

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Természettudományi Kar

Meteorológia Tanszék

**A BEÉPÍTETTSÉG ÉS A VÁROSI HŐSZIGET
KAPCSOLATÁNAK VIZSGÁLATA,
BUDAPEST XI. KERÜLETÉNEK PÉLDÁJÁN**

SZAKDOLGOZAT



DOBÓ ESZTER

Földtudományi alapszak

Meteorológus szakirány

Témavezető:

SOÓSNÉ DR. DEZSŐ ZSUZSANNA

ELTE TTK Meteorológiai Tanszék

BUDAPEST, 2014

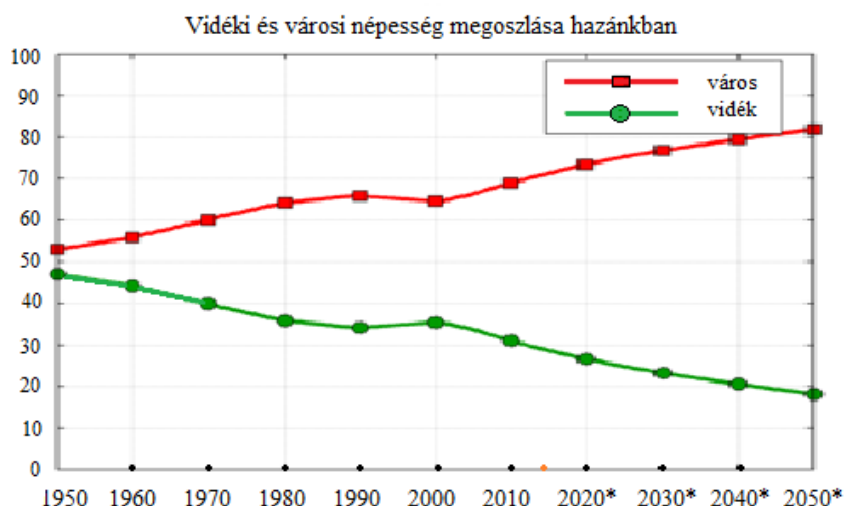
TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	3
2. A városi klíma	5
2.1. Városklíma kutatás történelmi áttekintése	5
2.2. Városi klíma kialakulásának okai	6
3. A városi hősziget	9
3.1. A városi hősziget ismertetése	9
3.2. A hősziget kialakulásának okai	12
3.3. A városi hősziget hatásai, következményei	13
4. Lehetőségek a városi hősziget intenzitásának mérséklésére	15
4.1. Megfelelő városi geometria kiépítése	15
4.2. Megfelelő albedójú tetők, burkolatok alkalmazása	15
4.3. Vízfelületek növelése	16
4.4. Parkosítás	17
4.5. Zöld szerkezetek alkalmazása	17
4.5.1. Zöld homlokzatok	18
4.5.2. Zöld tetők	19
5. Adatgyűjtés	22
5.1. Hagyományos meteorológiai mérőállomás	22
5.2. Mobil mérések	23
5.3. Repülőgépes mérések	23
5.4. Műholdas mérések	24
6. Budapest 11. kerületének bemutatása	26

7. Vizsgálatok és eredmények	28
7.1. Alkalmazott mérőrendszer és felhasznált adatok	28
7.2. A városi hősziget szerkezete Budapest 11. kerületében	29
7.3. A hősziget-intenzitás változásának vizsgálata a 11. kerület térségében, a 2001-től 2013-ig tartó időszakra vonatkozóan	32
7.3.1. Első módszer – Átlagos havi hősziget-intenzitás	33
7.3.2. Második módszer - Tényleges felszínhőmérsékleti értékek	34
8. Összefoglalás	41
Köszönetnyilvánítás	43
Irodalomjegyzék	43

1. BEVEZETÉS

A városi életforma terjedésének és a technológia fejlődésének köszönhetően a 20. század második felére a városok száma és lakossága rendkívül megnövekedett. Ennek következtében egyre nagyobb területet vettek birtokba a városlakók, melyet életvitelüknek, igényeiknek megfelelően átalakítottak, a természetes környezet kárára. A Világbank jelentése szerint (*World Bank, 2013*) 2012-ben a Föld népességének 52,5%-a élt városban, Magyarországi viszonylatban ez az arány közel 70% volt. Az 1. ábra hazánk vidéki és városi népességének megoszlását reprezentálja az 1950 és 2050 közötti időszakra vonatkozóan. Ezen is jól látható, hogy Magyarországon 1950-ben, igaz csak néhány százalékkal, de már meghaladta a városi lakosság száma a vidéken élőkét, s ez az arány azóta is folyamatosan növekszik. Természetesen a városok lélekszámára vonatkozó növekvő tendencia nemcsak Magyarországon, hanem világszerte megfigyelhető jelenség.



