

*Lelovics Enikő<sup>1</sup> – Pongrácz Rita – Bartholy Judit – Dezső Zsuzsanna*

## **A BUDAPESTI VÁROSI HŐSZIGET HATÁS ELEMZÉSE MŰHOLDAS ÉS FELSZÍNI MÉRÉSEK ALAPJÁN<sup>2</sup>**

### **BEVEZETÉS**

Az emberiség létszámának nagyütemű növekedése, valamint a mesterséges felszínnek egyre nagyobb kiterjedése a földi környezet fokozott igénybevételét vonja maga után. A beépített területeken a sugárzási egyenleg és a vízegyenleg is jelentősen módosul (Oke 1982), ezzel a meteorológiai elemekben alapvető változások jelentkeznek a külterületi állapothoz képest (Landsberg 1985). A város éghajlatmódosító hatásai közül az egyik legfontosabb és legtöbbet vizsgált jelenség a városi hősziget hatás, amely a beépített területeken jelentkező hőmérsékleti többlet (Probáld 1974). Ennek jellemző mérőszáma a hősziget-intenzitás. A hőmérséklet mérése a hagyományos eszközökön kívül távérzékelési eszközök alkalmazásával is lehetséges (Voogt és Oke 2003). Míg a hagyományos értelemben vett hőmérsékleti fogalommal a léghőmérsékletet jellemezzük, addig a műholdas mérések során a vízszintes felszínnek hőmérsékletét mérjük. E két állapotjelző általában eltér egymástól, mivel más-más folyamatok alakítják ki őket. Így a kétféle mérés eredményei eltérhetnek egymástól térben és időben (Bartholy et al. 2009). Városklimatológiai vizsgálataink során (Lelovics et al. 2011) ezek kapcsolatát vizsgáltuk statisztikai módszerek alkalmazásával.

E cikkben röviden bemutatjuk a kétféle állapotjelző mérésének körülményeit, a vizsgált mintaterület általános jellemzőit, a városi és városkörnyéki mérőpontok meghatározását. Az eredményeket tárgyaló alfejezetben összehasonlítjuk a kétféleképp mért hőmérsékleti értéket, és az ezekből képzett hősziget-intenzitást, végül a felszínhőmérsékleti mező ismeretében becslést végzünk a léghőmérséklet mezőre.

