

**A MAGYARORSZÁGI ÉS KÖZÉP-EURÓPAI  
NAGYVÁROSOKBAN KIALAKULÓ VÁROSI HŐSZIGET  
VIZSGÁLATA FINOM FELBONTÁSÚ MŰHOLDKÉPEK  
ALAPJÁN**

**A doktori (PhD) értekezés tézisei**

**SOÓSNÉ DEZSŐ ZSUZSANNA**

**FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA**  
**Iskolavezető: Dr. Gábris Gyula, egyetemi tanár**

**FÖLDRAJZ-METEOROLÓGIA PROGRAM**  
**Programvezető: Dr. Gábris Gyula, egyetemi tanár**

**Témavezető:**  
**DR. BARTHOLY JUDIT**  
**tanszékvezető egyetemi tanár**  
**az MTA doktora**

**Konzulens:**  
**DR. PONGRÁCZ RITA**  
**adjunktus**  
**a földtudományok doktora**

**Eötvös Loránd Tudományegyetem**  
**Meteorológiai Tanszék**

**BUDAPEST, 2009**

## A VIZSGÁLT PROBLÉMAKÖR, CÉLKITŰZÉSEK

Napjainkban az éghajlatkutatás legfontosabb területe az emberi tevékenység természetre gyakorolt hatásának a vizsgálata. Ez – a mikroklímák elemzésétől a globális éghajlati modellekig – sokféle térskálán történhet. E térskálák közül kiemelt jelentőséggel bírnak a városok, hisz itt az emberi tevékenység természetre gyakorolt hatása koncentráltan érvényesül: nagymértékben megváltozik a felszín arculata, módosul a légkör összetétele, aminek következtében az éghajlat is változik.

A Világbank jelentése szerint ma már a Föld 6,6 milliárd lakosából több mint 3 milliárd él városokban. A 100.000 főnél népesebb városok száma a világon megközelíti a 3500-at. Az előrejelzések szerint 2015-re a Föld népességének több mint egyötöde él majd 1 milliónál nagyobb lélekszámú metropoliszban. Európában a népesség háromnegyede városlakó, hazánk mintegy 300 városában pedig a teljes népesség 68%-a él. A városok lélekszámával együtt azok területe is folyamatosan nő, így a mesterséges felszínek aránya egyre nagyobb. E tények nemcsak a városklíma-kutatások szükségességét igazolják, de egyben felhívják e folyamatban rejlő veszélyekre is a figyelmet: úgymint a várostervezés szükségessége, a zöld területek arányának szabályozása, az ipartelepítésnél a helyi klimatikus sajátosságok figyelembevétele, közegészségügyi szabályozás szigorúbbá tétele, stb.

Már közel két évszázada ismert tény, hogy egy városi térség és annak környezete között hőmérsékleti különbség áll fenn, amit a kutatók városi hősziget-jelenségnek neveztek el. A városi hőszigetet intenzitásával jellemezhetjük, ami a városi és városkörnyéki hőmérséklet különbségeként definiálható. Ennek meghatározásához világszerte többféle mérési módszert alkalmaznak, pl. hagyományos mérőállomáson, 2 m-es magasságban végzett léghőmérsékleti méréseket, műholdas felszínhőmérsékleti méréseket, gépkocsival végzett méréseket, illetve repülőgépes méréseket.

