

FELSZÍNHŐMÉRSÉKLETEN ALAPULÓ HŐSZIGET-INTENZITÁS VIZSGÁLATOK BUDAPESTRE A LOKÁLIS KLÍMAZÓNÁK ALAPJÁN

Dian Csenge⁽¹⁾ , Pongrácz Rita^(1,2) , Bartholy Judit^(1,2) , Dezső Zsuzsanna⁽¹⁾ 

⁽¹⁾ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

⁽²⁾ELTE TTK Kiválósági Központ, 2462 Martonvásár, Brunszvik u. 2.

e-mail: diancsenge@gmail.com, prita@nimbus.elte.hu,

bartholy@caesar.elte.hu, dezsozsuzsi@nimbus.elte.hu

Bevezetés

A nagyvárosok mesterséges burkolatai és a környezeti viszonyok jelentősen módosítják a sugárzási, energiaháztartási és áramlási viszonyokat. A beépítettség mértéke és milyensége jelentősen különböző lehet az egyes városrészekben. Stewart és Oke (2012) kifejlesztették a Lokális Klímaazon¹ rendszert, melynek segítségével minden terület besorolható az LCZ osztályokba. Összesen 17 LCZ osztályt határoztak meg, tízet a beépítettség, hetet pedig a felszínborítottság alapján. Az osztályozás a következő paraméterek figyelembevételével történik: égboltláthatóság, épületmagasság és utcaszélesség aránya, épületek alapterületi aránya, víz-záró és vízáteresztő felszín aránya, érdességi elemek magassága, terepi érdességi osztály, felszíni hőátadási tényező, felszíni albedó, antropogén hőkibocsátás. Ezen rendszerben minden terület – legyen az városi vagy vidéki – besorolható valamely LCZ osztályba, vagy egy több LCZ osztályból alkotott összetett kategóriába.

A városok éghajlatmódosító hatásai közül az egyik legjelentősebb a városi hősziget jelensége, ami a városon belüli területek és a várost körülvevő vidéki területek hőmérsékletkülönbségét jelenti (Oke, 1973). A hősziget-intenzitást egyaránt vizsgálhatjuk a léghőmérséklet (Pongrácz et al., 2016), illetve a felszínhőmérséklet alapján (Dezső et al., 2005). A felszínhőmérsékleteket például a NASA² két kutatóműholdja (Terra és Aqua) által végzett mérésekből kapjuk (NASA, 1999, 2002).

Az ELTE Meteorológiai Tanszék városklimatológiai kutatásainak itt bemutatandó része során az egyes LCZ kategóriák közötti különbségeket vizsgáltuk Budapest térségére műholdas felszínhőmérsékleti adatok felhasználásával: hogyan alakul az LCZ osztályok átlagos hősziget-intenzitása, milyen a hősziget intenzitás érték változékonysága az egyes LCZ osztályokon belül.

Felhasznált adatok, módszertan

Az LCZ osztályozás városklimatológiai és egyéb település-szerkezeti vizsgálatok alapjául szolgálhat. A WUDAPT³ egy nemzetközi kezdeményezés, melynek segítségével lehetőség nyílik a városok LCZ térképének gyors és egyszerű elkészítésére. Magyarországon Budapest és Szeged LCZ térképét készítették el ezzel a módszerrel a Szegedi Tudományegyetem munkatársai (Unger et al., 2014, Bechtel et al., 2015). Jelen kutatásban Budapest LCZ térképét használtuk fel.

