

A VÁROSI HŐSZIGET FOGALOM FINOMÍTÁSA A LOKÁLIS KLÍMAZÓNÁK KONCEPCIÓJÁNAK FELHASZNÁLÁSÁVAL – PÉLDÁK SZEGEDRŐL

UNGER JÁNOS–LELOVICS ENIKŐ–GÁL TAMÁS–MUCSI LÁSZLÓ

REFINING THE CONCEPT OF URBAN HEAT ISLAND
USING LOCAL CLIMATE ZONES CLASSIFICATION – EXAMPLES FROM SZEGED

Abstract

In this study first we presented the new Local Climate Zones (LCZ) classification system which reflects the climatic characteristics of the surfaces as well as its types and aspects of their separation based on quantified parameters. Secondly, we developed GIS methods which calculate these parameters for given areas. The database for these methods contains topographic map, 3D building and 2D road databases, as well as remotely sensed information from RapidEye satellite image. Thirdly, we determined the LCZ types occurring in the urbanized area of Szeged and represented by circle areas with a diameter of 250 m. As a final step, we compared their thermal reactions based on the earlier temperature measurement campaigns carried out in this city.

As a result, six built-up and one land cover LCZ types were distinguished in the studied urban area. Clear temperature differences occurred between these types, very significant on the day with favorable (calm and clear) weather conditions and they were more moderate using annual averages. These comparisons confirmed the usefulness of these type of classification: the thermal influence of any change or difference in landscapes are better expressed using LCZ difference concept than a simple but generally not clear urban-rural approach, and additionally, it provides an opportunity for intra- and inter-urban comparisons.

Keywords: Local Climate Zones, GIS methods, temperature patterns, Szeged, Hungary

Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben a világszerte felgyorsult urbanizáció következtében napjainkban az emberiség mintegy felét érintik a mesterségesen létrehozott városi környezet terhelései: a környezetszennyezés, a zaj, a felfokozott élettempóval együtt járó stressz és nem utolsósorban a városi légtér – a természetes környezethez képest – megváltozott fizikai paraméterei. Ezért különösen fontos feladat ennek a klímahatásnak a tanulmányozása. Definíció szerint a *városklíma* olyan helyi éghajlat, amely a beépített terület és a regionális éghajlat kölcsönhatásának eredményeként jön létre (WMO 1983). E városi klíma kifejlődése során a felszínközeli (a hőmérőház szintjében levő) léghőmérséklet mutatja környezetéhez képest a legszembetűnőbb módosulást, jellegzetesen elsősorban növekedést, ami az ún. *városi hősziget* (urban heat island – UHI) formájában nyilvánul meg (Oke, T. R. 1987). Mivel e jelenség részletesebb leírása korábban már megjelent e folyóirat hasábjain (SÜMEGHY Z.–UNGER J. 2003; MUCSI L. et al. 2009; RAKONCZAI J. et al. 2009), erre most nem térünk ki.

A hősziget erősségét hagyományosan a városban és az ahhoz közeli beépítetlen, így vidékinek tekinthető helyen mért értékek különbségeként értelmezzük (*hősziget-intenzitás* – ΔT_{u-r}). A vonatkozó szakirodalomban azonban a „városi” helynek nincs objektív, egyértelmű jelentése, mert ez a hely lehet például akár parkban, iskolaudvaron, utcában, lakótelepen vagy egy leburkolt téren is. Hasonlóan, a „vidéki” mérőhely környezete is igen

változatos a különböző vizsgálatokban, előfordul például repülőter, mezőgazdasági terület, mező vagy akár a ritkábban beépített külváros is. Ez igencsak megnehezíti a világ különböző részein kapott eredmények összehasonlítását. Mindazonáltal – az említett bizonytalansági tényezők mellett is – ez a „városi/vidéki” megközelítés mezoklimatikus léptékű különbségre utal, ami – ha nem is lineárisan – a város méretének növekedésével szintén növekszik (OKE, T. R. 1987).

Ha a szűkebb környezet (pl. egy városnegyed) termikus hatását szeretnénk számszerűsíteni, akkor lokális léptékű megközelítést kell alkalmazni. Ebben az esetben a mérőhelyek környezetének jellemzésére az egyszerű „városi/vidéki” (u/r) megközelítés nem igazán megfelelő, hiszen a felsorolt példák alapján is látszik, hogy a mérőhelyek környezetének felszín típusai igen változatosak, amelyeknek sajátos fizikai tulajdonságaik vannak és ezek hatásai visszatükröződnek az ott kifejlődő mikro- és lokális klímákban.

Ha vizsgálatunk célja a hőmérséklet városon belüli eloszlásának megfelelő részletességű feltárása, akkor az a városi felszín nagyfokú összetettsége és változatossága miatt nem egyszerű feladat. Egy városi mérőhálózat egyes elemeinek elhelyezkedése, és így az egész hálózati rendszer megfelelő kiépítettségének kérdése alapvető problémát vet fel, ami a városon belül levő felszín típusok és a hálózat állomásainak egymáshoz való viszonyával kapcsolatos. Két eset lehetséges:

- A már meglévő hálózat esetében (pl. SCHROEDER, A. J. et al. 2010) felmerül, hogy egy adott állomás milyen típusú városi környezetben helyezkedik el, és ezt egyértelműen meg lehet-e állapítani. Vagy másképpen, az adott állomás elhelyezkedése mennyire képvisel egy bizonyos, egyértelműen definiált típusú városi környezetet, azaz az itt mért adatok jellemzők-e az adott környék termikus reakcióira?
- Tervezett, kiépítendő hálózat esetében (pl. UNGER, J. et al. 2011) az az elsődleges kérdés, hogy az adott városi területen belül milyen felszín típusok különíthetők el, ezek milyen pontossággal határolhatók le, és mennyi van belőlük. Továbbá, kiterjedésük megfelelő-e ahhoz, hogy érdemes legyen az adott típus körülbelüli közepére (az adott terület termikus viszonyait reprezentáló) állomást telepíteni, úgyelve természetesen a közvetlen környezet mikroklimatikus hatásainak minimalizálására is.

Az előzőekben felvetett kérdésekre a STEWART, I. D.–OKE, T. R. (2012) által kifejlesztett *Lokális Klíma zónák* (Local Climate Zones – LCZ) rendszere nyújt egy megoldási lehetőséget. A rendszer a felszín azon fizikai jellemzőit veszi figyelembe, amelyek fontosak az adott felszín termikus reakciói szempontjából, és az egyes LCZ-típusok objektív elkülönítése e jellemzők mérhető, számszerű értékei segítségével történik. Alapjait az elmúlt évtizedek ez irányú vizsgálatainak eredményei (pl. AUER, A. 1978; ELLEFSEN, R. 1990; OKE, T. R. 2004; STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2009), valamint a vonatkozó UHI-irodalom igen alapos áttekintése, világszerte számos városi és külterületi mérőhely környezetének széles körű, terepi bejárásán alapuló felmérése jelentette. A rendszert részletesebben a következő fejezetben mutatjuk be.