A műholdas adatoknak a városklimatológiában való alkalmazására a nagy felbontású műholdak megjelenésével nyílt lehetőség. Az elmúlt évtizedekben a világ több nagyvárosára vonatkozóan történtek ilyen vizsgálatok, de Magyarország, illetve a közép-európai térség nagyvárosait korábban senki nem elemezte ezzel a módszerrel. Az ELTE Meteorológiai Tanszékén kilenc éve folyó kutatásaink keretében hazánk tíz legnagyobb városára (Budapest, Debrecen, Miskolc, Szeged, Pécs, Győr, Nyíregyháza, Kecskemét, Székesfehérvár, Szombathely), valamint Közép-Európa kilenc, 1 millió főnél népesebb városára (Bukarest, Varsó, Bécs, Milánó, München, Prága, Szófia, Belgrád, Zágráb) vonatkozóan végeztünk átfogó városklimatológiai vizsgálatokat, aminek keretében finom felbontású műholdas

felszínhőmérsékleti adatok felhasználásával tanulmányoztuk a városi hősziget sajátosságait. Doktori értekezésemben e kutatások eredményeit foglaltam össze.

## **AZ ALKALMAZOTT MÓDSZEREK**

A NASA Földmegfigyelő Rendszerének (EOS) részeként 1999 decemberében bocsátották pályára a Terra, majd ezt követően 2002 májusában az Aqua nevű műholdat. E két műhold egy több évig tartó nemzetközi kutatáshoz gyűjt adatokat. E kutatás célja a globális változások komplex vizsgálata, amihez egy legalább 15 éves, az egész Földre kiterjedő adatsort kívánnak létrehozni. A kutatási program kiemelt céljai közé tartozik az emberi tevékenység éghajlatra gyakorolt hatásainak a vizsgálata. E két műhold által mért adatok lehetőséget nyújtanak arra, hogy a városokban zajló folyamatokat, változásokat egyre pontosabban leírjuk, és azok lehetséges okait feltárjuk.

A Terra és az Aqua kvázipoláris pályájú műholdak, melyek 705 km magasságban keringenek a Föld körül. Napszinkron pályájúak, a Terra az Egyenlítőt leszálló pályán helyi időben 10 óra 30 perckor, az Aqua felszálló pályán 13 óra 30 perckor lépi át. A Földet naponta 16-szor kerülnek meg. Pályájuknak az Egyenlítő síkjától való elhajlása (inklinációja) 98°. A Terra fedélzetén öt, az Aqua fedélzetén hat műszer található, melyek különböző hullámhossztartományokban, más-más felbontással mérik a sugárzási paramétereket. Vizsgálataink szempontjából két szenzor bír különleges jelentőséggel. A MODIS (Közepes felbontású leképező spektrális sugárzásmérő) szenzor mindkét műhold fedélzetén megtalálható, a sugárzási paramétereket 36 különböző – a láthatótól a hőmérsékleti infravörösig terjedő – hullámhossztartományban méri, méréseinek térbeli felbontása a látható tartományban 250 m, az infravörös tartományban 1 km. Az ASTER (Továbbfejlesztett űrbeli hőmérsékleti emissziót és a visszavert sugárzást mérő sugárzásmérő) szenzor csupán a Terra műhold fedélzetén lett elhelyezve, 4 látható és közeli infravörös tartományú csatornában 15 méteres, 6 közeli infravörös tartományú csatornában 30 méteres, és 5 hőmérsékleti infravörös tartományú csatornában 90 méteres felbontású képeket készít.

Az EOS program keretében e szenzorok méréseiből a teljes éghajlati rendszerre vonatkozóan számos paramétert meghatároznak, melyek segítségével vizsgálhatók a globális folyamatok és változások. A kiszámított paramétereket egységes formátumban, 1200×1200 képpontos műholdkép-kivágatokon tárolják. Kutatásaink során a MODIS szenzor méréseiből meghatározott felszínhőmérsékleti, felszínborítottsági és vegetációs index adatsorokat, valamint az ASTER felszínhőmérsékleti adatait használtuk fel. A teljes közép-európai térség

lefedéséhez négy műholdkép-kivágot adatait kellett beszereznünk. Ezek az adatok az Land Processes Distributed Active Archive Center (A földfelszíni folyamatok adatainak aktív archiváló központja) adatközponton keresztül érhetők el. Az adatok kalibrálásának, feldolgozásának módszerét a NASA adatfeldolgozó központjában folyamatosan fejlesztették, így ma már nagy pontosságú, földrajzilag tökéletesen illesztett adatok állnak rendelkezésre a teljes vizsgált időszakra vonatkozóan.

