összefoglalni (1. ábra, Lelovics et al., 2014): (1) a vizsgált területen előforduló hét lokális klímazona (LCZ – Stewart and Oke, 2012) képviselve



2. ábra: Példák a különböző LCZ-k területén elhelyezett állomások környezetének látképére és légifotójára (a sárga körök sugara 250 m)

tí (1. ábra). Így, a beépített jellegű LCZ-kben lévő 22 állomás szám szerinti megoszlása a következő:

- LCZ 2, kompakt-közepes (0,63 km²) – 1 állomás
- LCZ 3, kompakt-alacsony (0,67 km²) – 1 állomás
- LCZ 5, nyitott-közepes (4,35 km²) – 4 állomás
- LCZ 6, nyitott-alacsony (19,63 km²) – 10 állomás
- LCZ 8 könnyűszerkezetű-alacsony (5,91 km²) – 2 állomás
- LCZ 9, alig beépített (15,32 km²) – 4 állomás

A 2. ábra néhány állomás mikro- és tágabb környezetét szemlélteti egy-egy utcaszinti fénykép, ill. légi fotó segítségével. Ezen állomások 250 m sugarú környezetének felszínére vonatkozó (meta-)adatokat az 1. táblázat foglalja össze (Skarbit et al., 2017).

Mérőeszközök és elhelyezésük. Az oszlopokra 4 m magasan – 60 cm-re kinyúló konzolra – rögzítve egy fehér, üvegszálal anyagból készült sugárvédő ernyővel ellátott Sensirion SHT25 szenzor szolgáltatja a mérési adatokat (T, RH) (3. ábra). A szenzor pontossága 10–60 °C között 0,2 °C (T) ill. 10–90% között 1,8% (RH). A

konzol tövében két doboz található, a felsőben van a vezérlő elektronika, az adatgyűjtő kártya (microSD), a GPRS/EDGE/3G modem, valamint az akkumulátor és a töltő. Az alsó doboz kiegészítő része a mérőállomásnak, a benne elhelyezett kismegszakítóra csak az elektromos hálózathoz történő szabványos csatlakozás miatt van szükség. Három mérőállomás (HMS, MOL, UNI) nem közvetlenül az áramszolgáltató hálózatára csatlakozik, hanem egyedi úton került megoldásra az áramellátásuk, így esetükben hiányzik a lenti doboz (Unger et al., 2015). Az akkumulátorokra azért van szükség, mert a műszerek egy része (8 db) közvilágítási kandeláberre került, amelyek áramellátását a nappali órákban központilag lekapcsolják. Az állomások – a központi szerver által rendszeresen szinkronizált – rendszerideje UTC. Percenként mérik a paramétereket és mobilinternet kapcsolatán keresztül 10 percenként küldik az adatokat a szervernek, bizonyos kiegészítő információkkal (töltöttségi szint, dobozon belüli hőmérséklet, a szenzor állapota) együtt. Ha valamiért megszakad a kapcsolat, akkor az állomás később ismételt megkísérli az adattovábbítást (addig, míg az



3. ábra: Néhány példa a mérőállomások elhelyezésére
(a) acél és (b) beton kandelláberen, illetve
(c) beton és (d) fa villanyoszlopon

eredményes nem lesz). Ha a töltöttségi szint alacsony, akkor – energiatakarékosság céljából – az állomás megnöveli az adattovábbítások közötti időt vagy fel is függeszti azt annak érdekében, hogy a mérések zavartalanul folytathassanak.

Az adatok online megjelenítés hátttere. A beérkező adatok a www.urban-path.hu honlapon diagramok és térképek formájában megtekinthetők, amit egy összetett automatizált rendszer biztosít (Unger et al., 2015). A beérkező adatokat (T, RH) egy Python nyelvű szkript fogadja. Az első lépés a T és RH értékek alapján a gőznyomás (e) és a harmatpont (T_d) kiszámítása. Ezt követően az összes adatot a program naponta és állomásonként külön-külön szöveges állományban tárolja, azért, hogy a nyers adatokról még a szerver meghibásodása esetén is legyen egy könnyen megmenthető biztonsági másolat. Ezzel párhuzamosan az adatok egy MQL adatbázisba is bekerülnek, amelyben a további számítások és az online felület számára sokkal gyorsabban és könnyebben elérhetőek. A feldolgozás az adatok megérkezését követően azonnal megindul egy Java nyelvű program segítségével, mely először a két OMSZ állomás adatait (T, RH, G, v) az SZTE Éghajlattani Tanszékén működő másik szerverről ftp kapcsolaton keresztül átmásolja. Ezután kiszámítja a 10 perces átlagokat és tárolja ezeket a MySQL adatbázisban. Amennyiben az adott időpont egész órára esik,

