

ELTÉRŐ ÉGHAJLATÚ VÁROSOK TERMIKUS KÜLÖNBSÉGEINEK FELTÁRÁSA AZ LCZ OSZTÁLYOZÁS KONCEPCIÓJA ÉS MŰHOLDAS ADATOK ALAPJÁN

THERMAL DIFFERENCES OF CITIES WITH DIFFERENT CLIMATES BASED ON LCZ CONCEPT AND SATELLITE DATA

Fricke Cathy¹, Unger János¹, Pongrácz Rita²

¹Éghajlattani és Tájékozódási Tanszék, Szegedi Tudományegyetem, Szeged, Egyetem utca 2., 6722

²Meteorológiai Tanszék, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, Pázmány Péter sétány 1., 1117

frcsaat@gmail.com, unger@geo.u-szeged.hu, prita@nimbus.elte.hu

Összefoglalás. Célkitűzésünk két, különböző éghajlaton fekvő város felszíni termikus tulajdonságokra gyakorolt módosító hatásának (felszíni hősziget) összehasonlítása volt. E két város a Kárpát-medencében fekvő, mérsékelt meleg éghajlatú (Cfb Köppen-féle klímaosztályba tartozó) Szeged és a forró, száraz sztyepp (BSh) éghajlatú izraeli város, Beer Sheva volt. A vizsgált városokat és környezetüket Landsat 8 műholdképek alapján, a Bechtel-módszerrel soroltuk különböző lokális klímazóna (Local Climate Zone – LCZ) osztályokba. A felszíni termikus sajátosságok feltárásához a Terra és az Aqua műholdon telepített MODIS szenzor 4 éves időszak alatt derült napokon detektált felszínhőmérsékleti adatait használtuk fel. Az elkészített LCZ térkép és a MODIS 1 km-es felbontású rácshálózata alapján jelöltük ki a városi és a városkörnyéki területeket. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a városok évszakos és napszakos felszíni hősziget hatását jelentősen befolyásolja a városok éghajlati adottsága, ráadásul ezek az eltérő éghajlati viszonyok ellentétes előjelű hősziget-hatást is előidézhetnek.

Abstract. Our goal was to compare the thermal modification effects (surface urban heat island, SUHI) between a Central European city (Szeged, Hungary) with Köppen's Cfb (warm temperate) climate and an Israeli city (Beer Sheva) with BWh (hot desert) climate. The Local Climate Zone (LCZ classification) was completed with Bechtel's methodology based on Landsat 8 images. The urban and rural areas were determined using the obtained LCZ map and the 1-km MODIS grid. The mean seasonal and diurnal SUHI was analyzed by the land surface temperature data of sensor MODIS on clear days in a four-year-long period. The results show that the climatic conditions have a significant effect on the urban-rural land surface temperature difference, moreover it can induce an opposite sign heat island effect on the urban areas.

Bevezetés. Napjainkban a globális klímaváltozás témaköre mellett egyre nagyobb figyelmet kap a települések kisebb léptékű – de már az emberiség nagyobb hányadát közvetlenül is érintő éghajlatmódosító hatása, a városklíma. Eredményeként a beépített területekre eltérő éghajlati sajátosságok jellemzőek, mint az őket körülölelő természetes növényzetű vagy mezőgazdasági környezetre (Oke 1987). E területek legegységesebben megnyilvánuló módosító hatásait, a városi hőszigetet – amely elsősorban a város felépítésétől, építési anyagaitól és az ott folyó antropogén tevékenységtől függ – a felszínközeli (2 m) léghőmérséklet (T_a) és a felszínhőmérséklet (T_s) területi különbségei számszerűsítik.

A részletesebb, városi régió belüli termikus különbségek vizsgálatához manapság már széles körben alkalmazzák a Stewart and Oke (2012) által bevezetett lokális klímazóna (Local Climate Zone – LCZ) osztályozási rendszerét, amely 10 beépítettségi és 7 felszínborítási típust különít el, tükrözve a vizsgált területek felszíni, és így éghajlati mozaikszerűségét. Mélyebben nem taglaljuk ennek az alapjait és felépítését, ugyanis e folyóirat hasábjain ez már korábban részletesebben megtörtént (Lelovics et al. 2013, Unger et al. 2017). A rendszer alapvető alkalmazása az LCZ típusok területi eloszlásának térképezése, melyre több módszert is kifejlesztettek (Lelovics et al. 2014, Bechtel et al. 2015, Geletič and Lehnert 2016).

