

A *Molnár János-barlang* mérőhelyein a hőmérséklet a víztől (a barlangi tó szintjétől) fölfelé csökken, ami a CO₂ koncentrációra és a relatív nedvességre is elmondható. A Szent Lukács-ág hőáram mérései a mélyebben levő termálvíz felől az agyagos üledékben felfelé áramló hőt, s így levegőfeláramlást jelez, ami magyarázatot adhat a mérési helynél tapasztalható ún. „evaporatív”, apró karbonát-kiválások képződésére. A jelenleg is aktív hipogén barlang mérései sajnos a bújarturizmus miatt részben antropogén zavarással terhelték. A Kessler-teremben a tóvíz és a fölötte húzódo levegős szakasz hőmérséklet és CO₂ értékei egyaránt magasabbnak bizonyultak a Szent Lukács-ágéhoz képest, ami a tó meleg vizével és az oldalág relatív elkülönülésével magyarázható.

A *mikrometeorológiai mérések* alkalmasak i) a bemutatott két különböző karsztbarlang sajátosságainak feltárására, ii) a „látogatóknak köszönhető” antropogén hatások számszerűsítésére, s hozzájárulnak iii) a hipogén barlangképződés környezeti feltételeinek jobb megértéséhez. E munkában az expedíciós mérések jelentik az első lépést, amit követni kellene egy automatizált, felügyelet mellett működő nagypontosságú monitoring rendszernek.

Köszönetnyilvánítás

A mikrometeorológiai mérőrendszer fejlesztéséhez támogatást nyújtott az OTKA K116788 és NN109679, valamint a GINOP-2.3.2-15-2016-00007 azonosító számú program.

IRODALOM

- Albert, G., Virág, M., Erőss, A. 2015: Karst porosity estimations from archive cave surveys - studies in the Buda Thermal Karst System (Hungary). – *International Journal of Speleology* 44 (2), pp. 151–165.
- Mádl-Szőnyi, J. 2012: Detailed research Plan to OTKA NK 101356. Evaluation of hypogenic karstification focusing on microbially mediated processes – interdisciplinary research. – Manuscript, OTKA Project. 10 p.
- Menichetti, M. 2013: Karst processes and carbon flux in the Frasassi Caves, Italy. – *Proceedings of ICS*, pp. 376–378.
- Stieber J. 2016: A Szemlő-hegyi-barlang aeroszol-monitoring programjának eredményei. – *Karszt és Barlang* 2012-14, pp. 71–78.
- Virág, M., Mindszenty, A., Bendő, Zs., Weidinger, T., Molnár, M., Páll-Somogyi, K., Mádl-Szőnyi, J., Veres, V. 2013b: Anthropogenically modulated hydrological changes recorded by a ~120 years old flowstone-like travertine (Rudas Spa, Budapest, Hungary). – In: Mádl-Szőnyi, J., Erőss, A., Mindszenty, A., Tóth, Á. (eds.): *International Symposium on Hierarchical Flow Systems in Karst Regions – In honour of Professor József Tóth in celebration of his 80th birthday*, 4-7 September 2013, ELTE, Budapest, Hungary, p. 138.
- Virág M., Mindszenty A., Weidinger T., Molnár M., Bendő Zs., Tanos P., Mádlné Szőnyi J. 2013: A Rudas fürdő travertínója. – In: Mindszenty A. (szerk.): Budapest: földtani értékek és az ember. *Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, pp. 191–199.
- Weidinger T., Nagy B., Mádlné Szőnyi J., Bodor P., Salavec P., Tordai Á. 2016: Terepi mérések a Gellért-hegy belsejétől a Száraz-Andokig. – *Egyetemi Meteorológiai Füzetek* (szerk.: Pongrácz R., Mészáros R., Kis A.) No 27, 162-172. <http://nimbus.elte.hu/oktatas/metfuzet/EMF027/PDF/24-Weidinger-et-al.pdf>