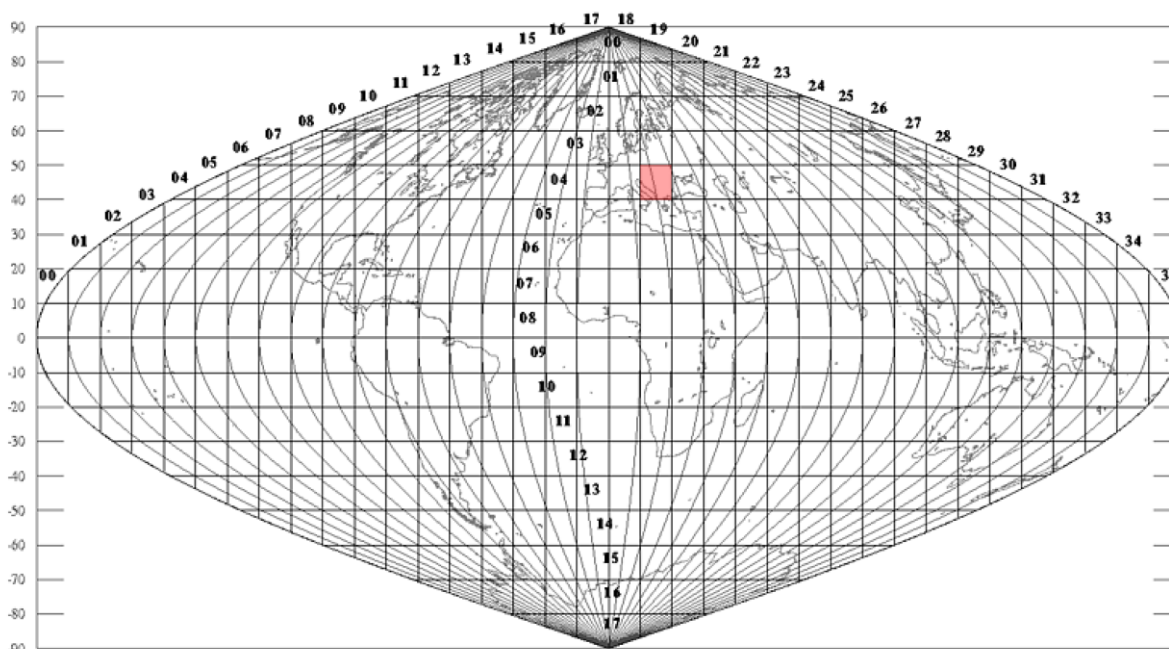
### **FELHASZNÁLT ADATOK ÉS MÓDSZEREK**

Vizsgálatunkban műholdas és felszíni méréseket használtunk fel, melyeket az amerikai NASA (National Aeronautics and Space Administration, azaz Nemzeti Légügyi és Világűri Igazgatás), illetve a hazai Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSz) állított elő. Műholdas mérésekből rendelkezésünkre áll a MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, azaz közepes felbontású képkészítő spektrális sugárzásmérő) szenzor hazánkra vonatkozó felszínhőmérsékleti mezője. 2001-től napi két mérés történt (ekkor még csak a Terra műhold végezte a méréseket), majd 2003-tól már napi négy (üzembe állt az Aqua nevű műhold is). A MODIS szenzort hordozó mindkét amerikai műhold kvázipoláris pályán, mintegy 700 km magasságban kering a Föld körül. Hazánk térsége fölött a Terra 9-10 UTC és 20-21 UTC körül, az Aqua pedig 02-03 UTC és 12-13 UTC között halad át. A hét termális infravörös hullámhossz-tartományú sugárzási méréseket felhasználva meghatározott felszínhőmérsékleti adatok (Wan 1999) térbeli felbontása 1 km. A rácspontok egy szinusoid vetületben vannak definiálva, melynek teljes Földre vonatkozó képét az 1. ábrán láthatjuk. A műholdas mérések óriási előnye, hogy ezzel az eszközzel nagy terület hőmérséklete vizsgálható, közel egyidejűleg.

<sup>1</sup> **Lelovics Enikő:** *Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék; Szegedi Tudományegyetem, Éghajlattani és Tájjöldrajzi Tanszék.*

E-mail: [lelovics.eniko@gmail.com](mailto:lelovics.eniko@gmail.com)

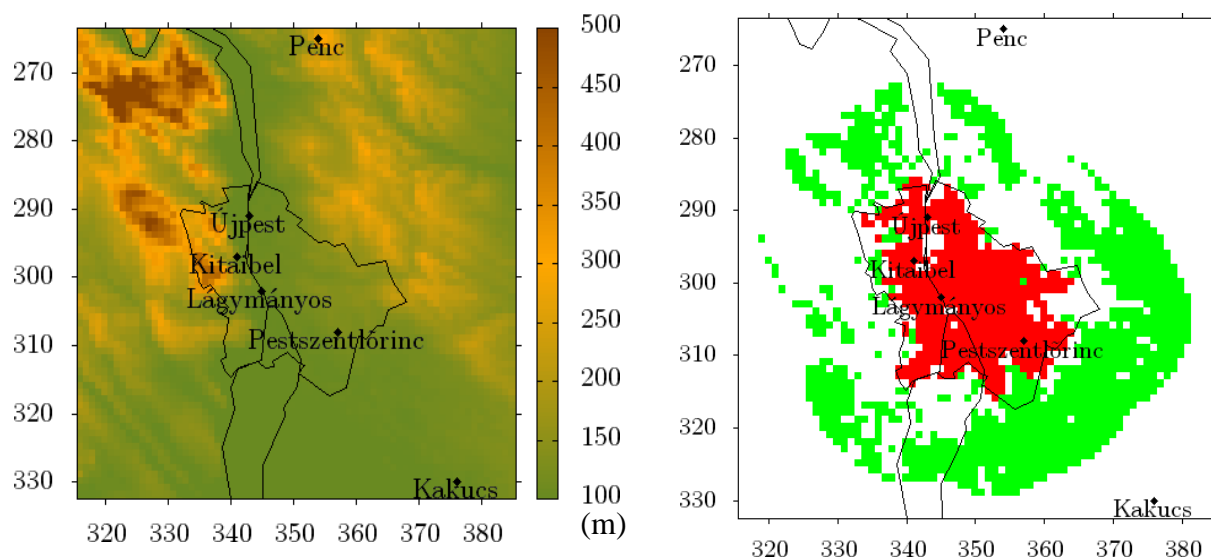
<sup>2</sup> A kutatást az OTKA K-67626, K-78125 számú, az IHM TP-241, TP-256, TP-278, TP-338 számú pályázata támogatta. További segítséget nyújtott az Európai Unió és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával az „Európai léptékkal a Tudásért, ELTE-TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0003. A felsőoktatás minőségének javítása a kutatás-fejlesztés-innováció-oktatás fejlesztésén keresztül” program.



