

A VEGETÁCIÓ SZEREPE A BUDAPESTI VÁROSI HŐSZIGET JELENSÉGÉBEN

IMPACTS OF VEGETATION ON URBAN HEAT ISLAND OF BUDAPEST

Fricke Cathy, Pongrácz Rita, Dezső Zsuzsanna, Bartholy Judit

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.
frcsaat@caesar.elte.hu, prita@elte.hu, tante@nimbus.elte.hu, bartholy@caesar.elte.hu

Összefoglalás. Cikkünkben Budapest XII. kerületéről készítettünk részletes termikus elemzést, mivel a kerület sajátos földrajzi adottságait tekintve ideális helyszínül szolgált a vegetáció és a domborzati viszonyok hatásainak megfigyelésére. Vizsgálataink során a *Terra* és az *Aqua* műholdakon elhelyezett *MODIS* szenzor felszínhőmérsékleti adatait és az ebből származtatott hősziget-intenzitási adatokat használtuk fel. A vizsgálati eredmények alapján megállapítottuk, hogy a növényzet, illetve a domborzat hősziget-módosító hatásai a tavaszi-nyári időszak nappali óráiban voltak a legszembetűnőbbek.

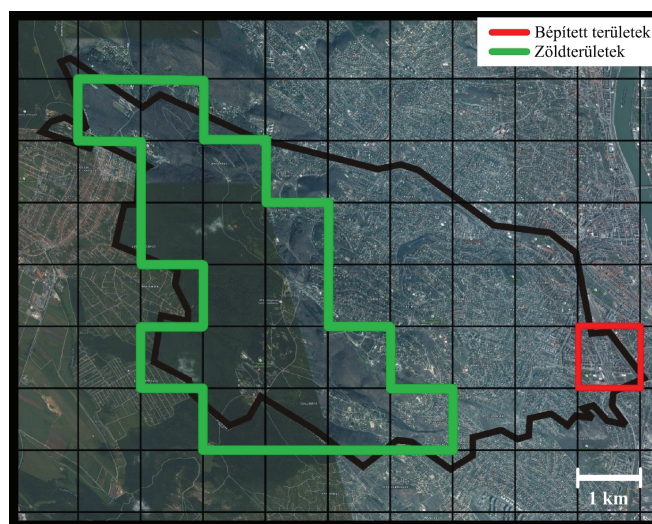
Abstract. We analysed the thermal conditions of district 12 in Budapest since its special geographical features enable us to evaluate the impacts of vegetation and topography. For this purpose we used surface temperature data of sensor *MODIS* on board of the satellites *Terra* and *Aqua* and urban heat island intensity values calculated from satellite measurements. Our results suggest that the most intense effects of topography and vegetation on the urban heat island can be observed in daytime during the spring-summer period.

Bevezetés. A városi hősziget egy olyan mezoskálájú éghajlati rendszer, melyet a városi környezet által keltett helyi, illetve mikroklimatikus hatások összessége határoz meg; és több szempontból eltérést mutat a várost körülvevő makroskálájú környezet éghajlati viszonyaihoz képest (Probáld, 1974). A mezoklíma ilyen jellegű módosulását az adott térségre jellemző energiaegyenleg összetevőinek lokális megváltozása idézi elő, mely hatással van a különböző klímaméterek – így például a felszínhőmérséklet – alakulására. A városi hősziget vizsgálatához kezdetben csak állomási mérések álltak rendelkezésre, majd a műholdas távérzékelés elterjedésével lehetővé vált a városok termikus jellemzőinek átfogó vizsgálata is. Az Eötvös Loránd Tudományegyetem légymányosi kampuszán 2002-ben létesített műholdvevő állomás nagyban hozzájárult ahhoz, hogy a Meteorológiai Tanszék is ilyen műholdas méréseken alapuló városklíma-kutatásokat végezzen (Kern *et al.*, 2005).

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 városi hősziget szerkezetét kutató tanulmányok. Jelen vizsgálatainkat Budapest XII. kerületére szűkítettük le, amely sajátos szerepet tölt be fővárosunk éghajlatában. A kerület jelentős részét képezik a Budai-hegyvidék fővárosba ékelődő vonulatai, amelyet összefüggő erdőség borít. A kerületben a növényzet mellett a domborzati viszonyok éghajlatra gyakorolt hatása is számottevő, így ideális helyszínt nyújt a klímamódosító hatások tanulmányozására. A városökológiai szempontból kiemelkedő jelentőséggel bíró erdős területek – amellet, hogy kirándulók kedvelt célpontja – kedvező feltételeket nyújtottak kórházak és szanatóriumok létesítésére. Az erdővel borított hegyvonulatok a hegy-völgyi légáramlásokon keresztül a főváros légcserejéhez is jelentősen hozzájárulnak.