A FELSZÍNHŐMÉRSÉKLETEN ALAPULÓ HŐSZIGET-INTENZITÁS ÉS A LOKÁLIS KLÍMAZÓNÁK KAPCSOLATA BUDAPESTEN

Connection between surface temperature based heat island intensity and local climate zones in Budapest

Dian Csenge, Pongrácz Rita, Dezső Zsuzsanna, Bartholy Judit

Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszék

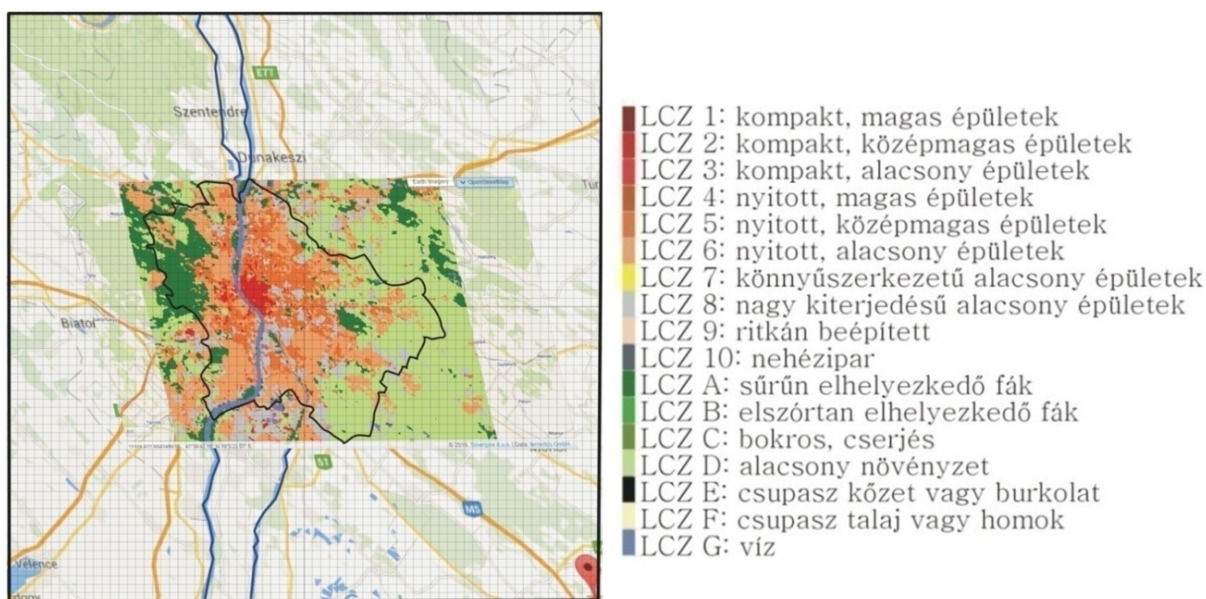
diancsenge@gmail.com

Napjainkban a Föld lakosságának több mint fele városokban él. A mesterséges burkolat megbontja a természetes környezetet, módosítja a sugárzási, áramlási és energetikai viszonyokat. Ennek következtében a városokban sajátságos éghajlati viszonyok alakulnak ki. A városi hősziget jelensége az egyik legjelentősebb változás. Ez a városon belüli és a városkörnyéki vidéki területek hőmérsékletkülönbségét jelenti, mérőszáma a hősziget-intenzitás (Oke, 1973). Vizsgálata többféle módon történhet. Helyszíni mérésekkel léghőmérsékleten alapuló hősziget-intenzitás határozható