A kapott LCZ térképeket felhasználva számos, a zónák közötti T_a különbségeket feltáró publikáció született (Stewart et al. 2014, Leconte et al. 2015, Skarbit et al. 2017), igazolva az LCZ koncepció létjogosultságát. Ezzel szemben a felszínhőmérsékletre vonatkozó kutatási eredmények (Geletič et al. 2016) még viszonylag ritkák. Az eddigiekből következően hiányoznak az olyan átfogó vizsgálatok, amelyek több éves műholdas adatbázisra támaszkodva a város és környéke LCZ-alapú felszín típusainak hőmérsékleti viszonyaira irányulva lehetővé teszik a napszakos és évszakos sajátosságok feltárását, illetve részletes összehasonlítását. E tanulmányunk célja, hogy megvizsgáljuk két, különböző éghajlaton fekvő település és környezetük termikus reakcióit és azok időbeli különbségeit egy 4 évre kiterjedő műholdas (MODIS) T_s adatbázis alapján. Az egyik város Szeged, mely a meleg-mérsékelt övben viszonylag nedves éghajlattal rendelkezik. A másik, Beer Sheva (Izrael) pedig száraz sztyeppisivatagi környezetben található. Mindkét városra évszakos, havi és napszakos város-vidék felszínhőmérsékleti különbségeket (felszíni hősziget intenzitás, $\Delta T_s(u-r)$) számítottunk, a 4 év felhőmentes adatai alapján.

Vizsgálataink menete részletesebben:

- 1) Landsat-8 műholdképek alapján LCZ térképek készítése városonként és ezek összehasonlítása;

- 2) városi és vidéki területek definiálása és lehatárolása a MODIS képek rácshálózatára alapozva;
- 3) a kiválasztott felhőmentes MODIS képek felhasználásával nappali, éjszakai, évszakos és havi T_s és $\Delta T_s(u-r)$ átlagok számítása;
- 4) a kapott átlagok városok (klímarégiók) szerinti összehasonlító elemzése.

Módszerek és adatok. LCZ térképezés. A városok és környezetük LCZ térképeinek elkészítéséhez az ún. Bechtel-módszert alkalmaztuk (Bechtel et al. 2015), melynek során az adatok feldolgozása két ingyenesen hozzáférhető szoftver (Google Earth és SAGA-GIS) segítségével történik. A SAGA-GIS bemeneti adatait a Landsat-8 különböző spektrális tartományban készült



1. ábra: Szeged (balra) és Beer Sheva (jobbra) látképe (<https://www.google.com/maps>)

Vizsgált városok. Mindkét város közepes méretűnek tekinthető, viszont alapvetően eltérő klimatikus környezetben fekszenek (1. ábra). Szeged 162.000 fős lakosságá-

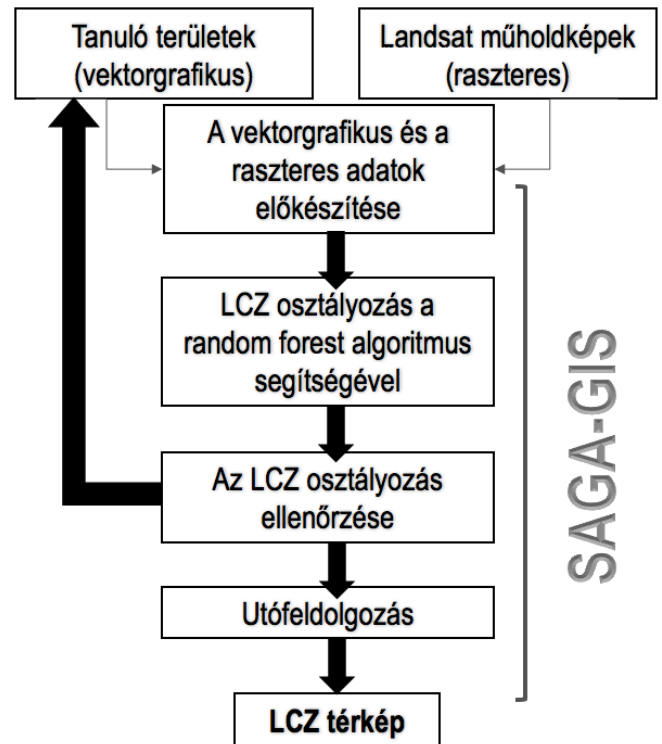
műholdfelvételei képezik. Annak érdekében, hogy a felszíni sajátosságok szezonális változásait is figyelembe vegyük, az LCZ térképek elkészítéséhez több, különböző

1. táblázat: Szeged és Beer Sheva fontosabb éghajlati jellemzői (1981–2010)

Éghajlati jellemzők	Szeged	Beer Sheva
Évi középhőmérséklet (°C)	10,9	20,7
Legmagasabb havi középhőmérséklet (°C)	21,8	28,1
Legalacsonyabb havi középhőmérséklet (°C)	-0,7	12,4
Átlagos éves csapadékösszeg (mm)	514	195
Köppen-féle éghajlati osztály (Peel et al. 2007)	Cfb	BSh

val az Alföld sík vidékén, 80 m tengerszint feletti magasságban helyezkedik el (46°É, 20°K) és többnyire szántóföldek veszik körül, ahol elszórtan fák is találhatóak. Éghajlata mérsékelt meleg és viszonylag nedves, nincs kiemelkedően száraz időszak, de a nyár időnként forró.