¹ Local Climate Zones – LCZ

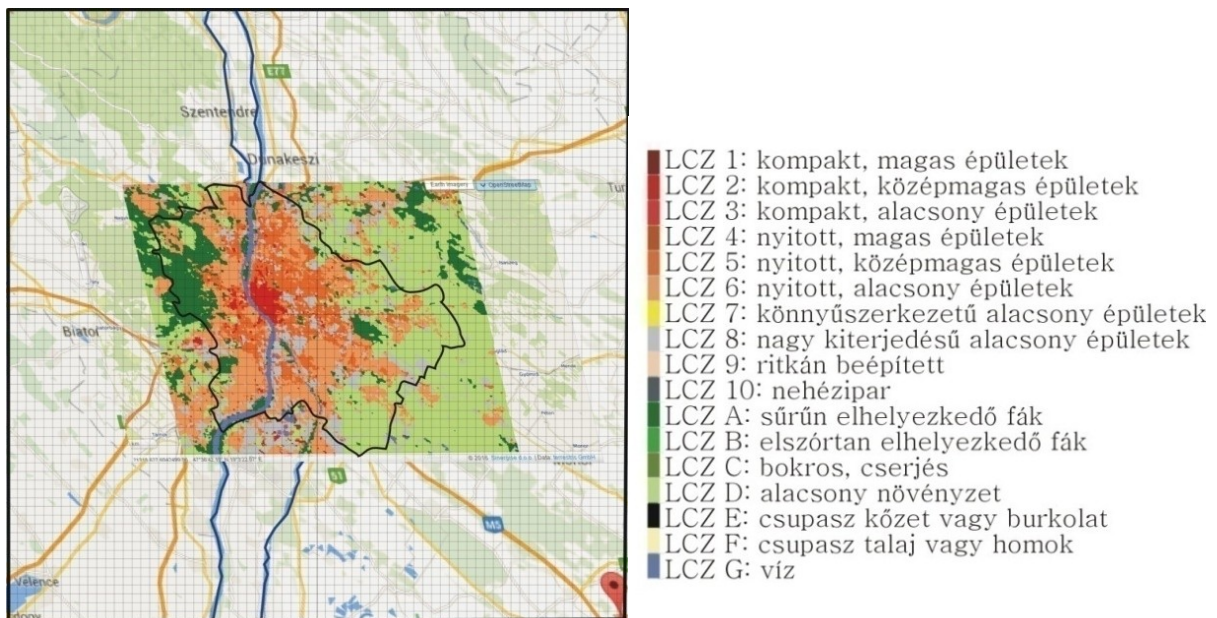
² National Aeronautics and Space Administration

³ World Urban Database and Access Portal Tool, <http://www.wudapt.org/>

Budapesten a 17 LCZ osztályból mindössze hétféle kategória található meg:

- LCZ 2: kompakt beépítettség, középmagas épületek
- LCZ 5: nyitott beépítettség, középmagas épületek
- LCZ 6: nyitott beépítettség, alacsony épületek
- LCZ 8: nagy kiterjedésű alacsony épületek
- LCZ A: sűrűn elhelyezkedő fák
- LCZ D: alacsony növényzet
- LCZ G: víz

A hősziget-intenzitás számításához a Terra és az Aqua műholdon egyaránt megtalálható MODIS⁴ szenzor $1 \times 1 \text{ km}^2$ -es felbontású méréseiből származtatott felszínhőmérséklet értékeket használjuk fel. Mindkét műhold naponta kétszer halad át Budapest felett, így egy napra összesen négy időpontban áll rendelkezésünkre mért adat (Terra: 9-10 UTC, 20-21 UTC; Aqua: 12-13 UTC, 2-3 UTC). A vizsgált terület egy Budapestet tartalmazó $70 \times 70 \text{ km}^2$ -es MODIS tartomány, melyre a 1. ábra jelmagyarázatában megadott színárnyalatok felhasználásával ráillesztettük Budapest LCZ térképét.



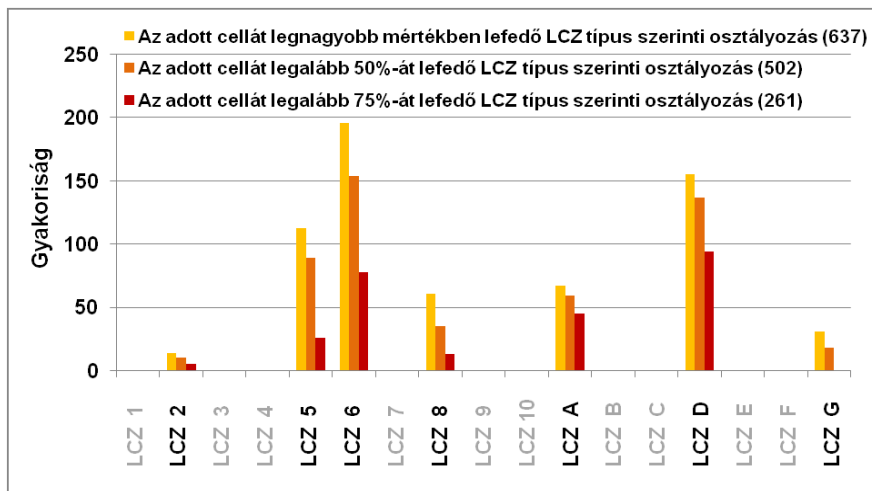
1. ábra: A MODIS $70 \times 70 \text{ km}^2$ -es kivágata és Budapest LCZ térképe (LCZ térkép: http://geopedia.world/#T4_L107_x2130299.9783078623_y6020180.347740481_s11_b17).