Vizsgálataink a Terra/MODIS adatok esetében a 2001. január 1. és 2008. december 31., az Aqua/MODIS adatok esetében a 2003. január 1. és 2008. december 31. közötti időszakra terjedtek ki. Így a 2001-2002 közötti időszakban napi kettő, ezt követően pedig napi négy mérés állt rendelkezésünkre. Ez az adatmennyiség a Terra méréseiből számított felszínhőmérsékleti adatok esetében műholdkép-kivágonként közel 3000 darab fájl (a nappali és éjszakai adatok egy fájlban találhatóak), és 12 GB információt jelent. A teljes közép-európai térségre vonatkozóan elvégzett vizsgálataink során közel 22.000 fájl és 75 GB információt dolgoztunk fel. A vizsgált nyolc éves időszakban ritkán – inkább csak a vizsgált időszak első felében – fordult elő a műhold vagy a szenzor hibájából adódó adathiány, de ezen esetek száma csupán évi néhány napra tehető.

A műholdas felszínhőmérsékleti méréseken alapuló városi hősziget-vizsgálatoknál jelentős adathiányt eredményez viszont az, hogy felhős időben a műhold csak a felhőtető hőmérsékletét tudja mérni. Vizsgálatainkban csak azokra a napokra vonatkozóan határoztuk meg a városi hősziget intenzitását, melyeken a városi képpontoknak legalább a fele felhőmentes volt a MODIS felvételeken. A magyar városok esetében az összes lehetséges nap 37-47%-án használhatók a műholdas felszínhőmérsékleti adatok a városi hősziget vizsgálatára, míg a közép-európai városok esetében ez az érték 30% és 47% között alakul. A használható adatok éven belüli eloszlása nem egyenletes, a téli hónapokban 5-10, nyáron 15-25 napon áll rendelkezésre használható műholdkép.

Ha ezt az adatsűrűséget összevetjük más városklimatológiai kutatási módszerekkel, megállapíthatjuk, hogy még így is, hogy a vizsgálatok a felhőmentes napokra korlátozódnak, rendkívül nagy mennyiségű adat áll rendelkezésre e módszer keretein belül. Bár a hagyományos földfelszíni városklimatológiai mérőállomások mérései minden nap tetszőleges időpontban rendelkezésre állnak, de az állomások sűrűsége soha nem lesz olyan nagy, mint a műholdfelvételek térbeli felbontása. A földfelszíni, illetve repülőgépes mobil mérések jó térbeli felbontásúak, de nagy költségigényük miatt hosszú távon nem lehet azokat nagy gyakorisággal végezni. E módszer létjogosultságát alátámasztja továbbá az a tény is, hogy a

hősziget kialakulásának kedvez a szélcsendes, derült időjárás, így az intenzívebb hősziget-jelenségek mindenképpen vizsgálhatók e módszerrel.

Az adatgyűjtést, valamint a hibás és a felhős képek kiszűrését követően meghatároztuk, hogy az egyes városok a műholdfelvételeken pontosan hol helyezkednek el, majd a városokról és környékükről kivágatok készültek. A kivágat mérete Budapest és a külföldi nagyvárosok esetében 65×65, a többi magyarországi nagyváros esetében 30×30 pixel.