Beer Sheva (31°É, 35°K) az Izrael déli részén fekvő Negev sivatag legnépesebb városa (205.000 lakos), szintén sík területen, 260 m tengerszint feletti magasságban található. Szegeddel ellentétben forró, félszáraz éghajlattal jellemezhető, ahol mediterrán hatások is érvényesülnek. Ezzel összhangban környezete száraz, kopár, helyenként gyér növényzetű foltokkal. Az 1. táblázat a két város régiójának néhány éghajlati jellemzőjét foglalja össze.



2. ábra: Az LCZ osztályozás menete a SAGA-GIS programban

évszakban készült műholdfelvételt használtunk fel. Első lépésként a Google Earth programban az egyes LCZ osztályok mintaterületeit (tanuló területek) és magát a vizsgált területet kell körülhatárolni, amely a várost és a környező természetes felszíni területeket lefedő négyzet alakú poligon. A tanuló területek olyan, legalább 500 m × 500 m-es poligonok, amelyek nagyjából homo-

gén felszíni struktúrával rendelkeznek. A SAGA-GIS program a vektorgrafikus formátumban tárolt tanuló poligonok és a raszteres formátumú műholdképek feldolgozása során elvégzi az automatizált LCZ osztályozást a teljes vizsgált területen. A folyamat végén egy szűrést hajtunk végre, amely minden egyes pixelnek a szűrő sugarának megfelelő távolságban található szomszédos celláit vizsgálja át. Amennyiben egy LCZ osztály egy adott pixel vizsgált környezetében nagyobb arányban van jelen, akkor a szomszédos területekhez tartozó pixelek összessége a többségben jelen levő LCZ osztályra cserélődik. Vizsgálatunk során 3-pixeles szűrő sugarat alkalmaztunk, ugyanis ennek zajcsökkentő hatása még nem megy a megfelelő mértékű általánosítás rovására. A munkafolyamat (2. ábra) eredményeként egy simított LCZ térképet kapunk.

Városi és vidéki területek lehatárolása. Ahhoz, hogy a célkitűzéseinkben megfogalmazott összehasonlító munkát elvégezzük, elengedhetetlen a városi és a városkörnyéki (vidéki) területek egyértelmű definiálása. Ennek érdekében a QGIS szoftver segítségével kinyertük az LCZ osztályoknak a MODIS cellákon (lásd később) belüli kiterjedését, és ez alapján becsülni tudtuk az egyes cellák beépítettségi arányát.

Városi területhez tartozóknak azokat a cellákat tekintettük, (i) amelyekben a beépített LCZ-k aránya legalább 50%, (ii) amelyek folytonosan kapcsolódnak egymáshoz a szétszórtság elkerülésének érdekében. Továbbá azért, hogy a városi celláknak a ritkán lakott térségekre történő túlzott kiterjedését megelőzzük, a városi területhez való tartozás további feltétele (iii) a teljes cella közigazgatási határon belüli fekvése volt.

Egy reprezentatív városkörnyéki terület definiálása ennél jóval komplexebb feladat. Vizsgálatunk során figyelmen kívül hagytuk a beépített és a vízzel borított területeket, ezért (iv) az 1%-ot meghaladó vízborítottságú MODIS cellákat nem soroltuk a városkörnyéki cellák közé. Továbbá, a városkörnyéki cellákhoz (v) a többnyire lakatlan, valamint (vi) az általunk kijelölt városi cellák határától legalább 2 km és legfeljebb 5,6 km távolságra található cellákat soroltuk. Ez utóbbi úgy adódik, hogy a várost minden irányban (még átlósan is) két MODIS cellányi távolságot kihagyva jelöltük ki a vidéki területeket. Az itt található kisebb tanyák és falvak hatásának kiküszöbölése érdekében az utolsó feltétel az volt, hogy (vii) a cellák összbeépítettségi aránya legfeljebb 1%-ot érhet el. Ez a százalékos arány az adott cellában lévő különböző LCZ-k területi arányai alapján számolható ki.

Felszínhőmérséklet. A két városi terület termikus tulajdonságait a Terra és az Aqua műholdon elhelyezett MODIS szenzor 1 km-es felbontású cella adatainak felhasználásával vizsgáltuk (Pongrácz et al. 2005, Fricke et al. 2014). A két műhold az egyes városok felett naponta összesen négy alkalommal (délelőtt, délután, este, hajnalban) halad át. Mivel a lokális skálájú termikus különbségek a felhőtlen égképpel és kis légmozgással jellemezhető anticiklonok ideje alatt a legdominánsabbak, ezért kiválogattuk a 2014 nyara és 2018 tavasza közé eső összes olyan derült nappalt és éjszakát, amikor zavartalan volt a

felszín detektálása az adott város teljes vizsgált (városi és vidéki) területén (2. táblázat).