Jelen vizsgálat céljai több irányúak:

1. olyan GIS-módszerek kifejlesztése, amelyek alkalmazásával az LCZ-típusokat jellemző objektív paraméterek értékei kiszámolhatók a vizsgált terület bármely részterületére, felhasználva a különböző, rendelkezésre álló vagy az erre a célra létrehozott adatbázisokat;
2. az előzőek alapján azon területek kiválasztása, amelyek a Szegeden előforduló LCZ-típusokat reprezentálják, valamint
3. a kiválasztott területek termikus reakcióinak összehasonlítása a korábban végzett hőmérsékleti mérésorozatok adatainak segítségével.

A Lokális Klímazónák koncepciójának bemutatása

Az osztályozási rendszer elsődleges célja, hogy megkönnyítse a mérőhelyek környezetének jellemzését abból a szempontból, hogy azok milyen mértékben képesek befolyásolni – elsősorban termikus szempontból – a helyi klímát. Ennek érdekében a típusok száma nem túl nagy és elkülönítésük objektív, mérhető paraméterek alapján történik.

Definíció szerint „a Lokális Klímazónák elemei olyan néhány száz métertől néhány kilométerig terjedő területek, amelyek többé-kevésbé egységes felszínborítással, szerkezettel, anyagtípusokkal és emberi tevékenység okozta energia-kibocsátással jellemezhetőek. Mindegyik LCZ-típus jellegzetes hőmérsékleti menettel rendelkezik, amely legszembetűnőbben viszonylag sík és száraz felszín felett, nyugodt és tiszta éjszakákon nyilvánul meg” (STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2012).

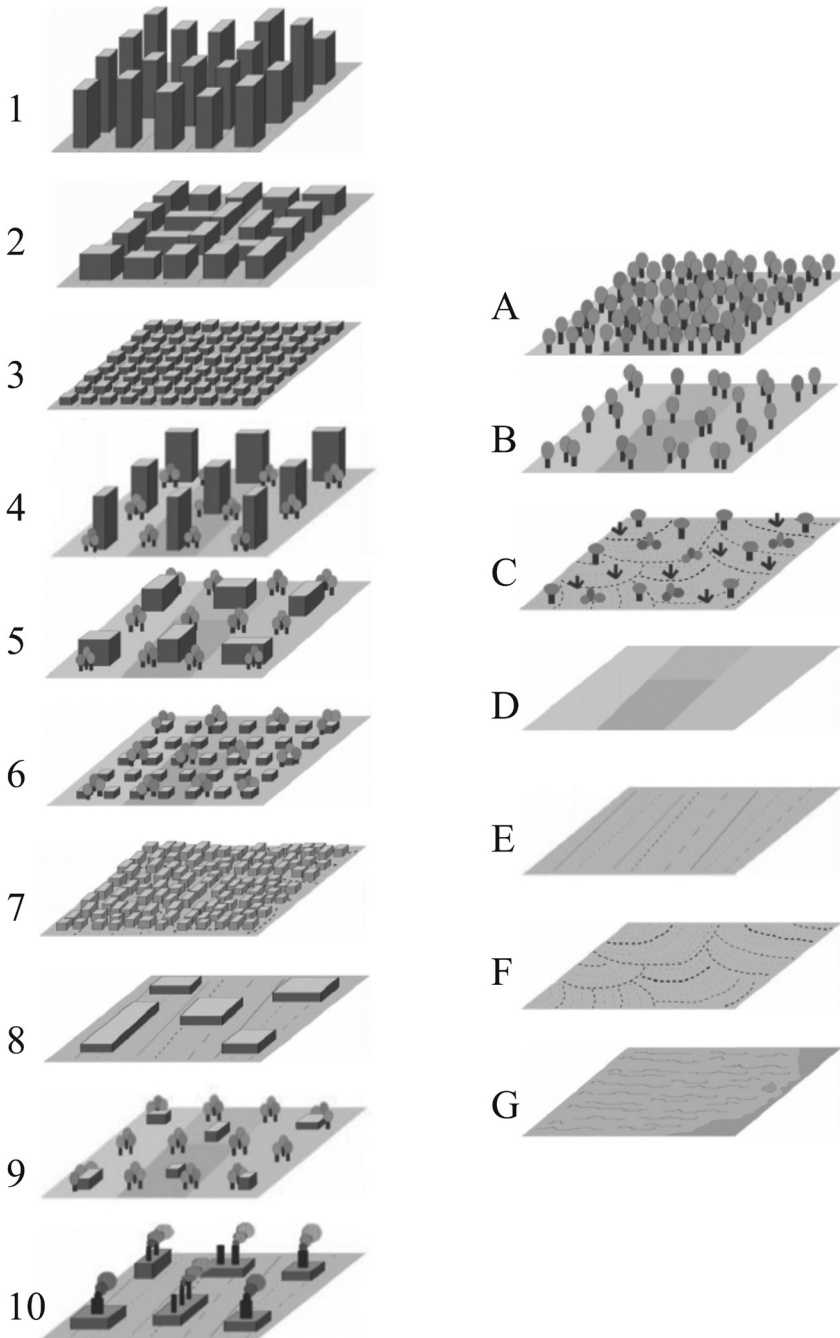
A Földünkön előforduló különböző felszínek generalizált csoportosítása után 10 beépítési típus (LCZ 1–LCZ 10) és 7 felszínborítási típus (LCZ A–LCZ G) került elkülönítésre. Elnevezésük visszatükrözi ezt a kettős megközelítést és a típusok főbb jellegzetességeit (1. táblázat, 1. ábra): például „kompakt beépítés, közepesen magas épületek” (LCZ 2), röviden „kompakt, közepes”, vagy „fák, sűrű elhelyezkedés” (LCZ A), röviden „fák, sűrű”. Rövidebb időszakokra vonatkozó klimatikus vizsgálatok során ezek a típusok kiegészíthetők a felszínborítás szezonális vagy ideig-óráig fennálló változásával is (pl. hótakaró), míg hosszabb időtartamúaknál az ilyen jellegű tipizálásnak/finomításnak már nincs jelentősége.