1. táblázat: A 2. ábrán szereplő állomások 250 m-es környezetének meta-adatai (SVF: égboltláthatóság; HRE: érdekességi elemek magassága; BSF: épület alapterület arány; ISF: vízzáró felszín arány; PSF: vízáteresztő felszín arány)

LCZ	Állomás-név	SVF	HRE (m)	BSF (%)	PSF (%)	ISF (%)
2	BAR	0,6	13	36	12	52
3	DUG	0,7	10	31	17	52
5	MAK	0,8	19	10	51	39
5	KLI	0,8	18	19	49	32
5	FEL	0,7	19	15	31	54
6	WAL	0,9	7	16	37	47
8	IPA	0,9	5	12	40	48
9	KIS	0,9	5	5	78	17
D	HMS	0,9	0	0	99	1

2. táblázat: A vizsgálatban alkalmazott hőmérsékleti indexek. A definíciókban a min, max és átlag a napi minimumra, maximumra és középhőmérsékletre; a 21h és 0h a 21 és 0 óra helyi időkor mért hőmérsékletre utal.

	Index	Definíció
Hideg indexek	Fagyos nap	$T_{\min} < 0\text{ °C}$
	Hideg nap	$T_{\text{átlag}} < 0\text{ °C}$
	Téli nap	$T_{\max} < 0\text{ °C}$
	Fűtési nap	$T_{\text{átlag}} < 12\text{ °C}$
Meleg indexek	Meleg nap	$T_{\text{átlag}} > 20\text{ °C}$
	Nyári nap	$T_{\max} > 25\text{ °C}$
	Forró nap	$T_{\max} > 30\text{ °C}$
	Sörkerti nap	$T_{21h} > 20\text{ °C}$
	Trópusi éjszaka	$T_{0h} > 20\text{ °C}$

akkor az órás átlag, ha éjfélre, akkor a napi átlag is kiszámításra kerül és ugyanúgy a MySQL adattáblába rögzítődik. A rendszer egy neurális hálózat segítségével kiszámítja a humán komfortot jellemző PET (*Physiologically Equivalent Temperature*) index értékeit (Höppe, 1999) a 10 perces átlagos T, RH, G és v adatok alapján, majd ezeket is a MySQL adatbázisban tárolja.

A feldolgozó rendszer az adatok térbeli lineáris interpolációját is elvégzi egy 500 m oldalhosszúságú rácstra, felhasználva az állomások koordinátáit is. Az interpoláció egyértelműsége érdekében a mintaterület négy sarokpontjához a legközelebbi külterületi állomás mérési adatait rendeltük hozzá. Az elkészült mezők tíz percenként egy NetCDF formátumú bináris állományba kerülnek, amelyből a későbbiekben bármely időpontra vonatkozóan bármely paraméter eloszlásának térképe kirajzolható. Az online felület egy PHP nyelven elkészített interaktív honlap. Ezen a weboldalon a monitoring rendszerrel kapcsolatos információk mellett a folyamatosan frissülő diagramok és térképek jelentik a lényegi tartalmat. A projekt honlapján a Monitoring Rendszer menüpont alatt érhető el a mérési adatok. A rendszer alapértelmezett megjelenítése két mérőállomás (BAR, MOL) diagramja a megnyitás időpontját megelőző 48 órára vonatkozóan. Azonban a felhasználó ezt módosíthatja, attól függően, hogy mely állomások melyik időszakra vonatkozó melyik paraméterét szeretné megtekinteni. A választás alap-

ján a rendszer kigyűjti a kívánt adatokat a MySQL adatbázisból, majd megrajzolja a diagramot egy PHP program segítségével.