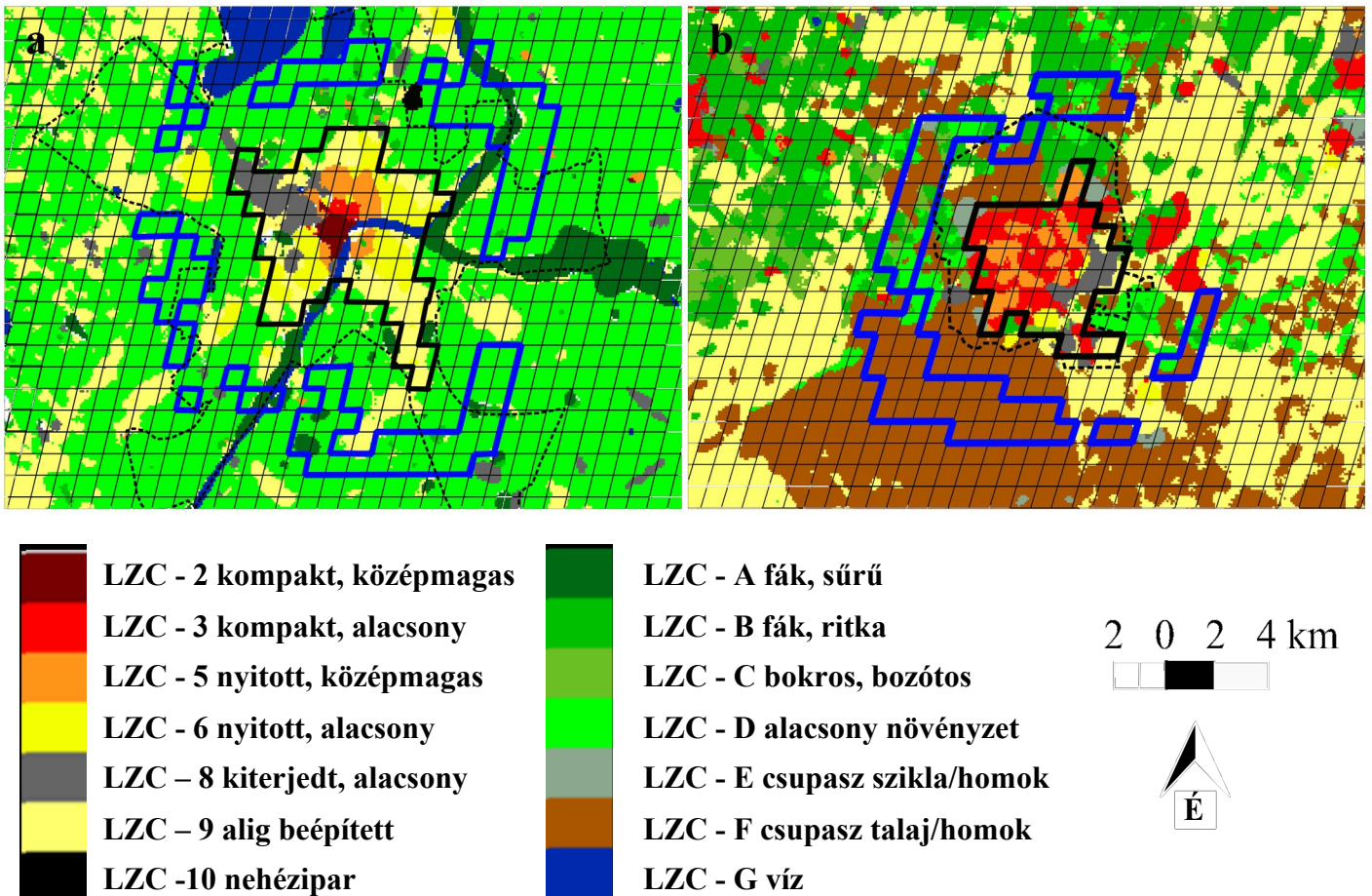
Eredmények. LCZ térképek, város–vidék lehatárolás. A 3a. ábra Szeged, a 3b. ábra pedig Beer Sheva LCZ térképét, valamint az említett feltételekkel lehatárolt városi és vidéki területeket mutatja be. Három LCZ osztály egyáltalán nem szerepel a városok területén: az LCZ 1 (kompakt beépítés, magas épületek), az LCZ 4 (nyitott beépítés, magas épületek) és az LCZ 7 (könnyűszerkezetű, alacsony épületek). Szeged esetében a közigazgatási határ viszonylag távol helyezkedik el a belvárostól és a kapcsolódó városnegyedektől, amelyeket nagy kiterjedésű vegetációval borított terület vesz körül. Ezzel szemben Beer Sheva közigazgatási határa a sűrűn beépített városmaghoz közelebb helyezkedik el és a várostól északkeleti irányba egy nagy kiterjedésű, jellemzően ritkán lakott területet (LCZ 9) elválaszt a városmagtól. Szeged központját kompakt beépítés, középmagas épületek (LCZ 2) jellemzik, míg Beer Sheva területén nincs olyan városrész, amely ebbe az osztályba lenne sorolható. Az LCZ 3 (kompakt beépítés, alacsony épületek) és az LCZ 5 (nyitott beépítés, középmagas épületek) típus

2. táblázat: A felhőtlen nappalok és éjszakák száma a két városban évszakonként (2014.06.01. – 2018.05.31.)