1. táblázat – Table 1

LCZ-típusok és jelölésük (STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2012 után)

Names and codes of the LCZ types (after STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2012)

Beépítettséggel jellemezhető típusok	Felszínborítással jellemezhető típusok	Változó felszínborítási jellemzők
LCZ 1 – kompakt (beépítés), magas (épületek)	LCZ A – fák, sűrű (elhelyezkedés)	b – lombtalan fák
LCZ 2 – kompakt (beépítés), közepes (épületek)	LCZ B – fák, ritka (elhelyezkedés)	s – hótakaró
LCZ 3 – kompakt (beépítés), alacsony (épületek)	LCZ C – bokros, bozótos	d – száraz talaj
LCZ 4 – nyitott (beépítés), magas (épületek)	LCZ D – alacsony növényzet	w – nedves talaj
LCZ 5 – nyitott (beépítés), közepes (épületek)	LCZ E – csupasz szikla/burkolt	
LCZ 6 – nyitott (beépítés), alacsony (épületek)	LCZ F – csupasz talaj/homok	
LCZ 7 könnyű(szerkezetű), alacsony (épületek)	LCZ G – víz	
LCZ 8 – kiterjedt, alacsony (épületek)		
LCZ 9 – alig beépített		
LCZ 10 – nehézzipar		



1. ábra Az LCZ-típusok generalizált megjelenése (STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2012 után)
 (a számok és betűk jelentését l. az 1. táblázatban)
 Figure 1 Generalized pictures of the LCZ types (after STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2012)
 (for explanation of numbers and letters see Table 1)

Az egyes LCZ-típusok mérhető fizikai paraméterek alapján objektíven elkülöníthetők egymástól (2. táblázat). E paraméterek nagyrészt a felszín geometriáját és borítottságát jellemzik, de vannak olyanok is, amelyek a felszín termikus, radiatív vagy az ember által okozott energetikai jellegzetességeit tükrözik. Egyesek közülük dimenzió nélküliek (pl. albedó), míg másokhoz tartozik mértékegység (pl. épületmagasság). A későbbiek során értelmezni fogjuk e paramétereket.

2. táblázat – Table 2

Az LCZ-rendszer jellemző paraméterei (STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2012 után)
 Characteristics properties of the LCZ system (after STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2012)

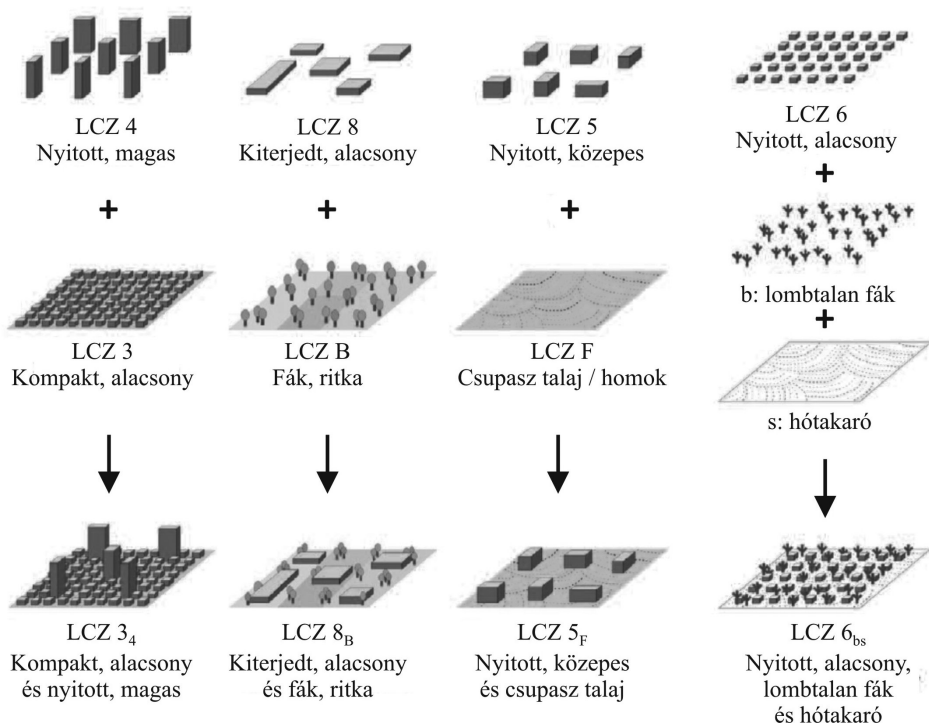
Paraméter-típusok és mértékegységeik		
	Geometriai, felszínborítottsági	Termikus, radiatív, energetikai
Paraméter	égboltiláthatóság	felszíni hőátadási tényező ($\text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1/2}\text{K}^{-1}$)
	magasság/szélesség arány	felszíni albedó
	épület alapterület arány (%)	antropogén hőkibocsátás (Wm^{-2})
	vízáró felszín arány (%)	
	vízáteresztő felszín arány (%)	
	érdességi elemek magassága (m)	
	terepi érdességi osztály	

Ennek az új felszín-osztályozási rendszernek a keretében az UHI-intenzitás értéke nem a már említett leegyszerűsített és gyakran nem egyértelmű (adott várostól és az ott alkalmazott kutatási módszertől függő) „város/vidék” különbség (ΔT_{u-r}), hanem tulajdonképpen az egyes LCZ-típusok közötti hőmérsékletkülönbség ($\Delta T_{LCZ:X-Y}$), ami nyilván többféle értéket felvehet az összehasonlított típusok (LCZ X–LCZ Y) párosításának függvényében (STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2012).

Ez a megközelítés tehát környezetük sajátosságai alapján egységes rendszerbe foglalja a különböző mérőhelyeket, így biztosítja az innen származó hőmérsékleti adatok háttérét. Alkalmazásával lehetőség nyílik egy adott városon belüli, valamint különböző városok egyes területei közötti termikus sajátosságok objektív összehasonlítására.

A fentebb említett rövidebb időtartamú vizsgálatok esetében, vagy akkor, ha a beépítettség domináns jellege nem dönthető el egyértelműen, lehetőség nyílik altípusok létrehozására is (2. ábra). Az így kapott altípus jelölése LCZ X_{Yj} , ahol X az elsődleges, Y a másodlagos, kevésbé domináns típus jele, j pedig, amennyiben releváns, az időleges felszínborítás jellegére utal. Például, ha olyan a terület, hogy az épületek mérete és elhelyezkedése alapján „kiterjedt, alacsony” típusú, de a növényzete szerint a „fák, ritka” típus is jellemző rá, akkor besorolása az LCZ 8_B altípus lesz. Vagy ha egy területet hőtakaró borít, az épületek alapján „nyitott, alacsony” típusú és a rajta levő fák lombtalanok, akkor elnevezhetjük LCZ 6_{bs} altípusnak (2. ábra).

A kombinált típusok létrehozásának előnye mellett azt is észre kell venni, hogy az eredetileg egyszerű rendszert az altípusok létrehozása és azok esetlegesen nagy száma jóval bonyolultabbá (és kevésbé áttekinthetővé) teheti, ezért ezzel a lehetőséggel óvatosan kell bánni, s csak indokolt esetben érdemes alkalmazni. Vagyis csak akkor van értelme az egyes felszínnek altípus szintű jellemzésének, ha ennek megvan a klimatológiai jelentősége, azaz a másodlagos (vagy harmadlagos) jelleg valóban befolyásolja az adott területen kialakuló klímát és azon belül a termikus viszonyokat.