1. ábra: A MODIS rácshálózat (NASA 2005) szinuszoid vetületben, a térségünket tartalmazó kivágat pirossal jelölve

Budapest méretéhez igazodva a vizsgálathoz egy  $70 \times 70$  rácspontból álló területet választottunk le a teljes mezőből. A rácspontokat három kategóriába soroltuk: városi, városkörnyéki és egyéb pontokra. A városi pontok kritériumai a következők: (1) a város közigazgatási határán belül található, (2) a MODIS ún. Land Cover Product felszínborítottsági adatbázis alapján a beépített kategóriába esnek, és (3) magasságuk a városi átlagos tengerszint feletti magasságtól legfeljebb 50 méterrel tér el. A városkörnyéki pontok a város körüli, a város átlagos sugarával megegyező méretű körgyűrűn belül található, nem beépítettek és nem is vízzel borítottak, tengerszint feletti magasságuk pedig legfeljebb 100 méterrel több a városénál. Ezzel a definícióval a vizsgált pontok közül kizártuk a városi parkokat, a Budapesten kívüli településeket és a hegyvidéki területeket. A városi rácspontokat pirossal, a városkörnyékieket pedig zölddel jelöli a 2. ábra jobb oldali térképe. Vizsgálataink során a 2001-2010 időszakra vonatkozó felszínhőmérsékleti mezősor felhasználásával kiszámítottuk a városi és a városkörnyéki rácspontok átlagos felszínhőmérsékletét, s első köelítésben ezek különbségét tekintettük a városi hősziget intenzitásának (Pongrácz et al. 2010).

Az Országos Meteorológiai Szolgálatnak vizsgálataink kezdetén négy automata mérőállomása volt Budapesten, melyek földrajzi elhelyezkedését a 2. ábra bal oldali térképe illusztrálja. A leghétszakabbra található a IV. kerületi, Újpest állomás, az OMSz budai központjában, a II. kerületi Kitaibel Pál utcában helyezkedik el a korábbi fő szinoptikus állomás, a XI. kerületben az ELTE Lágymányosi kampuszán létesült 2000-ben egy városklíma állomás, s a külvárosi XVIII. kerületben, Pestszentlőrincen található a jelenlegi fő szinoptikus meteorológiai állomás. Az ezeken mért léghőmérsékleti értékeket bocsátották rendelkezésünkre a műholdak áthaladási időpontjaiban. Városon kívüli referenciaállomásnak az alföldi Kakucsot és a Cserhát szélén található Pencet választottuk, mivel ez a két mérőállomás kellően hosszú adatsorral rendelkezik. A meteorológiai állomásokon a vizsgálati időszakban végig Vaisala MILOS-500 és QLC-50 automata mérőműszerek üzemeltek (Zárbok et al. 2005).



2. ábra: A vizsgált terület domborzata (tengerszint feletti magasság méterben) és MODIS rácspontjai (zöld: városkörnyéki, piros: városi pontok)

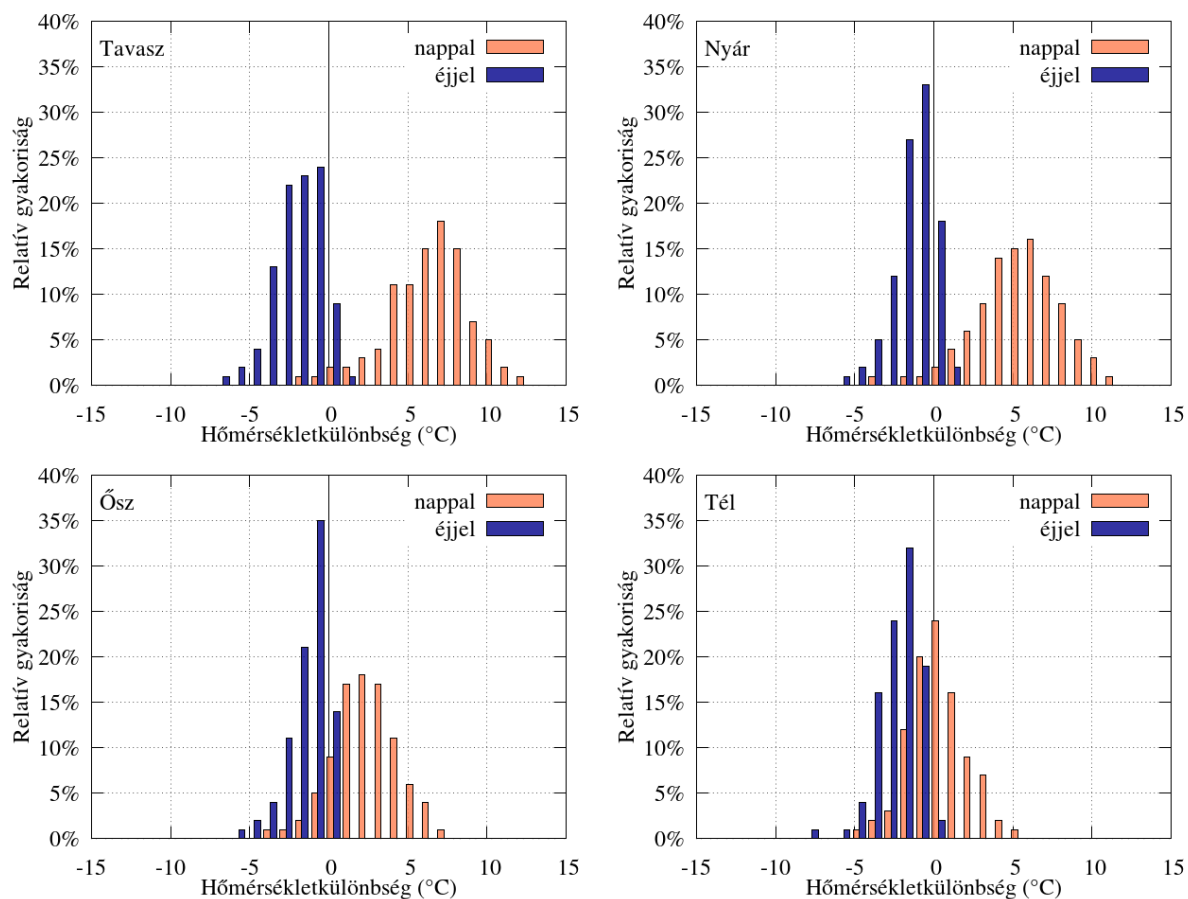
Az 1. táblázatban összefoglaltuk a két mérőrendszer legfontosabb tulajdonságait. A számos különbség ellenére a mért idősorok összehasonlítása gyakorlati szempontból kiemelkedő fontosságú.