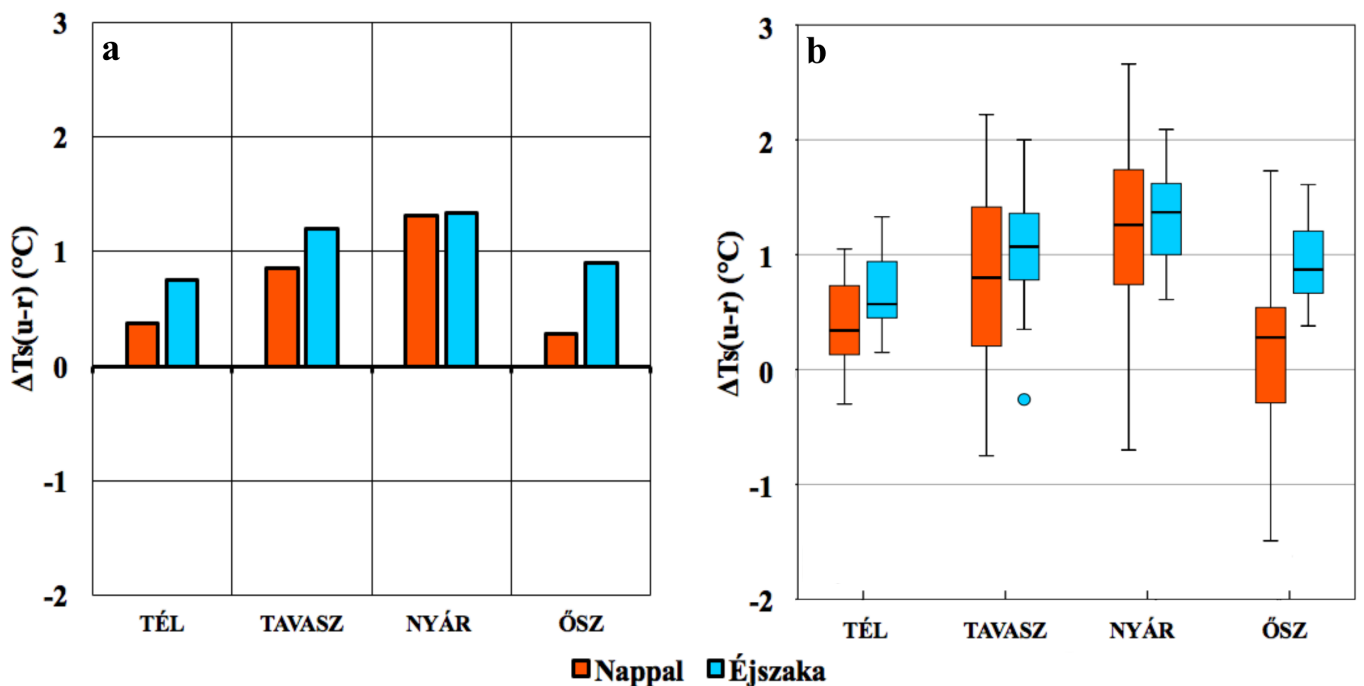
	Szeged		Beer Sheva	
	Nappal	Éjszaka	Nappal	Éjszaka
Tél	20	10	24	99
Tavaszi	56	28	130	75
Nyár	73	42	288	206
Ősz	58	33	152	89
Összes	207	226	1188	938

Szegeden a belváros körül északi és déli irányban, Beer Sheva-ban a város központjának közelében, illetve a városmagtól távolabbra eső területeken, foltokban elszórva található. Szeged városperemén a nyitott beépítésű, alacsony épületek (LCZ 6) és az alig beépített területek (LCZ 9) a leggyakoribbak, míg Beer Sheva-ban az LCZ 6 csak kisebb területet fed le. Az LCZ 8 (kiterjedt beépítés, alacsony épületek) elhelyezkedésében is különbségek fedezhetők fel a két város között: ez a típus Szegeden az északnyugati részen, nagy területen jellemző, míg Beer Sheva-ban csak elszórtan, a város déli felében található. Beer Sheva környezetében nincs nehézipari terület (LCZ 10), viszont Szegednél fellelhető, noha csak kis kiterjedésben, szigetszerűen (kőolajipar).