2. ábra Példák az egyes LCZ-típusok és felszínborítási jellemzők kombinálásából adódó altípusokra

(STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2012 után)

Figure 2 Examples of the subclasses combining from the different LCZ types and surface cover features

(after STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2012)

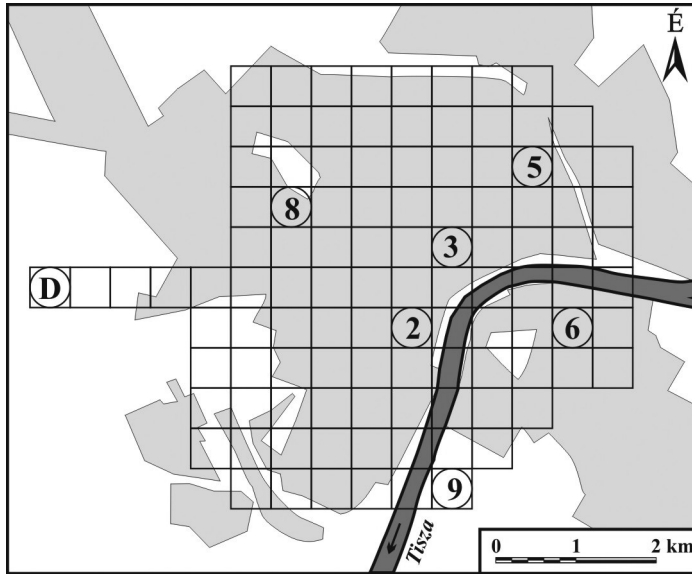
A vizgált terület, az alkalmazott adatbázis és módszerek

Hőmérsékletmérések Szegeden

Az ismétlések elkerülése érdekében a vizgált terület és az 1999–2000-ben, illetve a 2002–2003-ban lezajlott egy-egy éves mobil méréssorozatok részleteit nem tárgyaljuk, ugyanis azok már bemutatásra kerültek e folyóirat hasábjain (SÜMEGHY Z.–UNGER J. 2003; MUCSI L. et al. 2009) és más fórumokon is (pl. UNGER, J. 2004; BALÁZS, B. et al. 2009). A mérések eredményeként a területet lefedő, 107 elemű rácshálózat (3. ábra) mindegyik 500 × 500 m-es cellájára kaptunk mérési naponként egy-egy hőmérsékleti értéket, ami az esti időszakra vonatkozott.

Jelen vizsgálat során egyrészt a 2002–2003-as időszak 35 mérési napjának átlagos értékeit használjuk fel, másrészt kiemelünk egy esetet (2003. március 25.), amikor a felszín által generált hőmérsékleti különbségek erőteljes kifejlődéséhez kedvezőek voltak az időjárási körülmények: a mérés alatt és az azt megelőző napon is nyugodt és tiszta volt az idő.

Mint a mérési adatok korábbi feldolgozása során is, a cellákra kapott átlagos hőmérsékleti értékeket helyileg a cellák közepére vonatkoztattuk, tehát a „mérőhelyeink” ezek a pontok, így jelen vizsgálataink e „mérőhelyek” környezetére irányultak. A szakirodalom szerint városi környezetben a 1,5–2 m magasságban mért hőmérséklet értékére a mérő-



3. ábra A vizsgált terület rácshálózata és a Szegeden előforduló LCZ-típusokat reprezentáló körterületek helyei
 Figure 3 The grid network of the study area and the circle areas representing the LCZ types occurring in Szeged

hely körüli néhány száz méter sugarú környezet mint forrásterület van befolyással (OKE, T. R. 2004; UNGER, J. et al. 2010). Ezzel és a hőmérsékleti adataink vonatkozási területének (cella) méretével összhangban a „mérőhelyek” 250 m sugarú környezetét tekintettük forrásterületnek és a későbbi LCZ-típezés is ezekre a területekre vonatkozik.

Vektor alapú GIS eljárás a tipizáláshoz szükséges paraméterek meghatározására

A STEWART, I. D.–OKE, T. R. (2012) által felsorolt tíz paraméterből hetet tudunk meghatározni a rendelkezésre álló adatbázisok segítségével a vizsgált terület bármely részterületére. Az eredeti osztályba soroláshoz szükséges paraméterek közül kimaradt a *magasság/szélesség arány* – mivel ez a mutató túlságosan elméleti jellegű, csak szabályos utcahálózat esetén értelmezhető egyértelműen –, valamint a *hőátadási tényező* és az *antropogén hőki-bocsátás*, mivel ezekről nem álltak rendelkezésre adatok a vizsgált területről.

A felhasznált hét paraméter és értelmezésük a következő:

- *égboltláthatóság* (sky view factor – SVF): a „látható” égbolt és a teljes félgömb felületének arányát jelenti egy adott felszíni pontból nézve (OKE, T. R. 1987; MUCSI, L. et al. 2009), értéke 0–1 között lehet és vonatkozhat egy adott pontra, de folyamatosan átlagolva egy nagyobb területre is;
- *épület–alapterület arány* (building surface fraction – BSF): egy területen belül az épületek által elfoglalt és a teljes terület aránya, értéke 0–100% között lehet;
- *víz-záró felszín arány* (impervious surface fraction – ISF): egy területen belül a víz-záró (burkolt) felületek és a teljes terület aránya, értéke 0–100% között váltakozik;
- *víz-áteresztő felszín arány* (pervious surface fraction – PSF): egy területen belül a vizet áteresztő felületek és a teljes terület aránya, értéke 0–100% közé esik;
- *érdességi elemek magassága* (height of roughness elements – HRE): egy terület érdességi elemeinek (pl. épületek, fák) átlagos magassága, méterben megadva;

- *felszínérdességi osztály* (terrain roughness class – TRC): a különböző városi és természetes tájak felszínérdesség-növekedés szerinti besorolása 1–8 osztályba (DAVENPORT, A. G. et al. 2000);
- *felszín-albedó* (surface albedo – SA): egy területről az átlagosan visszavert és beérkező rövidhullámú sugárzás aránya, amely 0–1 közötti értéket vehet fel.