A vizsgálat során a Budapest közigazgatási határán belülre eső MODIS rácscellákat háromféle módszer alapján soroltuk LCZ osztályokba. Az első kritérium szerint minden rácscella abba az LCZ osztályba tartozik, amelyik a cella legnagyobb részét lefedi, így az összes cellához megadható egyetlenegy osztály. A második kritérium szerint már csak azokat a cellákat vesszük figyelembe, melyeknek legalább az 50%-a egy adott LCZ osztályba tartozik, és ebbe az osztályba soroljuk. Végül a legszigorúbb kritérium, a harmadik, melyben a rácscella legalább 75%-át borítja egy meghatározott LCZ osztály (és ezt rendeljük hozzá a cellához). A 2. ábra mutatja a rácscellák eloszlását az egyes LCZ típusok szerint annak függvényében, hogy melyik osztályozási kritériumot vesszük figyelembe. Mindhárom kritérium esetén az LCZ 6-os (nyitott, alacsony), kertvárosiasnak nevezhető kategóriába tartozik a legtöbb rácscella Budapest területén. A belvárosi LCZ 2-es (kompakt, középmagas) kategó-

⁴ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

riába kevés rácscella tartozik. Budapesten kétféle növényzettel borított LCZ osztály jelenik meg, az LCZ A (sűrű, fás) és az LCZ D (alacsony növényzet), melyek közül az LCZ D, füves típusba tartozik több rácscella. Az LCZ G, a vízzel borított területek kategóriája a legszigorúbb kritérium esetén nem jelenik meg, azaz nincs olyan rácscella, melynek legalább a 75%-át víz borítaná.

A vizsgálatokhoz további szempontként figyelembe vettük a felhőzetet is: Csak azokkal a napokkal és időpontokkal számoltunk, melyeken a teljes $70 \times 70 \text{ km}^2$ -es tartomány legfeljebb 25%-át borította felhőzet, továbbá speciálisan teljesen felhőmentes eseteket is vizsgáltunk.



2. ábra: A Budapest közigazgatási határán belülről eső MODIS rácscellák eloszlása az LCZ osztályok szerint (zárójelben az összes vizsgált cella száma szerepel).

A szürkével jelölt LCZ osztályok Budapesten nem fordulnak elő.

Eredmények

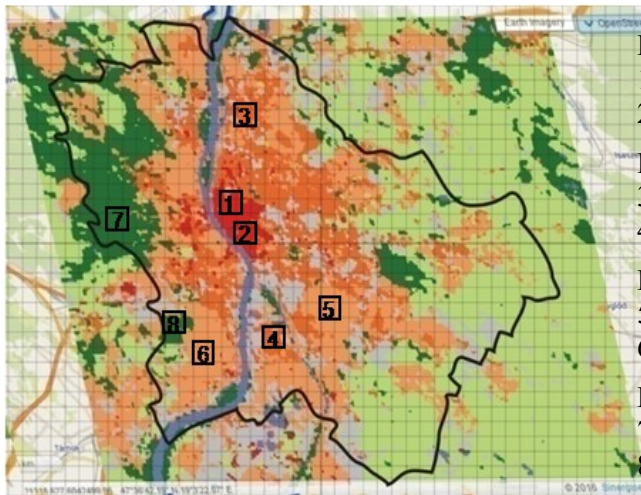
Jelen tanulmányban kétféle elemzés eredményeit mutatjuk be. Az elsőben azonos LCZ osztályba eső rácscellák hősziget-intenzitás idősorát hasonlítottuk össze. A másodikban pedig egy négy napig tartó hőhullámos időszakot vizsgáltunk, mely során a teljes kivágat felhőmentes volt.