Az adatfeldolgozás következő lépése a városi és városkörnyéki képpontok meghatározása volt. Ehhez felhasználtuk a MODIS felszín típusok adatbázisát, a Google Earth internetes műholdkép-adatbázist, valamint a GTOPO30 Digitális Terepmodellt. A Google Earth adatbázis nagy felbontású műholdfelvételei lehetővé teszik a beépített és nem beépített területek vizuális elkülönítését. E műholdfelvételeket felhasználva minden egyes városra lehatároltuk azt a területet, ami a város közigazgatási határán belül ténylegesen beépített. Ezt a kontúrt illesztettük rá az 1 km-es térbeli felbontású rácsra, és megszámoztuk, összesen hány képpont található e kontúrban belül. Ezután meghatároztuk a város „átlagos sugarát”, amit a következő egyenlet ír le:

$$r_{\text{város}} = \sqrt{\frac{N_{\text{pixel}}}{\pi}}$$

ahol  $N_{\text{pixel}}$  a városhatáron belüli képpontok száma. E mennyiség tulajdonképpen azt fejezi ki, hogy mekkora lenne a város sugara, ha a város pontosan kör alakú lenne.

A GTOPO30 adatbázist a jelentős magassági különbségek kiszűrésére használtuk fel. Ennek az adatbázisnak a horizontális térbeli felbontása 30 szögmásodperc (átlagosan 1 km).

A városi képpontok közé azok a pontok tartoznak, melyek a következő három feltétel mindegyikének megfelelnek:

- a Google Earth adatbázis alapján meghatározott beépítettség határon belül található,
- a MODIS felszín típus adatbázisban a beépített terület kategóriába esnek,
- tengerszint feletti magasságuknak az előző két feltételnek megfelelő képpontok átlagos tengerszint feletti magasságától való eltérése nem nagyobb, mint  $\pm 50$  m.

A városkörnyéki képpontokhoz való tartozás feltételei:

- távolságuk a Google Earth adatbázis alapján meghatározott beépítettség határtól legfeljebb  $r_{\text{város}}$ , ahol  $r_{\text{város}}$  a város fent definiált „átlagos sugara”,
- felszín típusuk nem tartozik a beépített terület és a víz típusához,
- tengerszint feletti magasságuknak a város átlagos tengerszint feletti magasságától vett eltérése nem nagyobb, mint  $\pm 100$  m.

Az így kapott pontok felszínhőmérsékleti adatainak felhasználásával minden városra és időpontra meghatároztuk a városi és városkörnyéki átlaghőmérsékletet, melyek különbsége adja a városi hősziget intenzitását. A meghatározott hősziget-intenzitás lehetőséget ad különféle összehasonlító vizsgálatokra, tanulmányozható a hősziget, valamint a különböző felszíni és meteorológiai paraméterek kapcsolata, a hősziget napszaktól, évszaktól és városmérettől való függése, továbbá a hősziget szerkezete és keresztmetszete.

## **EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK**

Az elvégzett vizsgálatok legfontosabb eredményeit az alábbiakban foglaljuk össze:

- (1) A műholdas felszínhőmérsékleti mérések alapján meghatározott városi hősziget-jelenség az összes vizsgált városban megjelenik. A hősziget évi átlagos intenzitása 1-3 °C.
- (2) A hősziget-intenzitás maximuma az összes napszak esetében júniusra és júliusra esik. A legintenzívebb hősziget a városok többségében a nyári hónapokban a nappali időszakban figyelhető meg. Ennek erőssége városonként különböző: Milánó esetében meghaladja a 6 °C-ot, 4-5 °C között alakul Münchenben, 3-4 °C között alakul Varsó, Budapest, Bécs, Prága, Szófia, Zágráb, Debrecen, Miskolc, Pécs és Szombathely esetében, 2-3 °C Bukarest, Belgrád, Győr, Nyíregyháza és Székesfehérvár esetében, és 1-2 °C Szegeden és Kecskeméten. A legtöbb város nappali intenzitásának éves menete két minimummal rendelkezik, az egyik március-áprilisban, a másik október-novemberben következik be, ekkor a hősziget intenzitása csupán 0-1 °C, sőt néhány város esetében negatív értéket vesz fel. A nappali órákban végzett mérésekből meghatározott városi hősziget hatás éves változékonysága jóval meghaladja az éjszakait. Az éjszakai intenzitás maximális értékét nyáron, minimumát télen veszi fel, e kettő között a legtöbb város esetében kb. 1 °C a különbség. A hősziget intenzitásának maximuma Közép-Európa milliós népességű városai esetén 2-3 °C között, míg Magyarország nagyvárosai esetén 1-2 °C között, néhány város esetében kicsivel 2 °C felett alakul.
- (3) Meghatároztuk a települést és környékét tartalmazó műholdkép-kivágat összes pontjában a felszínhőmérséklet városkörnyéki átlaghőmérséklettől vett eltérésének évszakos átlagát. Ilyen módon kirajzolódott a városi hősziget szerkezete, aminek felhasználásával mindegyik városban megvizsgáltuk a hősziget kiterjedését, annak centrumának elhelyezkedését, és ezek évszakos változásait. A legtöbb városban a hősziget maximuma a sűrűn beépített belvárosi területre esik, de – különösen a nagyobb városok esetében – bizonyos esetekben több hősziget-központ is megfigyelhető.