1. táblázat: A kétféle mérőrendszer legfontosabb különbségei

	<b>Műholdas mérések</b>	<b>Állomási mérések</b>
Származtatott állapotjelző	Felszínhőmérséklet	Lég hőmérséklet
Jellemzett terület	1 km × 1 km átlaga	Mérőhely közvetlen környezete
Rendelkezésre állás	Napi 2 mérés műholdanként, csak felhőmentes időben	Folyamatos mérés, 10 percenkénti adatrögzítés

## EREDMÉNYEINK

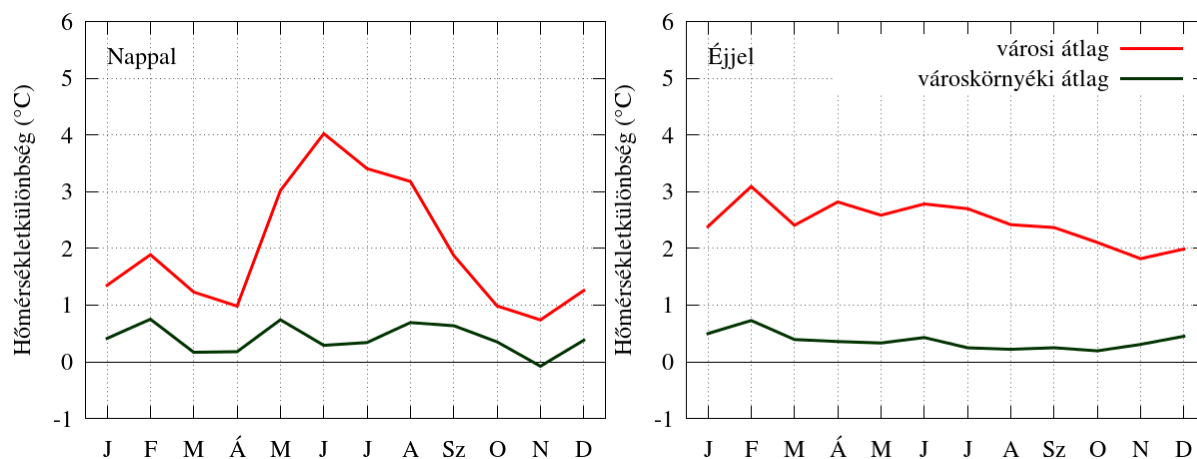
Elsőként megvizsgáltuk egy-egy mérőponton, illetve az ahhoz közeli rácsponton mért különböző hőmérsékleti értékek kapcsolatát. A felszínhőmérséklet és a lég hőmérséklet évszakos eltérését mutatja be a 3. ábra a lágymányosi állomás példáján keresztül. A grafikonokról jól látszik, hogy az eltérés általában nappal jellemzően pozitív, éjjel pedig többnyire negatív. Ennek oka, hogy a besugárzást közvetlenül a felszín nyeli el, és továbbítja a légkörnek, éjszaka pedig a felszín sugároz ki, és az ehhez szükséges energiát a légkörtől vonja el, s így a légkör egyaránt alulról melegszik, és alulról hűl. Legnagyobb a felszínhőmérséklet és a lég hőmérséklet különbsége tavasszal és nyáron a nappali, azaz az intenzív besugárzással járó időszakban. Tavasszal és nyáron a kétféle hőmérsékleti érték közötti átlagos nappali eltérés 6,3 °C, illetve 6,6 °C. A nappali eltérés sokkal kisebb ősszel (3,3 °C), s télen csupán 1,1 °C. Az éjszakai mérések alapján az átlagos különbség mind a négy évszakban negatív: -1,8 °C (tavasszal), -1,1 °C (nyáron), -1,2 °C (ősszel), -1,7 °C (télen).