Azonos LCZ osztályba tartozó rácscellák összehasonlító elemzése

Azonos LCZ típusú rácscellák idősorait hasonlítottuk össze az Aqua délutáni mérései alapján 2003–2016 időszakban. Ezen összefoglalóban négyféle LCZ kategóriából két-két rácscellát választottunk ki az alábbi szempontok figyelembevételével:

- lehetőleg a teljes cellát az adott LCZ típus borítsa
- amennyire lehetséges egymástól távoli cellák legyenek
- a környező rácscellák szintén a kiválasztott LCZ típusba tartozzanak

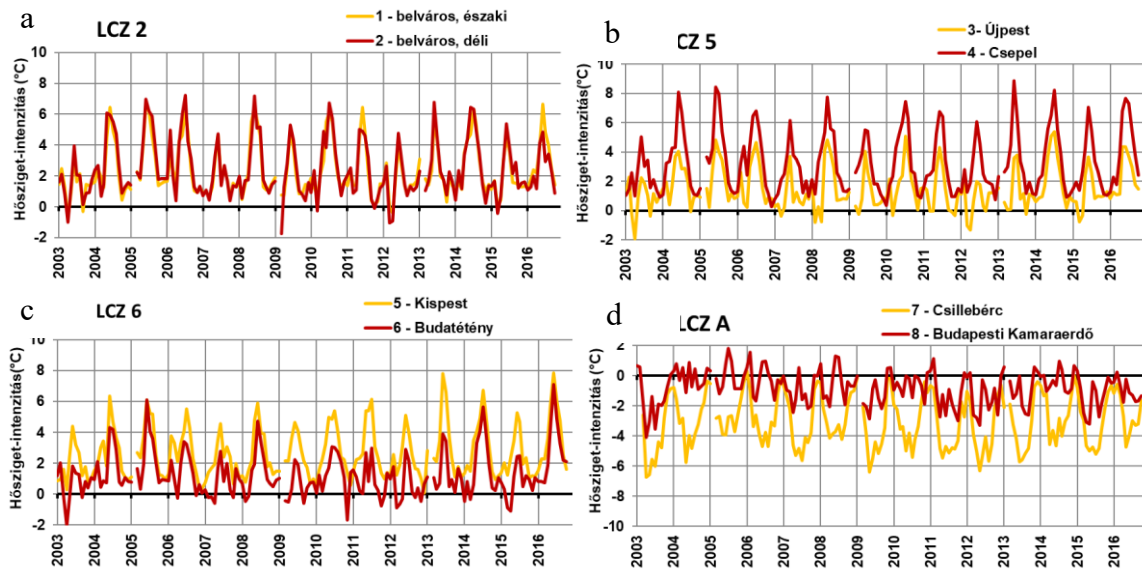
A 3. ábrán látható a nyolc kiválasztott rácscella Budapesten belüli térképes elhelyezkedése, az LCZ típusuk, valamint a rácscellát tartalmazó városrész megnevezése.



- LCZ 2** - Kompakt, középmagas épületek
 1. Belváros, északi
 2. Belváros, déli
- LCZ 5** - Nyitott, középmagas épületek
 3. Újpest
 4. Csepel
- LCZ 6** - Nyitott, alacsony épületek
 5. Kispest
 6. Budatétény
- LCZ A** - Sűrűn elhelyezkedő fák
 7. Csillebérc
 8. Kamaraerdő

3. ábra: Az összehasonlításhoz kiválasztott MODIS rácscellák elnevezése, LCZ típusa és elhelyezkedése a térképen.

A 4. ábrán hasonlíthatjuk össze részletesen a 8 kiválasztott MODIS rácscella idősorait. Az LCZ 2 (kompakt, középmagas épületek) kategória egybefüggően csak a belvárosban található meg, ezért két, egymáshoz közel eső rácscellát tudtunk kiválasztani. A teljes idősoron látható (4.a ábra), hogy a két cella idősora szinte megegyezik, és alig fordult elő negatív hősziget-intenzitás. Jól megfigyelhető a felszínhőmérsékletből származó hősziget-intenzitás éves menete, miszerint a legmagasabb értékek nyáron tapasztalhatók.