Az egyes paraméterek meghatározására alkalmazott módszereink:

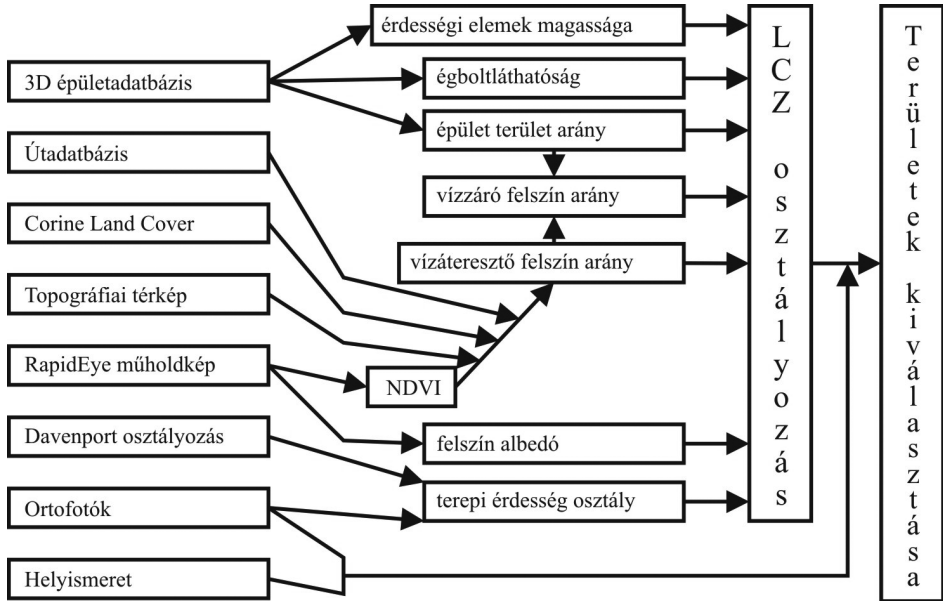
- SVF: Alapja egy korábbi munkából (GÁL, T. et al. 2009) rendelkezésre álló 5 m felbontású SVF-adatbázis volt, amely a szegedi 3D épület-adatbázist felhasználó, vektoros alapú módszerrel került kiszámításra. Az épület-adatbázis az épületek geodéziai pontosságú alaprajzait és digitális fotogrammetriai módszerekkel mért ereszmagasságait tartalmazza. Az SVF számításakor minden épületet lapos tetősnek tekintettük (GÁL, T. et al. 2009; UNGER, J. 2006). Az SVF-adatbázisban található értékek az utcaszintre vonatkoznak, amelyeket körönként átlagoltunk.
- BSF: Kiszámítását szintén a 3D épület-adatbázis tette lehetővé. A BSF nem más, mint az adott körön belül található teljes épület-alapterületnek és a kör területének a hányadosa. A kör határán az épületalaprajzok körön kívüli részeit levágtuk, hogy csak a körön belüli területüket vegyük figyelembe.
- PSF: A vízáteresztő felületek arányát egy beépítettségi adatbázisból származtattuk, amelynek fő forrása egy atmoszféricusan korrigált RapidEye műholdfelvétel volt (http://www.rapideye.com/upload/RE_Product_Specifications_ENG.pdf). Felhasználtunk továbbá 1:10 000-es méretarányú EOTR-térképszelvényeket, vektoros úthálózati adatbázist, valamint a Corine Land Cover (CLC) adatbázist is (BOSSARD, M. et al., 2000). A hozzávetőlegesen 5 m felbontású RapidEye műholdkép 3. és 5. sávján mért reflektanciákból számítottuk ki minden pixel normalizált vegetációs indexének értékét (NDVI) (TUCKER, C. J. 1979). Azon pontokat tekintettük beépítettnek, ahol az NDVI értéke magasabb volt, mint 0,3. A CLC-t a mezőgazdasági területek kiszűrésére alkalmaztuk, hiszen ezek a területeken az aratás utáni időszakban nincs vagy alig van növényzet, így a vegetációs index alapján a beépített területekhez kerültek volna. A legutolsó apró korrekció a vektoros közúthálózati adatbázis felhasználásával történt. Ennek célja azon területek lokalizálása volt, amelyek aszfaltozott útburkolattal rendelkeznek, de vagy fák takarásában vannak, ezért a műholdfelvétel alapján nem azonosíthatók egyértelműen beépítettként, vagy esetleg a korábban a CLC-adatok alapján kiszűrt mezőgazdasági területeken vezetnek keresztül.
- ISF: A vízzáró felszínnek arányát az épület–terület arányból (BSF) és a vízáteresztő felszínnek arányából (PSF) számítottuk a következő összefüggés alapján:

$$ISF = 1 - (BSF + PSF)$$
- HRE: Az érdességi elemek magasságának kiszámítása során csak az épületeket vettük figyelembe, a növényzetről nem volt információnk. Ez a magasság a 3D épület-adatbázisban tárolt ereszmagasság-értékek átlaga egy adott körterületre vonatkozóan, ahol az átlag számítását az épületek alapterületével súlyozva végeztük.
- TRC: A felszín érdességének jellemzése céljából a DAVENPORT-féle felszínérdesség-osztályozási módszer került alkalmazásra (DAVENPORT, A. G. et al. 2000). Az osztályozási eljárás alapelve az, hogy a vizsgált területen az érdességi paraméter (z_0) és a kiszorítási réteg vastagságának (z_d) értéke megközelítőleg azonos lesz egy hasonló felszínborítású területen korábban mért értékekhez. A széles körben elterjedt módszer 8 érdességi osztályt tartalmaz és egy területet vizuális módszerrel sorol be ezen osztályok valamelyikébe, amihez ortofotókat vagy felszínborítási térképet használ fel. Az egyes körök esetén vizuálisan értékeltük ki, hogy melyik érdességi

osztályba tartozik a terület, amihez a rendelkezésre álló ortofotókat, topográfiai térképet és az épületalaprajz-adatbázist használtuk fel.

- SA: Kiszámításához az atmoszférikus korrekcióval javított 5 sávú RapidEye műholdkép szolgált alapul. A kiszámított többsávú albedó értéke nem más, mint a különböző sávokon mérhető reflektanciák súlyozott átlaga, ahol a súlytényező az adott spektrális tartományra eső napsugárzás integráljával egyenlő (STARKS, P. J. et al. 1991).

A korábban említettek szerint a „mérőhelyek”, azaz a 107 cella középpontjának 250 m sugarú környezetére koncentráltunk, tehát a paramétereket ezekre a területekre számítottuk ki (3. ábra). Az eljárást és annak kimenetelét a 4. ábra foglalja össze szemléletesen.



4. ábra A szegedi reprezentatív LCZ-típusok kiválasztási eljárásának folyamata
 Figure 4 Flow chart of the selection process of representative LCZ areas in Szeged

Eredmények

Először meghatároztuk, hogy a 107 szegedi vizsgált terület 250 m sugarú körterülete mely LCZ-típusba sorolható, és mindegyik előforduló típushoz megadtunk egy-egy, a típust reprezentáló területet. Második lépésként a mért hőmérsékleti adatok alapján összehasonlítottuk e reprezentatív területek termikus reakcióit, mind az egy éves átlagot, mind pedig a kiemelt mérési nap értékeit tekintve.