3. ábra: A felszínhőmérséklet és a léghőmérséklet eltérésének évszakonkénti relatív gyakorisága Lágymányosra, 2001-2010

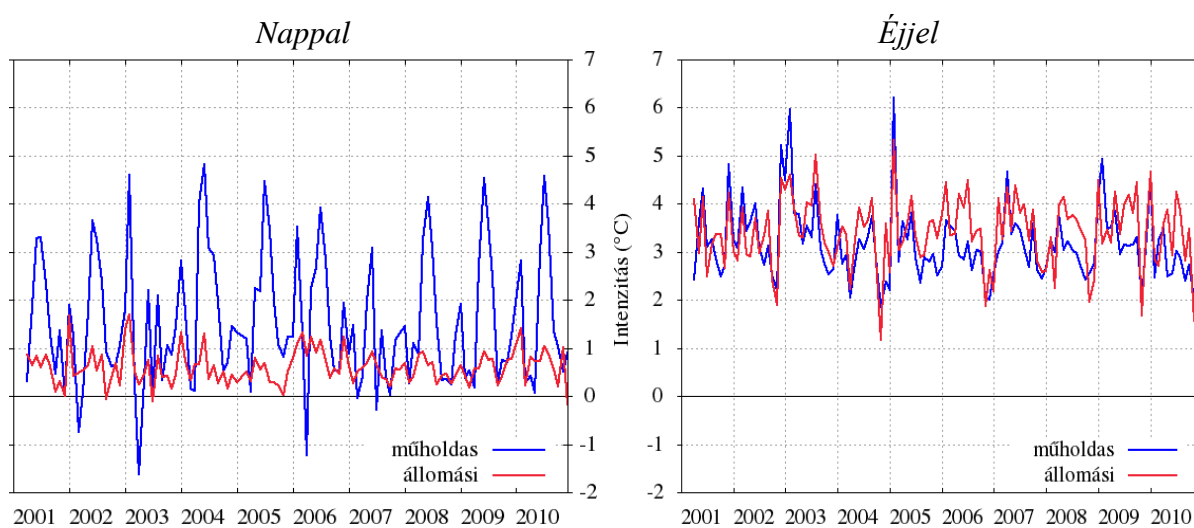
A városi hősziget intenzitása a város és környezete közötti hőmérsékletkülönbség. Ezt többféleképp számszerűsíthetjük, a rendelkezésre álló adatbázistól függően. Tipikus eljárás egy belterületi és egy külterületi állomáson mért hőmérséklet különbségét venni (illetve egy hőmérsékleti mező eltérését a külterületi referenciaállomástól). Az ELTE Meteorológiai Tanszékén végzett korábbi vizsgálataink során (pl. Pongrácz et al. 2011) a hősziget-intenzitást úgy definiáltuk, mint a városi rácspontok átlaghőmérsékletének eltérését a városkörnyéki rácspontokétól. Ez a definíció a műholdas felszínhőmérséklet esetén megfelelő, mivel az mezőszerűen áll rendelkezésre, viszont léghőmérsékleti értékek csak néhány pontból állnak rendelkezésre. Ezért egyrészt végeztünk összehasonlításokat pontbeli adatok alapján, másrészt pedig statisztikai módszerek felhasználásával becslést készítettünk a léghőmérsékleti mezőre.

Léghőmérsékleti értékek a terület hat pontjáról álltak rendelkezésünkre (ebből két pont a város belső részéről, két pont a város széléről és két pont a várostól távol található). Eltekintve a térbeli reprezentativitás eltérésétől ugyanezekhez a pontokhoz tartozó felszínhőmérsékleti értékek tekintettük a pontokhoz közeli MODIS rácspont felszínhőmérsékletét. Csak azokat az időpontokat vettük figyelembe, amikor mind a hat mérőpontról rendelkezésre álltak felszínhőmérsékleti információk. A városkörnyéki átlaghőmérsékletet figyelembe véve arra jutottunk, hogy habár a két külterületi mérőhely egyike sem tökéletes (Penc a Cserhát szélén található, dombos területen, Kakucs pedig egy alföldi falu szélén), a kettő hőmérsékletének átlaga megfelelő mértékben közelíti a városkörnyéki átlaghőmérsékletet (a 4. ábráról leolvasható, hogy annál kb. 0,5 °C-kal hűvösebb egész évben), így szintén használható referenciaként.



