

Felszínhőmérsékleti változások elemzése Budapest IX. kerületére

SZAKDOLGOZAT
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK
METEOROLÓGUS SZAKIRÁNY



Készítette:

Dian Csenge Márta

Témavezetők:

Dr. Pongrácz Rita

Dr. habil. Bartholy Judit

Soósné Dr. Dezső Zsuzsanna

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2015

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Városklimatológia és a városi hősziget.....	5
3. Felhasznált adatok	8
3.1. Műholdas adatok	8
3.2. A IX. kerület bemutatása.....	10
4. Műholdas adatok feldolgozása.....	16
4.1. MODIS adatok	16
4.1.1. Tömbrehabilitációs program hatásának vizsgálata rácshálózat finomítással	16
4.1.2. Területei összehasonlítások MODIS rácscellák alapján	24
4.2. ASTER adatok	29
5. Mérések a rehabilitációs területen és a Belső Ferencvárosban	33
6. Összefoglalás	45
Köszönetnyilvánítás	47
Irodalomjegyzék.....	48
Internetes források.....	49

1. Bevezetés

A Föld népességének egyre nagyobb hányada él nagyvárosokban, és a jövőben e tendenciának az erősödése várható. Ennek következménye a városok számának és kiterjedésének növekedése. Az emberi tevékenység és a természetes környezet mesterséges felszínekkel való megbontása jelentős hatással van a városok helyi éghajlati viszonyaira. Ezek a módosult környezeti feltételek az emberek mindennapjait is befolyásolják, hiszen az időjárás és a közvetlen környezet klímaváltozásaira is érzékenyen reagálhat az emberi szervezet. Mindezen tényezők igazolják a városklimatológiai kutatások létjogosultságát. A felszín borítottságának megváltozásából adódóan módosulnak a szokásos felszín-légkör kölcsönhatás folyamatai, melyek leginkább a városi hősziget (Urban Heat Island: UHI) jelenségében figyelhetők meg. Az UHI a város és a környezete között észlelhető hőmérsékletkülönbséget jelenti. Számszerűsítésére a városi hősziget-intenzitás értékét használják. A városi hősziget már a belvárosi sűrűn beépített részek és a külváros ritkábban beépített részei között is érzékelhető (Oke, 1973).

Magyarországon több évtizede foglalkoznak a városklíma különböző kérdéseinek vizsgálatával (Probáld, 2014; Unger et al., 2014; Pongrácz et al., 2010). A hazai elemzések többféle módszertannal, különböző technikák felhasználásával készülnek. Például hagyományos telepített felszíni mérőhálózat, illetve járművekre szerelt mérőműszeres mérések (Unger, 2004; Bottyán et al., 2005) segítségével. Bizonyos városméret felett azonban ezek a módszerek nehezen használhatók. A 2000 óta rendelkezésre álló NASA¹ műholdas mérések adatai segítségével viszont nagyobb városok vizsgálatára is lehetőség nyílik. Az ELTE Meteorológiai Tanszékén műholdas adatok felhasználásával végeznek kutatásokat elsősorban Budapestre (pl.: Dezső et al., 2012), de a város viszonylag nagy térbeli kiterjedése miatt még így is nehézkes részletes vizsgálatokat végezni. E szakdolgozatban bemutatásra kerülő elemzésekkel ezekbe a tanszéki városklimatológiai kutatásokba kapcsolódtam be. Az eddigi, egész Budapestre kiterjedő nagyobb léptékű értékeléssel ellentétben, ebben a dolgozatban jelentősen kisebb terület vizsgálatával foglalkozunk, mely részletesebb elemzéseket tesz lehetővé egy kerületen belül is.

A főváros IX. kerületi önkormányzata sokrétű városfejlesztési programjával próbál élhetőbb életteret biztosítani lakosainak. A rendszerváltás után fontossá vált a rossz állapotú fizikai környezet minőségi fejlesztése és a problémákkal küszködő társadalmi

¹ NASA (National Aeronautics and Space Administration): amerikai Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal

rétegek támogatása. A terület heterogenitásából adódóan azonban nem lehet egységesíteni a fejlesztéseket, átalakításokat, ezért a különböző adottságokkal rendelkező, másfajta terület-felhasználású kerületszemperekre eltérő városmegújítási programokat alakítottak. A Középső-Ferencváros területének átfogó rehabilitációs terve már 1993-ban elkészült (IX. kerület Ferencváros Önkormányzata, 2009), és a '90-es évektől napjainkig tartanak a munkálatok a rehabilitációs területen. A terv egyik legfontosabb része a zöld területek növelése, amit a tömbrehabilitáció során egybenyitott házak belső udvarának parkosításával, az ún. közös zöld terek létrehozásával valósították meg. A Belső-Ferencváros területén szintén több zöld területet hoztak létre. A József Attila-lakótelep egységes kiépítése során a háztömbök közötti szabad területekre fákat telepítettek.

Szakdolgozatomban a IX. kerület felújítási terveinek, és a zöldterület kiépítéseknek a hatását vizsgáltuk. A 2001-től 2013-ig rendelkezésre álló műholdas adatsorok alapján trendelemzéseket végeztünk a tömbrehabilitációs programban felújított területek felszínhőmérsékleti és az abból származtatható hősziget-intenzitási értékek mezősoraira. Az elemzés során megválaszolandó legfontosabb kérdések a következők: Milyen volt a hősziget-intenzitás, illetve a felszínhőmérséklet az átépítések előtt és után? Mennyire volt hatással a már lezajlott tömbrehabilitáció a vizsgált értékekre? Kimutatható-e kedvező tendencia az idősorokban? További vizsgálatokat hajtottunk végre a kerület különböző felszínborítottsággal rendelkező területei között szintén műholdas adatok alapján, a hősziget-intenzitás és a felszínhőmérsékleti értékek összehasonlításával az egyes területeken. A részletesebb vizsgálatok érdekében finomabb felbontású műholdképek alapján is készítettünk elemzéseket. Végezetül helyszíni hőmérséklet és relatív nedvesség méréseket végeztünk a Belső-Ferencvárosban és a rehabilitációs területen.

A dolgozatban először áttekintjük a városi hősziget fogalmát és azon városklimatológiai kutatások rövid történetét, melyek ezzel a jelenséggel foglalkoznak (2. fejezet). Ezt követően bemutatjuk a vizsgálatokhoz felhasznált műholdas adatokat, és a IX. kerületről a helyi önkormányzattal való együttműködés keretében rendelkezésünkre álló információkat (3. fejezet). A 4. fejezetben részletezzük a műholdas adatokra vonatkozó vizsgálati módszereket, illetve az ezekből származó eredményeket. Az 5. fejezetben a mérési program bemutatására, a műszerek, mért paraméterek és a kapott eredmények részletezésére kerül sor. Végül a dolgozat összegzése a 6. fejezetben olvasható.

2. Városklimatológia és a városi hősziget

Az iparosodást követően gyorsan növekedett a városok száma és a népességük is. Míg 1960-ban a Föld teljes lakosságának 34%-a élt városokban, addig 2014-re már 54%-ra nőtt ez az arány (WHO, 2014). A fejlett országokban napjainkban 80% körüli a városi lakosság aránya, s a fejlődő országokban is egyre jelentősebb mértékben élnek falvak helyett városokban az emberek. Egyre fontosabbá vált a városok környezetre gyakorolt hatásának vizsgálata, így a sajátos meteorológiai, klimatológiai jelenségek megfigyelése és okainak feltárása. A városi hősziget jelenségét Oke már 1973-ban leírta. A megfigyelések szerint a városközpont és a külvárosi, illetve környező területek felszín közeli légrétege között több °C-os hőmérsékletkülönbség alakul ki, mely a városi hősziget-intenzitás értékét adja meg. A jelenség a naplementét követő időszakban maximális (Oke, 1982), mely a hagyományos, 2 m magasan mért léghőmérsékleti adatok felhasználásával számítható. Ennek részletes, városon belüli szerkezetének vizsgálata rendkívül nehézkes lehet olyan nagyobb városok esetén, ahol viszonylag kevés a rendelkezésre álló állomási vagy mozgó járműves mérés. A léghőmérsékletből származtatott hősziget-intenzitással ellentétben a műholdas mérésekből származó felszínhőmérsékleti mezőkből számított hősziget-intenzitás a déli órákban éri el a maximumát, amikor a legnagyobb a besugárzás.

Magyarországon több kutatóhelyen is évtizedek óta végeznek hősziget-intenzitással kapcsolatos méréseket és egyéb városklimatológiai kutatásokat. A városi sajátosságok vizsgálatához többféle méréssel vagy módszerrel lehet információhoz jutni. Legrégebb óta alkalmazzák – a hagyományostól eltérő – városklimatológiai állomásokat, melyek a városon belül telepített mérőállomások. Ezek hátránya azonban, hogy nem mindig lehet megfelelő sűrűségű hálózatot kiépíteni, főként anyagi okok miatt. Alternatív lehetőségként műszerekkel felszerelt kerékpárokkal vagy autókkal járják végig a várost és környékét. Fontos megjegyezni, hogy ebben az esetben a mérések nem egyidejűleg történnek, így ezt az adatok elemzésénél számításba kell venni. Az autóval végzett, szervezett mérési programot hazánkban először Szegeden alkalmazták 1999–2000 és 2002–2003 időszakban (Unger, 2004). A kutatások során a szegedi városi hősziget térbeli szerkezetét és az ún. égbolt-láthatósággal való kapcsolatát tárták fel (Gál T et al., 2013). Pár évvel később Debrecenre is alkalmazták ezt a mérési technikát, és a városi hősziget átlagos maximumát vizsgálták (Bottyán et al., 2005; Bottyán, 2007).

A nagyobb városok esetén ezekkel a léghőmérsékleten alapuló módszerekkel történő vizsgálatok körülményesek, nehezen kivitelezhetők. A finom felbontású műholdképek – melyekből egyidejűnek tekinthető mezők formájában származtathatók a felszínhőmérsékleti, és az ebből számított hősziget-intenzitás értékek – megjelenése óta több lehetőség adódik a Budapest nagyságú városok vizsgálatára. Az ELTE Meteorológiai Tanszékén másfél évtizede zajlanak műholdas városklimatológiai kutatások Magyarország és Közép-Európa nagyobb városaira. A Budapestre és kilenc másik hazai nagyvárosra (Debrecen, Miskolc, Szeged, Pécs, Győr, Nyíregyháza, Kecskemét, Székesfehérvár, Szombathely) vonatkozó vizsgálatok (Bartholy et al., 2005; Dezső et al., 2009) kimutatták, hogy a felszínhőmérséklet alapján számolt hősziget hatás nyár közepén a legintenzívebb, továbbá éjszaka sokkal kevésbé változik a hősziget hatás az éven belül, mint nappal. Ezek az eredmények alapvetően a besugárzási viszonyokra vezethetők vissza.

Több kutatás zajlott a műholdas mérések és a felszíni telepített állomások méréseinek összehasonlítására. Például Lelovics et al. (2011) Budapest négy mérőállomására havi és évszakos átlaghőmérsékleteket vizsgált. Az elemzés megállapította, hogy a belvárosi állomásokon egyértelműen magasabb hőmérsékletet mértek, mint a külvárosiakon. Az összehasonlító tanulmány alapján a műholdas mérésekből származtatott intenzitásértékek nyáron meghaladják a felszíni mérésekből számolt intenzitásértékeket, míg télen fordítva. Az elemzések során külön problémát jelenthet, hogy nem egyértelmű a városi terület és a külterület szétválasztása. Például előfordulhat, hogy egy város körül agglomeráció épült ki, így a közvetlen külterületek szintén városi jellegűek, és nem látszik számottevő különbség a hősziget-intenzitásban. Szintén problémát okozhat, ha hegyvidéki városokat vizsgálunk, hiszen itt a külterület és a város között magasságbeli különbség is lehet, ami ugyancsak befolyásolja a hősziget-intenzitás alakulását. Az egyértelműség hiánya nehézkessé teszi a különböző városokra kapott eredmények összehasonlítását az esetleges eltérések miatt. Nemcsak a városi és külterületi részek elkülönítése bír nagy jelentőséggel, hanem városon belül az eltérő felszínborítású területek meghatározása is fontos, hiszen más-más mértékben befolyásolják a sugárzási viszonyok alakulását. Ennek a meghatározására szolgálnak a lokális klímazónák, melyben a beépítettség jellegétől (épület magasság, szerkezet, nyitottság) és mennyiségétől, valamint a felszín borításától (fák, bokrok, homok, stb.) függően kategorizálják az egyes területeket. Például Hong Kong városára végeztek ilyen jellegű komplex szempontokon alapuló osztályozást (Planning Department, 2012). A városi klímaterkép létrehozásához különböző városi adottságok jellemzőit külön-külön rétegre helyezték, melyekből összeállították a végleges térképet. A

hőterhelésre, a dinamikus potenciálra és az áramlási szélmezőre vonatkozó adatokat használták fel a térkép megalkotásához. Hasonló osztályozási elveket felhasználva Unger et al. (2014) végeztek kutatásokat Szegeden a városi hősziget pontosítására.

Jelen kutatás során a városi hősziget-intenzitást a Budapestre vonatkozó korábbi elemzésekhez képest (Bartholy et al., 2005; Dezső, 2009) sokkal kisebb területre vizsgáljuk. Ez lehetőséget nyújt a részletesebb területi elemzésekre. A dolgozat konkrét célkitűzése a hősziget-intenzitás és a felszínhőmérséklet alakulásának vizsgálata Budapest IX. kerületében a városfejlesztési programok hatására.

3. Felhasznált adatok

3.1. Műholdas adatok

A műholdas mérések legnagyobb előnye a felszíni mérésekkel szemben, hogy egyidejűleg nagy területről lehet információhoz jutni. Városklimatológiai vizsgálatok során gyakran dolgoznak az 1999-ben felbocsátott Terra és a 2002-ben újtára indított Aqua műhold adataival. Mind a két távérzékelési eszköz a NASA kutatási célra kifejlesztett műholdja (NASA, 1999), E műholdak kb. 705 km magasan, kvázipoláris pályán keringenek, és naponta két-két képet készítenek a Föld egy adott pontjáról, kivéve a pólusok térségét, ahol gyakoribb az áthaladás. Hazánk térsége fölött a Terra műhold délelőtt 9–10 UTC és este 20–21 UTC körül halad át, míg az Aqua délben 12–13 UTC és éjszaka 2–3 UTC körül (Dezső et al., 2005). Mind a Terra, mind az Aqua műholdon több szenzor is található (NASA, 1999). Jelen vizsgálatához a MODIS² és az ASTER³ szenzorok méréseiből származó adatokat használjuk fel.

A MODIS szenzor a Terra és az Aqua műholdon is megtalálható. 36 spektrális csatornán végez leképezéseket, melyek közül hét infravörös csatornán (*1. táblázat*), 1 km²-es felbontásban mért sugárzási értékek alapján számolható a felszínhőmérséklet (LST⁴), és ebből a hősziget-intenzitás. A Terra és az Aqua méréseiből Budapest térségére elvileg napi négy adat áll a rendelkezésünkre, melyet a felhős időszakok csökkentenek. Ez adja a műholdas mérések hátrányát, vagyis hogy csak felhőmentes időben tud felszínre vonatkozó használható méréseket végezni a szenzor, így borultabb idő esetén adathiány lép fel a mezőkben. A Wan és Snyder (1999) alapján előállított felszínhőmérsékleti mezők a teljes 2001–2013 időszakra letölthetők az LP DAAC⁵ adatközpontból. A MODIS mérések előnye, hogy majdnem minden napról több adatot is biztosít, így alkalmas lehet átlagos változások észlelésére.

² MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer): Közepes felbontású leképező spektrális sugárzásmérő

³ ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer): Továbbfejlesztett űrbeli hőmérsékleti emissziót és a visszavert sugárzást mérő sugárzásmérő

⁴ LST (Land surface temperature)

⁵ LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center): Földfelszíni Folyamatokhoz Elosztó Aktív Archiváló Központ

1. táblázat: A MODIS szenzor méréseiből a felszínhőmérséklet számításához alkalmazott hét infravörös tartomány (Wan és Snyder, 1999)

Csatorna sorszám	Hullámhossz tartomány (µm)
20	3,660–3,840
22	3,929–3,989
23	4,020–4,080
29	8,400–8,700
31	10,780–11,280
32	11,770–12,270
33	13,185–13,485

A NASA és a METI⁶ együttműködésével kifejlesztett ASTER szenzor a Terra műholdon található. Összesen tizennégy spektrális csatornán végez leképezéseket, melyek közül öt hőmérsékleti infravörös csatornát (2. táblázat) használ fel a felszínhőmérséklet számításához (ASTER, 2001). Az ASTER 90 m-es felbontásban végez leképezéseket, de a műholdpálya során nem folytonosan működik. Így sokkal ritkábban áll rendelkezésre egyazon területről megfelelő információ. Emiatt csak esettanulmány jelleggel használható, viszont a finomabb felbontás miatt sokkal részletesebben lehet vizsgálni az adott területet. Jelen dolgozatban 2001-2003 közötti ASTER képekkel dolgoztunk.