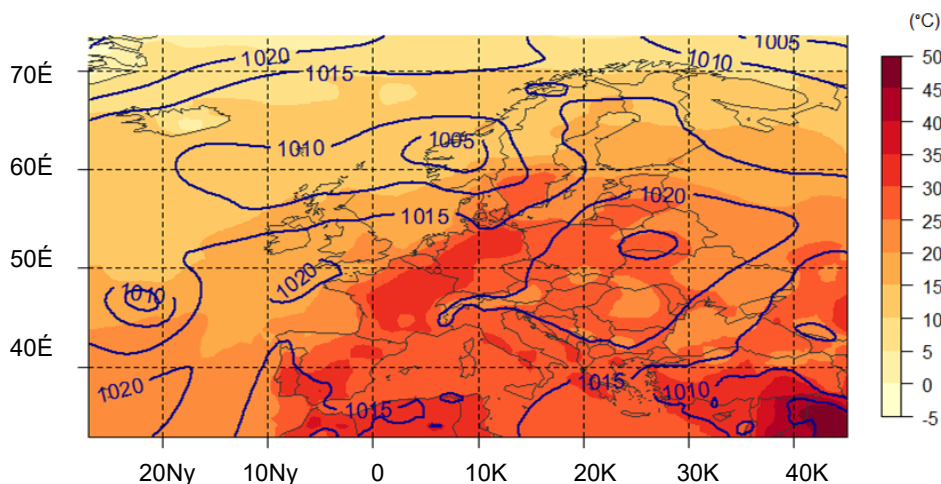
4. ábra: Az Aqua délutáni áthaladásának méréseiből számított havi hősziget-intenzitás idősorok összehasonlítása a nyolc kiválasztott rácscellára vonatkozóan, 2003 januárjától 2016 októberéig.

Az LCZ 5 (kompakt, alacsony épületek) típusába már két, egymástól távolabb fekvő rácscellát választottunk ki. A 4.b ábrán egyértelműen látszik, hogy Csepelen a teljes időszakban magasabb intenzitás értékek detektálhatók, mint Újpesten. Ez a jól észlelhető különbség abból adódhat, hogy a csepeli rácscellát nagyobb iparterület veszi körül, valamint, hogy az uralkodó szélirány ÉNY-ias. Az LCZ 6-os (nyitott, alacsony épületek) osztályból kiválasztott rácscellák között szintén előfordulnak különbségek (4.c ábra): álta-

lában Kispesten magasabb volt az intenzitás értéke, mint Budatétényen. A növényzettel borított területekből az LCZ A (sűrű, fás) kategóriát választottuk ki. A 4.d ábrán általában negatív hősziget-intenzitás figyelhető meg, azaz a városon belüli erdős területek hűvösebbek voltak, mint a várost körülvevő vidékként definiált térségek. A két kiválasztott rács-cella közül Csillebércen abszolút értékben nagyobb intenzitásokat tapasztaltunk, mint a Budapesti Kamaraerdőben. Ennek két oka lehet. Egyrészt Csillebérc magasabb tengerszint feletti magasságon fekszik, másrészt ezt a kiválasztott rácsellát nagyobb erdős terület veszi körül, míg a Kamaraerdőt beépített területek övezik.