4. ábra: A városkörnyéki átlagos felszínhőmérséklet (zölddel jelölve) és a városi átlagos felszínhőmérséklet (pirossal jelölve) eltérése Kakucs és Penc átlagától (°C), 2001-2010

Pontbeli értékek vizsgálatával megállapítható, hogy általában a felszínhőmérséklet magasabb, mint a léghőmérséklet, átlagosan 1 °C a különbség közöttük. A korreláció a kétféle hőmérsékleti érték között szignifikáns (értéke 0,85 és 0,95 közötti az egyes állomások mindegyike esetén). A négy városi és a két külterületi állomás hőmérsékletének különbségeként definiált városi hősziget-intenzitás nappali és éjszakai idősorait mutatja be az 5. ábra.



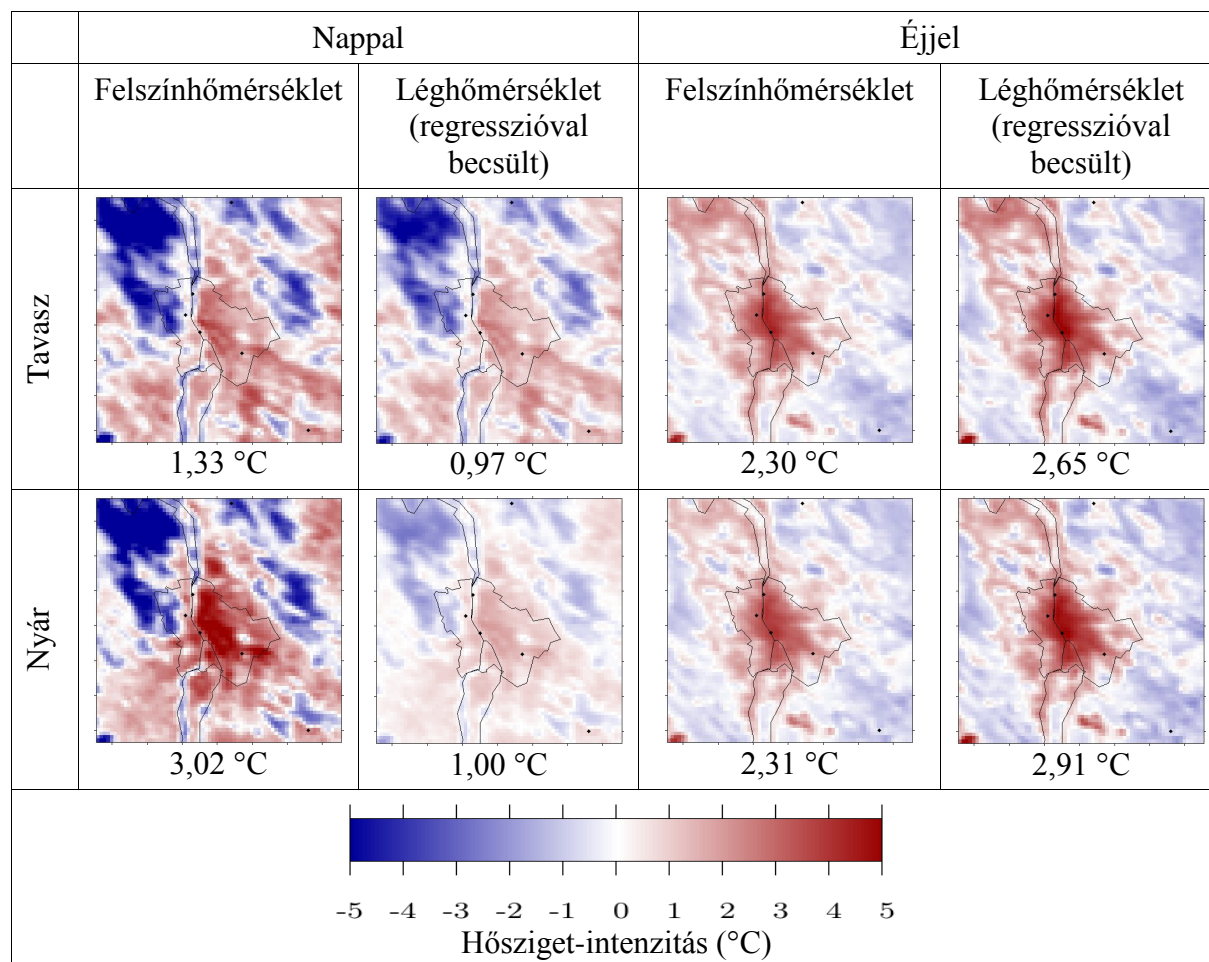
5. ábra: Négy budapesti városi és két vidéki mérőállomásra vonatkozó rácsponti hőmérsékletből képzett hősziget-intenzitás idősora, 2001-2010