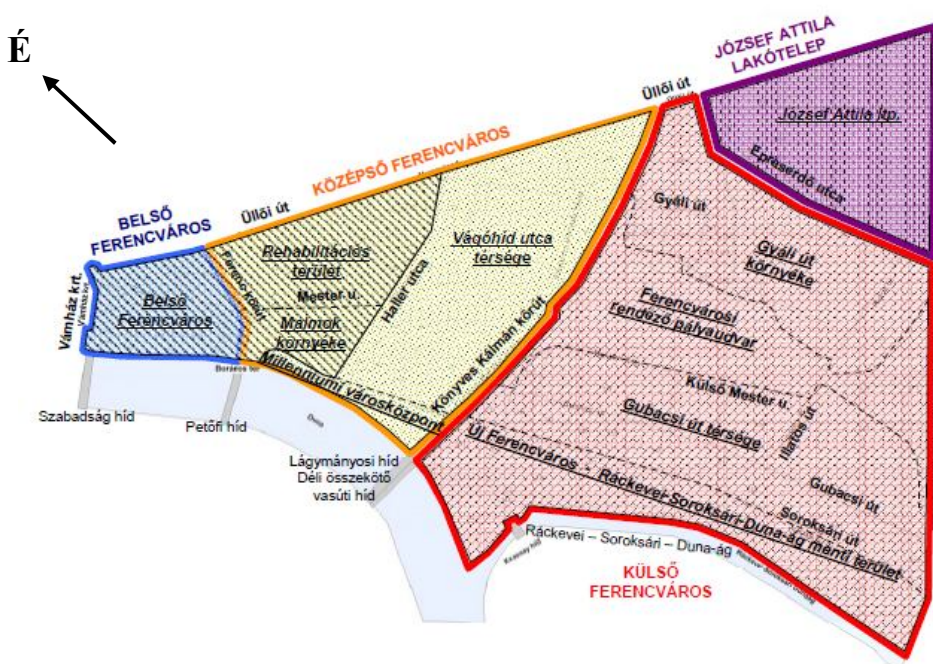
2. táblázat: Az ASTER szenzor méréseiből a felszínhőmérséklet számításához alkalmazott öt hőmérsékleti infravörös tartomány

Hullámhossz tartomány (µm)
8,125-8,475
8,475-8,825
8,925-9,275
10,25-10,95
10,95-11,65

⁶ METI (Ministry of Economy, Trade and Industry): japán Gazdasági, Kereskedelmi és Ipari Minisztérium

3.2. A IX. kerület bemutatása

Ferencváros, Budapest IX. kerülete a Duna bal partján fekszik. A Vámház körút, az Üllői út és a Határ út, illetve a Duna és a Ráckevei – Soroksári – Duna-ág vonala határolják. A kerület négy jól elkülönülő területi egységre bontható (1. ábra). Belső-Ferencváros egységes résznek tekinthető. Középső-Ferencváros összetettebb és nagyobb területet fed le. Külső-Ferencváros a legnagyobb kiterjedésű és legváltozatosabb része a kerületnek. Végül a negyedik egység a József Attila-lakótelep.



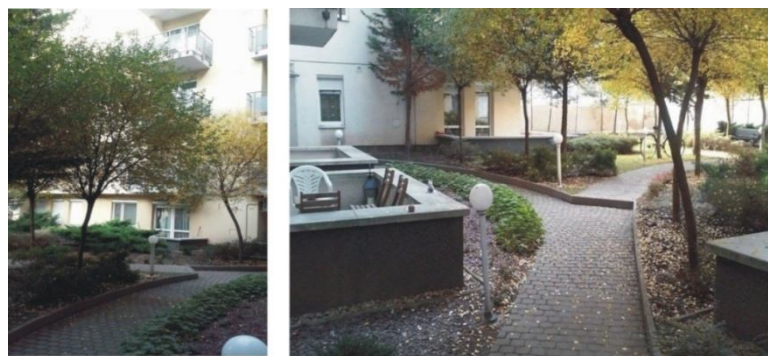
1. ábra: Ferencváros városrészei területi adottságok alapján (Forrás: IX. kerület Ferencváros Önkormányzata 2009, Integrált városfejlesztési stratégia)

Az 1980-as évek közepétől a IX. kerület önkormányzatának legfőbb célja az elhanyagolt és alulmaradt fizikai körülmények között élő, szociálisan nehéz helyzetben lévő társadalmi rétegek életkörülményeinek javítása volt. A rendkívül eltérő adottságokkal rendelkező városrészekben nem lehet azonos változtatásokat, felújításokat alkalmazni, ezért minden részre más-más fejlesztési tervet határoztak meg.

1993-ban indították a rehabilitációs terület tervét (IX. kerület Ferencváros Önkormányzata, 2009), melynek alapvető célkitűzése, hogy élhetőbb fizikai környezetet biztosítsanak a városrész és az egész kerület lakossága számára. A városmegújítási program négy alappillérre épül. Egyrészt az önkormányzat tulajdonában lévő, sokszor komfort nélküli lakóházak felújítása. Ennek megvalósításához a romos épületeket folyamatosan bontják le,

illetve újjáépítik őket. Másrészt minél több zöldfelület létrehozása a cél önkormányzati közterületek megújításával, továbbá zöldterületek, lakókertek létesítésével. Harmadrészt vállalkozói új építkezések révén, a lebontott épületek helyén a szabályozásoknak megfelelően mélygarázzsal ellátott épületeket is létrehozta. Végül lakossági épületfelújítások önkormányzati támogatását irányozták elő, illetve társasházak felújítási pályázatát írták ki, melyek segítségével a privatizált lakóépületek felújítására nyílt lehetőség. Ez az átfogó fejlesztési program az ún. rehabilitációs területre vonatkozik, mely 44 tömböt foglal magába összesen 70 hektáron, a Középső-Ferencváros Ferenc körút - Mester utca - Haller utca - Üllői út által határolt részén.

A megújítási akció célja összetett: társadalmi, gazdasági és környezeti fejlődés elérésére is törekcszenek. Ehhez figyelembe kell venni a kerület e részének adottságait. A városrész szerkezete alapvetően megfelelő, de az utcák szűkek, elavult és megfelelő állapotban levő épületek egyaránt megtalálhatók, melyek különböző magasságúak és különböző értékűek lehetnek. Elsősorban az elavult épületeket kell felújítani, valamint a városi utcakép kialakításának érdekében az alsó szinteken közösségi funkciót helyeznek el. A korábbi üzemek megszüntetését is célul tűzték ki. A humánusabb környezet kialakítását szem előtt tartva kezdték el növelni a zöld területeket a rehabilitációs területen. A meglévő utcák miatt azonban nehézkes fák és egyéb zöldek telepítésére alkalmas helyet találni. Ennek ellenére sikerült több parkot is létesíteni. Például 2002-ben egy teljes tömb területén lévő telkeket megvette az önkormányzat, lebontatta az ott lévő épületeket, majd kiépítette a Kerekerdő parkot. Még több zöld terület létrehozásának érdekében találták ki az ún. tömbrehabilitációs programot, mely során tömbházak egybenyítésával közös zöldterületeket, lakókerteket (2. ábra) építettek ki, ezzel is elősegítve az esztétikusabb és természet közelebbi környezet biztosítását. A tömbrehabilitációs felújítások vonzóbbá tették az ilyen épületekben lévő lakásokat és elősegítették a könnyebb, gyorsabb értékesítésüket.



2. ábra: 2003-ban újjáépített háztömb belső udvara (Fotó: Farkas Rita)

A társadalom szegényebb és hátrányosabb helyzetű rétegei jelentős mértékben jelen vannak a IX. kerületben, ezért a fejlesztési terv célul tűzte ki szociális háló kiépítését, valamint az oktatás fejlesztését. 1992-től kezdve az egyik tömb területét felsőoktatási célú építkezésre szánták, 2006 és 2008 között pedig meg is épült a Semmelweis Egyetem új épülete (3/a. ábra). Az önkormányzat jelentős hangsúlyt fektet a kulturális értékek megőrzésére. Állami beruházások keretében 2004-ben épült meg a Holokauszt Dokumentációs Központ és Emlékhely (3/b. ábra). A rehabilitációs területen található József Attila szülőháza a Gát utca 3. szám alatt (4. ábra). Felújították a műemlékvédelem alatt álló házat, továbbá az itt található József Attila-emlékhelyet is. A környékbeli tömbök felújítási programját József Attila Tervnek nevezték el.



3/a. ábra: Semmelweis Egyetem új épülete
3/b. ábra: Holokauszt Emlékhely
(Forrás: IX. kerület Ferencváros Önkormányzata 2009, Integrált városfejlesztési stratégia)



4. ábra: József Attila szülőházának felújított belső udvara (Forrás: www.ferencvaros.hu)

A fejlesztési program az 1990-es évek közepétől több jelentős építészeti és ingatlanfejlesztési elismerést begyűjtött. 1995-ben a Fővárosi Főpolgármesteri Hivatal Építészeti Nívódíj pályázatán elnyerték "Az év lakóháza 1995" címet. 1996-ban a Magyar Urbanisztikai Társaság Hild-éremmel jutalmazta a megújítási akciót. Az ingatlanfejlesztési Nívódíj Pályázaton 1997-ben I. díjat nyert a program. 1998-ban pedig az ingatlan szakma Oscar-díjának megfelelő elismerésben részesült a kerület (IX. kerület Ferencváros Önkormányzata, 2009).

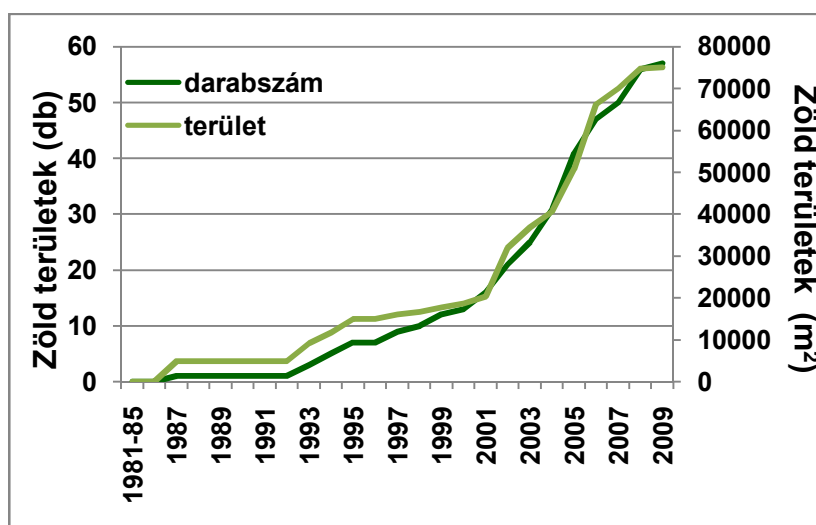
A városmegújítási akció 1986-2009 között összességében a következő eredményeket érte el:

- 217 lakóépületben összesen 1371 lakást bontottak le;
- 51 lakóházat újítottak fel összesen 1062 lakással;
- 17 épületet részlegesen újítottak fel, melyben 383 lakás volt;
- befektetői beruházással 138 lakóépületben 6189 lakást építettek meg;
- 3 új közparkot építettek ki (Kerekerdő park, Tűzliliom park, Salkaházi Sára park);
- felújították a Ferenc téren található közparkot;
- fásított közteret hoztak létre (Remete park);
- 6 utcát újítottak fel (Tompai utca, Angyal utca, Liliom utca, Bokréta utca, Berzenczey utca, Páva utca egy része);
- 19 lakókertet építettek ki a tömbbelsőkből.

Kutatásaink szempontjából a vizsgált területen történt zöldfelület növekedés bír nagy jelentőséggel. A 3. táblázatban a rehabilitációs területen a teljes 1981–2009 időszakban az évenként újonnan kiépített parkok és zöldterületek számát, illetve összterületét adjuk meg. Az 5. ábra a parkok és zöld területek növekedését mutatjuk be. Látható, hogy az 1990-es évek elejétől indult meg a növekedés. 1992–2000 időszakban közel 14000 m² zöld felület épült ki. 2000-től kezdve az előzőnél is gyorsabb, nagyobb mértékű gyarapodás látható. 2001–2008 időszakban 43 park és zöldterület létesült, melyek összesítve több mint 56000 m² területet fednek le. 2009-re összesen 75124 m² zöld felület kialakítására került sor. A rehabilitáció során 2009-ig a zöldterületek aránya a tömbbelsőkből 6%-ról 27%-ra nőtt (Budapest Ferencváros rehabilitáció, 2010). Az önkormányzat még mintegy további 20000 m² zöld területet és parkot tervez kiépíteni a tömbbelsőkből.

3. táblázat: A rehabilitációs területen kiépült parkok és zöldterületek száma és területe éves bontásban (Forrás: Budapest Ferencváros rehabilitáció, 2010)

Év	Kiépített közparkok és zöldterületek		Év	Kiépített közparkok és zöldterületek	
	db	m ²		db	m ²
1981-1986	-	-	2001	3	1 658
1987	1	4 928	2002	5	11 661
1988-1992	-	-	2003	4	4 914
1986-1992	1	4 928	2004	6	3 790
1993	2	4 179	2005	10	10 160
1994	2	2 601	2006	6	15 390
1995	2	3 212	2007	3	3 862
1996	-	-	2008	6	4 697
1997	2	1 138	2001-2008	43	56 132
1998	1	594	2009	1	330
1999	2	1 055	Összesen	57	75 124
2000	1	955			
1993-2000	12	13 734			



5. ábra: A zöld területek és parkok számának (db), illetve kiterjedésének (m²) növekedése 1981–2009 időszakban

A Belső-Ferencváros, melyet Várház körút – Üllői út – Ferenc körút – Boráros tér – Duna – Fővám tér határol, már a belvároshoz tartozik. Itt található a kerület önkormányzata (Bakáts tér), fontos kulturális (pl. Iparművészeti Múzeum) és oktatási (pl. Corvinus Egyetem) intézmények. Emellett a turizmus is egyre jelentősebb szerepet játszik a kerületnek ezen a részén. Ezért a Középső-Ferencváros rehabilitációs területéhez hasonlóan itt is épület- és lakásfelújításokat, közterület fejlesztéseket hajtottak végre a

rendszerváltást követően. A Belső-Ferencvárosban két nagyobb zöld terület található, melyeket folyamatosan megújítanak. A Markusovszky tér (6/a. ábra) az Üllői út mentén és a Nehru part (6/b. ábra) a Duna mellett.



6/a. ábra: Markusovszky tér

6/b. ábra: Nehru part

(Forrás: IX. kerület Ferencváros Önkormányzata 2009, Integrált városfejlesztési stratégia)

A kerület déli részén az Üllői út – Határ út – M5-ös bevezető szakasza – Epreserdő út – Ecseri út által határolt terület Budapest első lakótelepe, a József Attila-lakótelep. 1957-ben kezdték építeni, és az 1990-es évek második felétől a társasház-felújítási pályázat keretében újították meg az épületeket. 1996-ban hozták létre a József Attila-Lakótelep Városrészi Önkormányzatát (RÖNK), így azóta ez egy önállóbb irányítású rész a kerületen belül. A lakótelep főleg négyszintes házakból áll, de az Üllői út mellett néhány tízemeletes panelházat is építettek. A telep építésekor ültetett növényzet, fák mára teljesen kifejlődtek. A Városrészi Önkormányzat nagy hangsúlyt fektet arra, hogy folyamatosan karbantartsa a pihenőparkokat, gondozza a növényzetet. A helyi lakossággal együtt virágos területeket (7. ábra) is létrehoznak, ezzel díjakat nyertek a Virágos Magyarországért program keretében (IX. kerület Ferencváros Önkormányzata, 2009).



