

# VEGETÁCIÓ HATÁSA A VÁROSI HŐSZIGET JELENSÉGÉRE: MŰHOLDAS ADATOK ELEMZÉSE A BUDAPESTI XII. KERÜLETRE

Fricke Cathy, Pongrácz Rita, Dezső Zsuzsanna, Bartholy Judit

ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A  
e-mail: frcsaat@caesar.elte.hu, prita@elte.hu, dezsozsuzsi@caesar.elte.hu, bartholy@elte.hu

## Bevezetés

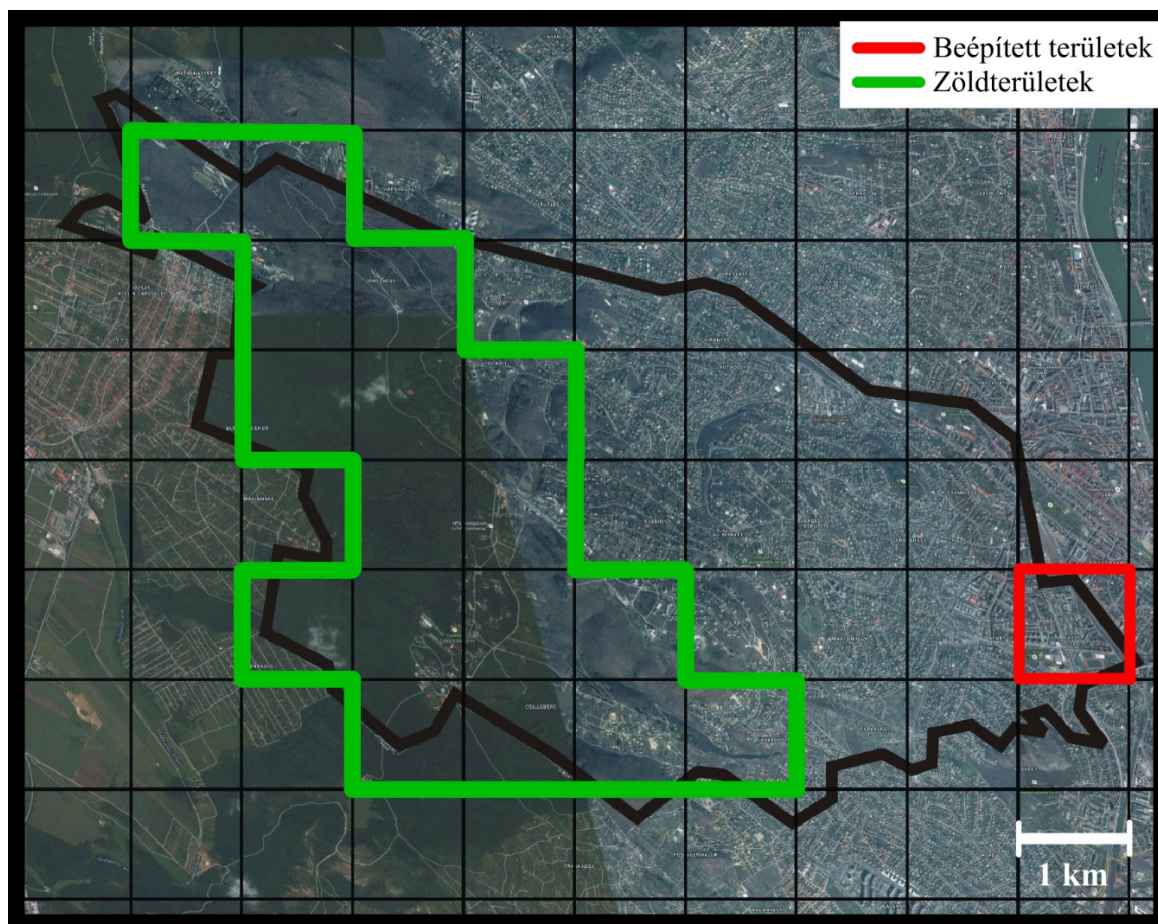
Az erőteljes urbanizáció hatására egyre nő Földünkön a beépített területek aránya, éppen ezért egyre fontosabb szerephez jut ezen területek helyi klímára gyakorolt hatásának vizsgálata. A városi környezetben jellemzően komplex felépítésű vízzáró felületek, épületek váltják fel a természetes felszínt. Ezek a mesterséges felszínek eltérő fizikai tulajdonságokkal rendelkeznek, mely jelentősen befolyásolja a terület energiaháztartását. Emellett jelentős szerepet játszik még a terület energiaegyenlegének alakulásában az emberi tevékenység által kibocsátott hő és a légszennyezés következtében megváltozó légköri összetétel. Az energiaegyensúly és a sugárzási viszonyok lokális megváltozásának hatására termikus – így például felszín-hőmérsékleti – anomáliák figyelhetők meg a városok térségében. A hősziget mérete és formája a meteorológiai, földrajzi és városi tényezőktől függően térben és időben eltérő lehet (Unger és Sümeghy, 2002). A műholdas távérzékelés elterjedésével lehetőség nyílt a városok termikus jellemzőinek részletesebb vizsgálatára is. Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszékén immár másfél évtizede folynak műholdas méréseken alapuló városklíma-kutatások. A műholdas adatok segítségével Közép-Európa nagyvárosairól (Pongrácz et al., 2010), illetve Magyarország tíz legnagyobb városáról (Dezső et al., 2005), köztük Budapestről (Dezső et al., 2012; Pongrácz et al., 2006) is születtek a városi hősziget szerkezetét kutató tanulmányok. Budapest hősziget-intenzitása a felszíni adottságoktól függően a különböző kerületekben igen eltérő lehet. Jelen vizsgálatunkat Budapest XII. kerületére szűkítettük le, amely sajátos szerepet tölt be fővárosunk éghajlatában. A kerület jelentős részét képezik a Budai-hegyvidék fővárosba ékelődő vonulatai, így ideális helyszínt nyújt a növényzet, illetve a domborzati viszonyok klímamódosító hatásainak tanulmányozására. A városökológiai szempontból kiemelkedő jelentőséggel bíró erdős területek – amellett, hogy kirándulók kedvelt célpontja – kedvező feltételeket nyújtottak kórházak és szanatóriumok létesítésére. Az erdővel borított hegyvonulatok a hegy-völgyi légáramláson keresztül a főváros légcserejéhez is jelentősen hozzájárulnak.