Eredményeink alapján nappal az állomási mérésekből meghatározott intenzitás értékek 0 °C és 2 °C között mozognak, a teljes 2001–2010 időszakra vonatkozó átlagos érték csupán 0,6 °C (azaz gyenge a nappali hősziget hatás). A legnagyobb értékek télen és nyáron fordulnak elő. A műholdas mérések felhasználásával kapott hősziget-intenzitás éven belüli változékonysága nagyobb, a nyári hónapokban az intenzitás értéke meghaladhatja akár a 3-4 °C-ot, míg a teljes 10 éves időszakra vonatkozó átlagérték 1,6 °C. A legkisebb intenzitás értékek tavasszal és ősszel jelentek meg.

Az éjszakai időszakra vonatkozóan a két módszer közötti eltérések sokkal kisebbek, mint a nappali időszakban – a korrelációs együtthatók is ezt igazolják (0,7 az éjszakai idősorok esetén, s 0,5 nappalra). A teljes 2001–2010 időszakra számított átlagos intenzitás a műholdas mérések alapján 3,2 °C, az állomási mérések alapján 3,4 °C. Tehát éjszaka a

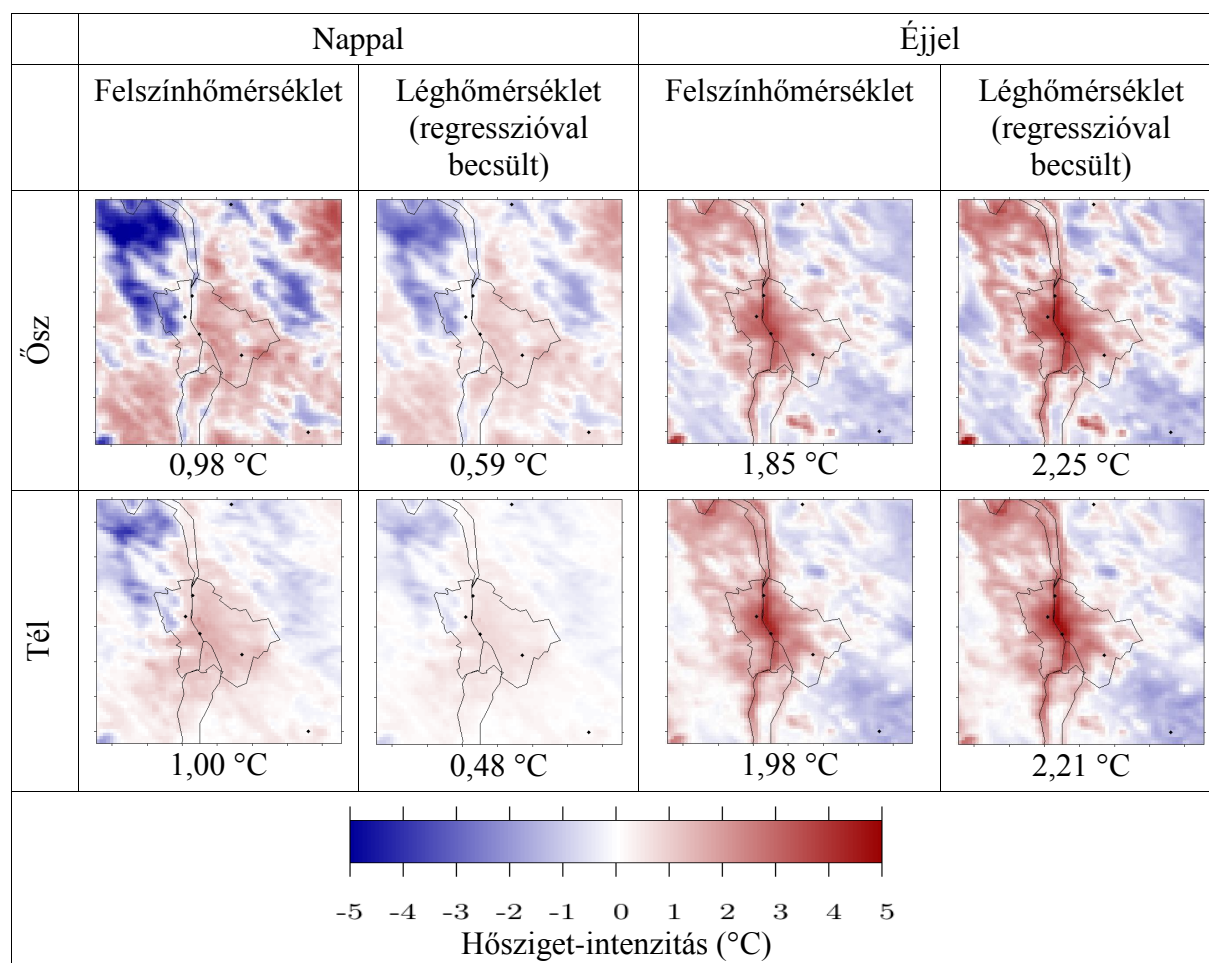
hagyományosnak tekinthető, léghőmérsékletből számított hősziget hatás nagyobb intenzitású, mint a távérzékelt felszínhőmérséklet által meghatározott hősziget hatás.