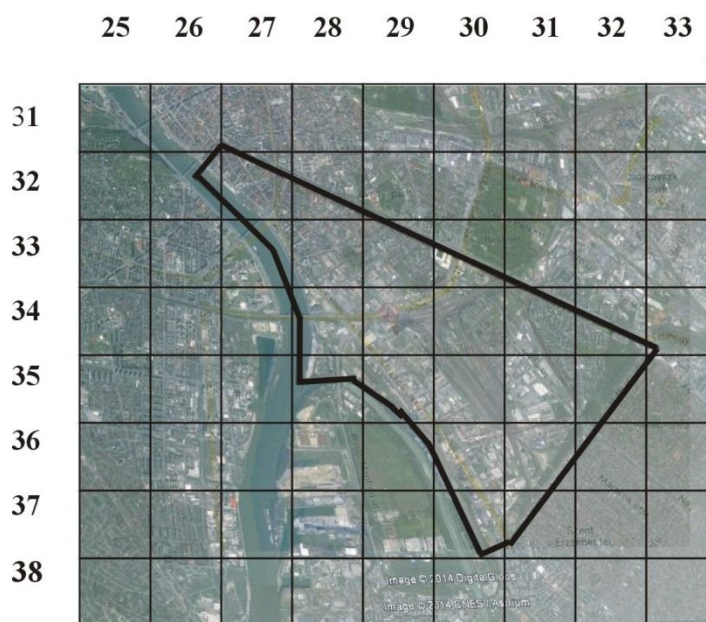
7. ábra: Virágokkal beültetett tér és zöld környezetben levő játszótér a József Attila lakótelepen (Forrás: IX. kerület Ferencváros Önkormányzata 2009, Integrált városfejlesztési stratégia)

4. Műholdas adatok feldolgozása

4.1. MODIS adatok

4.1.1. Tömbrehabilitációs program hatásának vizsgálata rácshálózat finomítással

A Terra és Aqua műholdon található MODIS szenzor által biztosított felszínhőmérsékleti mezősorok 1 km^2 -es felbontása (8. ábra) nem elégséges ahhoz, hogy részletes vizsgálatokat lehessen végezni olyan kis területekre, mint egy kerület, vagy akár egy még kisebb kerületrész. E felbontás alapján például a IX. kerület rehabilitációs területének jelentős része mindössze két rácscellába esik bele. Annak érdekében, hogy pontosabban, részletesebben lehessen vizsgálni a hősziget-jelenséget és az önkormányzat tömbrehabilitációs programjának hatásait, az eredeti rácshálózatot finomítottuk.



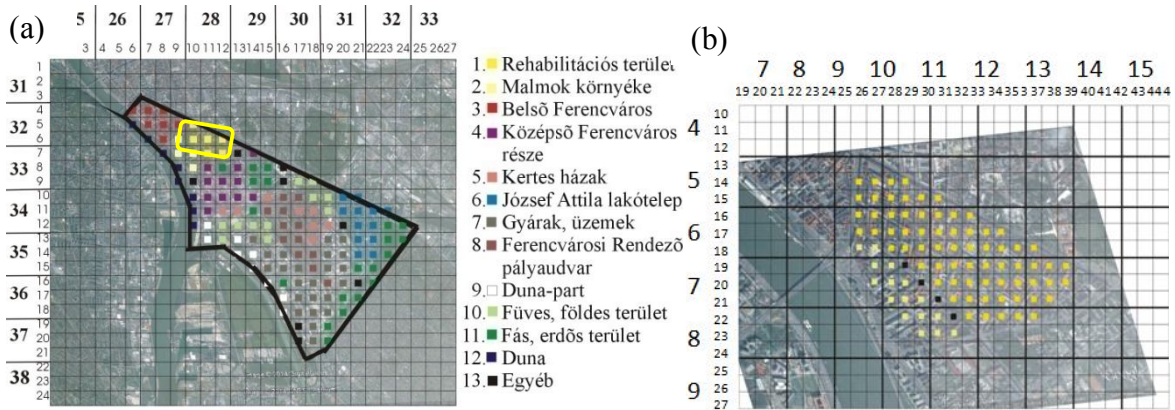
8. ábra: A IX. kerület Google Earth műholdképen (a kép felett és mellett a MODIS rácshálózat eredeti oszlop- és sorkoordinátái láthatók)

Az adatok feldolgozásának első lépése a MODIS szenzorból kinyert pixelenkénti idősorokból származó 13 év havi adatainak megjelenítése területi bontásban, Fortran 90 nyelvű program segítségével. Ezt követően az 1 km^2 -es rácshálózatot cellánként 3×3 , azaz kilenc kisebb rácscellára osztottuk fel. A folyamat során a középső rácspontban megmaradt az eredeti, mérésből származó érték. A középső rácspont fölötti, alatti, valamint a két mellette lévő pontba két-két, míg a négy sarokpontba négy-négy eredeti rácspontból történt a rácsponti távolságok figyelembe vételével végzett interpoláció, mellyel megkaptuk az új

értékeket. Az így kialakult **közepes felbontású** (333 m×333 m) mezősorokat összegezve előállítottuk az egyes cellákra vonatkozó idősorokat. A finomítás után a lokális klímazónákhoz hasonlóan besoroltuk Ferencváros különböző részeit a beépítettség jellege, funkciója és a kerület városfejlesztési programjai alapján (4. táblázat; 9. ábra). A kategorizálás azért fontos, mert a különböző felszínborítású területek más-más mennyiségben nyelik el a beérkező sugárzást, s ez az elemzéseinkben lényeges szerepet játszik.

4. táblázat: Ferencváros területének osztályozási rendszere

Csoport	Jel	Terület elnevezése	Részletes leírás
1.		Rehabilitációs terület	régi tömbházak egybenyitva és új építésű házak belső parkokkal
2.		Malmok környéke	rehabilitációs területhez hasonló felújítási program, melyet később kezdtek meg
3.		Belső-Ferencváros	régi, néhány emeletes háztömbök
4.		Középső-Ferencváros része	társasházak
5.		Kertes házak	kertes házas övezetek, elszórtan a kerületben
6.		József Attila-lakótelep	emeletes házak, közéjük telepített fák, parkok
7.		Gyárak, üzemek	ma is működő illetve elhagyott gyártelepek, üzemek
8.		Ferencvárosi Rendező pályaudvar	pályaudvar épületei, a területre befutó sínrendszer
9.		Duna-part	kevésbé beépített terület, maximum egy-két emeletes családi házak
10.		Füves, földes terület	fűvel borított, vagy talajtakaró nélküli földes részek
11.		Fás, erdős terület	fákkal beültetett cellák, kisebb erdők
12.		Duna	főként a Dunát lefedő cellák
13.		Egyéb	egyik típus sem fedi le a cella több mint 50%-át, egyedi építmények, melyek nem tartoznak bele egyik besorolási osztályba sem

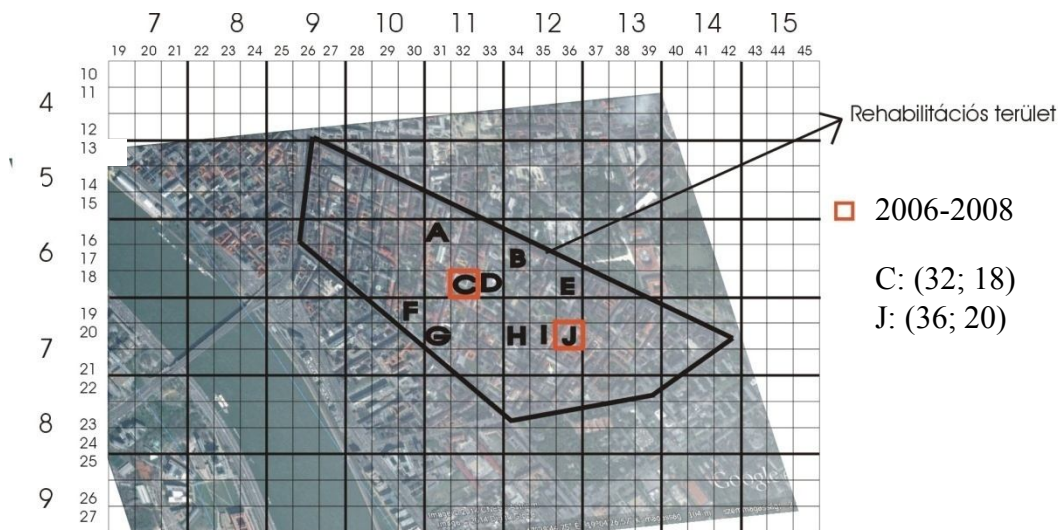


9. ábra: (a) A IX. kerület közepes rácsfelbontásával kapott egységeink besorolása (felül és balra rendre az eredeti MODIS-rács és az interpolációval kapott közepes rácsfelbontás oszlop-, illetve sorkoordinátái láthatók), illetve (b) a rehabilitációs térrész finom felbontású celláinak osztályozása (fent és balra a közepes és a finom felbontás szerinti oszlop-, illetve sorkoordináták vannak feltüntetve)

A rácsponthonkénti besorolás elvégzése után a rehabilitációs terület még mindig csak hat ráscellát fed le, mely továbbra is kevés ahhoz, hogy kellően részletes, háztömbökre fókuszáló vizsgálatokat lehessen végezni, mivel az egyes cellákba túl sok tömb esik. Ez azért nehezíti meg a tömbrehabilitáció hatásának vizsgálatát, mert a különböző tömböket más-más időszakban újították fel. Éppen ezért elemzéseinkhez újabb rácsfinomítást hajtottunk végre az előzőhöz hasonló módszerrel. Az így létrejött újabb rácshálózat az eredeti MODIS ráscellákat 9×9 kis cellára osztja fel. Ezt a felbontást a későbbiekben **finom felbontásnak** nevezzük ($111 \text{ m} \times 111 \text{ m}$). Szintén a 9. ábra mutatja kinagyítva a rehabilitációs területen az egyes létrehozott cellák 4. táblázat szerinti besorolását, melyhez a teljes cella területét legalább 50%-ban lefedő típust tekintettük meghatározónak. Ezen a kivágaton ugyancsak sárga cellák jelzik a rehabilitációs területet, a világossárga a hozzá hasonló Malmok környékét, a fekete pedig a két térrész határát.

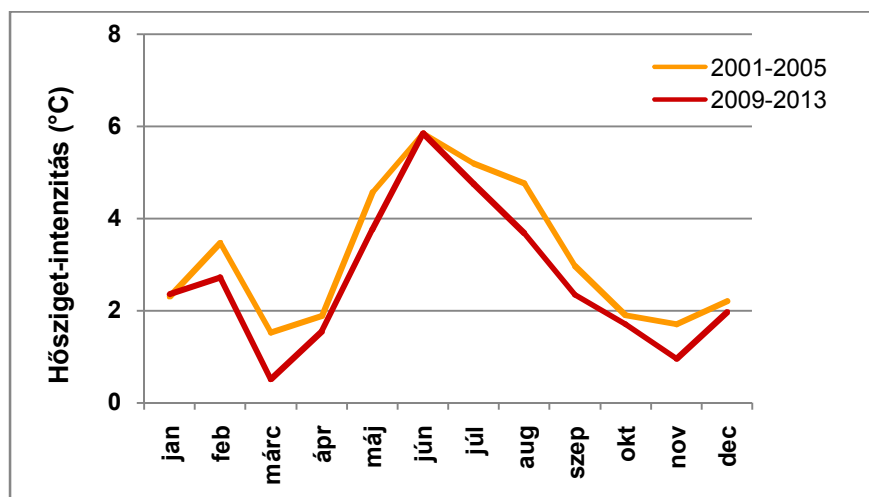
A fenti interpolációs lépések és a kerület felszínborítás alapján történő kategorizálása után már rendelkezésünkre állnak azok a felszínhőmérsékleti és hősziget-intenzitási idősorok, melyekből elvégezhetők a tervezett részletes elemzések.

A rehabilitációs terület tömbrehabilitációs programja időben nem egységesen zajlott (Budapest Ferencváros Rehabilitáció, 2010). Éppen ezért az elemzésekhez olyan rácscellákat választottunk ki a finom felbontású (9×9) idősorokból, melyek felújítási időpontjáról rendelkezésre álltak pontosabb információk. Ezek alapján választottuk ki a bemutatandó rácscellákat (10. ábra), melyek közül kettőre részletesen is ismertetjük a kutatási eredményeket. A kiválasztott pixelek a következők: (32. oszlop, 18. sor) és (36. oszlop, 20. sor) koordinátájú cellák (a koordináták a finom felbontásban értendők). Mind a két cellában 2006 és 2008 között zajlottak az építkezések.

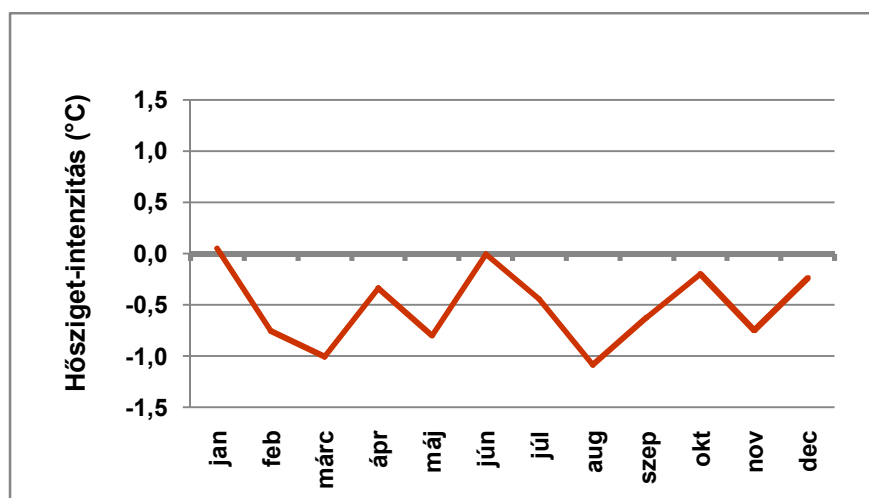


10. ábra: A finom felbontásból kiválasztott rácscellák az eredmények bemutatásához

Az egyik részletesebb elemzésre kiválasztott cella a (32. oszlop, 18. sor) koordinátájú C cella. A 11. ábrán láthatók a hősziget-intenzitás havi átlagai az építkezés előtti és az azt követő öt évre vonatkozóan. Megfigyelhető, hogy az év nagy részében az építkezés utáni görbe az építkezést megelőző időszakot jellemző értékek alatt halad, azaz csökkent a hősziget-intenzitás. Már ezen a grafikonon is látszik, hogy szinte egész évben csökkent az intenzitás, a két idősor közötti pontos különbséget a 12. ábra mutatja. Erről egyértelműen leolvasható, hogy márciusban jelentős, közel 1 °C-os, augusztusban pedig 1 °C-ot is meghaladó csökkenés történt. Csak június hónapban nem detektálhatunk csökkenést, ekkor nem változott a hősziget-intenzitás értéke a vizsgált időszakban.