## Felhasznált adatok és módszerek

A XII. kerület városklimatológiai elemzéséhez az amerikai NASA által 1999-ben, illetve 2002-ben pályára állított Terra és Aqua kvázipoláris kutató műholdakon (NASA, 1999, 2002) elhelyezett MODIS szenzor felszínhőmérsékleti adatait (Wan és Snyder, 1999) és az ebből származtatott hősziget intenzitási értékeket használtuk fel. A hősziget-intenzitás értéke a korábbi kutatásokban alkalmazott módszer alapján (Dezső et al., 2012) a városi képpontok felszínhőmérsékletének és a városkörnyéki átlagos felszínhőmérsékletnek a különbsége. A városkörnyéki átlaghőmérséklet azon területek átlaghőmérséklete, melyek távolsága a beépítettség határától legfeljebb a város átlagos sugara. A műholdas megfigyelés során 2001 és 2002 közötti időszakban napi kettő – délelőtt és este –, illetve 2003 és 2013 között napi négy – délelőtt, délután, este és hajnalban készült – mérés állt rendelkezésünkre. Az erre az időszakra vonatkozó felszínhőmérsékleti és intenzitási értékek havi átlagolásával tanulmányozni

tudtuk a XII. kerület hőszigetének és az azt módosító hatásoknak a térbeli és időbeli változását.

Vizsgálataink során lehatároltuk a kerülethez tartozó  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$  nagyságú rácsellákat, majd a Google Earth nagyfelbontású műholdképei alapján meghatároztuk a kerületen belül az összehasonlítható, különböző felszíntípushoz tartozó kategóriákat (1. ábra). A sűrűn beépített területek kategóriájába a keskeny utcákkal tagolt, több szintes épületekből álló belvárosi részt soroltuk, ahol rendkívül alacsony a növényzettel borítottság aránya. A zöldterületek kategóriájába összefüggő növényzettel rendelkező területek tartoznak, például a külterületi rétek, illetve az összefüggő erdőségek.