Adatok és módszerek. A XII. kerület városklimatológiai elemzéséhez az amerikai NASA által 1999-ben, illetve 2002-ben pályára állított *Terra* és *Aqua* kvázipoláris ku-

tató műholdakon elhelyezett *MODIS* szenzor felszínhőmérsékleti adatait és az ebből származtatott hősziget-intenzitási értékeket használtuk fel. A hősziget intenzitási értéke a korábbi kutatásokban alkalmazott módszer alapján (Dezső *et al.*, 2012) a városi képpontok felszínhőmérsékletének és a városkörnyéki átlagos felszínhőmérsékletnek a különbsége. 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 áll 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.



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

Vizsgálataink során először lehatároltuk a kerülethez tartozó 1 km × 1 km-es rácscellákat, majd a Google Earth nagyfelbontású műholdképei alapján meghatároztuk a kerületen belül az összehasonlítani kívánt, különböző felszintípushoz tartozó kategóriákat: beépített, illetve

zöldterületek (1. ábra). A sűrűn beépített területekhez a keskeny utcákkal tagolt, több szintes épületekből álló belvárosi részt soroltuk, ahol rendkívül alacsony a növényzettel borítottság aránya. A zöldterületek kategóriájába az olyan összefüggő növényzettel rendelkező területek tartoznak, mint a külterületi rétek, illetve összefüggő erdőségek.

Eredmények. A műholdas mérések lehetővé teszik a felszínhőmérsékleten alapuló hősziget térbeli szerkezetének és időbeli változásának részletes elemzését. 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 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, hidegebb felszínhőmérsékleti régiói – melyek még a városkörnyéki átlaghőmérsékletnél is átlagosan 4-5 °C-kal hidegebbek – erőteljesen kirajzolódnak. Ebben az időszakban a kerületen belül a városi és a hegyvidéki jellegű területek között 8 °C átlagos hőmérsékletkülönbség is kialakulhat.

Az éjszakai órákban a hősziget szerkezete jelentősen eltér a nappalitól. A hajnali műholdmérésekből származtatott térképek jóval kisebb mértékű éven belüli ingadozást mutatnak. A legnagyobb átlagos hősziget-intenzitás – mely meghaladja 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, a hajnali órákban viszont pozitív (kb. 2 °C-os) hőmérsékleti anomália észlelhető, vagyis a Budai-hegyek melegebbek a városkörnyékhez viszonyítva.

A beépített területeken a délutáni órák hősziget-intenzitásának maximuma (2,5 °C) nyáron (júniusban) jelentkezik a városi területeken (3. ábra alsó grafikonja), amely a fokozottabb rövidhullámú besugárzással hozható kapcsolatba. A júniusi maximum mellett a nappali görbék éves menetét tekintve egy alacsonyabb (1,5 °C) mértékű másodmaximum is megfigyelhető februárban. Ebben a hónapban a hajnali órákban mért intenzitásokra is az átlagértékhez képest magasabb anomáliaérték jellemző. A beépített területeken a nappali átlagos intenzitást tekintve áprilisban és az őszi hónapokban (szeptemberben, októberben) városi hűtőbblet nem figyelhető meg, sőt áprilisban a felszínhőmérséklet átlagosan 1 °C-kal