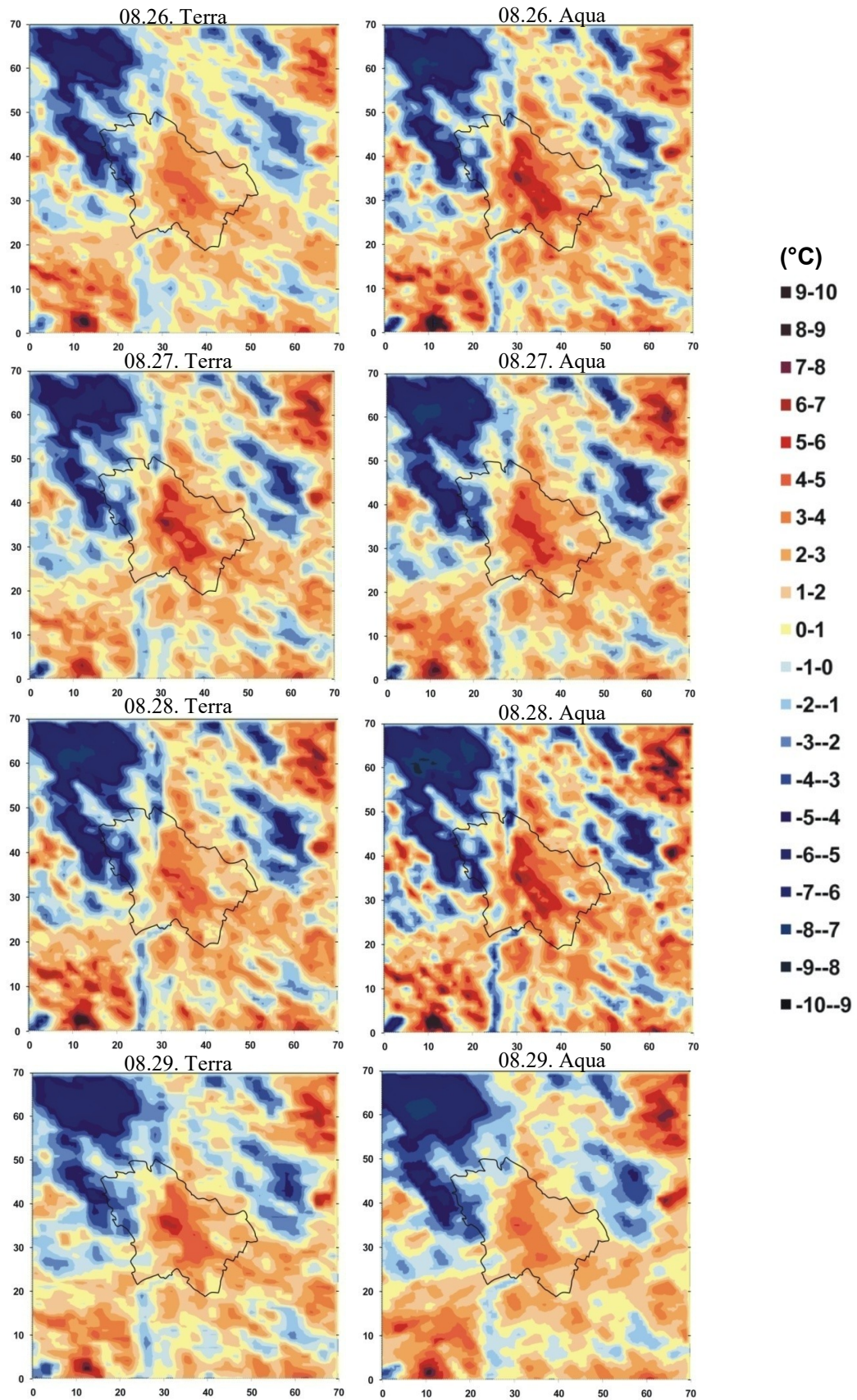
Esettanulmány egy felhőmentes időszakról

A műholdas méréseket alapvetően befolyásolja a felhőzet. Ugyanis felhő jelenléte esetén a felhőtető hőmérsékletét mérik a szenzorok a különböző felszínborítások helyett. Így egyértelműen a felhőmentes felszínre vonatkozó lényeges következtetések levonásához tökéletesen felhőmentes – jellemzően anticiklonális jellegű – időjárási viszonyok szükségesek. Ilyenekre a Kárpát-medence térségében főként nyáron számíthatunk. Jelen város-klimatológiai vizsgálatunk keretében egy négynapos hőhullámos időszakot mutatunk be 2016. augusztus 26–29. között, amikor a Terra délelőtti és az Aqua délutáni méréseinek időpontjaiban a teljes $70 \times 70 \text{ km}^2$ -es MODIS kivágat teljesen felhőmentes volt. Ebben az időszakban Közép-Európa, így Magyarország időjárását is egy anticiklon határozta meg (5. ábra), Budapesten a napi középhőmérséklet $21\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C}$, míg a maximális hőmérséklet $28\text{--}32 \text{ }^\circ\text{C}$ között alakult.