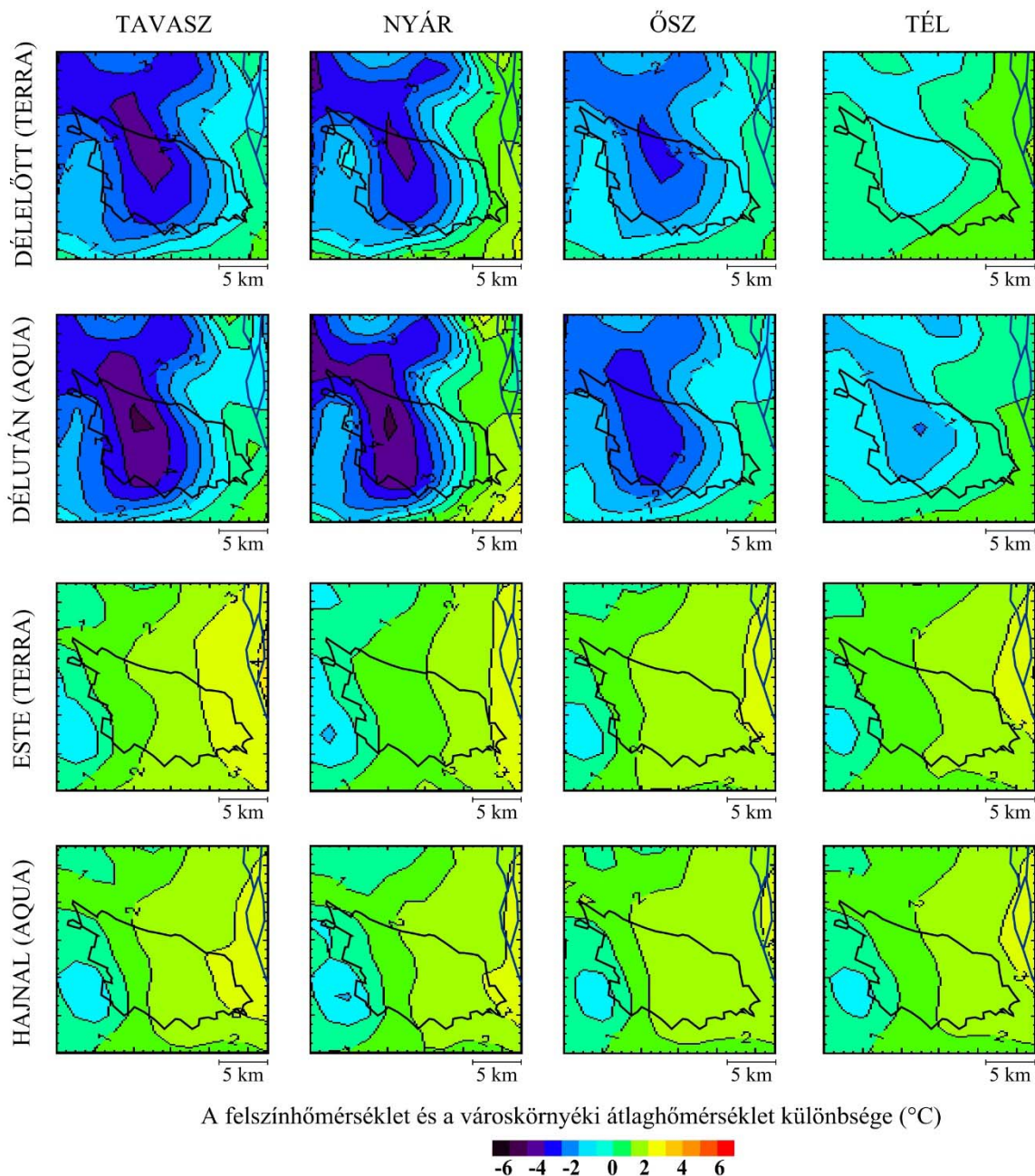


1. ábra: A XII. kerület megjelenése a Google Earth műholdképen, s az ez alapján a MODIS-rácson definiált beépített és zöldterületek elhelyezkedése