- (4) A térben folytonos felszínhőmérsékleti mérések felhasználásával lehetővé vált azon felszíni elemek hőszigetire gyakorolt hatásának a vizsgálata, melyek mérete az 1 km<sup>2</sup>-t meghaladja. Ilyen objektumok például a nagy kiterjedésű ipartelepek, bevásárló központok, repülőterek, melyek gyakran a városperemi fekvés ellenére is több fokkal melegebbek környezetüknél, illetve a parkok, erdők, vízfelületek, melyek sok esetben hatékonyan mérséklik a hősziget-hatást.
- (5) Mindegyik város esetében elkészítettük a város É-D-i, NY-K-i, ÉNY-DK-i és ÉK-DNY-i tengelye mentén a képpontok felszínhőmérsékletének városkörnyéki átlaghőmérséklettől vett eltéréseinek idősorát, majd ezek közül a város szerkezetét legjobban reprezentáló irányt mutattuk be. Az idősorokon markánsan kirajzolódnak a metszésvonal által érintett különféle felszíni elemek (pl. zöldfelületek, folyók, ipari területek, stb.) felszínhőmérsékleti sajátosságai, így jól tanulmányozható ezek időbeli változékonysága.
- (6) A szerkezeti és keresztmetszeti vizsgálatokból egyaránt kitűnik, hogy egyes városok esetében néhány km-es távolságon belül jelentős – akár 15 °C-ot is meghaladó – felszínhőmérséklet-különbség alakul ki. Ez különösen a nyári időszakban, a hegyek közelébe települt városok esetében szembetűnő.
- (7) Ha a városi hősziget-intenzitás nyolc éves idősorát megvizsgáljuk, megállapíthatjuk, hogy – bár az egyes években hasonló annak menete – mégis van különbség az egyes évek között. Ez jórészt az adott év hőmérsékleti és csapadékviszonyaira vezethető vissza. Jó példa erre a 2003-as és 2007-es év, amikor a magyarországi városokban és néhány külföldi nagyvárosban a hősziget intenzitása nyáron alacsonyabb volt, mint a többi évben. Ezek az évek rendkívül melegek és szárazak voltak, így a városon kívül sem állt rendelkezésre megfelelő mennyiségű nedvesség az evapotranspirációhoz, ami a városkörnyéki terület felszínének erőteljesebb felmelegedését vonta maga után. Így a városi és a városkörnyéki átlagos felszínhőmérséklet-különbség kisebb volt, de ez nem a városfelszín alacsonyabb, hanem a városkörnyék magasabb hőmérsékletének következménye. Ezt vegetációs index vizsgálatokkal is alátámasztottuk.
- (8) Összehasonlítottuk a négy vizsgálati időpont hősziget-intenzitásainak egymáshoz való viszonyulását is. Megállapítottuk, hogy a délelőtti és délutáni, illetve az esti és hajnali intenzitásoknak páronként nagyon hasonló az éves menete. A hősziget intenzitásának néhány tized fokos növekedése figyelhető meg a délutáni mérések esetében a délelőtti mérésekhez képest, hajnalra pedig az esti méréshez képest csökken a városi hősziget intenzitása.