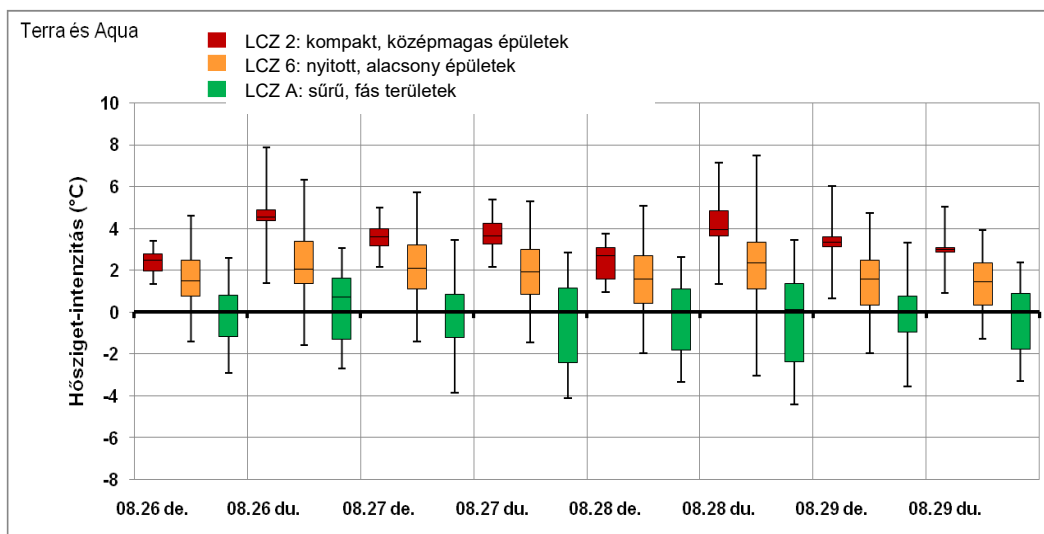
5. ábra: A napi középhőmérséklet ($^\circ\text{C}$, színezéssel jelölve) és tengerszintre átszámított légnyomás (hPa, izovonalas megjelenítéssel) alakulása 2016. augusztus 26-án Európában, az ERA Interim Adatbázis adatai alapján.

A 6. ábra térképsorozata mutatja a Terra és Aqua négy-négy kiválasztott mérési időpontjában detektált hősziget-intenzitás értékeket. Mind a nyolc időpontban jól láthatóan kialakul egy magas intenzitású központi sáv a belvárosban, azaz Budapest legsűrűbben beépített területén, akár $10 \text{ }^\circ\text{C}$ -os intenzitások is kialakultak. Augusztus 29-én egy gyenge hidegfront vetett véget a hőhullámos időszaknak.



6. ábra: A hősziget-intenzitás alakulása 2016. augusztus 26–29. között, a Terra délelőtti és az Aqua délutáni mérései alapján, a $70 \times 70 \text{ km}^2$ -es kivágaton.

A 7. ábrán a nyolc áthaladási időpontra vonatkozó hősziget-intenzitási értékek eloszlása látható három kiválasztott LCZ osztályra vonatkozóan (LCZ 2: kompakt középmagas épületek; LCZ 6: nyitott, alacsony épületek; LCZ A: sűrű fás). Az eredményeket Box-Whiskers diagramon mutatjuk be, ahol a minimum- és maximumérték közötti vonal reprezentálja az összes előforduló értéket, a szélesebb téglalapok jelölik az alsó és felső kvartilis közötti intervallumot, azaz a hősziget-intenzitási értékek középső 50%-át, a téglalapon belüli vízszintes vonal pedig a medián értékét. Az LCZ 2 kategóriába csak pozitív hősziget-intenzitások figyelhetők meg ebben az időszakban, és a maximális intenzitás érték szintén itt tapasztalható, mely közel 8 °C-os volt. Az LCZ 6-os osztályban már előfordultak negatív hősziget értékek is, azonban az adatok jelentős része pozitív. A középső 50% egyértelműen alacsonyabb intenzitás értékeket vesz fel, mint az LCZ 2 típus esetén. A növényzettel borított LCZ A kategóriában az esetek felében negatív hősziget-intenzitás alakult ki a négy nap folyamán.