### A különböző napszakokra jellemző évszakos és havi átlagos intenzitások

A műholdas mérések lehetővé teszik a felszínhőmérsékleten alapuló hősziget térbeli szerkezetének és időbeli változásának átfogó vizsgálatát. A hősziget XII. kerületen belüli átlagos évszakos térbeli eloszlását a 2. ábra illusztrálja. A budapesti hősziget magja a pesti oldalon helyezkedik el, így a kerületben a hősziget városperem felé (nyugati irányban) fokozatosan gyengülő intenzitását figyelhetjük meg, melyhez részben hozzájárul még a domborzat hatása és a zöldterületek nagyobb aránya. A tavaszi-nyári délutáni időszakot tekintve a Budai-hegység erdővel borított, alacsonyabb felszínhőmérsékleti régiói – melyek még a városkörnyéki átlaghőmérsékletnél is átlagosan  $4\text{--}5 \text{ }^\circ\text{C}$ -kal hidegebbek – erőteljesen kirajzolódnak. Ebben az időszakban a kerületen belül a városi és a hegyvidéki jellegű területek között  $8 \text{ }^\circ\text{C}$  átlagos hőmérsékletkülönbség is kialakulhat. A legnagyobb átlagos hősziget-intenzitás – mely

megaladja a 3 °C-ot – az esti órákban figyelhető meg a tavaszi hónapokban. Egész évre jellemző, hogy a délutáni órákban a kerület általában hűvösebb a városkörnyéki területeknél, az esti és hajnali órákban viszont pozitív (mintegy 2 °C-os) hőmérsékleti anomália észlelhető, vagyis a Budai-hegyek melegebbek a városkörnyékhez viszonyítva.

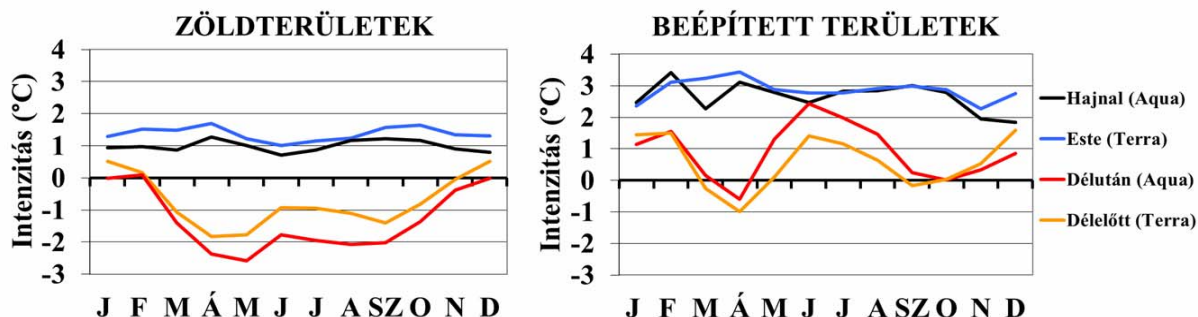


2. ábra: A városi hősziget átlagos évszakos szerkezete a XII. kerületben a Terra/MODIS 2001–2013, és az Aqua/MODIS 2003–2013 időszakra vonatkozó felszínhőmérsékleti mérései alapján.

A térképeken fekete kontúr jelöli a XII. kerület határát

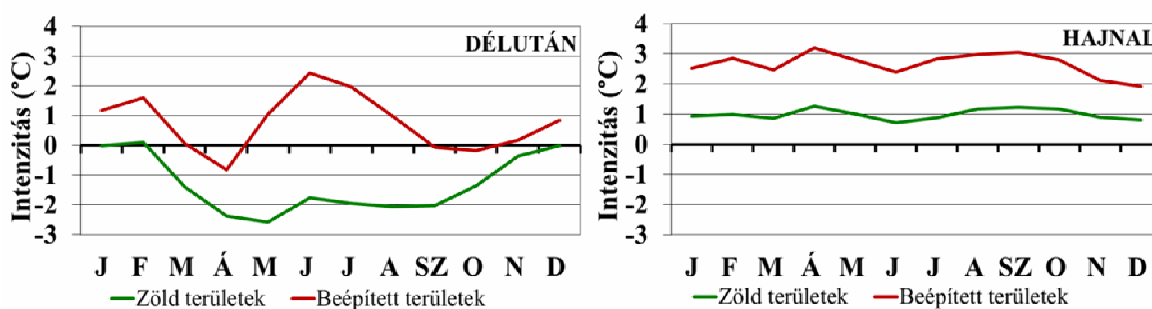
A beépített területeken a délutáni órák hősziget-intenzitásának maximuma (2,5 °C) nyáron (júniusban) jelentkezik a városi területeken (3. ábra), amely a fokozottabb rövidhullámú besugárzással hozható kapcsolatba. Ezeken a területeken egész évben 3 °C körüli intenzitás volt jellemző az esti órákra. A zöld területeken a délelőtti intenzitás átlagos értékei 1 °C-kal meghaladták a délutáni átlagos intenzitást, a beépített területen pedig fordított volt a helyzet. Ez részben azzal magyarázható, hogy az erdős területek felmelegedésének az alacsonyabb