1. ábra: A vidéki és városi népesség megoszlása Magyarországon 1950 és 2050 között

*ENSZ előrejelzés

(Forrás: United Nations, 2011, http://esa.un.org/unup/Country-Profiles/country-profiles_1.htm nyomán)

A városok számának, népességének növekedésével egyre nagyobb figyelmet kapott a városklíma-kutatás. Városklíma alatt egy olyan egyedi, kizárólag városokra jellemző éghajlatot értünk, amely meteorológiai paramétereiben jelentősen eltér az azt övező természetes környezettől. Ennek kialakulása kizárólag arra vezethető vissza, hogy az ilyen területeken az emberi tevékenység koncentráltan jelentkezik. A mesterségesen létrehozott felületek, objektumok és egyéb antropogén tényezők hatására a városokban a természetes

viszonyokhoz képest módosul a napfénytartam, a sugárzási egyenleg, a szélviszonyok, a vízháztartás egyes komponensei, és nem utolsó sorban a hőmérséklet (Oke, 1982). A klímakutatók vizsgálatai alapján a meteorológiai elemek közül leginkább a hőmérsékleti értékekben fedezhető fel nagymértékű módosulás, a városok területén általában hőmérsékleti többlet figyelhető meg, ami az úgynevezett városi hősziget (angolul: Urban Heat Island = UHI) formájában nyilvánul meg. A városklímának és magának a hősziget-jelenségnek számos negatív hatása van, mely komfortérzetünk mellett egészségi állapotunkban is megmutatkozhat, de akár a növényzet vegetációs periódusaiban is zavart kelthet. Gondoljunk csak a nyári hőségre, kánikulára, vagy akár a ködös időben jelentkező szmogra, melyek mind csökkentik a városi élet minőségét, sőt szélsőséges esetben akár emberáldozatot is követelhetnek.

A fentebb leírtakból is láthatjuk, hogy a városklíma, illetve a városi hősziget-jelenség a városok számának és lélekszámának növekedésével, az épített környezet rohamos fejlődésével egyre nagyobb problémát és veszélyt jelent mindennapjainkra. Ezért is választottam szakdolgozatom témájaként a városi hőszigetek vizsgálatát.

Kutatásom a ***11. Kerületi Önkormányzat Környezetvédelmi Osztályának felkérésére, kifejezetten Újbudára összpontosít.*** E kerületen belül vizsgáltam a beépítettség által okozott változásokat a város klímájában, a városi felületek és azok hőmérsékleti értékeik közötti kapcsolatok, összefüggések alapján. Emellett olyan építészeti, városépítészeti, téralakítási megoldásokat mutatok be, melyekkel nagymértékben lehetne csökkenteni a kerületen belüli városi hőszigetek intenzitását, és ezzel párhuzamosan javítani a környezet minőségén.

2. A VÁROSI KLÍMA

2.1. A városklíma-kutatás történelmi áttekintése

A városklíma-kutatás története egészen az ókorból eredeztethető, ugyanis már Lucius Annaeus Seneca (i. e. 4 – i.sz. 65) is említést tett írásaiban arról, hogy a városi levegő különbözik a vidékétől. (*Landsberg, 1981*) Az ókor nagy filozófusa konkrétan leírja érzéseit, miszerint, Róma nehéz, bűzös, füstös levegője rossz hatással van hangulatára. Természetesen ebben a korban még csak az orrukkal érzékelték mindezt az emberek, ezzel kapcsolatos mérésekről, tudományos megfigyelésekről nincsenek feljegyzések.