meg, míg műholdas mérések segítségével felszínhőmérsékletből származtatható a hőmérsékletkülönbség (Dezső et al., 2005). A különböző felszín típusok és beépítettség szerkezetek eltérő mértékben módosítják az éghajlati viszonyokat. 2012-ben Stewart és Oke létrehozták az ún. lokális klímazóna rendszert (Local Climate Zones - LCZ). Az osztályozás többek között a következő paramétereket veszi figyelembe: az épületek magassága, a burkolt és nem burkolt területek aránya, a felszín, a talaj, valamint a sugárzási és energetikai viszonyok. Ezek felhasználásával tízféle kategória határozható meg a beépítettségi típusokra vonatkozóan és hétféle a felszínborítás alapján, valamint további négy időszakos jellemzőt kifejező meghatározás létezik. Hazánkban a Szegedi Tudományegyetem munkatársai elkészítették az LCZ térképet Budapestre és Szegedre. A teljes rendszerből a Budapesten fellelhető hétféle LCZ típus a következő (1. ábra):

- 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 származtatásához szükséges felszínhőmérséklet adatokat a műholdas mérések biztosítják. A Terra és az Aqua a NASA két kvázipoláris kutatóműholdja, így Budapest térsége fölött mindkét műhold naponta kétszer halad át és végez különféle méréseket. A Terra délelőtt 9–10 UTC és este 20–21 UTC körül halad át Budapest felett. Az Aqua műhold pedig délben 12–13 UTC és éjszaka 2–3 UTC körül (Dezső et al., 2005). Mindkét műholdon megtalálható a MODIS szenzor, melynek az infravörös csatornán végzett méréseiből származtatható a felszínhőmérséklet, majd ebből számítjuk a hősziget-intenzitást. A MODIS méréseket 1 km²-es rácsfelbontású adatbázisban adják közre. Vizsgálatainkhoz a Budapestet magába foglaló 70 × 70 km²-es kivágatot használjuk. A műholdas mérések előnye, hogy nagyobb területet egyidejűleg lehet vizsgálni, így lehetőség nyílik a teljes budapesti városi hősziget elemzésére. Hátránya, hogy felhős időben nem kapunk információt a felszín hőmérsékletéről.



1. ábra: Budapest LCZ térképe a MODIS szenzor 1 km²-es rácsfelbontású vetületén megjelenítve

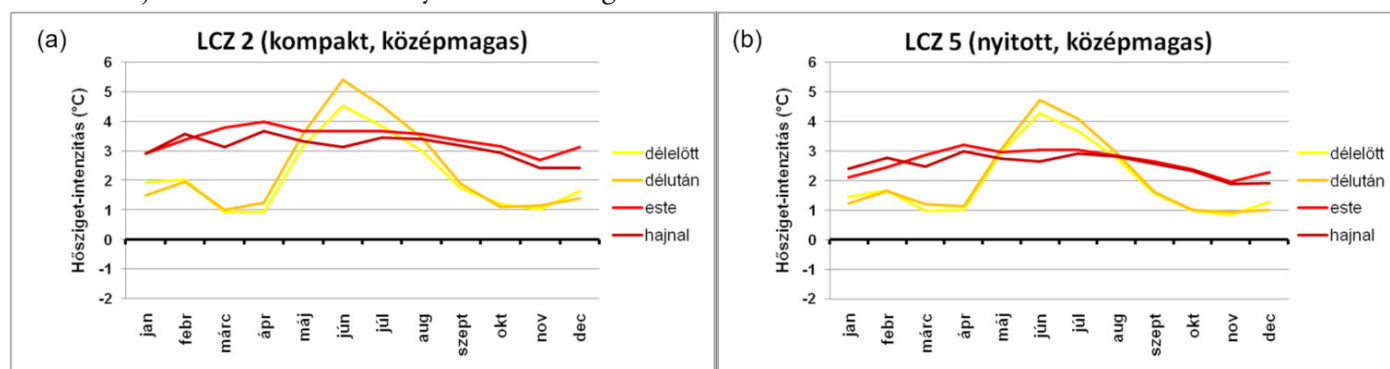
Az alkalmazott budapesti MODIS kivágat minden egyes rácscellájára meghatároztuk, hogy mely LCZ kategóriába tartozik. Ehhez kétféle területet vizsgálunk. Egyrészt vannak olyan rácscellák, amiket bizonyos kritériumrendszer szerint (beépítettség, tengerszint feletti magasság) nem számítunk városi rácscellának, így ezek kihagyásával kapjuk az egyik területet (Dezső, 2009). Másrészt a Budapest közigazgatási határán belülre eső összes rácscellát tartalmazó területet vizsgáljuk. Az LCZ kategóriákba soroláshoz háromféle módszertant alkalmaztunk. Minden rácscellát be tudunk sorolni abban az esetben, amikor csak azt vettük figyelembe, hogy melyik a domináns LCZ kategória az adott cellában. A következő módszernél már megköveteljük, hogy a meghatározó LCZ kategória legalább a terület 50%-át fedje, végül a harmadik verzióban a domináns 75%-os lefedettség szükséges a besoroláshoz.