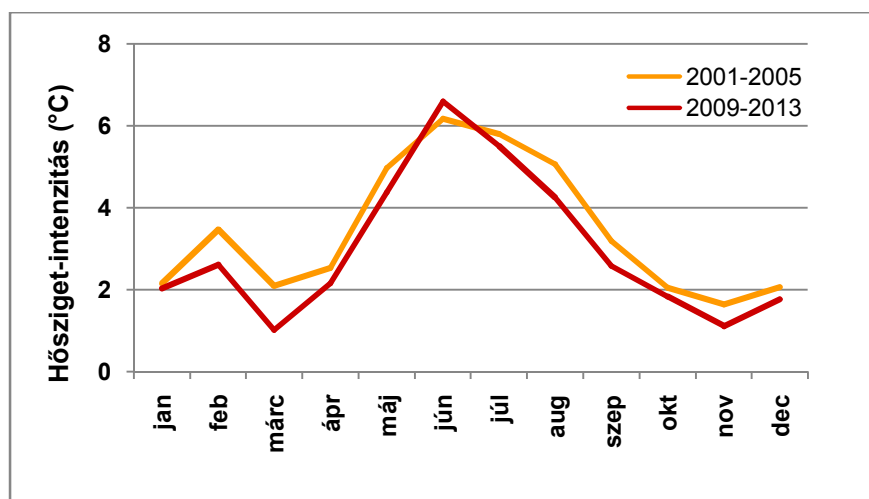
11. ábra: A (32. oszlop, 18. sor) koordinátájú C cella átépítés előtti és utáni éveire számolt átlagos havi hősziget-intenzitás értékek, Terra délelőtti mérései alapján



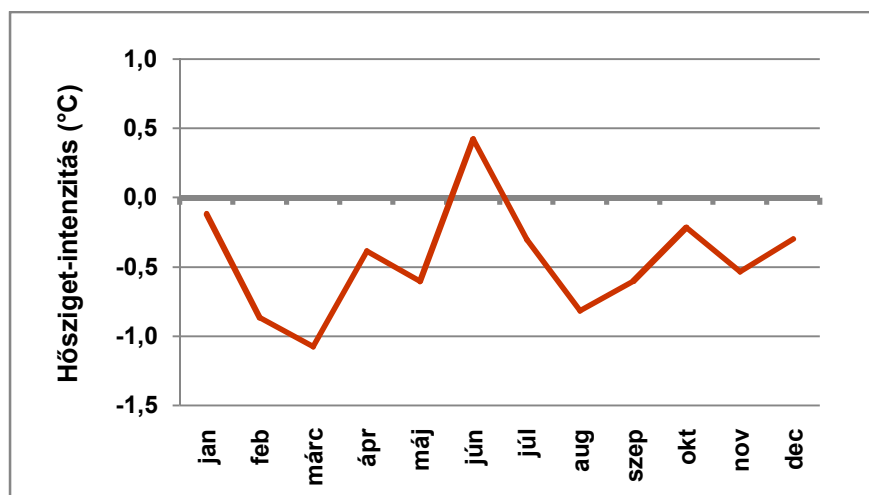
12. ábra: A hősziget-intenzitás átépítés előtti és utáni értékeinek havi különbségei a (32. oszlop, 18. sor) koordinátájú C cellában, Terra délelőtti mérései alapján

A másik bemutatandó rácscella a J, mely a (36. oszlop, 20. sor) koordinátákkal azonosítható. A 13. ábrán látható, hogy itt is szinte minden hónapban csökkent a hősziget-intenzitás értéke. A legnagyobb csökkenés az előzőekben ismertetett cellákkal megegyezően ugyancsak 1 °C körül mozog, s február és március hónapokban mutatható ki (14. ábra). A júniusban jelentkezett kismértékű növekedés okát az egyes években detektálható átlagos havi intenzitás értékek alapján elemezhetjük, melyek a 15. ábrán láthatók az építkezés előtti (2001-2005) és utáni (2009-2013) öt évre egyenként, illetve az öt-öt év átlagára vonatkozóan. Jól látható, hogy az építkezés utáni értékek a legtöbb évben az építkezés előtti intenzitás értékek alatt maradnak. Kivétel a 2003-as év nyári értékek,

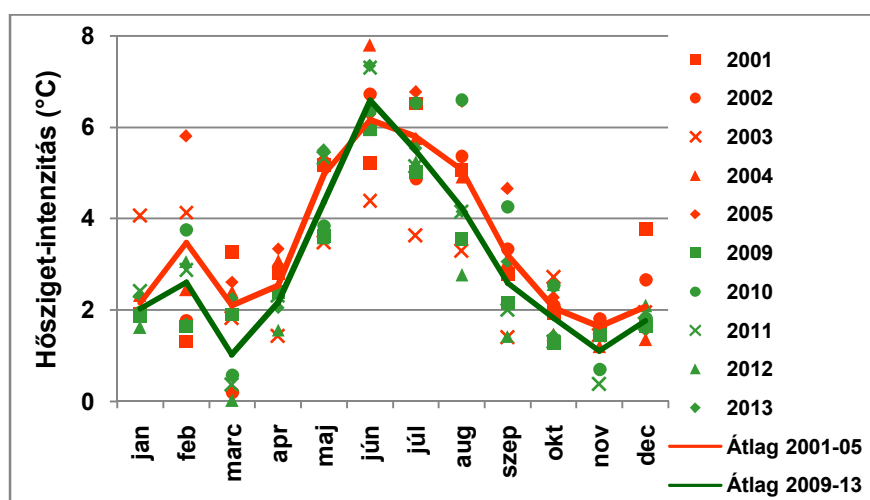
melyek sokkal alacsonyabbak, mint az építkezést megelőző többi évben, vagy akár az építkezés utáni években. Ennek az az oka, hogy 2003 nyara különösen meleg volt, ezért nem csak a városon belüli területek, hanem a külterületek is jelentősen felmelegedtek. Így a különbségük sokkal kisebb volt, mint egy átlagos évben. Éppen ezért a hősziget-intenzitás értékek ezen a nyáron rendkívül alacsonyak voltak, ez pedig az építkezés előtti öt év átlagára is jelentős hatást gyakorol.



13. ábra: A (36. oszlop, 20. sor) koordinátájú J cella átépítés előtti és utáni éveire számolt átlagos havi hősziget-intenzitás értékek, Terra délelőtti mérései alapján



14. ábra: A hősziget-intenzitás átépítés előtti és utáni értékeinek havi különbségei a (36. oszlop, 20. sor) koordinátájú J cellában, Terra délelőtti mérései alapján



15. ábra: A (36. oszlop, 20. sor) koordinátájú J cella átépítés előtti és utáni éveire számolt átlagos havi hősziget-intenzitás értékek és az egyes évek intenzitás értékei, Terra délelőtti mérései alapján

A fentebb részletesen bemutatott két rácscellára és további nyolc cellára (10. ábra) a teljes évre vonatkozó változásokat az 5. táblázatban foglaltuk össze a Terra műhold délelőtti és esti méréseiből származó hősziget-intenzitás értékei alapján. A délelőtti időszakra kapott átlagos csökkenés a tíz cellában 0,26-0,53 °C között mozog, a legtöbb cellában 0,45-0,5 °C-os csökkenés következett be a vizsgált két időszak között. Az esti átlagos változások ennél kisebbek (0,2 °C körüli mértékűek), ami abból adódik, hogy este besugárzás hiányában kevésbé érzékelhető különbség a felszíni hőmérsékletekben.

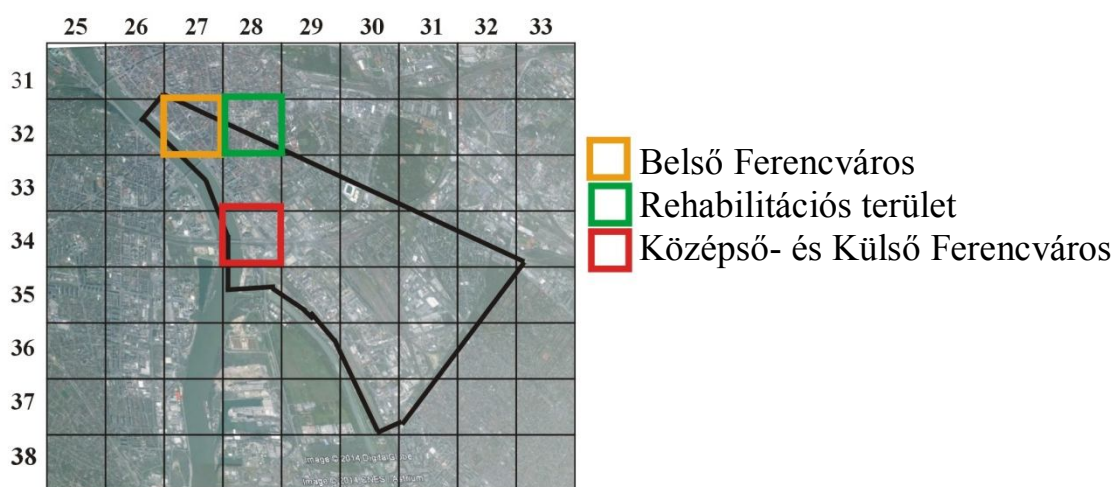
5. táblázat: A hősziget-intenzitás teljes évre átlagolt csökkenése tíz kiválasztott rácscellára a Terra délelőtti és esti mérései alapján

Cella jele a térképen	Délelőtti intenzitás csökkenés (°C)	Esti intenzitás csökkenés (°C)
A	0,45	0,20
B	0,46	0,17
C	0,52	0,18
D	0,43	0,18
E	0,44	0,16
F	0,49	0,19
G	0,53	0,18
H	0,26	0,26
I	0,45	0,16
J	0,46	0,16

Elemzéseink alapján tehát kijelenthető, hogy a vizsgált területnek a mintavételezés során kiválasztott rácscelláiban, a felhőmérséklet alapján számolt városi hősziget-intenzitás egyértelmű csökkenése mutatható ki az átépítések után. A hősziget-intenzitás értékének csökkenése rácscellánként eltérő, de lényegében a teljes évre vonatkozóan napközben mintegy 0,5 °C-os, este pedig 0,2 °C-os csökkenést detektáltunk. Úgy véljük, az általunk végzett vizsgálatok alkalmasak az átépítések hősziget-intenzitására gyakorolt hatásainak kimutatására. A teljes tömbrehabilitációs területen okozott változások komplex feltérképezéséhez azonban még további – más módszertant, mérési technikát alkalmazó – elemzések szükségesek.

4.1.2. Területi összehasonlítások MODIS rácscellák alapján

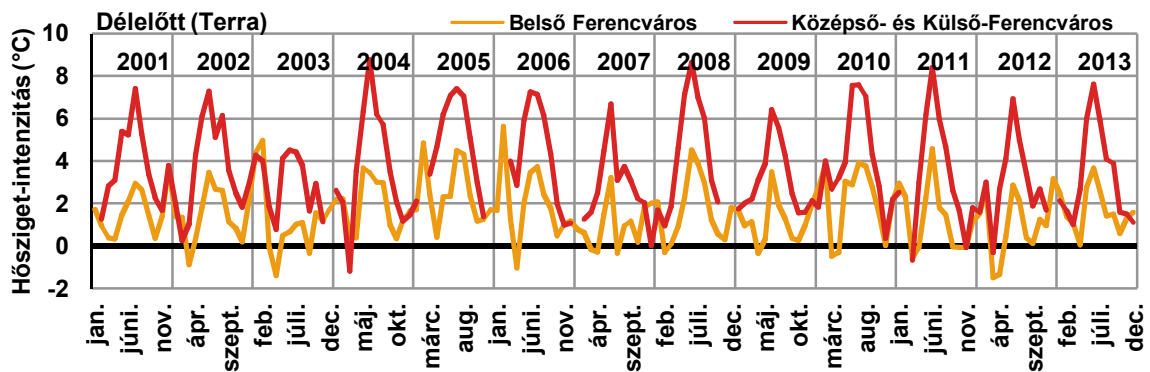
A rehabilitációs területen kívül Ferencváros több részén hajtottak végre városfejlesztési terveket az elmúlt évtizedekben. A Belső-Ferencvárosban lakóépületeket újítottak fel, növelték a zöld területek arányát, parkosítottak, a József Attila-lakótelepen szintén sok a zöld terület, a kifejlett növényzet. Vannak azonban olyan területek is, melyeken nem történtek felújítások, ilyen például a ferencvárosi rendező pályaudvar vagy az ipari területek. A 333 m-es közepes felbontásban létrehozott csoportbesorolások alapján meghatározható, hogy melyik kategória melyik 1 km-es felbontású, eredeti MODIS rácscellának feleltethető meg. Ezen cellákra kirajzolhatóak a 2001-2013 között mért, majd származtatott havi hősziget-intenzitás és felszínhőmérséklet értékek. A részletes bemutatásra kiválasztott három terület a következő (16. ábra): a Belső-Ferencváros (27. oszlop, 32. sor), a rehabilitációs terület (28. oszlop, 32. sor) és a Középső- és Külső-Ferencváros határán lévő rész (28. oszlop, 34. sor). Ez utóbbi magába foglalja a Rákóczi híd jelentős részét, a Művészetek Palotáját és a Nemzeti Színházat, elhagyott zöld területet, lakóházakat, ipari területeket és parkolókat, irodaházakat.



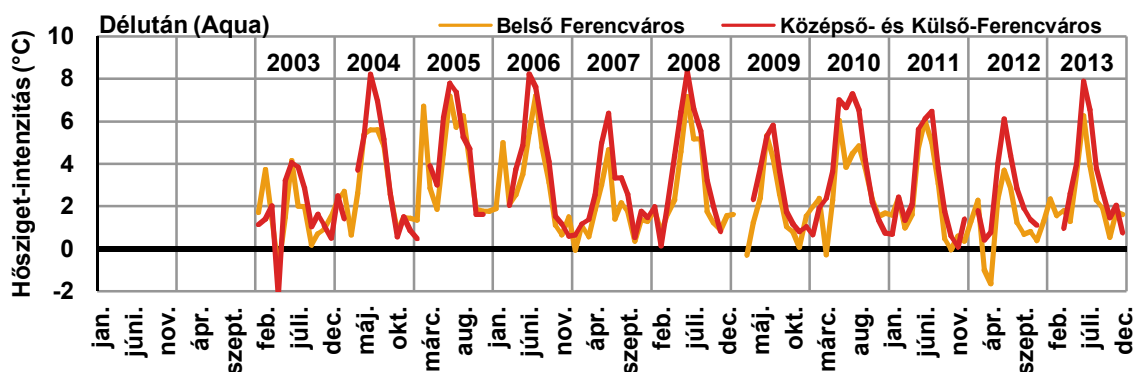
16. ábra: Összehasonlításra kiválasztott három rácscella az eredeti MODIS felbontás alapján Google Earth műholdképen

A MODIS szenzor által mért adatokból származtatott hősziget-intenzitás havi értékei a 11 (Aqua esetén) vagy 13 (Terra esetén) mérési évre vonatkozóan láthatók a 17.-20. ábrán a Belső-Ferencvárosra, a rehabilitációs területre és a Középső- és Külső-Ferencváros elemzésre kiválasztott részére. A 17. ábrán a Belső-, valamint a Középső- és Külső-Ferencvárost hasonlítottuk össze a Terra délelőtti átvonulásából származó hősziget-

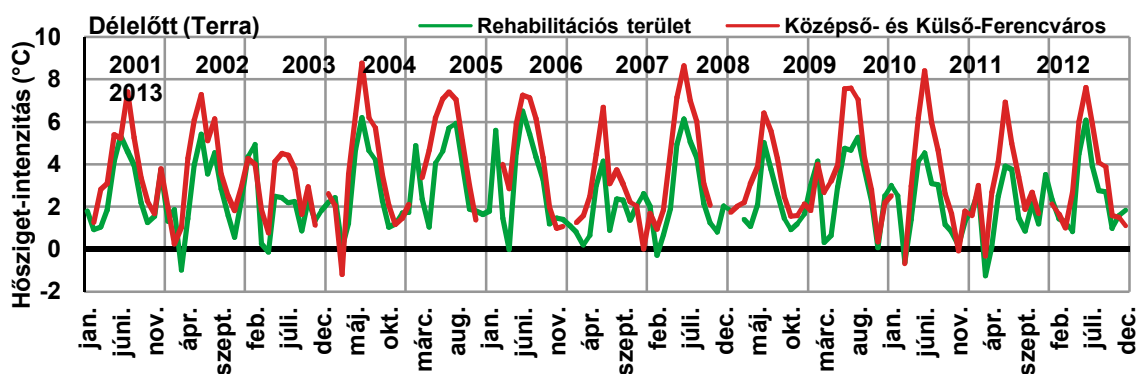
intenzitások alapján. A Középső- és Külső-Ferencváros területén szinte a teljes 13 éves időszakban jóval nagyobb a hősziget-intenzitás értéke, mint a Belső-Ferencvárosban. A legnagyobb különbségek nyáron tapasztalhatók, mely júliusban akár a 4 °C-ot is eléri. Ugyanezekre a cellákra az Aqua délutáni áthaladása alapján történt összehasonlítást mutatja be a 18. ábra. Nyár közepén délután is 1-2 °C-kal magasabb intenzitások jelentkeztek a Középső- és Külső-Ferencvárosban. A 19. ábrán a Terra délelőtti adatai alapján történt összehasonlítás látható a rehabilitációs terület és a Középső- és Külső-Ferencváros között. A Belső-Ferencvároshoz hasonlóan itt is 2-4 °C-kal alacsonyabb hősziget-intenzitások adódtak a rehabilitációs területen. Végül a 20. ábrán a rehabilitációs terület, valamint a Középső- és Külső-Ferencváros megfelelő rácselláiról az Aqua délutáni áthaladásából származó intenzitásértékekből látható, hogy nyáron itt is többször tapasztalható a Középső- és Külső-Ferencváros területén magasabb hősziget-intenzitás.