A középkor világából Londont emelném ki a városklíma kapcsán. „Az eső, a pára és a köd városa”-ként is emlegetett brit fővárosban a fosszilis tüzelőanyagok égetéséből származó korom, illetve szennyezőanyagok nagyban hozzájárultak az úgynevezett füstköd, azaz a szmog kialakulásához. A 13-14. században már annyira szennyezett volt London levegője, hogy több alkalommal is kezdeményezni kellett a tüzelőanyagok égetésének betiltását. Ám ezek a próbálkozások nem voltak túl eredményesek. (Bartholy et al., 2013)

A londoni szmog 1952 decemberében érte el csúcspontját, ekkor alakult ki minden idők legveszélyesebb füstködje. Ez a több napig tartó füstköd teljesen megbénította az életet, a hivatalos adatok szerint több mint 4.000 emberéletet követelt, és emellett közel 100.000 ember légúti megbetegedését okozta. Nagy-Britannia történetének legsúlyosabb, és egyben legtragikusabb levegőszennyeződése hívta fel az emberek figyelmét a környezetvédelem és a légszennyezés törvényi szabályozásának, az emberek egészsége és az életkörülményeik közötti összefüggések vizsgálatának fontosságára. (*Landsberg, 1981*)

A 19. század végén, 20. század elején már egyre több kutató foglalkozott a városokban zajló folyamatok vizsgálatával, ugyanis komoly problémát jelentettek a városi életkörülmények okozta megbetegedések. Várostervezés szempontjából a friss levegő, az elegendő napfény biztosítása, és a komfortosság kezdett középpontba kerülni.

Luke Howard (1772-1864) amatőr meteorológus volt az első komoly szakember a városklimatológia területén (*Gartland, 2008*). Bár legtöbbször a felhők körében végzett munkásságáról ismerik nevét, az sem elhanyagolható tény, hogy ő volt az első, aki kutatásai során felismerte a városklíma jelenségét, hogy a városi területek egyedi, lokális klímával rendelkeznek. Első tanulmánya, melyben London éghajlatát vizsgálta, úttörőnek számított a városklimatológia területén (*Howard, 1833*). Ő állapította meg elsőként, hogy a belvárosban

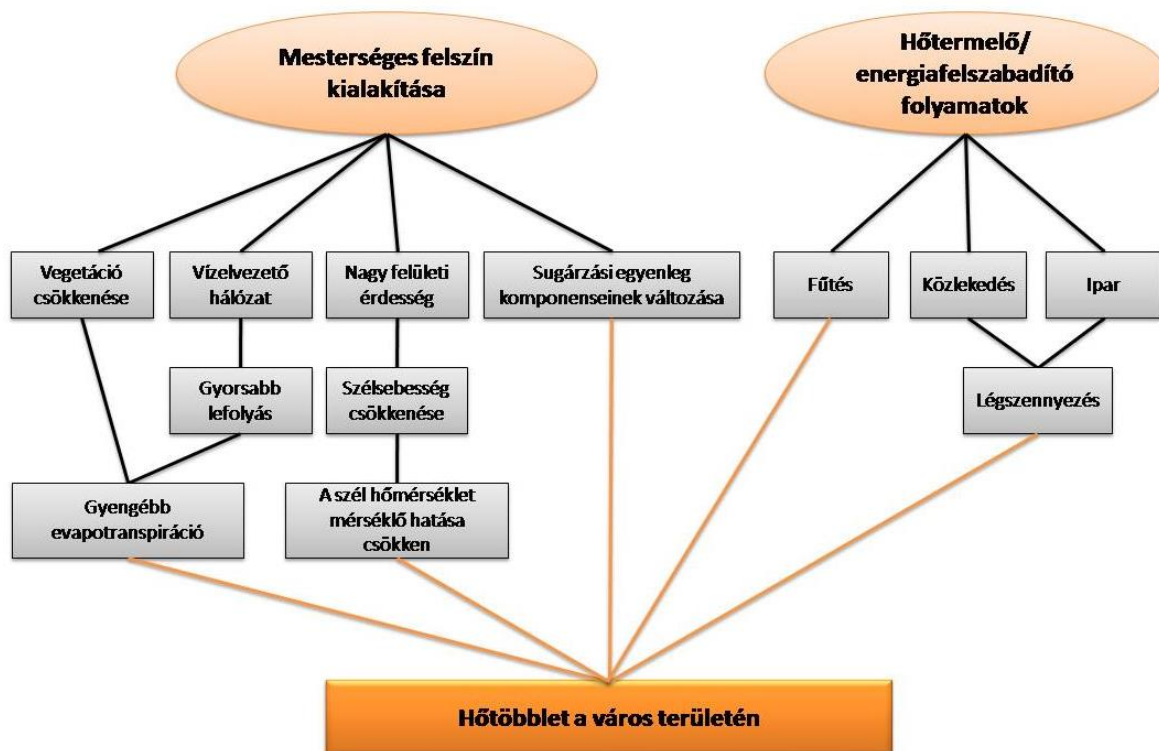
mért hőmérséklet magasabb, mint ami a városon kívüli térségre jellemző. Ezt a hőtöbbletet a város szerkezetének, zsúfoltságának, illetve a nagy mennyiségű üzemanyag használatnak tulajdonította. (*Howard, 1833*)