szögben beérkező rövidhullámú sugárzás, míg a nagyobb beépítettségű városi területeken az összetett, akadályt képező objektumok miatt a felszínhőmérséklet emelkedésének a magasabb napállás kedvez. A kapott eredmények egyben azt is jelzik, hogy a rövidhullámú besugárzás növekedésével arányosan növekszik a vegetáció mérséklő, illetve a beépített területek városi hősziget erősítő hatása.



3. ábra: A beépített és zöldterületek átlagos hősziget-intenzitásainak éves menete különböző napszakokban

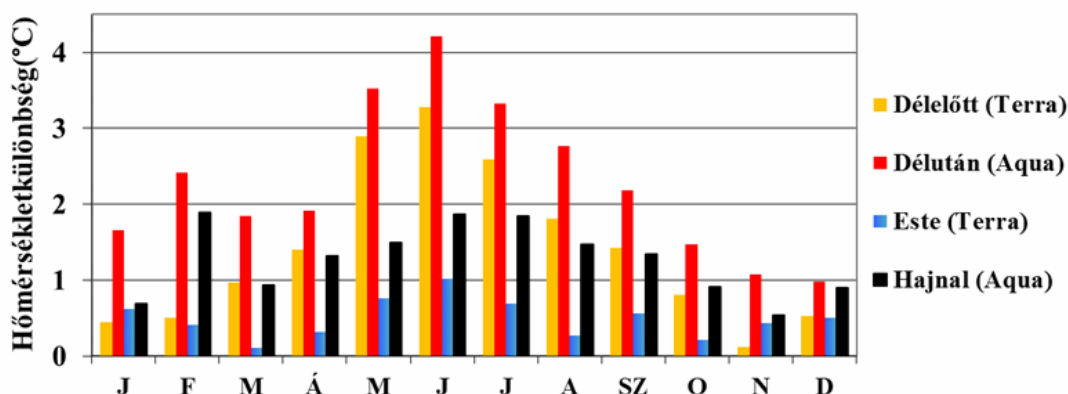
A zöldterületek nappal mért átlagos intenzitásának éves menetében májusi minimum látható (4. ábra). Ezt követően a nyári hónapokban – a beépített területekkel szemben – nem figyelhető meg jelentős intenzitás-növekedés. Tehát a beépített területekhez képest egész évben jóval gyengébb intenzitás figyelhető meg, ami arra vezethető vissza, hogy az év jelentős részében a látens hőáram játszik fontos szerepet a terület energia-kicserélődési folyamataiban. A zöldterületeken a nappali órákban mért átlagos intenzitás értékei télen a legmagasabbak, amely azzal magyarázható, hogy télen, amikor a talaj fagyott vagy hóval borított, az energiaegyenleg összes összetevője szenzibilis hővé alakul át, amely hővezetéssel a fákat vagy konvekcióval a légkört melegíti (Unger és Sümeghy, 2002). Az éjszakai órákban végzett mérésekből meghatározott hősziget hatás évi ingadozása a nappalihoz képest jóval kisebb mértékű. Ennek oka, hogy az ehhez a napszakhoz tartozó sugárzási egyenleget csak a bejövő és a kimenő hosszuhullámú sugárzás határozza meg, mely sokkal kevésbé változó, mint a rövidhullámú sugárzáséhoz képest. A beépített és az erdős területek átlagos intenzitásai közötti legnagyobb különbség nyáron a délutáni órákban látható, ekkor kb. 4 °C eltérés volt tapasztalható.