Szeged városkörnyéki területein az alacsony növényzet (LCZ D) a domináns felszínborítottság, de emellett erdős (LCZ A) és elszórtan fás (LCZ B) területek is előfordulnak. A mezőgazdasági tevékenység következtében az alacsony növényzetet időszakosan csupasz talaj/homok (LCZ F) váltja fel, ezért térképezés során a két kategóriát



3. ábra: Szeged (a) és Beer Sheva (b) MODIS rácshálózatra illesztett LZC térképe a városok közi-gazgatási határaival (fekete szaggatott vonal), valamint a lehatárolt városi (fekete vonal) és vidéki (kék vonal) területek

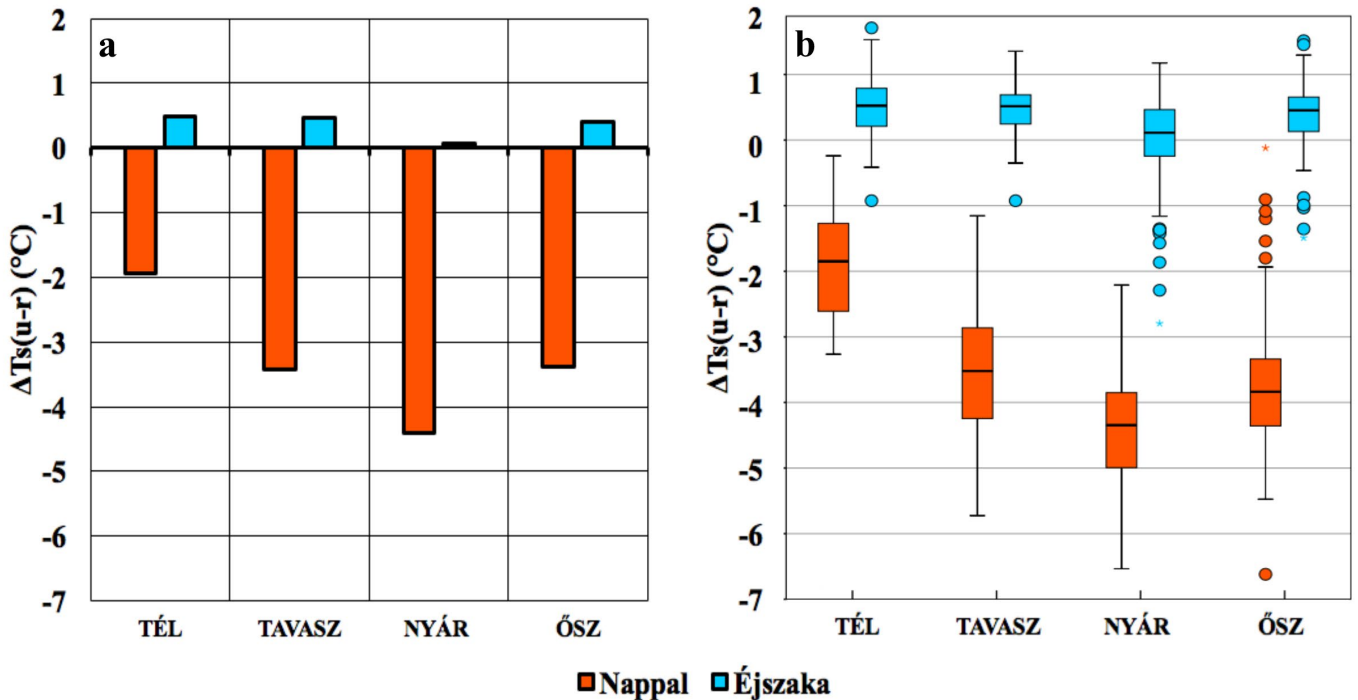


4. ábra: Város-vidék átlagos évszakos nappali és éjszakai Ts különbségek ($\Delta T_s(u-r)$) oszlop (a) és Box-Whiskers (b) diagramjai (Szeged, 2014.06.01. – 2018.05.31., felhőtlen nappalok és éjszakák)