A Szegeden előforduló LCZ-típusok és reprezentatív területeik

A fentebb említett kiértékelési és számítási eljárások (4. ábra) eredményeképpen a vizsgált terület mind a 107 körterületére rendelkezésre álltak a kiszámított paraméter-értékek, amelyek alapján elméletileg mindegyik kört be lehet sorolni valamelyik LCZ-típusba.

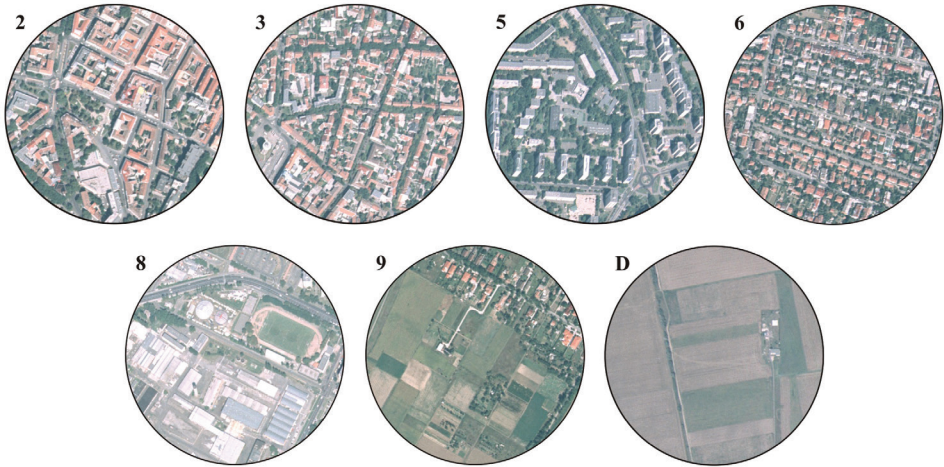
A valóságban azonban adódtak olyan területek is, amelyek besorolása nem volt egyértelmű, mert akármelyik típus értéktartományait tekintettük, mindig volt néhány paraméter, amelynek értékei nem illeszkedtek bele ezekbe a tartományokba (3. táblázat). Így ezeket a köröket osztályozatlannak tekintettük. Az egyértelműen besorolható köröket hat LCZ-típusba lehetett elkülöníteni.

3. táblázat – Table 3

A felhasznált hét paraméter LCZ-típusokhoz definiált értéktartományai
(STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2012 után)
(a Szegeden előforduló típusok vastag betűkkel/számokkal kiemelve)
Formally defined ranges of the applied seven parameters for LCZ types
(after STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2012)
(the types occurring in Szeged are highlighted as bold)

LCZ-típus	Paraméter (mértékegység)						
	SVF	BSF (%)	ISF (%)	PSF (%)	HRE (m)	TRC	SA
LCZ 1	0,2–0,4	40–60	40–60	< 10	> 25	8	0,10–0,20
LCZ 2	0,3–0,6	40–70	30–50	< 20	10–25	6–7	0,10–0,20
LCZ 3	0,2–0,6	40–70	20–50	< 30	3–10	6	0,10–0,20
LCZ 4	0,5–0,7	20–40	30–40	30–40	> 25	7–8	0,12–0,25
LCZ 5	0,5–0,8	20–40	30–50	20–40	10–25	5–6	0,12–0,25
LCZ 6	0,6–0,9	20–40	20–50	30–60	3–10	5–6	0,12–0,25
LCZ 7	0,2–0,5	60–90	< 20	< 30	2–4	4–5	0,15–0,35
LCZ 8	> 0,7	30–50	40–50	< 20	3–10	5	0,15–0,25
LCZ 9	> 0,8	10–20	< 20	60–80	3–10	5–6	0,12–0,20
LCZ 10	0,6–0,9	20–30	20–40	40–50	5–15	5–6	0,12–0,20
LCZ A	< 0,4	< 10	< 10	> 90	3–30	8	0,10–0,20
LCZ B	0,5–0,8	< 10	< 10	> 90	3–15	5–6	0,15–0,25
LCZ C	0,7–0,9	< 10	< 10	> 90	< 2	4–5	0,15–0,30
LCZ D	> 0,9	< 10	< 10	> 90	< 1	3–4	0,15–0,25
LCZ E	> 0,9	< 10	> 90	< 10	< 0,25	1–2	0,15–0,30
LCZ F	> 0,9	< 10	< 10	> 90	< 0,25	1–2	0,20–0,35
LCZ G	> 0,9	< 10	< 10	> 90	–	1	0,02–0,10

Mint az várható volt a paraméter-számításokat megelőzően is, a város beépítettségi sajátosságaiból adódóan egyes LCZ-típusok nem fordulnak elő Szegeden. Ezek a toronyházas kerületek (LCZ 1 és 4), a spontán építésű szegénynegyedek (LCZ 7) és a nehézipari telepek (LCZ 10) a „beépített” típusokon belül, így a maradék hat típusra kellett koncentrálnunk (LCZ 2, 3, 5, 6, 8 és 9). Mivel a vizsgált terület leginkább a városias részeket fedi le, a „felszínborítási” típusok nem jellemzőek itt, csak az „alacsony növényzet” típus (LCZ D) jelenik a terület széleinél és a Ny-ra való kinyúlásánál. Így összességében ehhez a hét LCZ-típushoz választottunk ki egy-egy – ezeket reprezentáló – körterületet (3. ábra). E területeken az elmúlt jó tíz évben nem történt jelentős módosulás a beépítettségi szerkezetben és a felszínborítottságban, ezért nemcsak térben, hanem időben is összevethetők a hőmérsékleti értékekkel. A kiválasztott körök ortofotóit az 5. ábra mutatja be, amely lehetőséget ad arra, hogy vizuálisan is összevessük őket a típusoknak az 1. ábrán bemutatott generalizált látványrajzaival.