4. ábra: Beépített és zöldterületek havi átlagos hősziget-intenzitásainak éves menete Aqua/MODIS mérések alapján, 2003–2013

## Domborzati hatások megjelenése

Vizsgálataink során a zöld területi osztályba sorolt rácscellák közül kiválasztottunk a kerületen belül egy magasabban (424 m) és egy alacsonyabban fekvő (171 m) rácscellát, melyek összehasonlításával a domborzati viszonyok hatását elemeztük (5. ábra). A két cella felszínhőmérsékleti értékeinek különbségét bemutató grafikon alapján megállapítható, hogy a legnagyobb eltérés a délutáni órákra jellemző. Emellett a délelőtti órákban is viszonylag nagy átlagos felszínhőmérsékleti eltérések tapasztalhatók. Tehát a nappali időszakokban jelentkező nagyobb különbségek a rövidhullámú besugárzás változásával állnak szoros kapcsolatban. Jelentős eltérés (3–4 °C) leginkább a májustól júliusig tartó nyár eleji időszakban mutatható ki. Megfigyelhető továbbá, hogy a hajnali és a délutáni órákban detektálható átlagos felszínhőmérséklet-különbség mintegy 1–1,5 °C-kal nagyobb, mint a kora esti és a délelőtti órákban.



5. ábra: Hegytetőn (424 m), illetve völgyben (171 m) fekvő cellák átlagos havi felszínhőmérsékletének különbségei a zöld területeken különböző napszakokban

## Összegzés

Vizsgálataink során az Aqua és Terra műholdon elhelyezett MODIS szenzorral végzett mérésekből származtatott felszínhőmérsékleti adatokat felhasználva termikus elemzést készítettünk Budapest tüdejének méltán nevezhető kerületről, a Hegyvidékről. A különböző sugárzási tulajdonságokkal rendelkező területeken leginkább a vegetáció, illetve a domborzati viszonyok hatása volt szembetűnő. Elemzéseink során kapott eredményeink alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

(1) A Budai-hegyvidék hűvösebb területei és a beépített területek tavaszi-nyári időszak nappali óráiban mért átlagos intenzitási értékei között akár 8 °C különbség is megfigyelhető volt, amelyet az eredményezett, hogy a hegyvidéki területek felszínhőmérséklete a városkörnyéki átlaghőmérsékletnél is alacsonyabb volt, míg a beépített területek felszínhőmérsékletében a városi területekre jellemző hőtöbblet volt észlelhető.

(2) A kerület hősziget-intenzitásának napszakoktól függő változását vizsgálva megállapítható, hogy a nappali órákban a kerület erdővel borított területein többnyire negatív, az éjszakai órákban pedig pozitív intenzitási értékek jellemzők.

(3) Az átlagos nappali intenzitás havi átlagainak éves menetét tekintve a beépített területeken júniusi maximum volt megfigyelhető. Ezzel szemben az erdős területeken az eltérő energiaegyenlegről adódóan a májusi minimumot követően egész év folyamán a beépített területekhez képest jóval alacsonyabban alakult az egyes hónapok átlagos intenzitása.

(4) Az eltérő tengerszint feletti magasságú területek átlagos felszínhőmérsékletének különbségeit vizsgálva, a jelentősebb domborzati hatás a délutáni órákban, leginkább májustól júliusig (3–4 °C) volt tapasztalható.

### **Köszönetnyilvánítás**

A műholdas felszínhőmérsékleti adatbázis előállítására és rendelkezésre bocsátására az amerikai NASA-nak köszönhető, melyhez a Földfelszíni Megfigyelőrendszer Adatközpontján keresztül jutottunk hozzá. A dolgozat keretében végzett kutatásokat támogatta az AGRÁRKLIMA2 projekt (VKSZ\_12-1-2013-0034), az OTKA K-109109 számú kutatás és az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíja.

### **Hivatkozások**

- Dezső, Zs., Bartholy, J., Pongrácz, R., 2005: Satellite-based analysis of the urban heat island effect. Időjárás, 109: 217–232.*
- Dezső, Zs., Bartholy, J., Pongrácz, R., Lelovics, E., 2012: Városi hősziget vizsgálatok műholdas és állomási mérések alapján. Léggör, 57: 170–173.*
- 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.
- Pongrácz, R., Bartholy, J., Dezső, Zs., 2006: Remotely sensed thermal information applied to urban climate analysis. Advances in Space Research, 37: 2191–2196.*
- Pongrácz, R., Bartholy, J., Dezső, Zs., 2010: Application of remotely sensed thermal information to urban climatology of Central European cities. Physics and Chemistry of Earth, 35: 95–99.*
- Unger, J., Sümegehy, Z., 2002: Környezeti klimatológia. Szegedi Tudományegyetem, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, Szeged. 202p.*
- Wan, Z., Snyder, W., 1999: MODIS land-surface temperature algorithm theoretical basis document. Inst. for Computational Earth Systems Science, Univ. of California, Santa Barbara. 77p.*