Ezt követően, Howard *The Climate of London* című művéhez hasonlóan, egyre több tanulmány, monográfia jelent meg, könyvtárnyi ismeret gyűlt össze, melyek témája többnyire nagyvárosok, illetve az azokat körülvevő területek vizsgálatára, az éghajlati elemek közötti különbségek megfigyelésére, a városi folyamatok ismertetésére terjedt ki. (*Bartholy et al., 2013*) Mindezek okait, forrásait csak később, a 20. század elején kezdték kutatni. Természetesen a legnagyobb előrelépést a mérőműszerek, mérőeszközök fejlődése jelentette a klímakutatás e területén. Az 1920-as, 30-as években a kutatásokat már nemcsak a rögzített mérőállomások adatai alapján végezték, hanem mobil méréseket lehetővé tevő járműveket alkalmaztak, melyekkel nagy térbeli felbontású adatokhoz jutottak. A fejlődés következő lépcsőfokát a nagy felbontású műholdak megjelenése jelentette az 1970-es években. Ma már számos meteorológiai paraméter származtatható egy műhold sugárzásmérő műszere által detektált adatokból. Az egyre jobb tér- és időbeli felbontásban rendelkezésre álló adatok segítségével még pontosabb jellemzést kaphatunk egy-egy város egyedi klímájáról.

A modern távérzékelési módszerek, eszközök közé sorolhatók még a helikopterekre, repülőgépekre szerelt fényképezőgépek, hő kamerák és egyéb sugárzásmérők, melyekkel a műholdas méréseknél is jobb térbeli felbontású képek, adatok készíthetők.

2.2. A városklíma kialakulásának okai

A klímakutatók a városok területén egyedi éghajlatot figyeltek meg. Ez az úgynevezett *városklíma*, melynek jellemzői elsősorban a város szerkezetétől, domborzatától, földrajzi elhelyezkedéstől, nagyságától és a benne található ipar jellegétől függnék (*Zöld, 1999*). Kialakulásának forrása a városi életforma terjedése, a városok lélekszámának növekedése, illetve az ezekkel együtt járó koncentráltan jelentkező emberi tevékenység. A mesterségesen kialakított városi környezet terheléseinek hatására a városokat jellemző különböző meteorológiai paraméterek jelentősen megváltoztak a természetes környezethez képest. A városokban jelentkező antropogén hatások ok-okozati összefüggését a 2. ábrán láthatjuk.



2. ábra: A városokban jelentkező antropogén hatások ok-okozati összefüggései (Probáld, 1965 nyomán)

A mesterséges felületek létrehozásával párhuzamosan a természetes felszínek (erdő, rét, stb.) egyre jobban kiszorultak a városok területéről. A vegetáció csökkenéséből következik, hogy a városon belül kisebb a növények általi párologtatás mértéke, így csökken a relatív nedvességtartalom is. A gyengébb evapotranspirációhoz az is hozzájárul, hogy a víz záró, vízhatlan felszíneknek és a vízvezető csatornahálózatnak köszönhetően a lehulló csapadék sokkal gyorsabban elfolyik a város területén, mint a természetes környezetben. Ezek következtében helyileg módosulnak a párologási paraméterek.