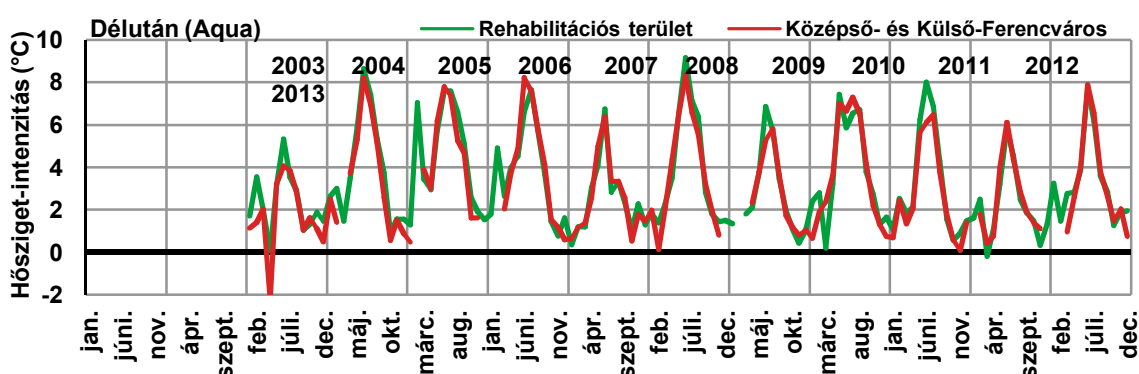
17. ábra: A hősziget-intenzitás értéke a Terra délelőtti áthaladása alapján a Belső Ferencvárosra, a Középső. és Külső-Ferencváros részére



18. ábra: A hősziget-intenzitás értéke az Aqua délutáni áthaladása alapján a Belső Ferencvárosra, valamint a Középső- és Külső-Ferencváros részére



19. ábra: A hősziget-intenzitás értéke a Terra délelőtti áthaladása alapján a Rehabilitációs területre és a Középső- és Külső-Ferencváros részére



20. ábra: A hősziget-intenzitás értéke az Aqua délutáni áthaladása alapján a Rehabilitációs területre és a Középső- és Külső-Ferencváros részére

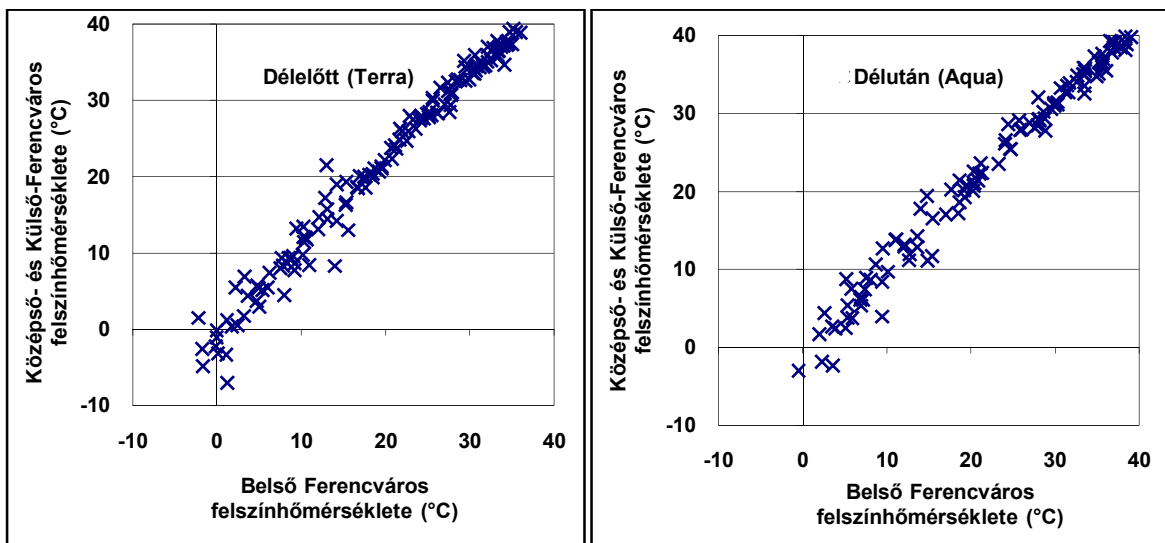
A 6. táblázat adatai magyarázatot adnak a hősziget-intenzitásban megjelenő területi különbségekre. A Belső-Ferencváros, a rehabilitációs terület, valamint a Középső- és Külső-Ferencváros kiválasztott részén található zöld területek burkolt, betonozott utak és parkolók egymáshoz viszonyított arányát, illetve a rácscella teljes területéhez viszonyított arányát mutatjuk be a Google Earth műholdfelvételek alapján. Láthatjuk, hogy a Belső-Ferencváros területén kb. 11% a zöld felületek aránya a teljes területhez képest, míg az utak és betonnal fedett részek aránya ennek kb. a kétszerese, 22%. A rehabilitációs területen már 21% körüli a zöld felületek aránya, az utaké azonban csak 16% a teljes cella területének, így a zöld terület 127%-a a burkolt részeknek. A Középső- és Külső-Ferencváros kiválasztott részén a Belső-Ferencvároshoz hasonlóan 11% a zöld terület, viszont a teljes cellának a 32%-a út vagy betonnal burkolt parkoló.

6. táblázat: A burkolt (utak és parkolók) és zöld területek aránya a három kiválasztott MODIS rácscellára Google Earth műholdképek alapján

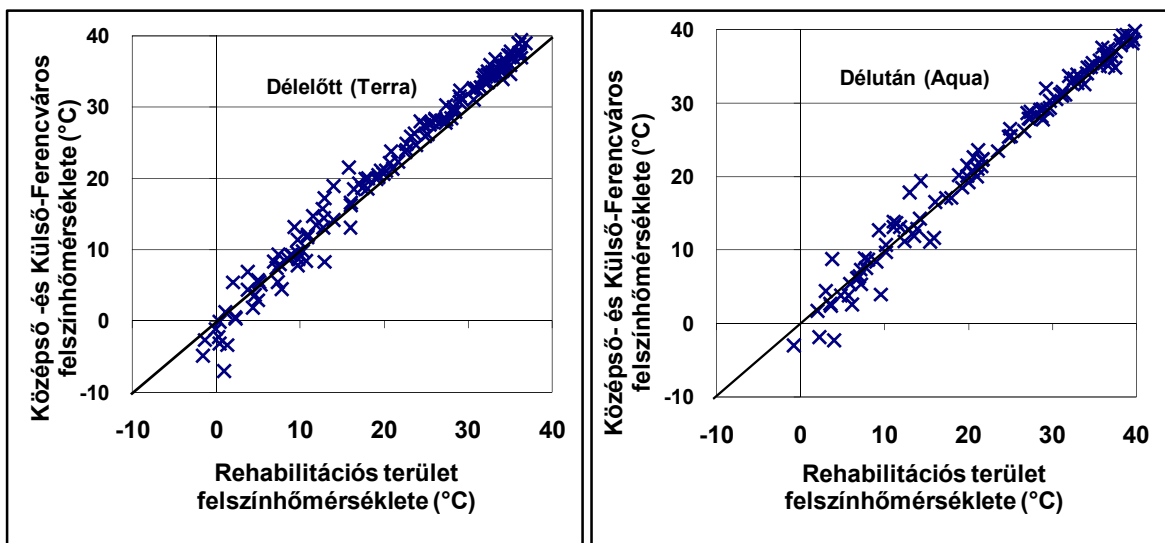
	Belső Ferencváros	Rehabilitációs terület	Középső Ferencváros része
A zöld terület aránya a teljes cellán belül	11%	21%	11%
A burkolt terület aránya a teljes cellán belül	22%	16%	32%
A zöld terület és a burkolt terület aránya a teljes cellán belül	51%	127%	35%

Ezek alapján nem meglepőek a kapott eredmények. A Középső- és Külső-Ferencváros rácscellájában sok út, parkoló, mesterséges felülettel burkolt terület van, amely növeli a hősziget-intenzitás értékét. A Belső-Ferencvárosban és a rehabilitációs területen telepített zöld növények hatására viszont alacsonyabb intenzitásértékeket lehet detektálni.

A rácscellák között kialakuló hősziget-intenzitásbeli különbségek a felszínhőmérsékletekben is megjelennek. A 21. ábrán a Belső-Ferencváros és a Középső- és Külső-Ferencváros szórásdiagramjait láthatjuk. A vízszintes tengelyen a Belső-Ferencváros, míg a függőleges tengelyen a Középső- és Külső-Ferencváros felszínhőmérsékleti értékei vannak feltüntetve. Láthatjuk, hogy a Terra délelőtti áthaladása idején az alacsonyabb (-10 °C és 20 °C közötti) hőmérséklettartományban nagyjából ugyanannyi érték van a Belső-, valamint a Középső- és Külső-Ferencvárosban, 20–40 °C közötti hőmérsékleteket viszont már szinte csak a Középső- és Külső-Ferencvárosban jelentkezett. Az Aqua délutáni méréséből származó értékek is hasonlóan alakulnak. 30-40 °C körüli értékek csak elvétve vannak a Belső-Ferencvárosban. A 22. ábrán a rehabilitációs terület és a Középső- és Külső-Ferencváros szórásdiagramjain vizsgáltuk a délelőtti és délutáni időszakra vonatkozó felszínhőmérsékleteket. A Terra műhold adatai alapján itt is az látszik, hogy a rehabilitációs területen — ahol sokkal nagyobb a zöld növényzettel borított felületek aránya, mint a Középső- és Külső-Ferencvárosban — alacsonyabb felszínhőmérsékleteket tapasztalhatunk. Az Aqua délutáni áthaladásából származó értékek között már a Belső-Ferencvárosban is többször megjelennek 30 °C fölötti felszínhőmérsékletek, de ezek is gyakoribbak a nagyrészt betonnal burkolt Középső- és Külső-Ferencvárosban.



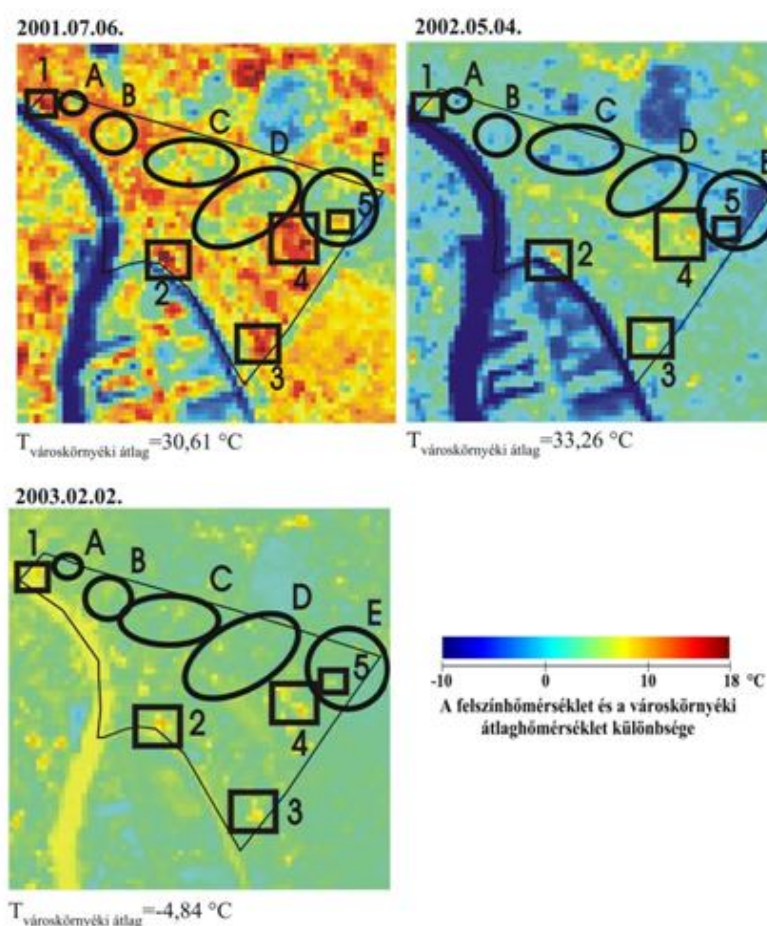
21. ábra: A Belső-Ferencváros, valamint a Középső- és Külső-Ferencváros felszínhőmérsékleti értékeinek összehasonlítása szórásgörbén a Terra délelőtti és az Aqua délutáni áthaladásai alapján



22. ábra: A rehabilitációs terület és Középső- és Külső-Ferencváros felszínhőmérsékleti értékeinek összehasonlítása szórásgörbén a Terra délelőtti és az Aqua délutáni áthaladásai alapján

4.2. ASTER adatok

Az 1 km-es felbontású MODIS szenzor méréseiből származó felszínhőmérséklet és hősziget-intenzitás adatokon kívül rendelkezésünkre álltak a finomabb felbontású, 90 m-es ASTER szenzor méréseiből származó képek is. Ezek a műholdfelvételek már lehetővé teszik a kisebb területek, egyes épületek pontos beazonosítását. Így az eredeti, méréseiből származó adatok alapján tudjuk meghatározni a felszínhőmérsékletet, majd ebből számítani a hősziget-intenzitást. A rendelkezésünkre álló képek alapján három időpontra végeztünk esettanulmány jellegű elemzéseket Budapest IX. kerületre. A 23. ábrán látható a három kiválasztott nap ASTER képe (2001. július 6., 2002. május 4., 2003. február 2.) rajtuk kiemelve az átlagnál melegebb, illetve hidegebb területeket.



23. ábra: A három kiválasztott nap ASTER képe (azonos színskálával) és az azonosított átlagosnál melegebb (számozott), illetve hidegebb (betűjellel ellátott) területek, melyek részletes elemzése rendre a 7. és 8. táblázatban szerepel

A három napra azonos színskálával jelenítettük meg a rácscellákban mért felszínhőmérséklet és a MODIS felszínhőmérsékleti méréseiből számított városkörnyéki átlaghőmérséklet különbségét. A három kép hasonló eredményeket mutat, hiszen jól



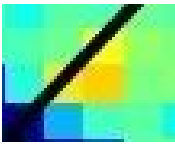







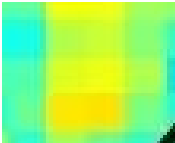
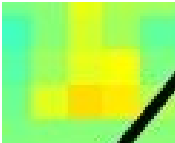

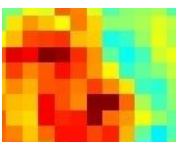
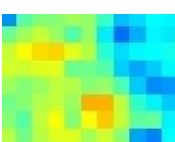
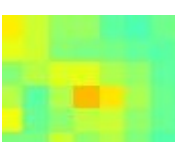

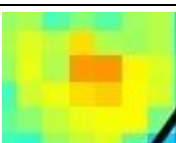


látszik, hogy a jellemzően hideg vagy meleg területek megegyeznek rajtuk. Kivételt képez ez alól a Duna, ami a tavaszi és nyári napokon a leghidegebb terület, télen viszont csak elszórtan találhatunk nála melegebb részeket. Azonosítottunk öt olyan objektumot, amely mindegyik napon kiemelkedően melegebb, azaz a városkörnyéki átlagnál jóval magasabb felszínhőmérsékletű. Ezeket az ábrákon számokkal jelöltük. Emellett azonosítottunk öt objektumot, melyeknek a városkörnyéki átlagtól vett különbsége jóval alacsonyabb, mint a többi területé az adott napon.

A *7. táblázatban* láthatjuk a kiválasztott melegebb területeket Google Earth műholdképen, mellettük a három napra az ASTER kivágatukat, és a terület rövid leírását az ASTER képek időpontjára vonatkozóan (2001-2003). A Vásárcsarnok (1.), elhagyott ipari terület (2.) és az élelmiszerüzletek a József Attila-lakótelepen (5.) különálló, egyedüli építmények, melyekről jól meghatározható, hogy azon az adott ponton detektálhatók magasabb értékek. A 3-4. iparterületek viszont nagyobbak, így a Google Earth képen csak a legmagasabb hősziget értékű területeket mutatom be részletesen, ami a megjelenő átlagértékek felső határát jelenti. Így egy benzinkútra (3.) és egy gyárra/üzemre (4.) esett a választás. 2001 júliusában 9-13 °C volt az átlagos hőmérséklet-különbség a városkörnyéki átlaghoz képest, ami a legnagyobb a három vizsgált nap közül. 2002 májusában 9-12 °C között alakultak az értékek, kivéve a József Attila-lakótelepen található üzletek esetén, ahol, csak 3-4 °C volt. Ebből is látszik, hogy bár a közvetlen környezeténél jelentősen melegebb területről beszélünk, de érződik a telepen található növényzet kedvező hatása. 2003 februárjában 5-9 °C között mozogtak a hősziget-intenzitások az öt területen.