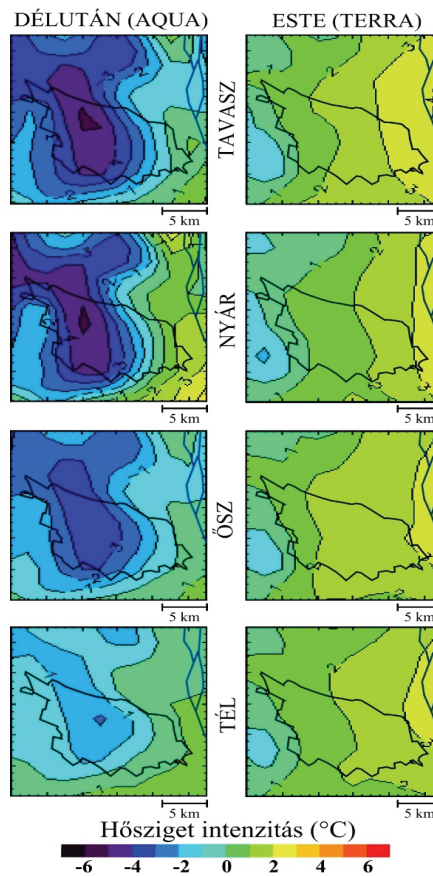
hűvösebb a városkörnyéki átlaghőmérsékletnél. A beépített területeken egész évben 3 °C körüli intenzitás volt jellemző az esti órákra.

A zöldterületek nappal mért átlagos intenzitásának éves menetében májusi minimum látható (3. ábra alsó grafikonja). 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-kicszerelődési folyamataiban. A zöldterületeken a nappali órákban mért átlagos intenzitás értékei télen a legmagasabbak – ekkor nem negatív a hősziget-intenzitás –, 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 légkör 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 nem olyan változékony, mint a rövidhullámú sugárzás. Ezért éjjel a felszínhőmérsékleti görbék amplitúdója is gyengébb. Az esti órákban mért intenzitások általában meghaladják a hajnali órákét, ám a különbség csekély, nem haladja meg a 0,5 °C-ot. Az éjszakai órákban mért intenzitásértékek a kerület egészére vonatkozóan jóval meghaladták a nappali intenzitásokat. A két napszakra vonatkozó intenzitások legnagyobb eltérése – mely a 3 °C-ot is meghaladta – áprilisban volt megfigyelhető (3. ábra).

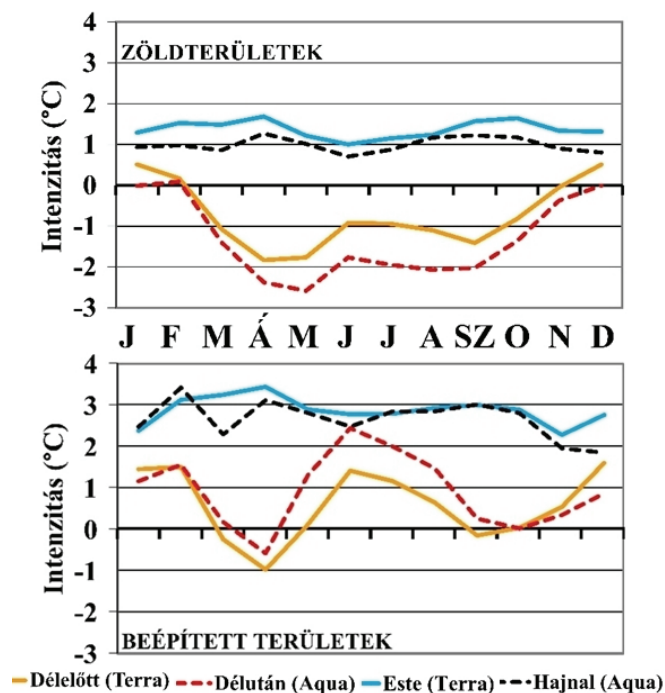
A beépített és az erdős területek átlagos intenzitásai közötti legnagyobb különbség nyáron a délutáni órákban látható (4. ábra), ekkor kb. 4 °C eltérés volt tapasztalható. A zöld területeken a délelőtti intenzitás átlagos értékei 1 °C-kal meghaladták a délutáni átlagos intenzitást, a beépített területen 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 rövid-