Az elemzések során háromféle felhőborítottság-kritériumot vettünk figyelembe. Abban az esetben, amikor hosz-

szabb időszakokat vizsgáltunk (másfélvztizedes idősor, éves, évszakos), a teljes 70 × 70 km²-es kivágatnak legfeljebb a 25%-át boríthatta felhőzet. Ezekben az esetekben havi átlagos értékekkel dolgoztunk. Legfeljebb 10%-os felhőborítást engedtünk meg abban az esetben, amikor napi adatok alapján havi gyakoriságokat számoltunk. Végül esettanulmány jelleggel teljesen felhőmentes napokat vizsgáltunk (Dian, 2017).

A továbbiakban a Budapest teljes közigazgatási határán belüli területet, a legalább 50%-os LCZ lefedettséget megkövetelő módszertan alapján vizsgáltuk, legfeljebb 25%-os felhő-borítással. Az egyes LCZ kategóriák átlagos éves menetét határoztuk meg a négy műhold-átvonulási időszakra vonatkozóan.

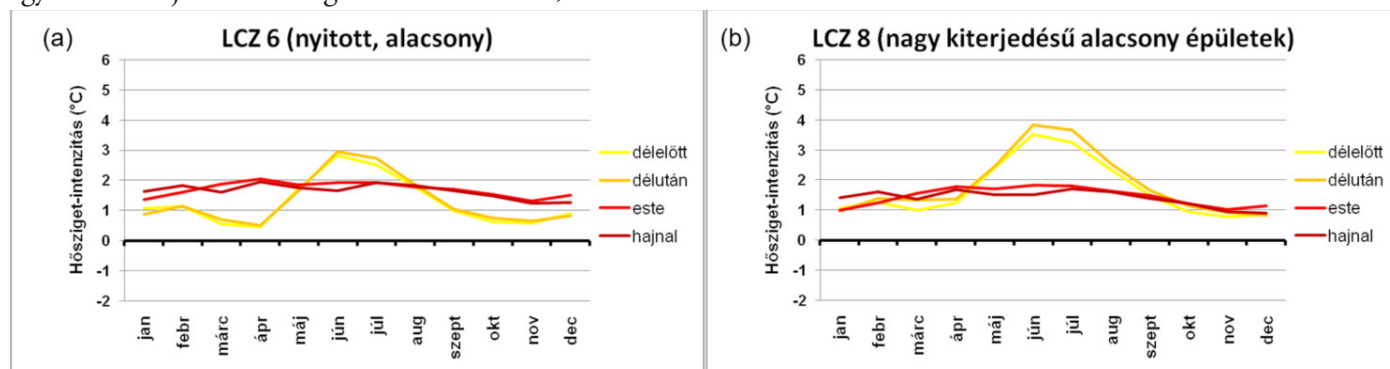
A 2. ábra (a) részén látható az LCZ 2, kompakt beépítettségű, középmagas épületek kategóriájának – mely Budapest belvárosát jelenti – átlagos havi hősziget-intenzitásai. Napközben jelentős évi menet figyelhető meg a Terra délelőtti és az Aqua délutáni mérései alapján. A maximum (5,41 °C) júniusban a kora délutáni órákban tapasztalható. Mivel a felszínhőmérsékletet közvetlenül a besugárzás határozza meg, ezért a felszínhőmérsékletből származtatott hősziget-intenzitás nyáron napközben veszi fel a maximumát. A minimum-értékek tavasszal és ősszel fordulnak elő (kb. 1 °C), míg január-februárban egy kisebb másodmaximum detektálható. Ezzel szemben éjszaka egész évben 2-4 °C között alakult a hősziget-intenzitás, és nem mutat jelentős éves menetet. Az LCZ 5 kategóriába (2. ábra (b) része) még középmagas épületek tartoznak, de már nyitott beépítettséggel, kevésbé sűrűn helyezkednek el. Az előzőhöz hasonló éves menet látható ennél a kategóriánál is, de a maximum érték itt már nem éri el az 5 °C-ot, illetve éjszaka 1 °C-kal alacsonyabbak a hősziget-intenzitások, azaz 1-3 °C között alakulnak.