A városklíma szempontjából a mesterséges felszín egy másik hátránya, hogy a különböző magasságú épületek és a közöttük futó, szűk közlekedési útvonalak egyenetlenné, érdessé teszik a város felszínét, s ez nagyobb sűrűdást eredményez. Ennek következtében csökken a szél sebessége, ami azért jelent problémát, mert így gyengül a teljes turbulens hőszállítás, és a gyenge átkeveredés miatt a légszennyező anyagok koncentrációja is megnövekedhet.

Az 2. ábrán az is jól látható, hogy a mesterségesen kialakított felületek a sugárzási egyenlegre is hatással vannak. A város szennyezőanyagokkal teli légkörében gyengül a beérkező és a felszín által visszavert rövidhullámú napsugárzás (Oke, 1982). Ez utóbbi annak köszönhető,

hogy a közepes földrajzi szélességeken egy tipikus városi felszín albedója (sugárzás-visszaverő képessége) általában 5-10 %-kal alacsonyabb a vidéki, természetes felszínhez képest (Oke 1974). Általában a mesterséges felületek, anyagok sugárzás-visszaverő képessége kisebb, mint a természetes anyagoké, ezzel szemben a hőelnyelő- és hővezető-képességük jóval nagyobb. Kutatásom során összegyűjtöttem néhány, a városokban sűrűn előforduló anyagok hő-technikai tulajdonságaik jellemző értékét, amit az 1. táblázatban összegeztem.

1. Táblázat: Városokra jellemző anyagok hő-technikai tulajdonságai

[Bálint, 2005 és Bartholy et al., 2013 alapján]

Anyagok	Hővezetési tényező [W/mK]	Anyagok	Hővezetési tényező [W/mK]
Fa (légszáraz)	0,23-0,41	Építési üveg	0,90
Víz	0,48	Kavicsbeton	1,10-1.30
Soklyukú téglá	0,50	Vasbeton	1,30-1,75
Homokfeltöltés	0,58	Pala	2,32-3,37
Aszfalt	0,60-0,74	Acél	58,10
Tömör téglá	0,75-0,88	Alumínium	220,00

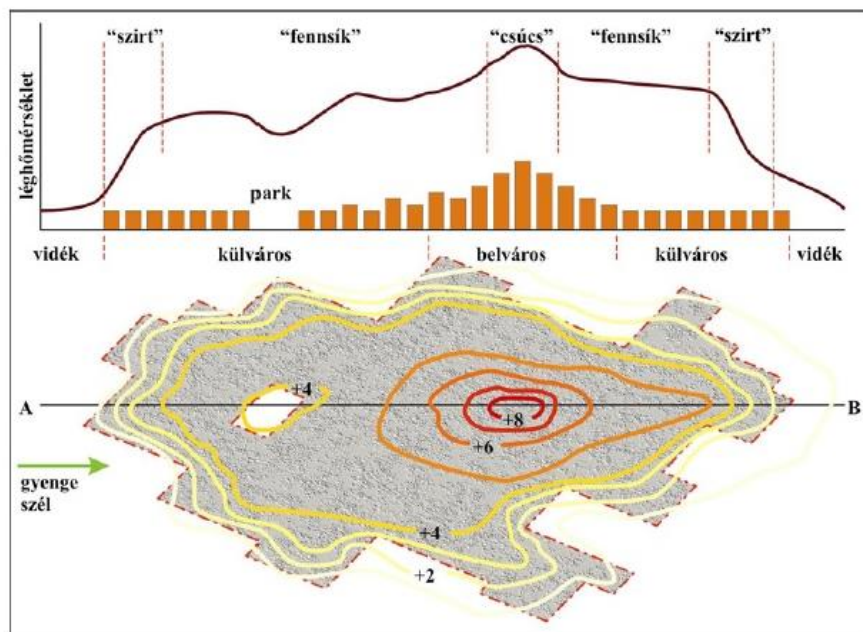
Definíció szerint a hővezetési tényező az a hőmennyiség J-ban kifejezve, ami 1 m² felületű, 1 m vastag falon, állandósult hőáramban, 1 másodperc alatt átvezetődik, ha a fal két oldalán a hőmérsékletkülönbség 1 °C (Bálint, 2005). Minél nagyobb egy anyag hővezető képessége, annál rosszabb hőszigetelőnek számít. Rossz hőszigetelés esetén a hő szabadon áramlik az adott szerkezeten, anyagon keresztül.