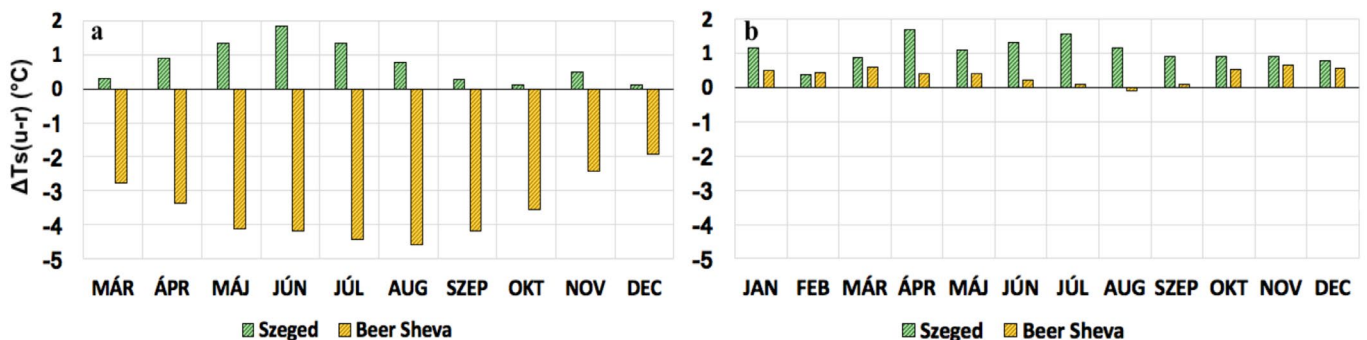
egyesítettük, LCZ D-nek nevezve. Beer Sheva körül az elszórta található fák és az alacsony növényzet mellett a félsivatagi éghajlatú régiókra jellemző homok fed le viszonylag nagy területet.

A felszíni hősziget intenzitás éghajlati régiók szerinti összehasonlítása. A Cfb éghajlatú Szeged felszíni hősziget intenzitásának az egyes évszakokra vonatkozó átlagait és Box-Whiskers diagramját mutatja be rendre a 4a. és

A 4b. ábra szerint az egyes napok éjszakai város-vidék különbségei – a mérsékeltövi városokra jellemzően – jóval kisebb ingadozást mutatnak, mint a nappali különbségek. A Beer Sheva-ra vonatkozó T_s évszakos diagramjait tekintve (5a. és 5b. ábra) és összevetve Szeged értékeivel, szembetűnő különbségek jelennek meg. A félsivatagi környezet következménye, hogy nappal e homokkal borított területek a városhoz képest jóval nagyobb mértékben forrósodnak fel a beérkező rövidhullámú su-



5. ábra: Város-vidék átlagos évszakos nappali és éjszakai T_s különbségek ($\Delta T_s(u-r)$) oszlop (a) és Box-Whiskers (b) diagramjai (Beer Sheva, 2014.06.01. – 2018.05.31., felhőtlen nappalok és éjszakák)



6. ábra: Szeged és Beer Sheva átlagos nappali (a) és éjszakai (b) város-vidék T_s különbségeinek ($\Delta T_s(u-r)$) összehasonlítása havonként (2014.06.01. – 2018.05.31., felhőtlen nappalok és éjszakák)

(Megjegyzés: januárban és februárban nappal nem volt értékelhető kép Beer Sheva-ban, ezért a 6a. ábrán csak márciustól indul az összehasonlítás.)

a 4b. ábra. Szegeden a legnagyobb átlagos T_s különbség nyáron jelentkezik mind a nappali, mind az éjszakai időszakokra vonatkozóan (4a. ábra). A legnagyobb $\Delta T_s(u-r)$ a nappali órákban jelentkezett, ekkor több mint 2,5 °C-kal volt magasabb a városi területek felszínhőmérséklete, mint a városkörnyéké (4b. ábra). Továbbá megfigyelhető, hogy a nyári nappalok jellemzően 0,8–1,8 °C-kal melegebbek a városi területeken a városkörnyékhez képest.

gázás miatt, mint a városi területek – ez nyáron akár több mint 6 °C T_s -beli különbséget jelenthet (5b. ábra). Az 5a. ábra alapján megfigyelhető, hogy Beer Sheva-ban az éjszakai órákat tekintve nincs jelentős különbség a teljes év folyamán. Emellett nyáron – amikor a nappali órákban a legnagyobb átlagos különbség jelentkezett – az éjjeli $\Delta T_s(u-r)$ minimális volt: 0 °C körül alakult, míg Szegeden az év során a legmagasabb éjszakai $\Delta T_s(u-r)$

éppen ekkor volt megfigyelhető. Ez azzal magyarázható, hogy Szeged környezetét jellemzően vegetáció borítja, így a városi területekhez képest jóval nagyobb mértékben hűl le a hosszuhullámú kisugárzás következtében. Ezzel szemben Beer Sheva esetében a város és a városkörnyéki terület éjszaka közel azonos T_s -re hűl, csak az alacsony páratartalom miatt a félsivatagi területen a városi területekhez képest erőteljesebb kisugárzás következtében gyorsabban és nagyobb mértékben (nagyobb napi hőingást eredményezve) csökken a T_s .