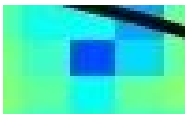



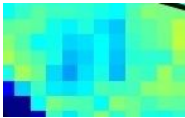


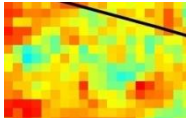
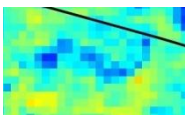
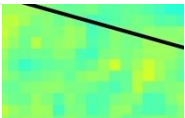

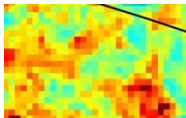
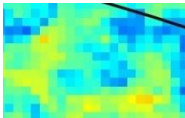
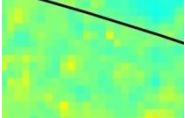

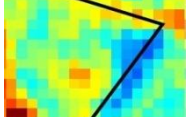
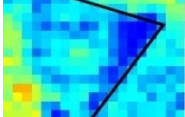
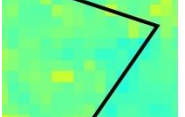
A *8. táblázatban* az előzőhöz hasonló elrendezésben található meg az öt azonosított hűvösebb terület. Mind az öt kisebb-nagyobb rész, parkot, fás udvarokat, gondozott zöld területeket foglal magába. Látható, hogy ezek a pontok a környezetükhöz képest hűvösebbek, de felszínhőmérsékletük sok esetben még így is több fokkal meghaladja a városkörnyéki átlaghőmérsékletet. Nyáron, júliusban detektálhatók a legmagasabb értékek, a felszínhőmérséklet még ezekben a pontokban is átlagosan 3-8 °C-kal meghaladja a városkörnyéki átlaghőmérsékletet, kivéve a József Attila-lakótelep déli határát alkotó erdős sávban, ahol a városkörnyéki átlaghőmérsékletnél alacsonyabb felszínhőmérsékletet detektáltak. Mindhárom napon az erdő a leghűvösebb rész, májusban és júliusban is csak a Duna hidegebb ennél. Májusban kaptuk a legalacsonyabb értékeket. Ekkor -7 °C és 2 °C között alakulnak az intenzitások. A gyengébb besugárzású téli időpontban, februárban a teljes kerületet vizsgálva jól látható, hogy sokkal kisebbek a különbségek, mint a tavaszi és nyári napokon. Így van ez a hidegebb területek esetén is. A József Attila-lakótelep

kivételével szinte teljesen azonos, 3-6 °C közötti hőmérséklet-különbségeket tapasztalunk, míg a telepen mindössze 1 °C-kal haladja meg a felszínhőmérséklet a városkörnyéki átlaghőmérsékletet.

7. táblázat: Az öt melegebb objektum Google Earth felvétele, ASTER kivágatai és hősziget-intenzitás értékei a három napon, és a terület leírása

Google Earth kép	ASTER 2001.07.06. (hősziget érték)	ASTER 2002.05.04. (hősziget érték)	ASTER 2003.02.02. (hősziget érték)	Terület leírása a 2001-2003 közötti időszakra vonatkozóan
 1	 12-13 °C	 9-10 °C	 6-7 °C	Vásárcsarnok
 2	 12-13 °C	 11-12 °C	 8-9 °C	Gyár/üzem/ iparterület, elhagyott épület
 3	 12-13 °C	 8-9 °C	 7-8 °C	Benzinkút (Soroksári út és Határ út kereszteződésénél)
 4	 12-13 °C	 9-10 °C	 7-9 °C	Gyár/üzem/ iparterület
 5	 9-10 °C	 3-4 °C	 5-6 °C	Üzletek a József Attila lakótelepen

8. táblázat: Az öt hidegebb objektum Google Earth felvétele, ASTER kivágatai és hőszigetintenzitás értékei a három napon, és a terület leírása

Google Earth felvétel	ASTER 2001.07.06. (hőszigetérték)	ASTER 2002.05.04. (hőszigetérték)	ASTER 2003.02.02. (hőszigetérték)	Terület leírása a 2001-2003 közötti időszakra vonatkozóan
 A	 6-7 °C	 -1-0 °C	 3-4 °C	Markusovszky tér fejlesztendő közpark
 B	 7-8 °C	 0-1 °C	 3-6 °C	Ferenc tér parkos, fás füves terület
 C	 4-6 °C	 -5-1 °C	 3-6 °C	Szent István és Szent László kórház parkja
 D	 3-5 °C	 -3-2 °C	 3-6 °C	Merényi Gusztáv kórház, lakótelep, elhagyatott gondozatlan terület
 E	 -3-8 °C	 -7-2 °C	 1-4 °C	József Attila Lakótelep házai közötti fás, zöld területek

Az ASTER műholdképek alapján végzett esettanulmány alapján egyértelműen kijelenthető, hogy a zöld, növényzettel borított területeken alacsonyabb hőszigetintenzitásértékek tapasztalhatók, mint a beépített burkolt területeken.

5. Mérések a rehabilitációs területen és a Belső-Ferencvárosban

A városi hősziget hatások hagyományos vizsgálati módszere a helyszíni mérések (Sümeghy és Unger, 2003). Teljes Budapestre a város nagy kiterjedése miatt nem tudunk részletes hagyományos méréseket végezni. A IX. kerület azonban már elegendően kicsi ahhoz, hogy a műholdas felszínhőmérséklet elemzéseken túl in situ léghőmérséklet méréseket is végezzünk. Ezt a Belső-Ferencvárosban és a rehabilitációs területen már el is kezdtük megvalósítani relatív nedvesség mérésekkel kiegészítve.

A mérési expedíció két körből áll, mely összesen 22 mérési pontot tartalmaz. A Tompa utca és Ferenc körút kereszteződésétől indulnak a körök és a Boráros térig tartanak, közöttük 10-10 ponton zajlik még a mérés. A 24. ábrán láthatjuk Google Earth felvételen az útvonalakat és a mérések pontos helyét. A mérés során a mérést végrehajtók párhuzamosan elindulnak a két úton a 101=201 ponttól kezdve, majd a 112=212 pontnál ismét találkoznak. Ezután fordított sorrendben végigjárva a mérési állomásokat visszatérnek a kiindulási pontra a Tompa utca és Ferenc körút sarkára. A mozgó méréseken túl a 105-ös ponton, a Ferenc téren egész napos hőmérséklet- és nedvességméréseket is végzünk. A pontok kiválasztása az alapján történt, hogy legyenek köztük parkok, zöld területek, sűrűn beépített lakóövezetek, burkolt közterek, régebbi és felújított épületek.



24. ábra: A rehabilitációs területen és a Belső-Ferencvárosban történő mérési expedíció útvonala és a mérési pontok Google Earth felvételen (külön kiemelve a Ferenc tér, ahol egy helyben is történt egész napos mérés)

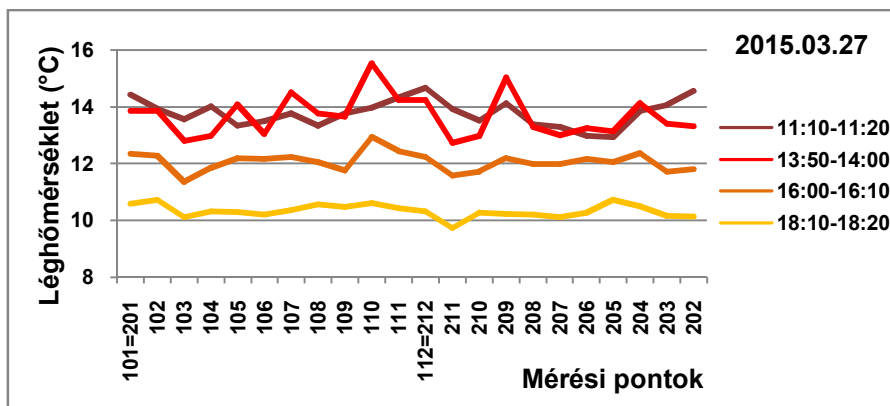
A méréseket kétféle műszerrel végeztük. A két útvonalon történő mérések esetén Voltcraft HT-200 páratartalom- és hőmérsékletmérő műszereket használtunk. Ez egy digitális készülék, LCD⁷ kijelzővel. Hőmérsékletet (°C és °F egységben) és relatív nedvességet (%-ban) mér, és ebből számít harmatpontot, illetve nedves hőmérsékletet. Két másodperceként 5 mérést végez, a mért és számított értékeket pedig két tizedesjegy pontossággal jeleníti meg a képernyőn. A Ferenc téren Voltcraft DL-141TH adatgyűjtő műszerrel végeztük a méréseket. Az előzőhöz hasonlóan léghőmérséklet (°C-ban) és relatív nedvesség (%-ban) értékeket mér egy tizedesjegy pontossággal, amiket el is tárol.

Jelen szakdolgozatban három tavaszi mérési nap eredményeit mutatjuk be (2015. március 27., április 3., április 10.) a mozgó mérésekre és a Ferenc téri mérésre vonatkozóan. A mérési körök alapján minden nap négy 10-20 perces időtartamra vonatkozó átlagos értéket számítottunk délelőttől a kora esti órákig. Ehhez minden pontra az egymást követő, ellentétes irányban haladó két-két mérés időpontját, valamint a mért hőmérsékleteket és relatív nedvességeket átlagoltuk. Az átlagolásra annak érdekében volt szükség, hogy az eltérő időpontokban történt mérések közelítőleg egy „átlagos” időpont meteorológiai viszonyait jellemezzék. (Ezzel a módszerrel feltételezzük, hogy a léghőmérséklet és a relatív nedvesség időben folytonos és szimmetrikus menetet ír le.)

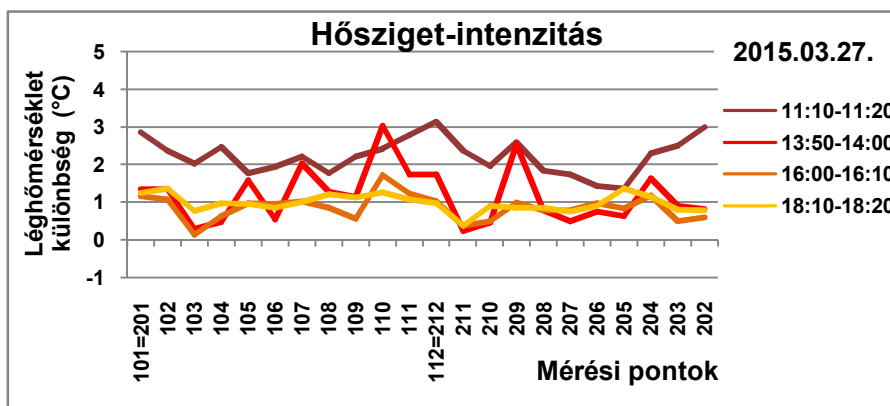
2015. március 27-én hideg, szeles volt az idő csapadék nélkül, az eget szinte egész nap felhő borította. A 25. *ábra* mutatja a léghőmérséklet alakulását a mérési pontokon a négy időintervallumban. Jól látszik, hogy délelőtt, kora délután magasabb hőmérsékleteket mértünk, míg estére 4-5 °C-kal csökkent a hőmérséklet. A 26. *ábrán* a mért értékeink és a pestszentlőrinci meteorológiai állomás által kiadott szinoptikus táviratban (<http://www.ogimet.com/synops.phtml.en>) megjelenő hőmérsékleti adatok különbségeként definiált hősziget-intenzitás található. Ebből megállapítható, hogy melyek azok a helyek, ahol hidegebb vagy melegebb volt március 27-én. A legnagyobb intenzitás értékű pontok a 101=201, 110, 112=212, 209. A kezdési pont (101=201) a Ferenc körút és Tompa utca sarka, itt a burkolt széles út és a nagy forgalom miatt akár 3 °C-os hősziget-intenzitást is detektáltunk. A 110-es mérési pont a Mester utcában található, itt is 3 °C-os intenzitást tapasztaltunk. A legmagasabb, 3 °C-ot meghaladó intenzitás a Boráros téren (112=212-es pont, 27. *ábra, balra*) található. A 209-es mérési pont egy játszótér mellett található a Csarnok téren, ami közvetlenül a Vásárcsarnok mögött található. Az ASTER elemzésekből láthattuk, hogy a Vásárcsarnok jelentősen melegebb pont a környezeténél (7. *táblázat*), és

⁷ LCD (Liquid Crystal Display): Folyadékkristályos képernyő

ez a hatás érzékelhető a mérési ponton is. Így mérhettünk akár 2,5 °C-os hősziget-intenzitási értéket. A legalacsonyabb intenzitás a 103-as és a 211-es mérési pontokban tapasztalható, értéke néhány tized °C. Az előbbi a Liliom utca és a Tűzoltó utca sarkán található kis park, utóbbi pedig a Duna mellett található Nehru part (27. ábra, jobbra).



25. ábra: A kijelölt pontokon mért léghőmérséklet átlagok négy időszakra 2015. március 27-én



26. ábra: A hősziget-intenzitás (pestszentlőrinci állomással vett különbség) alakulása a négy időszakra 2015. március 27-én

Boráros tér (112=212)

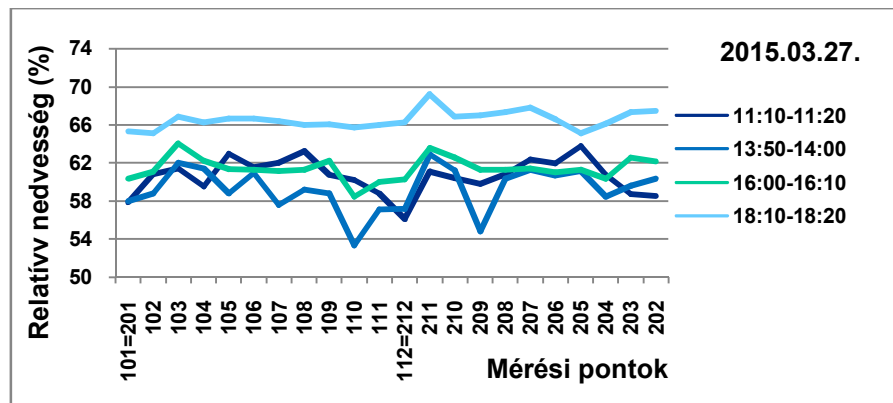


Nehru part (211)

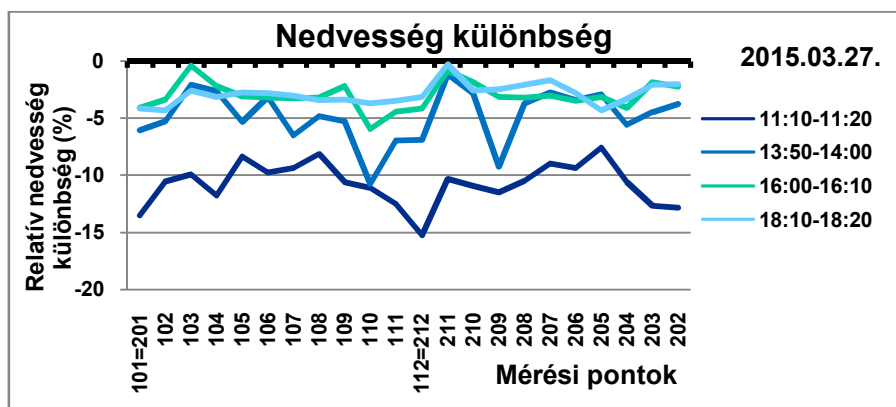


27 ábra: A mérési útvonal 112=212 (balra) és 211 (jobbra) mérőpontjainál készített fotók

A 28. és 29. ábrán a hőmérséklethez és a hősziget-intenzitáshoz hasonló elrendezésben láthatók a mért relatív nedvesség értékek, és ezeknek a szinoptikus táviratból meghatározott relatív nedvességektől vett különbsége. Jól megfigyelhető a hőmérséklet és a nedvesség között fennálló fordított arányosság. Így a korábban említett melegebb helyeken alacsonyabbak a relatív nedvesség értékek, míg a hűvösebb helyeken nagyobb a levegő relatív nedvességtartalma.