A mesterséges anyagok alacsonyabb albedója a sugárzási paraméterekben okoz változást, míg a nagyobb hővezető-képességük a város hőháztartási viszonyainak módosulását eredményezi, ami hőtöbblet formájában nyilvánul meg. Ezt a hőmérsékleti többletet tovább fokozzák az egyéb hő-termelő folyamatok, amelyek a városi életforma velejárói, mint például a közlekedés vagy az ipari tevékenység.

3. A VÁROSI HŐSZIGET

3.1. A városi hősziget ismertetése

Definíció szerint, a városokban jelentkező hőtöbbletet, azaz a város és a természetes környezete közötti hőmérséklet-különbséget nevezzük *városi hőszigetnek* (Landsberg, 1981). A „sziget” elnevezés tulajdonképpen a hőtérképen látható, zárt izoterma vonalak által kirajzolt formából származik, amit a 3. ábra is remekül szemléltet. Az is jól látható a képen, hogy a vidéki terület felől a város magja felé haladva, a város peremén hirtelen ugrás tapasztalható a hőmérsékleti értékekben. Tovább haladva, kisebb mértékű, de egyenletes hőmérséklet-növekedés mérhető, amit csak néhol szakít meg egy-egy park vagy vízfelület eltérő energiaegyenlege. A hőmérsékleti csúcspont pedig a sűrűn beépített belvárosban detektálható (Oke, 1987). Ebből is látszik, hogy a felszín anyaga jelentősen befolyásolja a hősziget horizontális szerkezetét.

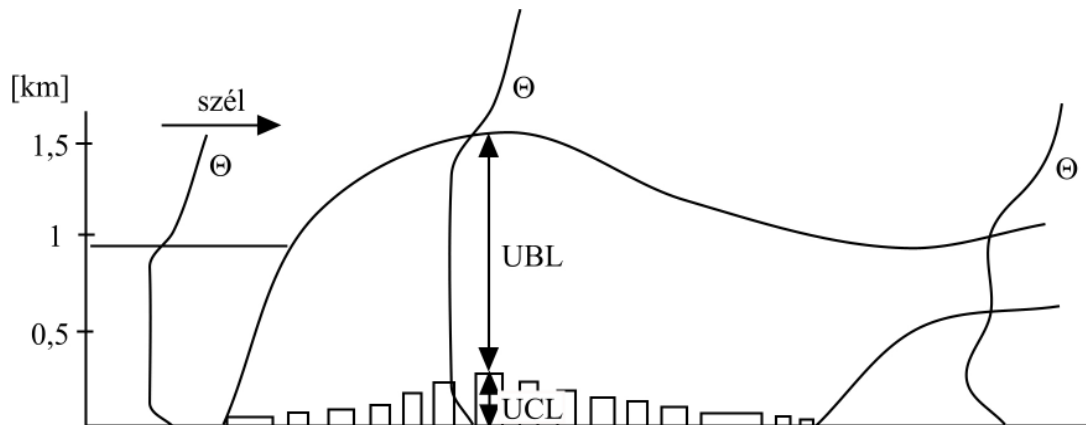


3. ábra: A városi hősziget keresztmetszeti képe és vázlatos horizontális szerkezetének ideális időjárási körülmények között (Unger és Sümegegy, 2000)