A léghőmérsékleti mező becslését többféle módszerrel is elvégeztük: interpolációt alkalmaztunk a becsült vertikális hőmérsékleti gradiens figyelembe vételével, lineáris regressziós modelleket alkottunk többféle információ felhasználásával, valamint a lineáris regressziós becslést a pontbeli intenzitás értékek alapján korrigáltuk.



6. ábra: Évszakos átlagos hőmérsékleti mezők tavasszal és nyáron, 2001-2010.  
A térképek alatti értékek az átlagos intenzitást jelölik.

Az intenzitás mezők alapján kiszámítottuk a városi és a városkörnyéki pontok különbségeként értelmezett városi hősziget-intenzitást, mely alapján az egyváltozós lineáris regresszió módszerével létrehozott mezőket ítéltük a legjobbaknak (az évszakos mezőket a 6. és 7. ábrán mutatjuk be). Más tényezők (pl. városközponttól való távolság, NDVI műholdas mérésekből meghatározott vegetációs index) figyelembe vételével nem sikerült javítanunk a becslésen. Az interpoláció a rendelkezésre álló mérőpontok kis száma és egyenlőtlen területi eloszlása (a városon kívüli területről szinte nincs információ, de a legfontosabb belvárosi részokről sincs) miatt nem váltotta be a hozzáfűzött reményeinket. Tapasztalataink alapján a megoldást a dinamikai alapú modellezésben keressük a jövőben.



6. ábra: Évszakos átlagos hőmérsékleti mezők össze és télen, 2001-2010.  
A térképek alatti értékek az átlagos intenzitást jelölik.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- BARTHOLY J, PONGRÁCZ R, LELOVICS E, DEZSŐ Zs. 2009. Comparison of urban heat island effect using ground-based and satellite measurements. *Acta Climatologica et Chorologica Universitatis Szegediensis* 42-43: 7–15.
- DEZSŐ Zs, BARTHOLY J, PONGRÁCZ R. 2005. Satellite-based analysis of the urban heat island effect. *Időjárás* 109: 217–232.
- LANDSBERG HE. 1985. *The urban climate*. Academic Press.
- LELOVICS E, PONGRÁCZ R, BARTHOLY J, DEZSŐ Zs. 2011. Budapesti városi hősziget elemzése: műholdas és felszíni mérések összehasonlítása. *Légtér* 56: 55-59.
- NASA. 2005. MODLAND Tile Calculator. <http://landweb.nascom.nasa.gov/developers/tilemap/note.html>
- OKE TR. 1982. The energetical bases of the urban heat island. *Q. J. Royal Meteorological Society* 108: 1–24.
- 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.
- PONGRÁCZ R, BARTHOLY J, LELOVICS E, DEZSŐ Zs. 2011. Analysis of the urban heat island effect – comparison of ground-based and remotely sensed temperature observations. 91st AMS Annual Meeting. Seattle, WA. Paper 163. <http://ams.confex.com/ams/91Annual/webprogram/Manuscript/Paper185840/PR-et-al-163.pdf>

- PROBÁLD F. 1974. Budapest városklímája. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- VOOGT JA, OKE TR. 2003. Thermal remote sensing of urban climate. *Remote Sensing of Environment* 86: 370–384.
- ZÁRBOK ZS, GILI B, TAKÁCS L, ZSOLDOS E, GORDON L. 2005. Az automata mérőhálózat felépítése és területi eloszlása. *Intenzív meteorológiai megfigyelések – A 30. meteorológiai tudományos napok előadásai* 47–58. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.
- WAN Z. 1999. MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document, Version 3.3. Institute of Computational Earth System Science, University of California, Santa Barbara.