7. ábra: Hősziget-intenzitás eloszlása az LCZ 2 (kompakt, középmagas épületek), LCZ 6 (nyitott, alacsony épületek) és LCZ A (sűrű, fás területek) osztályokban 2016. augusztus 26–29. között a Terra és Aqua nappali mérései alapján.

Összefoglalás

Jelen tanulmányban Budapest különböző lokális klímazónáiban vizsgáltuk a hősziget-intenzitás alakulását MODIS felszínhőmérsékleti adatok felhasználásával. Azonos LCZ típusba tartozó MODIS rácscellák összehasonlítása alapján kijelenthetjük, hogy várakozásainknak megfelelően a belvárosi legsűrűbben beépített területeken (LCZ 2) volt a legmagasabb a hősziget-intenzitás, míg a növényzettel borított városrészekeken (LCZ A) negatív intenzitások voltak jellemzők. Továbbá, hogy az adott rácscella intenzitását a saját és a környező területek beépítettségének mértéke egyaránt befolyásolja. Az összehasonlításból és a felhőmentes esettanulmányból egyaránt egyértelműen kitűnik, hogy a hősziget-intenzitás nő a beépítettség növekedésével. A pontos függvénykapcsolat meghatározásához további esetek részletes vizsgálatára van szükség.

Köszönetnyilvánítás

A műholdas felszínhőmérsékleti adatbázis előállítására és rendelkezésre bocsátására az amerikai NASA-nak köszönhető, melyhez a Földfelszíni Megfigyelőrendszer Adatközpontján keresztül jutottunk hozzá. A kutatásokat támogatta a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap K120605 és K-129162 számú projektje, az AGÁRKLIMA2 (VKSZ_12-1-2013-0034) projekt, az Európai Regionális Fejlesztési Alap Széchenyi 2020 programja az AgroMo projekt (GINOP-2.3.2-15-2016-0028) keretében, az Emberi Erőforrások Minisztériuma az ELTE Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program (1783-3/2018/FEKUTSRAT) keretében, valamint az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíja.

Hivatkozások

- Bechtel, B., Foley, M., Mills, G., Ching, J., See, L., Alexander, P., O'Connor, M., Albuquerque, T., Andrade, M., Brovelli, M., Das, D., Fonte, C. C., Petit, G., Hanif, U., Jimenez, J., Lackner, S., Liu, W., Perera, N., Rosni, N. A., Theeuwes, N., Gál, T., 2015: CENSUS of Cities: LCZ Classification of Cities (Level 0). *Workflow and Initial Results from Various Cities – ICUC9 extended abstracts*. Toulouse, Franciaország, 2015.07.20-2015.07.24. Paper GD2-2-2891238_a.pdf. 6p.
- Dezső, Zs., Bartholy, J., Pongrácz, R., 2005: Satellite-based analysis of the urban heat island effect. *Időjárás*, 109(4): 217–232.
- NASA, 1999: Science writers' guide to Terra – NASA EOS Project Science Office, Greenbelt, MD. 28p.
- NASA, 2002: Science writers' guide to Aqua – NASA EOS Project Science Office, Greenbelt, MD. 32p.
- Oke, T.R., 1973: City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7(8): 769–779. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6)
- Pongrácz, R., Bartholy, J., Dezső, Zs., Dian, Cs., 2016: Analysis of the air temperature and relative humidity measurements in the Budapest Ferencváros District. *Hungarian Geographical Bulletin*, 65(2): 93–103. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.65.2.1>
- Stewart, I.D., Oke, T.R., 2012. Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 93(12): 1879–1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Unger, J., Lelovics, E., Gál, T., 2014: Local Climate Zone mapping using GIS methods in Szeged. *Hungarian Geographical Bulletin*, 63(1): 29–41. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.63.1.3>
-

ORCID

- Dian Cs.  <https://orcid.org/0000-0001-9622-1884>
- Pongrácz R.  <https://orcid.org/0000-0001-7591-7989>
- Bartholy J.  <https://orcid.org/0000-0002-3911-7981>
- Dezső Zs.  <https://orcid.org/0000-0003-1325-1303>