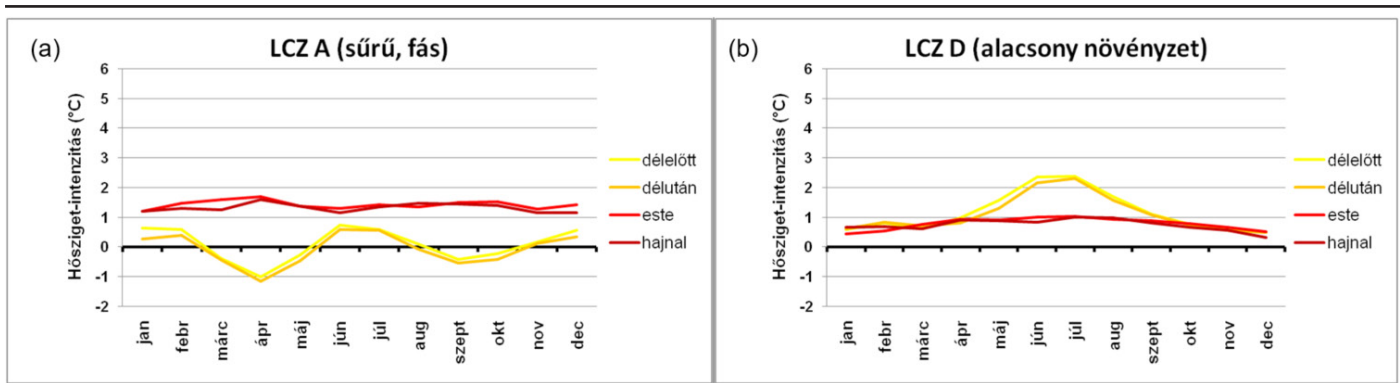
2. ábra: A hősziget-intenzitás éves menete (2001-2016) a négy műhold-átvonulásra a két legsűrűbben beépített kategória esetén: (a) LCZ 2 (b) LCZ 5

A 3. ábra (a) részén a kertvárosi övezetnek tekinthető LCZ 6-os, nyitott beépítettségű alacsony épületek kategóriája látható. Az éves menet ugyanúgy alakul, mint az előző két esetben, de a nyári, délutáni maximum csak 2,95 °C. A minimumértékek is alacsonyabbak. Továbbá az éjszakai intenzitás szűkebb intervallumba esik, végig 1-2 °C körül alakul. Az LCZ 8 kategória a nagy kiterjedésű alacsony épületeket foglalja magába, amik Budapesten iparterületeket, gyárakat, pályaudvarokat és a repülőteret jelenti. Az éves menetben nincs különbség, illetve az éjszakai értékek is megegyeznek az LCZ 6 kategóriában tapasztaltakkal, azonban a maximum csaknem eléri a 4 °C-ot.