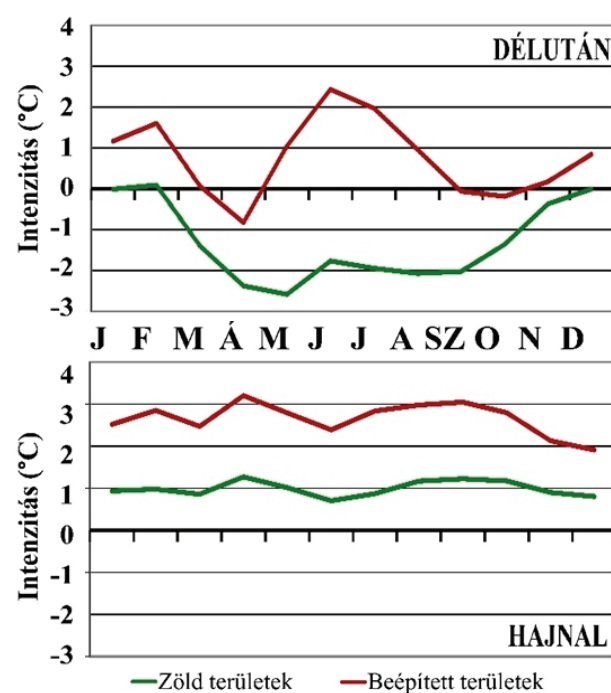
2. ábra: A városi hősziget átlagos évszakos szerkezete a XII. kerületben a Terra/MODIS 2001-2013, és az Aqua/MODIS 2003-2013 időszakra vonatkozó felszínhőmérsékleti mérései alapján

hullámú besugárzás növekedésével arányosan növekszik a vegetáció mérséklő, illetve a beépített területek városi hősziget erősítő hatása.

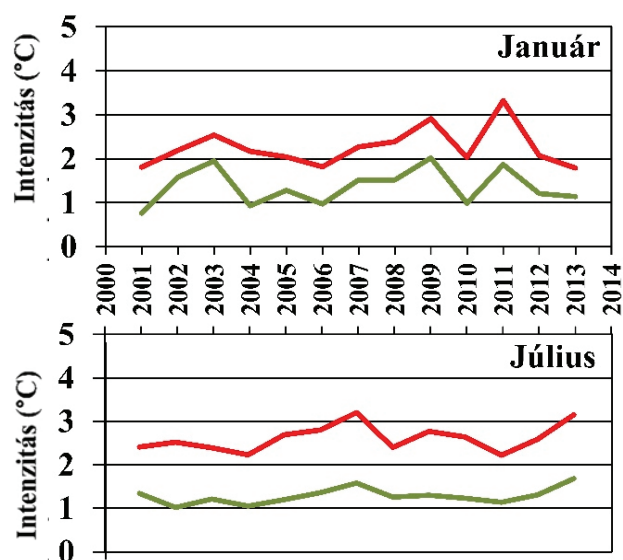
Domborzati hatások megjelenése. Vizsgálataink során a zöldterületek osztályába sorolt rácscellák közül kiválasztottunk egy magasabban (424 m) és egy alacsonyab-



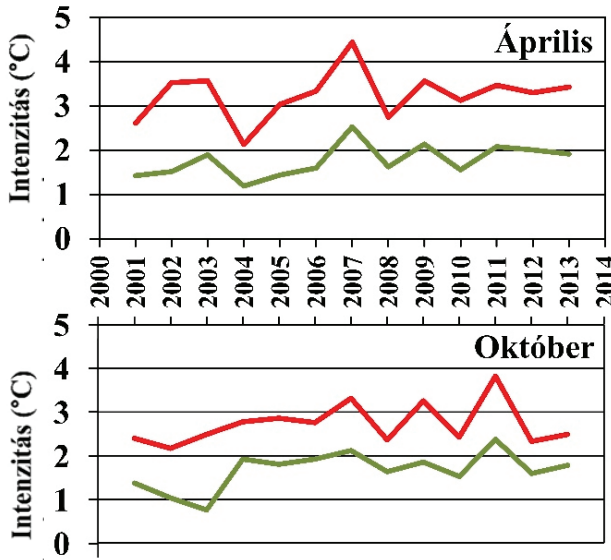
3. ábra: A beépített és a zöldterületek átlagos havi hősziget-intenzitásainak évi menete különböző időpontokban



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



5. ábra: Beépített és zöldterületek esti hősziget-intenzitása Terra/MODIS mérések alapján