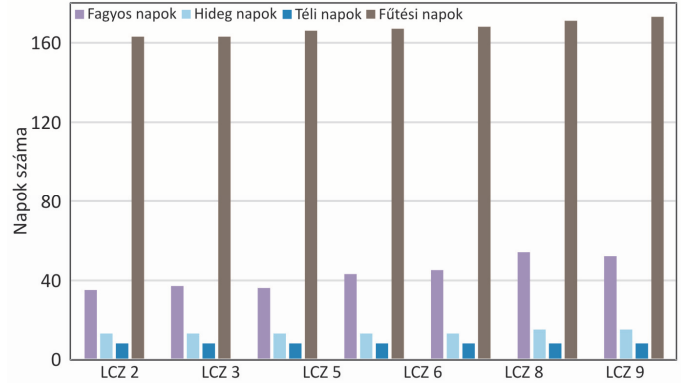
A térképek kirajzolása hasonlóan történik, azonban a folyamat háttere némileg eltérő. Ez esetben az választható ki, hogy mely időpontra vonatkozóan melyik paramétert kívánja a felhasználó megtekinteni. A választott időpont és paraméter ismeretében a honlap lefuttat egy GrADS nyelvű szkriptet, amellyel elkészül egy térkép, ami tartalmazza a NetCDF állományból származó 10 perces mezőt, jelmagyarázatot és alaptérképet is. Ez egy képfájlként kerül tárolásra és a honlap ezt jeleníti meg. Ha egy adott időpontra korábban már készült térkép, akkor ezt a képfájlt tárolja a szerver, így a honlap azonnal meg tudja jeleníteni és nem futtatja újra a térképrajzolást.

A honlapoknál rendkívül fontos információ, hogy mekkora látogatottsággal rendelkeznek. A Google Analytics szolgáltatás alapján a látogatók száma átlagosan 60–150 naponta, és a működés kezdete óta (2014 júniusától 2016 októberéig) összesen több mint 80,000 a világ 133 országából.

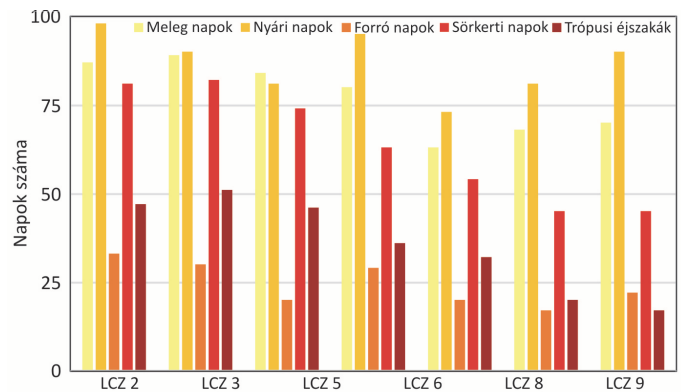
A hálózat adatsorainak kiértékelése: példák a lokális klímazónák termikus különbségeire. Napi hőmérsékleti indexek lokális klímazónák közötti eltérése. Elemzésünk során 4 hideg és 5 meleg körülményeket kifejező hőmérsékleti index LCZ-k szerinti eltéréseit vizsgáljuk (2. táblázat). Ezek az indexek azoknak a napoknak a számát adják meg, amelyek egy bizonyos hőmérsékleti határ alatt, illetve felett vannak egy meghatározott időszakban. A hideg hőmérsékleti indexek esetében (4. ábra) a tendencia egyértelmű. A beépített klímazónáktól a természetes felszín felé haladva a napok száma nő, azaz az LCZ 9 és D esetében több napot találunk, mint LCZ 2 vagy 3-ban. A legnagyobb különbség a fagyos napok esetében van, ahol 17 nap az eltérés LCZ 2 és LCZ D között. A hideg napokat nézve már nem találunk ekkora különbséget, az eltérés a sűrűn beépített zónák és a természetes felszín között csupán 2 nap, míg a téli napok esetében nincs különbség. A fűtési napok tekintetében a különbség ismét jelentősebb, a legnagyobb eltérés 13 nap. Ha a meleg hőmérsékleti indexeket tekintjük (5. ábra), a legnagyobb eltérés a sörkert napok és a trópusi éjszakák esetében van. Ezen indexeknél a tendencia a hideg indexek esetében látottal ellentétes, azaz a napok száma a kompaktabb zónákban több, a legnagyobb értéket LCZ 3-ban találhatjuk. A meleg napok száma szintén itt a legtöbb, majd csökken a napok száma a kevésbé beépített felszín felé haladva, ugyanakkor a tendencia nem teljesen egyértelmű. Ez elmondható a nyári és forró napokról is, ahol LCZ 6 és D esetében is kiugrás figyelhető meg.