5. ábra A Szegeden előforduló LCZ-típusokat reprezentáló körterületek ortofotói
 Figure 5 Orthophotos of the circle areas representing the LCZ types occurring in Szeged

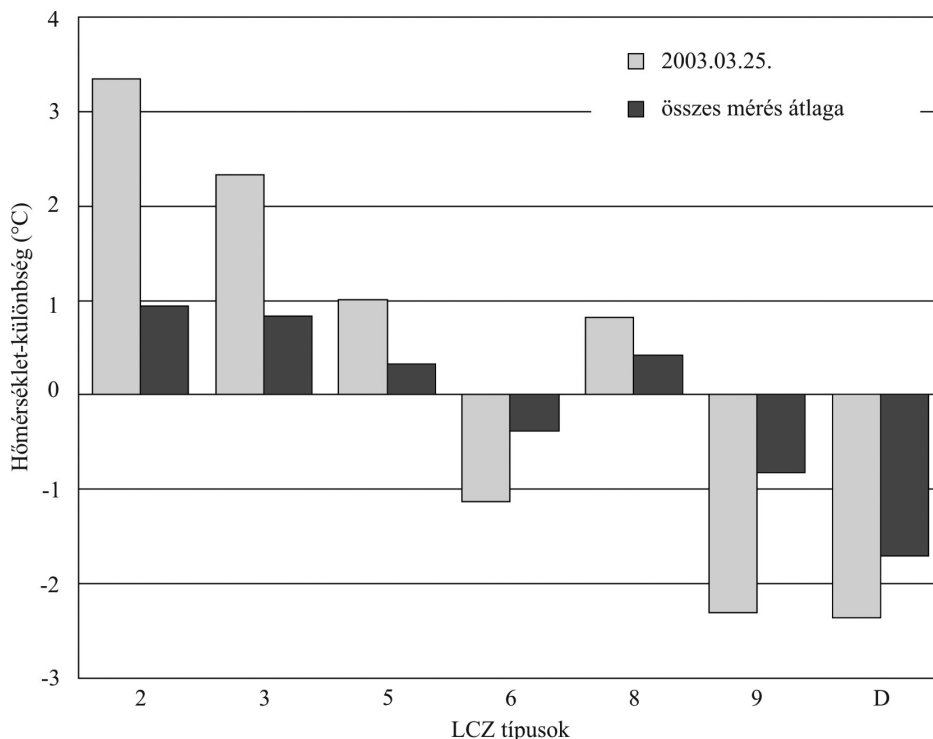
Az egyes LCZ-típusok termikus hatásának összehasonlítása

Mint már korábban említettük, az LCZ-rendszer keretében az UHI-intenzitás értékeit az egyes LCZ-típusok közötti hőmérséklet-különbségként ($\Delta T_{LCZ:X-Y}$) definiáljuk.

Ennek megfelelően a 6. ábra mutatja az egyes kiválasztott – Szegedre jellemző LCZ-típusokat reprezentáló – körterületek hőmérsékleteinek eltéréseit a vizsgált terület (107 „mérőhely”) átlagától a kedvező időjárási feltételekkel rendelkező márciusi napon, valamint az egy éves méréssorozat 35 napjának átlagát tekintve. Az egyrészt mindjárt megfigyelhető, hogy mindkét esetben az átlagnál melegebbnek bizonyultak az erősebben beépített típusok (LCZ 2, 3, 5 és 8), míg a növényzettel borított és kevésbé beépítettek hőmérséklete alatta maradt a területi átlagnak. Másrészt, ha csak a beépített típusokat nézzük, az eltérések sorrendje megfelel a várakozásoknak: a kompakt és közepes magasságú típusoktól csökken a hőmérséklet a nyitottabb beépítésű és alacsonyabb típusok felé (LCZ 2 – LCZ 3 – LCZ 5 – LCZ 8 – LCZ 6). Harmadrészt, azon a márciusi napon a területek termikus reakciói jóval hangsúlyozottabbak voltak, ami természetesen annak tulajdonítható, hogy nyugodt és szélcsendes időjárási körülmények között a felszíni eltérések klimatikus hatása markánsan megmutatkozott, míg az éves átlagban olyan napok is szerepelnek, amikor a külső feltételek kedvezőtlenebbek voltak, így az ekkor kialakuló kisebb eltérések értékei csökkentették az átlagot.

Márciusban a legnagyobb különbség az LCZ 2, valamint az LCZ D és LCZ 9, vagyis a területen előforduló legintenzívebb beépítés („kompakt, közepes”) és a természeteshez igen közeli, vegetációval bőven ellátott („alacsony növényzet” és „alig beépített”) között mutatkozott ($\Delta T_{LCZ:2-D}$ és $\Delta T_{LCZ:2-9} > 5,5^\circ\text{C}$). A $\Delta T_{LCZ:3-D}$ és a $\Delta T_{LCZ:3-9}$ is jelentős a különbségre utal ($> 4^\circ\text{C}$), míg a $\Delta T_{LCZ:5-6}$ közepesnek mondható ($\sim 2^\circ\text{C}$), de a $\Delta T_{LCZ:9-D}$ már jelentéktelennek tekinthető. Ezek a különbségek hasonlóak azokhoz az értékekhez, amelyeket STEWART, I. D.–OKE, T. R. (2010) találtak egy svéd városban (Uppsala) végzett vizsgálataik során.

Az éves átlagokat vizsgálva, az LCZ D („alacsony növényzet”) határozottan hűvösebbnek bizonyul nem csak az átlagnál, de az összes többi típusnál is. A különbségeket megnézve,



6. ábra Az egyes szegedi LCZ-típusok hőmérsékleteinek eltérései a területi átlagtól a kiválasztott napon és az éves átlagok viszonylatában

Figure 6 Temperature differentiation of LCZ types in Szeged from the areal average value on the selected day and on annual average

az átlagolás következtében már 3°C-ot meghaladó értékek sincsenek ($\Delta T_{LCZ:2-D} \sim 2,7^\circ\text{C}$ és $\Delta T_{LCZ:3-D} \sim 2,6^\circ\text{C}$), de még a kevésbé beépített LCZ 5 és LCZ 6 típusok eltérése is 2°C körül alakul az LCZ D-től.

Összefoglalás

Jelen tanulmányban egyrészt bemutattuk a nemzetközi szakirodalomban is újdonságnak számító, a felszín klimatikus sajátosságait visszatükröző Lokális Klímazónak (LCZ) rendszerét, annak elemeit és elkülönítésük – paramétereken alapuló, számszerűsített – szempontjait. Másrészt kifejlesztettünk egy olyan GIS alapú eljárást, amely ezeknek a paramétereknek az értékeit adott területekre kiszámolja, amennyiben az ehhez szükséges adatbázisok rendelkezésre állnak. Harmadrészt, az eljárás segítségével meghatároztuk a Szeged területére jellemző LCZ-típusokat és mindegyiket egy 250 m sugarú körterülettel reprezentáltuk. Negyedrész, összehasonlítottuk e kiválasztott területek termikus reakcióit, felhasználva a városban korábban végzett hőmérsékleti mérésorozatok eredményeit.

Eredményeink szerint a nagyrészt városias karakterrel rendelkező vizsgált területen hat beépítettség és egy felszínborítással jellemezhető LCZ-típust lehetett megkülönböztetni.