(9) Az ASTER szenzor méréseiből meghatározott 90 m-es felbontású felszínhőmérsékleti adatok csupán néhány napra vonatkozóan álltak rendelkezésünkre. Ezek felhasználásával esettanulmányt készítettünk Budapest XI. kerületére vonatkozóan, aminek során megvizsgáltuk, hogy egy nyári és egy téli napon mely objektumok felszínhőmérséklete tér el legnagyobb mértékben a városkörnyéki átlaghőmérséklettől. Megállapítottuk, hogy a nagy csarnoképületek, ipari üzemek, bevásárló központok, illetve a kiterjedt aszfaltfelszínek (parkolók) a legmelegebbek, ezek felszínhőmérséklete egy átlagos nyári napon akár a 45 °C-ot is meghaladja. Kimutattuk, hogy az erdők, parkok, vízfelületek hatékonyan csökkentik a hősziget-hatást.

További terveink között szerepel az adatbázis folyamatos bővítése, a disszertációmban bemutatott vizsgálatok elvégzése a 2008. december 31-e utáni időszakra is. Tervezzük újabb ASTER felszínhőmérsékleti adatok beszerzését, melyek felhasználásával azt szeretnénk tanulmányozni, hogy az elmúlt évtized építészeti nagyberuházásai (lakóparkok, bevásárló központok, stb.) milyen mértékben változtatták meg egy városrész felszínhőmérsékleti sajátosságait. E vizsgálatokkal az illetékes döntéshozók figyelmét is fel akarjuk hívni, hogy a szabályok megalkotásánál, illetve az építési engedélyek kiadásánál a városklimatológiai szempontokat is vegyék figyelembe.

Kutatásaink másik fontos irányvonalként szeretnénk az itt bemutatott eredményeket a klímaváltozás hatásainak vizsgálata területén hasznosítani. Az ELTE Meteorológiai Tanszékén évek óta a kiemelt kutatási témák közé tartozik a globális klímaváltozás regionális hatásainak vizsgálata. Mivel a regionális éghajlati modellek a városok karakterisztikus méreténél durvább (általában 50 km-es) felbontásúak, ezért e modellekben a városhatás nem szerepel. Ugyanakkor az éghajlati modellek előrevetítik a hőmérséklettel kapcsolatos (melegedés irányába mutató) extrém értékek gyakoriságának jövőbeni növekedését. A városok területén a hőmérséklet értékét a hősziget-hatás még inkább a szélsőségek irányába tolja el, illetve az éghajlati rendszer elemeinek módosulása és a beépítettség növekedése következtében maga a hősziget-hatás is fokozódhat.

Kutatásaink hosszabb távú célja a városklíma-kutatások eredményeinek gyakorlati alkalmazása az építészeti, városrendezési tervek készítésében, a különféle szabályozások megalkotásában, hisz ezek felhasználásával elő lehetne segíteni a városi ember életterének komfortosabbá tételét, a várható változások negatív hatásainak mérséklését.