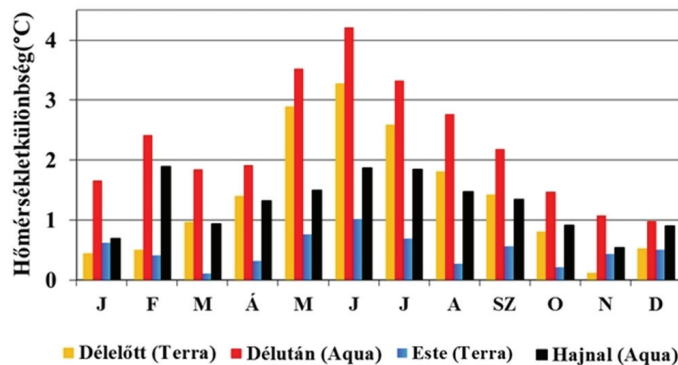


Az eddigiek alapján látható, hogy a beépített és az erdővel borított területek felszínhőmérsékleti intenzitásai a vizsgált napszaktól függően különböző erősségűek lehetnek. Az 5. ábrán e két terület esti intenzitásainak teljes 2001-2013 időszakra vonatkozó idősorait az évszakok középső hónapjaira jelenítettük meg. Az esti intenzitások értékeit vizsgálva megállapítható, hogy a legtöbb hónapban a beépített és a zöld területek görbéi közel párhuzamosan futnak, tehát az évek során közel azonos intenzitás-különbség tapasztalható a két terület között. A tavaszi-nyári időszakban ez mintegy 2 °C-os, míg az őszi hónapokban kb. 1-1,5 °C-os eltérést jelent.

ban fekvő (171 m) rácscellát, melyek összehasonlításával a domborzati viszonyok hatását elemeztük.

A két cella felszínhőmérsékleti értékeinek különbségét bemutató 6. ábra alapján megállapítható, hogy a legnagyobb eltérés leginkább a délutáni órákra jellemző. Emellett a délelőtti órákban is viszonylag nagy átlagos felszínhőmérsékleti eltérések tapasztalhatók. Tehát a különbségek elsősorban 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, illetve a délutáni órákban detektálható átlagos felszínhőmérséklet-különbség mintegy 1-1,5 °C-kal nagyobb, mint a kora esti, illetve a délelőtti órákban.



6. ábra: Hegytetőn (424m), illetve völgyben (171m) fekvő cellák átlagos havi felszínhőmérsékletének különbségei a zöldterületeken különböző időpontokban

Összegzés. Vizsgálataink során az Aqua és Terra műholdon elhelyezett MODIS szenzorral végzett mérésekből származtatott felszínhőmérsékleti adatokat felhasználva termikus elemzést készítettünk Budapest tüdejének méltán nevezhető kerületéről, a Hegyvidékről. A Google Earth finomfelbontású műholdképei segítségével elhatároltuk a kerületen belül különböző sajátosságokkal rendelkező, összehasonlítható kivánt beépített és zöldterületeket. A különböző sugárzási tulajdonságokkal rendelkező területeken leginkább a vegetáció, illetve a domborzati viszonyok hatása volt szembevetendő. Elemzéseink során kapott eredményeink alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

- 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. A kerületen belüli jelentős anomáliaértéket az eredményezi, hogy a hegyvidéki területek felszínhőmérséklete a városkörnyéki átlaghőmérsékletnél is alacsonyabb, míg a beépített területek felszínhőmérsékletében a városi területekre jellemző hőtöbblet észlelhető.
- A kerület hősziget-intenzitásának napszakoktól függő változását vizsgálva megállapítható, hogy a nappali órákban a kerület jelentős erdős részére negatív, illetve az éjszakai órákban pozitív intenzitási értékek jellemzők.

- Az átlagos nappali intenzitás havi átlagainak éves menetét tekintve a beépített területeken júniusi maximum (2,5 °C) 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. Az erdős és a beépített területek átlagos intenzitása közötti különbség a nyári hónapok nappali időszakában volt a legnagyobb (4 °C).
- 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.
- Az alacsonyabban fekvő területek havi átlagos hősziget-intenzitásai általában pozitív értéket vettek fel, míg a magasabban fekvő területek felszínhőmérséklete minden évben alacsonyabb volt a városkörnyéki átlaghőmérsékletnél.

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: AGRÁRKLIMA2 (VKSZ12-1-2013-0034), OTKA K-109109 projekt, MTA Bolyai János ösztöndíj.

Irodalom

- 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.
- Kern A., Bartholy J., Pongrácz R., 2005: Az ELTE Környezetfizikai Tanszékcsoport műholdvevő állomása. *Léggör*, 50 18-21.
- 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.
- Probáld F., 1974: Budapest városklímája. *Akadémiai Kiadó*, Budapest. pp. 126
- Unger J., Sümegegy Z., 2002: Környezeti klimatológia. *Szegedi Tudományegyetem, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék*, Szeged. pp. 202