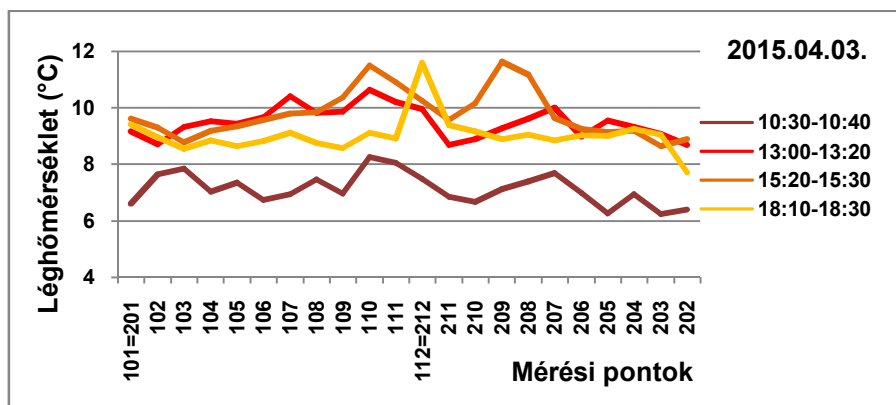


28. ábra: A kijelölt pontokon mért relatív nedvesség átlagok négy időszakra 2015.március 27-én

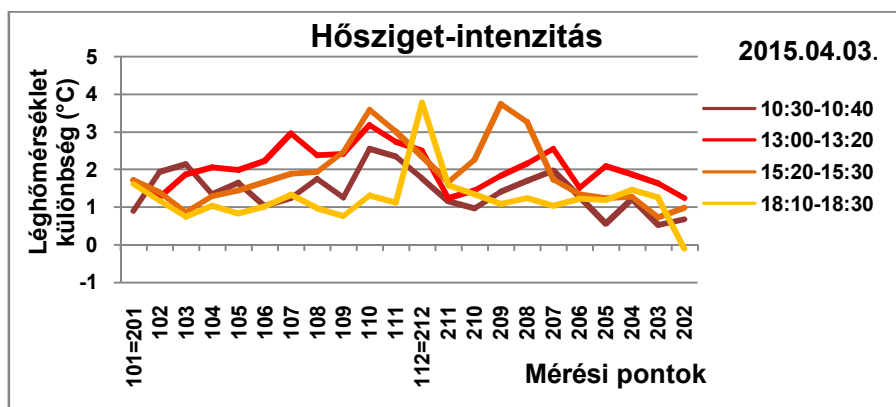


29. ábra: A IX. kerületben mért relatív nedvesség és a pestszentlőrinci állomás által mért relatív nedvesség különbsége a négy időszakra 2015. március 27-én

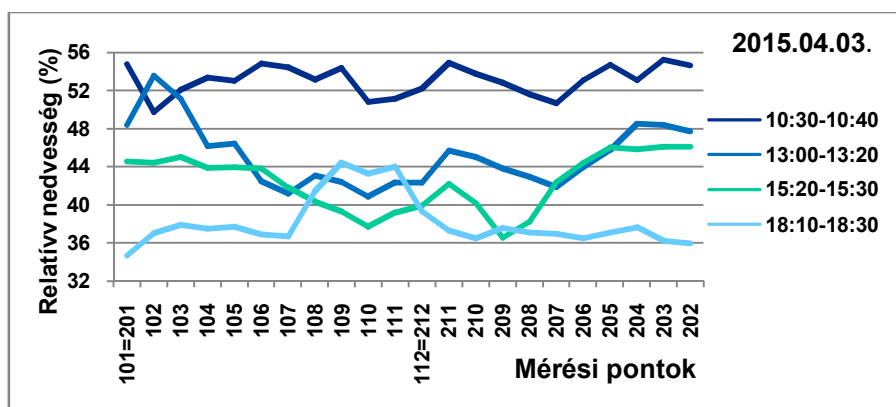
A következő mérési napon, 2015. április 3-án az előző hétnél is hidegebb és szelesebb volt az időjárás, délután megszakításokkal havas eső esett. A mért hőmérséklet értékek alacsonyabbak voltak, mint az első napon, viszont a maximális hősziget-intenzitás értékek már meghaladták a 3,5 °C-ot is (30. és 31. ábra). A Boráros téren este hat óra után akár 2 °C-kal is melegebb volt, mint a többi mérési ponton. A 32. és a 33. ábrán rendre a relatív nedvesség és annak a lőrinci állomástól való eltérése látható. Délutánra és estére már lecsökkent a nedvességtartalom, hiszen kora délután egy gyenge havas eső volt a mérési terület több részén.



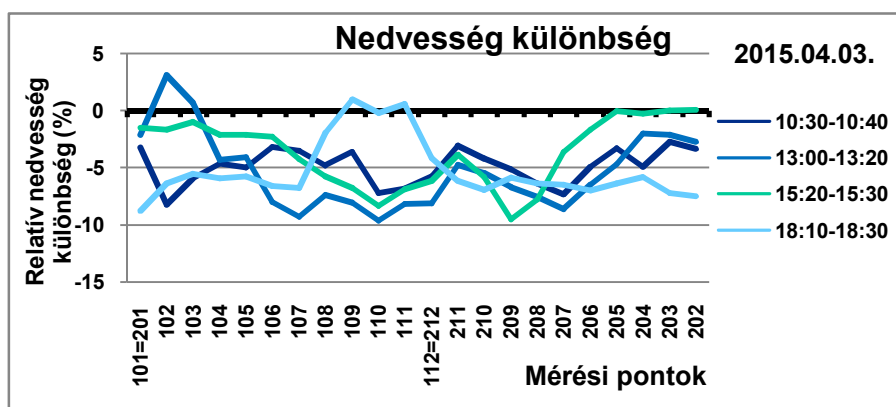
30. ábra: A kijelölt pontokon mért léghőmérséklet átlagok négy időszakra 2015. április 3-án



31. ábra: Hősziget-intenzitás (pestszentlőrinci állomással vett különbség) alakulása a négy időszakra 2015. április 3-án

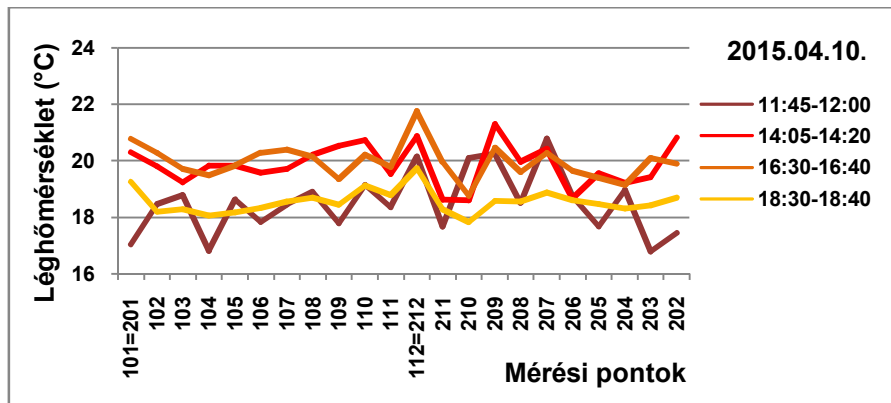


32. ábra: A kijelölt pontokon mért relatív nedvesség átlagok négy időszakra 2015. április 3-án

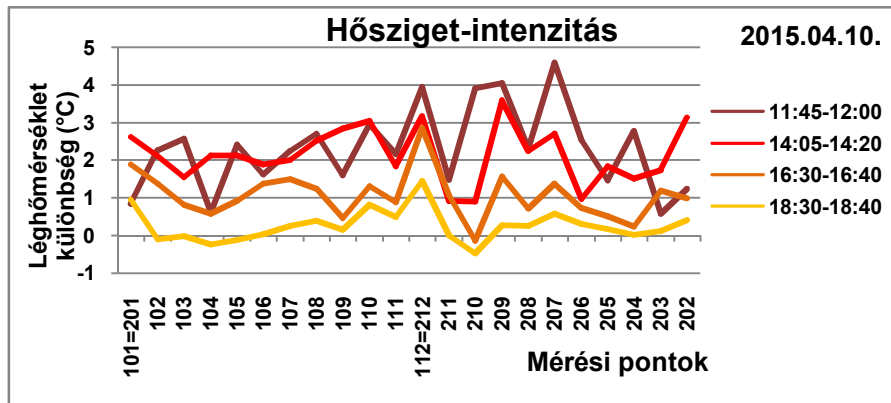


33. ábra: A IX. kerületben mért relatív nedvesség és a pestszentlőrinci állomás által mért relatív nedvesség különbsége a négy időszakra 2015. április 3-án

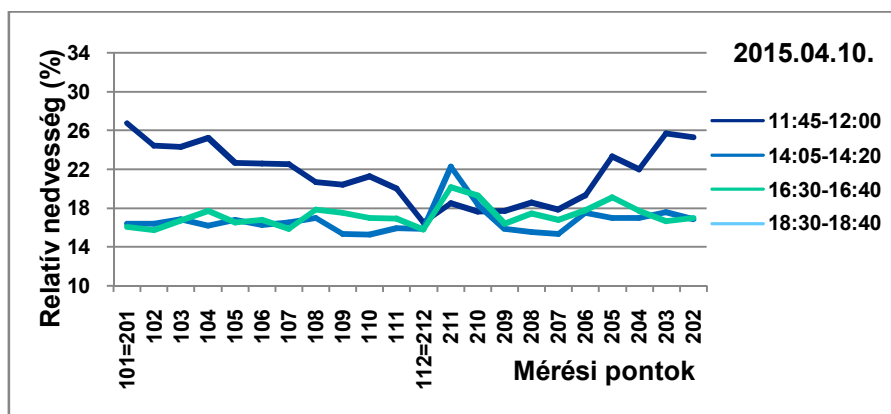
2015. április 10-én anticiklon határozta meg az időjárásunkat. Meleg napos idő volt, kevés felhővel, időnként gyenge széllel. Ezen a napon a hőmérsékletek már 17-22 °C körül alakultak (34. ábra). A hősziget-intenzitás értékek ugyanazon a helyeken magasabbak és alacsonyabbak, mint az előző két mérési napon. A hősziget-intenzitás maximuma azonban már eléri a 4,5 °C-ot (35. ábra). A relatív nedvesség (36., 37. ábra) a délelőtt folyamán még elérte 27%-ot, de délutántól kezdve már csak 16-19% körül mozgott, kivéve a Boráros téren, ahol egész nap magasabb volt.



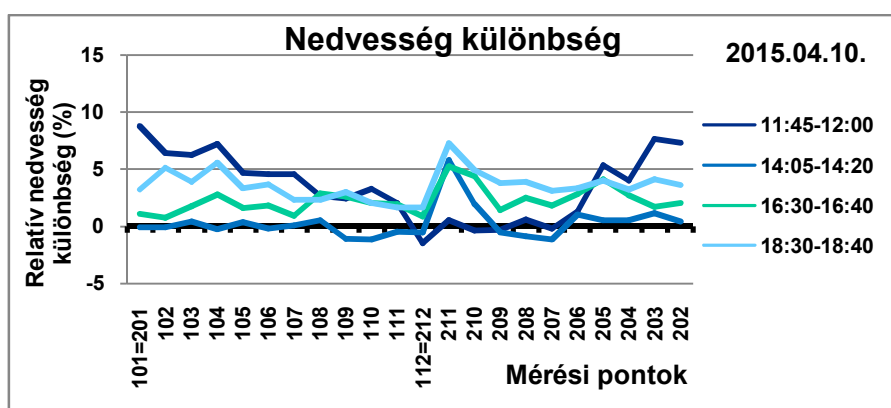
34. ábra: A kijelölt pontokon mért léghőmérséklet átlagok négy időszakra 2015. április 10-én



35. ábra: Hősziget-intenzitás (pestszentlőrinci állomással vett különbség) alakulása a négy időszakra 2015. április 10-én



36. ábra: A kijelölt pontokon mért relatív nedvesség átlagok négy időszakra 2015. április 10-én



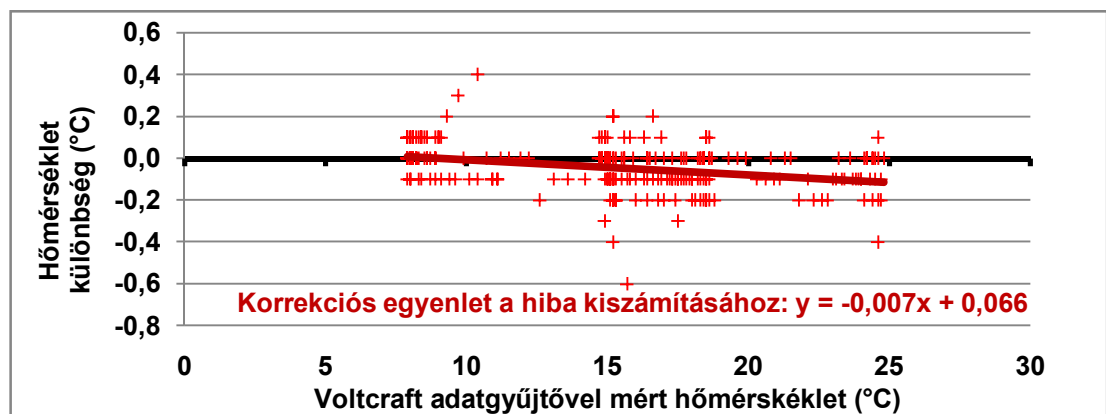
37. ábra: A IX. kerületben mért relatív nedvesség és a pestszentlőrinci állomás által mért relatív nedvesség különbsége a négy időszakra 2015. április 10-én

Ugyanezen a három napon a Ferenc téren (38. ábra) történt egész napos mérés a fejezet elején korábban bemutatott Voltcraft DL-141TH adatgyűjtővel. Ezeket a méréseket a finomabb időbeli felbontás miatt az ELTE Lágymányosi kampuszon lévő városklíma állomás hőmérsékleteivel és relatív nedvesség értékeivel összevetettük, majd a kapott eltérések statisztikai elemzése alapján korrigáltunk.

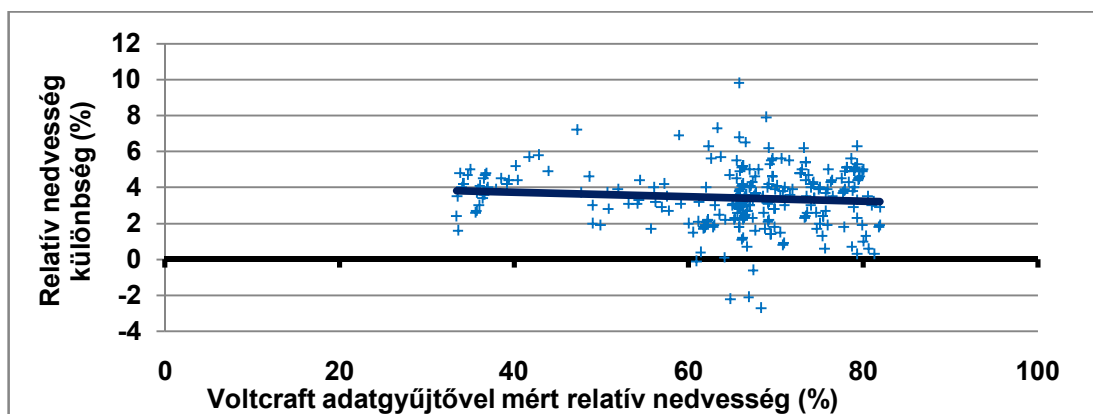


38. ábra: 105-ös mérési pont, Ferenc tér

A 39. ábráról leolvasható a Voltcraft DL-141TH adatgyűjtővel mért léghőmérsékleti intervallum a kétnapos párhuzamos mérés idején. Az április 27-29. időszakban – számunkra kedvezően – széles skálán változott a hőmérséklet, így az egyes tartományokban jól meghatározható a lágymányosi állomási hőmérő méréseitől vett eltérés. A párhuzamos mérésből származó adatokra illesztett lineáris regressziós összefüggés a t-próba (Dévényi és Gulyás, 1988) 0,95 szinten szignifikánsnak tekinthető. Így a kapott egyenlet felhasználásával korrigáltuk a Ferenc téren mért hőmérséklet értékeket. A relatív nedvességre vonatkozó párhuzamos mérésből (40. ábra) azonban nem kaptunk szignifikáns összefüggést a relatív nedvesség nagysága és a két műszer mérésének különbsége között. Így ebben az esetben az összes különbség értéket átlagoltuk és ezzel az átlagos értékkel (+3,4%) korrigáltuk a mérési expedíció során regisztrált relatív nedvességeket.

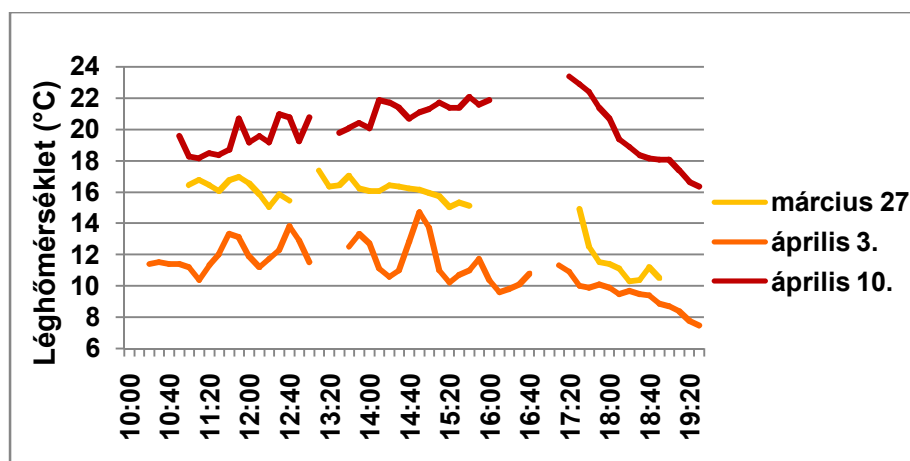


39. ábra: Korrekciós eljárás a Voltcraft DL-141TH adatgyűjtővel mért hőmérséklet értékek és a lágymányosi állomás méréseivel vett különbség alapján, 2015. 04. 27-29.