A típusok között határozott hőmérséklet-különbségek mutatkoznak, amelyek mérsékeltnek bizonyultak a többféle időjárási helyzetet magukban foglaló éves átlagos érték

kek esetében, míg meglehetősen jelentősek voltak a kedvező időjárás alapján kiválasztott márciusi napon. Ez az összehasonlítás, főleg a második esetben, világosan alátámasztotta STEWART, I. D. – OKE, T. R. (2012) megállapításait, amelyek szerint a felszínborítás bármely különbségének vagy változásának (így az urbanizáció különböző fokozatainak is) a termikus hatása jobban kifejezhető a különböző LCZ-típusok alkalmazásával, mint az első látásra egyszerűnek és világosnak tűnő város/vidék megközelítéssel. Ráadásul, alkalmazásával lehetőség nyílik egy adott város területén belüli vagy különböző városok egyes területei közötti termikus sajátosságok objektív összehasonlítására.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az OTKA PD-100352 és az IPA Cross Border Cooperation Programme HUSRB/1203/122/166. számú projektje (URBAN-PATH) támogatta. A második szerző publikációt megalapozó kutatása a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 Nemzeti Kiválóság Program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

ÜNGER JÁNOS
SZTE TTIK, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Szeged
unger@geo.u-szeged.hu

LELOVICS ENIKŐ
SZTE TTIK, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Szeged
lelovics@geo.u-szeged.hu

GÁL TAMÁS
SZTE TTIK, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Szeged
tgál@geo.u-szeged.hu

MUCSI LÁSZLÓ
SZTE TTIK, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged
mucsi@geo.u-szeged.hu

IRODALOM

- AUER, A. H. 1978: Correlation of land use and cover with meteorological anomalies. – *Journal of Applied Meteorology*, 17. pp. 636–643.
- BALÁZS, B. – ÜNGER, J. – GÁL, T. – SÜMEGHY, Z. – GEIGER, J. – SZEGEDI, S. 2009: Simulation of the mean urban heat island using 2D surface parameters: empirical modeling, verification and extension. – *Meteorological Applications*, 16. pp. 275–287.
- BOSSARD, M. – FERANEC, J. – OTAHEL, J. 2000: CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. – Technical report, № 40. European Environment Agency, Copenhagen. 105 p.
- DAVENPORT, A. G. – GRIMMOND, C. S. B. – OKE, T. R. – WIERINGA, J. 2000: Estimating the roughness of cities and sheltered country. – *Proceed. 12th Conference on Applied Climatology*, Asheville, NC. pp. 96–99.
- ELLEFSSEN, R. 1990: Mapping and measuring buildings in the canopy boundary layer in ten U. S. cities. – *Energy and Buildings*, 15–16. pp. 1025–1049.
- GÁL, T. – LINDBERG, F. – ÜNGER, J. 2009: Computing continuous sky view factor using 3D urban raster and vector data bases: comparison and application to urban climate. – *Theoretical and Applied Climatology*, 95. pp. 111–123.
- MUCSI L. – ÜNGER J. – HENITS L. 2009: A beépítettség és a városi hősziget kapcsolatrendszerének vizsgálata geoinformatikai módszerekkel Szegeden. – *Földrajzi Közlemények*, 113. pp. 411–429.

- OKE T. R. 1987: Boundary layer climates. (2nd ed.). – Routledge, London–New York. 435 p.
- OKE T. R. 2004: Initial guidance to obtain representative meteorological observation sites. – WMO/TD, No. 1250., Geneva. 47 p.
- RAKONCZAI J.–ÜNGER J.–MUCSI L.–SZATMÁRI J.–TOBAK Z.–VAN LEEUWEN B.–GÁL T.–FIALA K, 2009: A napfény városa naplemente után – légi távérzékeléses módszerrel támogatott hősziget-térképezés Szegeden. – Földrajzi Közlemények, 113. pp. 367–383.
- RapidEye homepage*: http://www.rapideye.com/upload/RE_Product_Specifications_ENG.pdf (utolsó letöltés: 2013. 09. 09.)
- SCHROEDER, A. J.–BASARA, J. B.–ILLSTON, B. G. 2010: Challenges associated with classifying urban meteorological stations: The Oklahoma City Micronet example. – Open Atmospheric Science Journal, 4. pp. 88–100.
- STARKS, P. J.–NORMAN, J. M.–BLAD, B. L.–WALTER-SHEA, E. A.–WALTHALL, C. L. 1991: Estimation of short-wave hemispherical reflectance (albedo) from bidirectionally reflected radiance data. – Remote Sensing of Environment, 38. pp. 123–134.
- STEWART, I. D. 2007: Landscape representation and urban-rural dichotomy in empirical urban heat island literature, 1950–2006. – Acta Climatologica et Chorologica Univ. Szegediensis, 40–41. pp. 111–121.
- STEWART, I. D. 2011: A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. – International Journal of Climatology, 31. pp. 200–217.
- STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2009: A new classification system for urban climate sites. – Bulletin of the American Meteorological Society, 90. pp. 922–923.
- STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2010: Thermal differentiation of local climate zones using temperature observations from urban and rural field sites. – Extended Abstracts, Ninth Symposium on Urban Environment, Keystone, CO, Amer. Meteorol. Soc.
- STEWART, I. D.–OKE, T. R. 2012: Local Climate Zones for urban temperature studies. – Bulletin of the American Meteorological Society, 93. pp. 1879–1900.
- SÜMEGHY Z.–ÜNGER J. 2003: A települések hőmérséklet-módosító hatása – a szegedi hősziget-kutatások tükrében. – Földrajzi Közlemények, 127. (51.) pp. 23–44.
- TUCKER, C. J. 1979: Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. – Remote Sensing of the Environment, 8. pp. 127–150.
- ÜNGER, J. 2004: Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach. – Climate Research, 27. pp. 253–264.
- ÜNGER, J. 2006: Modelling of the annual mean maximum urban heat island with the application of 2 and 3D surface parameters. – Climate Research, 30. pp. 215–226.
- ÜNGER J.–GÁL T.–KOVÁCS P. 2006: A városi felszín és a hősziget kapcsolata Szegeden, 1. rész: térinformatikai eljárás a felszíngeometria számszerűsítésére. Légkör, 51. 3. pp. 2–9.
- ÜNGER, J.–GÁL, T.–RAKONCZAI, J.–MUCSI, L.–SZATMÁRI, J.–TOBAK, Z.–VAN LEEUWEN, B.–FIALA, K. 2010: Modeling of the urban heat island pattern based on the relationship between surface and air temperatures. – Időjárás, 114. pp. 287–302.
- ÜNGER, J.–SAVIC, S.–GÁL, T. 2011: Modelling of the annual mean urban heat island pattern for planning of representative urban climate station network. – Advances in Meteorology, 2011. ID 398613, 9 p.
- WMO, 1983: Abridged final report, 8th session. – Commission for Climatology and Applications of Meteorology, World Meteorological Organization (WMO), No. 600. Geneva.