A lokális klímazónák hőmérsékleti eltérései a HMS külterületi állomástól. A 6. ábra az éjszakai, HMS állomástól számított, maximális hőmérséklet különbségek évi és évszakos átlagát mutatja be az egyes LCZ-kre vonatkozóan. Elmondható, hogy a legnagyobb különbségek nyáron és tavasszal fordulnak elő, míg a legkisebbek ősszel és télen. A zónák közötti eltérések

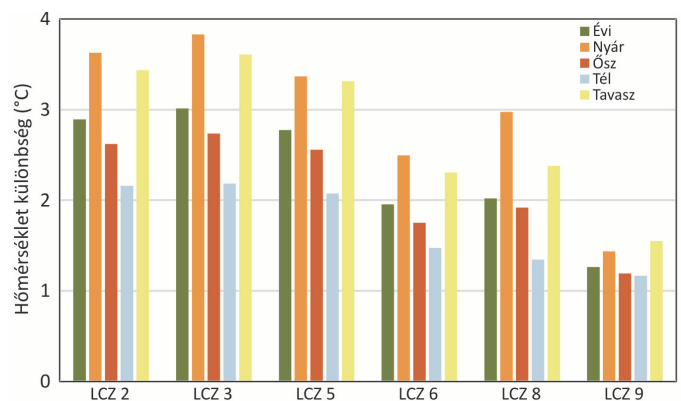
nagysága is ezt a sorrendet követi, azaz nyáron a legnagyobb a különbség köztük (2,4 °C), míg télen lényegesen kisebb (1 °C). Az évi átlagok a tavaszi és őszi értékek között helyezkednek el mindegyik zóna esetében. Valamennyi időszakban az LCZ 3 rendelkezik a legnagyobb értékekkel, ahol az átlagos nyári hőmérséklet különbség majdnem eléri a 4 °C-ot, míg a legkisebb különbségek az LCZ 9-ben vannak, ahol a téli átlagérték alig haladja meg az 1 °C-ot.



4. ábra: A hideg hőmérsékleti indexek átlagos száma az egyes lokális klímazónákban Szegeden (2014. június – 2015. május)



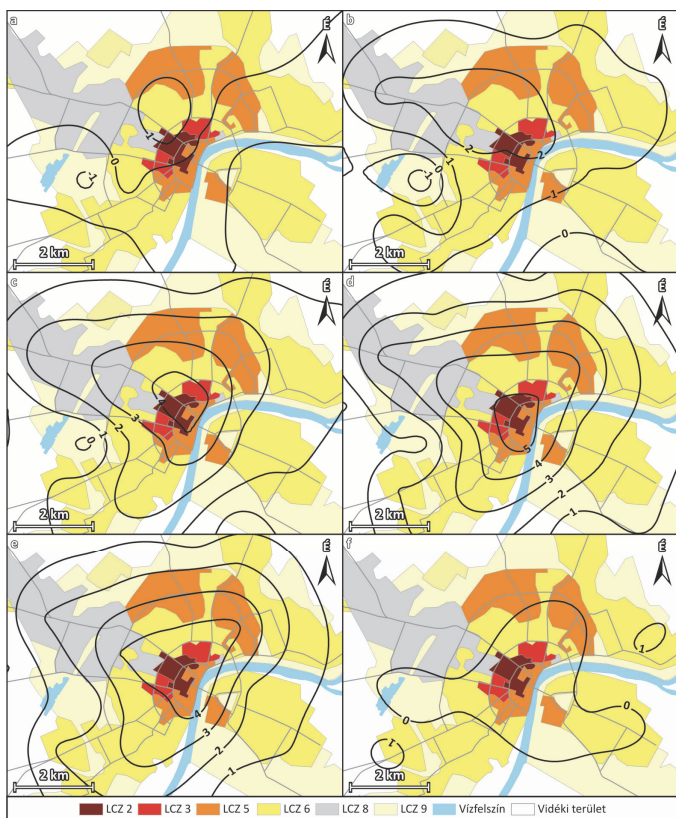
5. ábra: A meleg hőmérsékleti indexek átlagos száma az egyes lokális klímazónákban Szegeden (2014. június – 2015. május)



6. ábra: A HMS külterületi állomástól számított maximális hőmérséklet különbségek évi és évszakos átlaga az egyes lokális klímazónákban Szegeden (2014. június – 2015. május)