Budapesten kétféle növényzettel borított kategória található. Az LCZ A, ami a sűrű, fás, erdős területeket jelenti (4. (a) ábra), illetve az LCZ D, az alacsony növényzetes kategória (4. (b) ábra). Az LCZ A kategória esetében éjszaka továbbra is 1-2 °C volt a havi átlagos intenzitás. Nappal nyáron és télen volt a maximális hősziget-intenzitás, de végig 1 °C alatt maradt. Tavasszal és ősszel pedig negatív értékek adódtak, azaz a városon belüli erdős területeken hűvösebb volt, mint a városkörnyéki területeken, akár -1,15 °C-os havi átlagos intenzitás is kialakult. Az alacsony növényzet esetén a nyári nappali maximum 2,36 °C, nincs téli másodmaximum, a minimális nappali értékek megegyeznek az éjszakai hősziget-intenzitásokkal, ami 0-1 °C körül alakul.



3. ábra: A hősziget-intenzitás éves menete (2001-2016) a négy műhold-átvonulásra a két alacsony épületekkel beépített kategória esetén: (a) LCZ 6 (b) LCZ 8



4. ábra: A hősziget-intenzitás éves menete (2001–2016) a négy műhold-átvonulásra két, növényzettel borított kategória esetén: (a) LCZ A (b) LCZ D

Kutatásunk során a lokális klímazónák felszínhőmérsékletből származtatott hősziget-intenzitás viszonyait hasonlítottuk össze Budapesten. A MODIS felszínhőmérsékleti adatok alapján megállapítható, hogy a maximális hősziget-intenzitások nyáron, nappal, korai délután alakulnak ki, hiszen ilyenkor a legnagyobb a besugárzás, ami a felszínhőmérséklet alakulását döntően befolyásolja. A beépítettség növelésével nő a hősziget-intenzitás. A belvárosi LCZ 2 kategóriában fordultak elő a legmagasabb havi átlagos intenzitások, akár az 5,5 °C-ot is megközelíti, míg az LCZ A, erdős területeken akár negatív hősziget-intenzitások is kialakultak. Tehát egyértelműen levonható az a következtetés, hogy a zöld felület telepítésével mérsékelhető a hősziget-intenzitás erőssége.

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 az OTKA K-109109 és K-120605 számú projektje, valamint az AGÁRKLIMA2 (VKSZ_12-1-2013-0034) projekt, valamint az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíja.

IRODALOM

- Dezső Zs. 2009: A magyarországi és közép-európai nagyvárosokban kialakuló városi hősziget vizsgálata finom felbontású műholdképek alapján – Doktori (PhD) értekezés (témavezető: Bartholy J.). ELTE, Budapest, 113p.
- Dezső Zs., Bartholy J., Pongrácz R. 2005: Satellite-based analysis of the urban heat island effect – *Időjárás*, 109, pp. 217-232.
- Dian Cs. 2017: Budapesti lokális klímazónák összehasonlító elemzése MODIS felszínhőmérsékleti adatok alapján – MSc Diplomamunka (témavezetők: Pongrácz R., Dezső Zs., Bartholy J.), ELTE, Budapest, 51p.
- Oke, T.R. 1973: City size and the urban heat island – *Atmospheric Environment*, 7, pp. 769-779.
- Stewart, I. D., Oke, T.R. 2012: Local Climate Zones for urban temperature studies. – *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, pp. 1879–1900.
- Unger J., Lelovics E., Gál T. 2014: Local Climate Zone mapping using GIS methods in Szeged – *Hungarian Geographical Bulletin*, 63 (1), pp. 29-41.
- Budapest LCZ térképe: http://geopedia.world/#T4_L107_x2130299.9783078623_y6020180.347740481_s11_b17