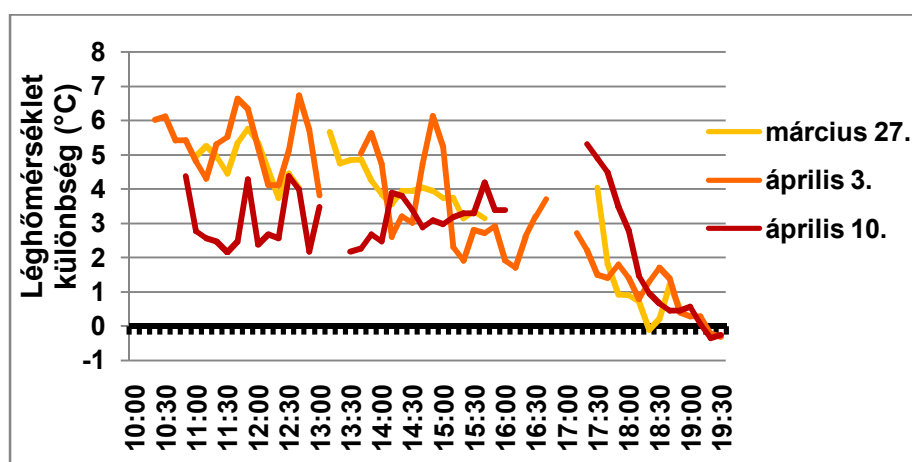
40. ábra: Korrekciós eljárás a Voltcraft DL-141TH adatgyűjtővel mért relatív nedvesség értékek és a lágymányosi állomás méréseivel vett különbség alapján, 2015. 04. 27-29.

A 41. ábrán bemutatott három nap közül az első alkalommal, március 27-én napközben 16 °C körül alakult a hőmérséklet, kora estére viszont már lehűlt 11 °C körülire. A második napon, április 3-án volt a leghidegebb a három nap közül a szeles időjárás miatt, átlagosan 10-13 °C. Április 10-én, a harmadik mérési napon már 18-22 °C között alakult az átlaghőmérséklet. A délutáni több mint 23 °C-os maximum után viszont két óra alatt 16 °C-ra esett vissza a léghőmérséklet.



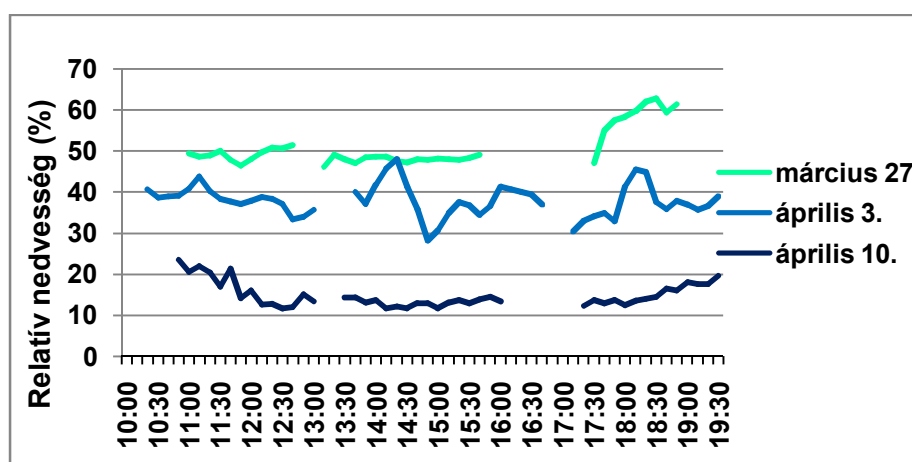
41. ábra: A három mérési napon mért léghőmérséklet a Ferenc téren

A 42. ábrán az általunk mért értékek és a lágymányosi városklíma állomáson mért hőmérsékletek különbsége van feltüntetve. Láthatjuk, hogy a legnagyobb eltérések április 3-án voltak, melyek akár 6-7 °C-ot is elértek. Továbbá a legmelegebb napon, április 10-én délután is meghaladta az 5 °C-ot a két mérőpont hőmérsékleti különbsége.

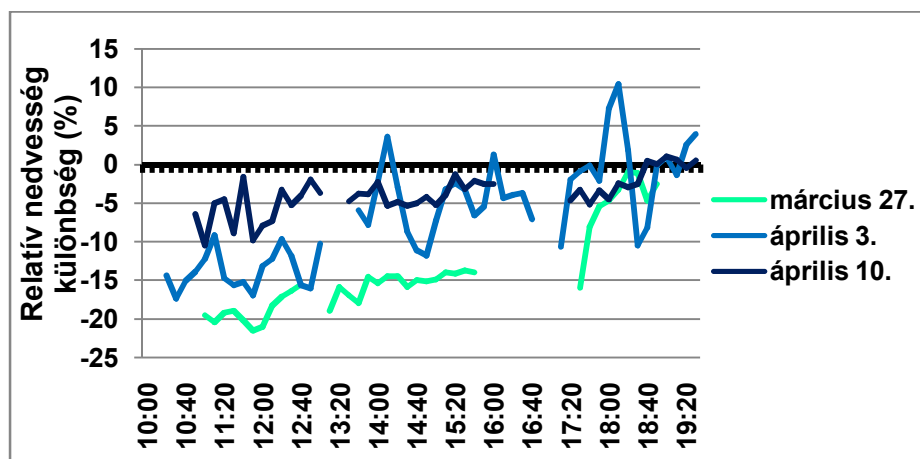


42. ábra: A három mérési napon a Ferenc téren és a lágymányosi városklíma állomáson mért léghőmérsékletek különbsége

A relatív nedvességek alakulását a 43. ábra mutatja be. A mérési körökhöz hasonlóan itt is jól megfigyelhető a hőmérséklet és a relatív nedvesség közötti fordított arányosság. A relatív nedvesség legnagyobb százalékos értékei a kora esti órákban este 6-7 óra között jelentkeztek. Április 3-án délután 2-3 óra magasságában detektáltunk hirtelen magasabb értékeket, amit az enyhe havas eső okozott. A lágymányosi állomás méréseitől vett relatív nedvesség különbségek idősoráiból (44. ábra) is egyértelműen kivehető a havas eső időpontja, de az is jól látszik, hogy szinte egész idő alatt alacsonyabb relatív nedvességeket mértünk a Ferenc téren, mint Lágymányoson.



43. ábra: A három mérési napon mért relatív nedvesség a Ferenc téren



44. ábra: A három mérési napon a Ferenc téren és a lágymányosi városklíma állomáson mért relatív nedvességek különbsége

6. Összefoglalás

A városi hősziget-hatás kérdése — a globális felmelegedés hatását erősítve — napjainkban egyre nagyobb jelentőséggel bír. Ezen dolgozatban Ferencváros, Budapest IX. kerülete különböző városfejlesztési programjainak felszín- és léghőmérsékletre, illetve a hősziget-intenzitásra gyakorolt hatásait elemeztük.

A tömbrehabilitációs program során a tömbházak egybenyitását és egy belső zöld lakókert létrehozását végezték el a kerület középső részén. A vizsgálathoz a Terra és az Aqua kutatóműholdon található MODIS szenzor felszínhőmérsékleti idősoráiból származtatható hősziget-intenzitás adatait használtuk fel a 2001-2013 közötti időszakra. Vizsgálataink eredményeképpen megállapítható, hogy a kiválasztott rácscellákban a hősziget-intenzitás az átépítések utáni időszakban mérsékeltebb volt, mint a felújítást megelőző években. A csökkenés egész évre átlagolt értéke nappal mintegy $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, este $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt.

Ugyanezen adatok alkalmazásával összehasonlítást végeztünk a rehabilitációs terület, a Belső-Ferencváros, valamint a Középső- és Külső-Ferencváros hősziget-intenzitás értékeire. Az eredmények alapján a nagyobb arányban burkolt Középső- és Külső Ferencváros akár $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal is melegebb, mint a nagyobb hányadban zöldfelülettel rendelkező rehabilitációs terület, vagy a Belső-Ferencváros. A MODIS 1 km-es rácsfelbontása nem elég finom egy ilyen kis terület részletesebb elemzéséhez. Ezt rácsfelbontás finomítással csökkentettük, de a pontosabb eredmények elérésének érdekében más módszereket is alkalmaztunk.

A 90 m felbontású ASTER műholdfelvételek alapján 2001-2003 között három napra végeztünk esettanulmányt, melynek eredményeképpen azonosítottuk mindhárom napon a leghidegebb és a legmelegebb helyszíneket a kerületen belül. Az átlagosnál alacsonyabb hősziget-intenzitású terület például a Ferenc tér, a József Attila-lakótelep, valamint a Szent István és Szent László kórház parkja. Az átlagnál melegebb helyszínek pedig a Vásárcsarnok, használaton kívüli, valamint jelenleg is aktív iparterületek, üzletek, benzinkút.

A műholdas elemzések mellett hagyományos helyszíni léghőmérsékleti és relatív nedvesség méréseket végeztünk a Belső-Ferencvárosban és a rehabilitációs területen. A mérési expedíció során a huszonekét mérési pont közül ezúttal is a zöld, parkos helyeken (pl. Nehru part a Duna mentén) tapasztaltunk alacsonyabb hősziget-intenzitásokat a

nagyobb arányban burkolt területekhez (pl. Boráros tér) képest. Így a helyszíni mérések eredményei összhangban vannak a műholdas adatok alapján levonható következtetésekkel.

További célkitűzéseink közé tartozik, hogy a kerület kisebb egységeit követően a Ferencváros teljes területére kiterjesszük a vizsgálatainkat (pl.: Ferencvárosi Rendező pályaudvar, iparterületek) a városi hősziget-intenzitás alakulására és egymáshoz képesti viszonyának elemzésére. A beindított új mérési program során az eddigiekben csak tavaszi időpontokra végeztünk helyszíni méréseket. Ahhoz, hogy a teljes évre vonatkozóan részletes információkat kapjunk a hősziget-intenzitás alakulásáról, mérési expedíciónkat tovább folytatjuk, és nyári, őszi, majd téli mérések alapján vizsgáljuk tovább a kerület felszínhőmérsékleti és hősziget-intenzitási viszonyait.

Köszönetnyilvánítás

Elsősorban témavezetőimnek fejezem ki köszönetemet, Dr. Pongrácz Ritának, aki hasznos tanácsaival segítette és irányította munkámat. Soósné Dr. Dezső Zsuzsannának a MODIS adatok leválasztásáért és az ASTER képek előkészítéséért, illetve Dr. Bartholy Juditnak, aki lehetővé tette, hogy bekapcsolódjak a kutatásokba. Továbbá szeretném megköszönni Dr. Breuer Hajnalkának a programozási feladatokban nyújtott segítségét.

A helyszíni mérésekben közreműködtek: Csorvási Anett, Farkas Judit, Garamszegi Balázs, Kovács Attila, Kristóf Erzsébet, Lemler Tünde, Molnár Gergely és Takács Dominika meteorológus szakos MSc hallgatók, valamint Blik Patrik, Boldog Ádám, Fricke Cathy, Gebei László, Hodován András, Kovács Péter Erik, Német Dávid és Tólos István földtudomány szakos BSc hallgatók.

A műholdas felszínhőmérsékleti adatbázis előállítás és rendelkezésre bocsátása az amerikai NASA-nak köszönhető, melyhez a Földfelszíni Megfigyelőrendszer Adatközpontján keresztül jutottunk hozzá. A Rehabilitációs programmal kapcsolatos részletes információkhoz Budapest Főváros IX. kerület Önkormányzat Főépítészeti Csoportjának közreműködésével jutottunk hozzá. A dolgozat keretében végzett kutatásokat támogatta az OTKA K109109 számú projektje, a FuturICT.hu TÁMOP 4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0013 kutatási pályázat és az AGRÁRKLIMA2 projekt (VKSZ_12-1-2013-0001).

Irodalomjegyzék

- ASTER (2001): ASTER Higher-Level Product User Guide, Version 2.0, Jet Propulsion, Laboratory, California Institute of Technology, 80p.
- Bartholy J., Pongrácz R., Dezső Zs. 2005: A hazai nagyvárosok hősziget hatásának elemzése finomfelbontású műholdképek alapján – Agro-21 füzetek, 44, pp. 32-44.
- Bottyán Zs., Kircsi A., Szegedi S., Unger J. 2005. The relationship between built-up areas and the spatial development of the mean maximum urban heat island in Debrecen, Hungary – International Journal of Climatology, 25, pp. 405-418.
- Bottyán Zs. 2007: Az átlagos maximális hősziget-intenzitás statisztikus modellje Szegeden és Debrecenben – Doktori (PhD) értekezés. 122p.
- Budapest Ferencváros Rehabilitáció, 2010 – Ferencvárosi Önkormányzat, Budapest, 80p.
- Budapest Főváros IX. kerület Ferencváros Önkormányzata, Főépítészeti Iroda – Budapest, 2009: Integrált városfejlesztési stratégia, I. kötet, 220p.
- Dezső Zs., Bartholy J., Pongrácz R. 2005: Satellite-based analysis of the urban heat island effect – Időjárás, 109, pp. 217-232.
- Dezső Zs. 2009: A magyarországi és közép-európai nagyvárosokban kialakuló városi hősziget vizsgálata finom felbontású műholdképek alapján – Doktori (PhD) értekezés. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 113p.
- Dezső Zs., Bartholy J., Pongrácz R., Lelovics E. 2012: Városi hősziget vizsgálatok műholdas és állomási mérések alapján – Légkör, 57, pp. 170-173.
- Dévényi D., Gulyás O. 1988: Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában. – Tankönyvkiadó, Budapest. 443 p.
- Gál T., Unger J., Kiss M. 2013: An automatic method to create an urban vegetation database using 4 band aerial photographs for Sky View Factor calculation – A case study in Szeged, Hungary – Institute of Biometeorology, pp. 124-132.
- Lelovics E., Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. 2011: Budapesti városi hősziget elemzése: műholdas és állomási mérések összehasonlítása – Légkör, 56, pp. 55-59.
- NASA 1999: Science writers' guide to Terra – NASA Earth Observing System Project Science Office, Greenbelt, MD. 26p.
- Planning Department, 2012 – Urban Climatic Map and Standards for Wind Environment – Feasibility Study, FINAL REPORT; School of Architecture, CUHK, Hong-Kong, 518p.

- Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. 2010: Application of remotely sensed thermal information to urban climatology of Central European cities – *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, pp. 95-99.
- Probáld F., 2014: The urban climate of Budapest: past, present and future – *Hungarian Geographical Bulletin*, 63 (1), pp. 69–79.
- Oke, T.R 1973: City size and the urban heat island – *Atmospheric Environment*, 7, pp. 769-779.
- Oke, T.R. 1982: The energetic basis of the urban heat island – *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, pp. 1-24.
- Stewart, I. D. 2007: Landscape representation and the urban-rural dichotomy in empirical urban heat island literatura, 1950–2006 – *Acta Climatologica et Chorologica Universitatis Szegediensis*, Tomus 40-41, pp. 111-121.
- Stewart, I. D., Oke, T.R. 2012: Local Climate Zones for urban temperature studies – *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, pp. 1879–1900.
- Sümeghy Z és Unger J, 2003: A települések hőmérséklet-módosító hatása – a szegedi hősziget-kutatások tükrében. *Földrajzi Közlemények* 127 (51), pp.23-44
- Unger J. 2004: Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach – *Climate Research*, 27, pp. 253-264.
- Unger J., Lelovics E., Gál T. 2014: Local Climate Zone mapping using GIS methods in Szeged – *Hungarian Geographical Bulletin*, 63 (1), pp. 29-41.
- Wan, Z., Snyder, W. 1999: MODIS land-surface temperature algorithm theoretical basis document – Institute for Computational Earth Systems Science, Univ. of California, Santa Barbara, 75p.

Internetes források

Google Earth, <https://earth.google.com/>

Szinoptikus táviratok: <http://www.ogimet.com/synops.phtml.en>

WHO, Global Health Observatory (GHO): Measuring urban health 2014: <http://www.who.int/gho/en/>