Az éjszakai hősziget-mintázat dinamikája és kapcsolata a lokális klímazónák térbeli szerkezetével egy ideális napon. Az egyes városrészek, így az LCZ-k felmelege-

dési és lehülési képességét a megelőző időszakban és az adott időpontban uralkodó meteorológiai viszonyok és a város szerkezeti, felszínborítottsági, stb. jellegzetességei együttesen határozzák meg. Ezért a hősziget térbeli és időbeli kifejlődése szemléletesen bemutatható extrém erősségű mintázatokat ábrázoló termikus térképek időbeli sorozatával, melyeknek háttérben az LCZ-k területi eloszlását is feltüntetjük. Ez a több rétegű információ-ábrázolás feltárja a térbeli összefüggést a hősziget-mintázat izotermái és a lokális klímazónák között. Ehhez a mérőhálózat mind a 24 állomásának adatait felhasználva a hősziget-képződés szempontjából jellegzetes időpontok mintázatait ábrázoltuk, napnyugta előtt 2 órától napnyugta után 14 óráig. Példaként egy nyugodt és szélcsendes éjszakai (2014.08.29.) helyzetet elemzünk (7. ábra).



7. ábra: A városi hősziget mintázatának (°C) időbeli alakulása napnyugta–2 órától napnyugta+14 óráig egy ideális napon (Szeged, 2014.08.29–30.): a – napnyugta–2h; b – napnyugta; c – napnyugta+2h; d – napnyugta+6h; e – napnyugta+10h; f – napnyugta+14h (napnyugta = 19:24; napkelte = 05:56)

A kezdeti időpontban a hőmérséklet területi eloszlása meglehetősen homogén (7a. ábra), az egyes zónák közötti különbség kisebb, mint 1 °C. Napnyugtakor azonban kialakul a jellegzetes hősziget alakzat, ugyanis a város leginkább beépített területei 1–2,5 °C-kal melegebbek, mint a vidéki és ritkán beépített területek (7b. ábra). Napnyugta után 2 órára a hősziget tovább fejlődik (7c. ábra), a legnagyobb intenzitás (> 4 °C) a központi

zónákra jellemző (LCZ 2, 3 és 6). Kiterjedt területek a város keleti és déli részén (LCZ 6 és 9) hűvösebbek maradnak, míg a nyugati részek melegebb izotermái körbeveszik LCZ 8 ipari területeit. Szembetűnő a vidéki területről beáramló hűvösebb levegő hatása a ritkán beépített nyugati részre (LCZ 9), amely VAS állomásnál vehető észre (lásd 1. ábra). A hősziget a legerősebb intenzitását (> 5 °C) napnyugta után 6 órával éri el (LCZ 2, 3, és 5 – 7d. ábra). Végül 10 órával napnyugta után az erőssége kissé csökken, de a beépített területek (LCZ 2, 3 és 5) még mindig 4,5 °C-kal melegebbek maradnak, mint a vidék (7e. ábra). Napnyugta után 14 órával (azaz kb. 3,5 órával napkelte után) a város és vidék közötti termikus különbség kiegyenlítődik (–0,5 és +0,5 °C között – 7f. ábra).

Köszönetnyilvánítás. A tanulmány összeállítását az NKFIH (K-111768 és K-120346), valamint az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-IKT/147-1787/8/2016-ÖSZT-114 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programja támogatta.

Irodalom

- Balázs, B., Unger, J., Gál, T., Sümegehy, Z., Geiger, J. and Szegedi, S., 2009: Simulation of the mean urban heat island using 2D surface parameters: empirical modeling, verification and extension. *Meteorological Applications* 16, 275–287.
- Höppe, P., 1999: The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int. Journal of Biometeorology* 43, 71–75.
- 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.
- Nakamura, Y. and Oke, T.R., 1988: Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. *Atmospheric Environment* 22, 2691–2700.
- Skarbit, N., Stewart, I.D., Unger, J. and Gál, T., 2017: Using an urban meteorological network to monitor temperature conditions in the ‘local climate zones’ of a Hungarian city. *Int. Journal of Climatology* 37(S1), 582–596.
- Stewart, I.D. and Oke, T.R., 2012: Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bull. American Meteorological Society* 93, 1879–1900.
- Unger, J., Savić, S., Gál, T. and Milošević, D., 2014: Urban climate and monitoring network system in Central European cities. Novi Sad (ISBN: 987-86-7031-341-5), pp.101
- 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.
- URBAN-PATH Project, 2014: Evaluations and Public Display of Urban Patterns of Human Thermal Conditions. <http://urban-path.hu/>