## A TÉMAKÖRBE MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

- Bartholy J., Pongrácz R., Dezső Zs. (2001): Evaluation of urban heat island effect for large Hungarian cities using high resolution satellite imagery. In: *Proceedings of the Fifth European Conference on Applications of Meteorology ECAM 2001 and First Annual Meeting of European Meteorology Society* (ed.: Hunkar M.), Paper P2.12, CD-ROM. 6p.
- Bartholy J., Pongrácz R., Dezső Zs., Barcza Z., Mészáros R. (2002): Local scale climatological characteristics of urban built-up areas for the Carpathian Basin. In: *Proceedings of the Tyndall/CIB International Conference on Climate Change and Built Environment* (eds.: H. McCaffery et al.), pp.137.1-137.8., UMIST, Manchester.
- Pongrácz R., Bartholy J. Dezső Zs., Barcza Z. (2002): Satellite-based analysis of urban heat island effects for large cities in the Carpathian Basin. In: *Proceedings, the 6th Hellenic Conference in Meteorology, Climatology, Atmospheric Physics.* (ed: B.D. Katsoulis) Vol.2. pp.780-785. Univ. of Ioannina.
- Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. (2002): Comparative study of urban heat island effects for large cities in the Carpathian Basin based on satellite imagery. In: *Third International Human Dimensions Workshop: Human Dimensions of Urbanisation and the Transition to Sustainability. Summaries of the participants.* pp. 23.1-23.2. Bonn.
- Bartholy J., Pongrácz R., Dezső Zs. (2003): Analysis of thermal remote sensing information of urban areas. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (CD-ROM), Vol. XXXIV – 7/W9. (Proceedings of the ISPRS WG VII/4 Symposium on Remote Sensing of Urban Areas).* (ed: C. Jürgens) International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Regensburg. pp. 18-23.
- Bartholy J., Pongrácz R., Dezső Zs. (2003): Application of satellite information to urban climatology. In: *Combined Preprints CD-ROM of the 83rd AMS Annual Meeting. Paper P1.10,* American Meteorological Society. 9p.
- Dezső Zs., Bartholy J., Pongrácz R., Barcza Z. (2003): Application and problems of remotely sensed thermal information to urban climatology. In: *Proceedings of the 5th Int. Conference on Urban Climate.* (eds: J. Wigg, I. Gajda-Pijanowska) O.27A.4. CD-ROM. 4p. Univ. of Lodz.
- Bartholy J., Pongrácz R., Barcza Z., Dezső Zs. (2004): Aspects of urban/rural population migration in the Carpathian Basin using satellite imagery. In: *Environmental Change and its Implications for Population Migration* (eds: Unruh, J.D., Krol, M.S., Kliot, N.) Book series "Advances in Global Change Research" Vol. 20. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht and Boston. pp. 289-313.
- Bartholy J., Pongrácz R., Dezső Zs. (2005): A hazai nagyvárosok hősziget hatásának elemzése finomfelbontású műholdképek alapján. *AGRO-21 Füzetek.* 44. szám. pp. 32-44.
- Dezső Zs., Bartholy J., Pongrácz R. (2005): Satellite-based analysis of the urban heat island effect. *Időjárás,* 109 (No. 4.), pp. 217-232.
- Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. (2005): A budapesti városklíma vizsgálata műholdképek felhasználásával. *Légkör,* 50/4., pp. 8-12.

- Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. (2005): Case study of urban heat island effect for Budapest (Hungary) based on satellite imagery. In: *IHDP Proceedings No. 6. - Urbanisation and the Transition to Sustainability* (ed.: V. Schulz), pp. 53-56. International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, Bonn.
- Dezső Zs., Bartholy J., Pongrácz R. (2006): Urban heat island analysis using MODIS and ASTER measurements for Central European large cities. In: *Preprints of the 6th International Conference on Urban Climate*. (ed: Inspiro AB) Göteborg University, Sweden. pp. 806-809.
- Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. (2006): A városi hősziget hatás elemzése közép-európai nagyvárosokra műholdas mérések alapján. In: *A III. Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei*. CD-ROM. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest. 10p.
- Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. (2006): Remotely sensed thermal information applied to urban climate analysis. *Advances in Space Research*. 37 (No. 12.), pp. 2191-2196., DOI: 10.1016/j.asr.2005.06.069
- Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. (2009): Application of remotely sensed thermal information to urban climatology of Central European cities. *Physics and Chemistry of Earth, megjelenés alatt*