A városok egyes hónapokra számított átlagos T_s -beli eltéréseinek egymással való összehasonlítását a 6a. és 6b. ábra teszi lehetővé. Mindkét város nappali ΔT_s különbségeinek abszolút értéke a nyári időszakban éri el a maximumát (6a. ábra). Szegeden a júniusban megfigyelt maximális különbség kisebb (1,8 °C), de pozitív értéket vesz fel, míg Beer Sheva-ban a legnagyobb átlagos különbség, amely negatív (-4,6 °C), augusztusban jelentkezik. A nappali átlagos $\Delta T_s(u-r)$ Beer Sheva-ban decemberben volt a legalacsonyabb (-1,9 °C), míg Szegeden ez októberben figyelhető meg (0,1 °C – 6a. ábra).

Az éjszakai átlagos T_s -különbségek Szeged esetében minden hónapban pozitív értéket vettek fel és meghaladták Beer Sheva különbségeit (6b. ábra). A két város közötti legnagyobb eltérés a nyári hónapokban figyelhető meg: ekkor Beer Sheva-ban a $\Delta T_s(u-r)$ értéke -0,1 °C és 0,2 °C között alakult, míg Szegeden április mellett (1,7 °C) ekkor voltak észlelhetők a legnagyobb éjszakai átlagos T_s -különbségek (1,1–1,5 °C) az év során.

Összegzés. Az eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy város és környéke közötti T_s -különbség erősen függ a nagyobb léptékű éghajlati viszonyoktól, ráadásul az eltérő éghajlati adottságok ellentétes előjelű hősziget hatást is előidézhettek. Szeged esetében a felhőmentes nappalokon és éjszakákon a város felszíne átlagosan melegebbnek bizonyult a városkörnyéki területeknél, míg a félsivatagi területen fekvő Beer Sheva-ban (Szegeddel ellentétben) a város mérséklő hatása figyelhető meg a nappali órákban, hiszen ekkor a város egész évben átlagosan hűvösebbnek bizonyult a környezeténél. Beer Sheva esetében a felszíni hősziget hatás csupán az éjszakai időszakban jelentkezett és igen kis intenzitású volt a teljes év során.

Köszönetnyilvánítás. A műholdas felszínhőmérsékleti adatbázis (MOD11A1, MYD11A1) előállítására és online rendelkezésre bocsátására (https://lpdaac.usgs.gov/data/access/data_pool) a NASA Földfelszíni Megfigyelőrendszer Adatközpontjának köszönhető. A Landsat adatok a

NASA www.earthexplorer.usgs.com oldaláról származnak. A kutatásokat támogatta az OTKA K-120605 és K-129162 számú projektje.

Irodalom

- Bechtel, B., Alexander, P. J., Böhner, J., Ching, J., Conrad, O., Feddema, F., Mills, G., See, L. and Stewart, I. D., 2015: Mapping Local Climate Zones for a worldwide database of the form and function of cities. *Int. J. Geo-Information* 4, 199–219.
- Fricke, C., Pongrácz, R., Dezső, Zs. és Bartholy, J., 2014: A vegetáció szerepe a budapesti városi hősziget jelenségében. *Léggör* 59, 150–153.
- Geletič, J. and Lehnert, M., 2016: A GIS-based delineation of local climate zones: The case of medium-sized Central European cities. *Morav. Geogr. Rep.* 24/3, 2–12.
- Geletič, J., Lehnert, M. and Dobrovolný, P., 2016: Land surface temperature differences within Local Climate Zones, based on two Central European cities. *Rem Sensing* 8, paper 788
- Leconte, F., Bouyer, J., Claverie, R. and Pétrissans, M., 2015: Using Local Climate Zone scheme for UHI assessment: Evaluation of the method using mobile measurements. *Build. Environ.* 83, 39–49.
- Lelovics E., Unger J. és Gál T., 2013: A lokális klímazónák termikus sajátosságainak elemzése – szegedi esettanulmány. *Léggör* 58, 140–144.
- 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. *Clim. Res.* 60, 51–62.
- Oke, T. R., 1987: *Boundary Layer Climates*. Second Edition. Routledge, University Press, Cambridge, pp. 435
- Peel, M. C., Finlayson, B. L. and McMahon, T. A., 2007: Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth. Syst. Sci.* 11, 1633–1644.
- Pongrácz, R., Bartholy, J. és Dezső, Zs., 2005: A budapesti városklíma vizsgálata műholdképek felhasználásával. *Léggör* 50, 8–12.
- Skarbit, N., Stewart, I. D., Unger, J. and Gál, T., 2017: Employing an urban meteorological network to monitor air temperature conditions in the ‘local climate zones’ of Szeged, Hungary. *Int. J. Climatol.* 37/S1, 582–596.
- Stewart, I. D. and Oke, T. R., 2012: Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 93, 1879–1900.
- Stewart, I. D., Oke, T. R. and Krayenhoff, E. S., 2014: Evaluation of the ‘local climate zone’ scheme using temperature observations and model simulations. *Int. J. Climatol.* 34, 1062–1080.
- Unger J., Skarbit, N. és Gál, T., 2017: Szegedi városklíma mérőállomás-hálózat és információs rendszer. *Léggör* 61, 114–118.