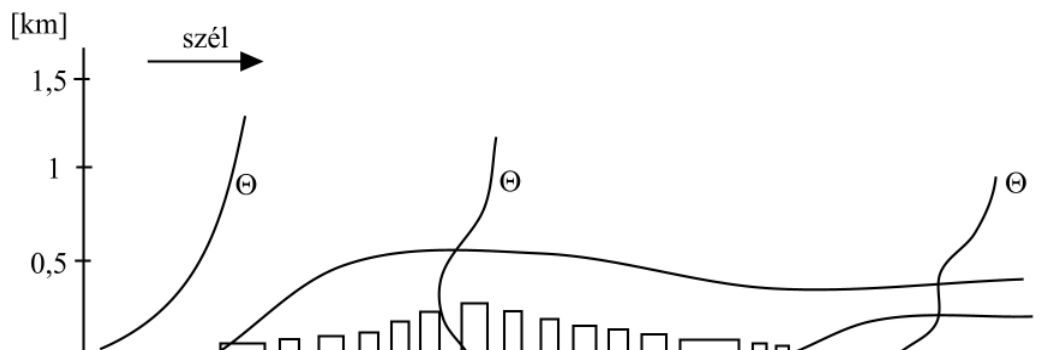
Láthatjuk, hogy az izotermák a város szélén sűrűbben helyezkednek el, mint a városmagban, ami annyit jelent, hogy ott már kisebb a hőmérsékleti gradiens (Oke, 1982). Azt is meg kell említeni, hogy gyenge szél esetén az izotermák kissé eltolódnak horizontálisan, a légáramlás irányába. A városi hősziget előbb ismertetett, viszonylag szabályos alakja, csak olyan ideális

időjárási körülmények között jön létre, amelyek elősegítik a kisléptékű klimatikus folyamatok kialakulását (Bottyán, 2008).

Természetesen, a városi hőszigetnek vertikális kiterjedése is van, amely egy úgynevezett hőkupola formájában jelenik meg a város felett. Oke, (1982) Ennek alakja és magassága a szél és a napszak függvényében módosulhat, amit a 4/a és 4/b ábrán is jól láthatunk.



4/a ábra: A városi hősziget vertikális szerkezete nappali órákban (Dezső, 2009)



4/b ábra: A városi hősziget vertikális szerkezete éjjeli órákban (Dezső, 2009)

Vertikális irányban 10 métertől akár 300 méterig is kimutatható a városi hősziget, ez a magasság viszont nagymértékben függ a felszínen tapasztalt hatások erősségétől és a légkör stabilitási viszonyaitól. A városi határretegben a függőleges hőmérséklet gradiens kicsi. (Oke 1987) Szakdolgozatom keretein belül a városban kialakuló hőtöbblet horizontális kiterjedését, erősségét tanulmányozom műholdakkal mért felszínhőmérsékleti adatok felhasználásával.

A hősziget-jelenség leginkább intenzitásával jellemezhető, ami jelentős időbeli és térbeli változást mutat a városon belül. Az intenzitás többféle módon is meghatározható. A számítás persze függ az adatgyűjtés módszerétől és az adott városra vonatkozó adatok mennyiségétől

(Dezső, 2009), de lényegében a városközponti és városkörnyéki területek hőmérséklet-különbségéből származtatható (Probáld, 1974). Ez a különbség Budapesten jellemzően 6-10 °C körül mozog.

A hősziget intenzitása függ a szinoptikus helyzettől, a napszaktól, az évszaktól, a beépítettségétől és a felszíni anyagoktól. A városi hősziget kialakulásának leginkább a szélcsend és a derült, felhőmentes idő, azaz az anticiklonáris helyzet kedvez (Oke, 1982).

A városi hősziget jellegzetes napi menettel rendelkezik, viszont ez a felhasznált hőmérsékleti adatok típusának függvénye. A 2 méteres magasságban mért léghőmérsékleti értékekből számított hősziget intenzitása általában napnyugta után 2-3 órával a legerősebb. Ettől eltérően, a műholdak által detektált felszínhőmérsékleti értékekből származtatott hősziget pedig dél körül a legintenzívebb (Bartholy, et al., 2013).

Az előbb említett hőmérsékleti különbségnek, eltérésnek több oka is van:

- Egyrészt a két hőmérséklet típust más-más tényezők befolyásolják. Míg a felszínhőmérséklet értéke a felszín energiaegyenlegének függvényében változik, addig a léghőmérséklet nagysága az advekciós folyamatoktól függ.
- Másrészt a műholdak nem tudják a 100%-ban detektálni a földfelszín felől érkező hosszúhullámú sugárzás mennyiségét, mivel az aktív felszín egy része a fák és épületek takarásában van, s ezek a területek úgymond láthatatlanok a szenzorok számára. Egy sűrűn beépített terület esetén az aktív felszín eredeti mérete akár 2-3-szor is nagyobb lehet, mint a műhold által detektált terület nagysága.
- Az előbb említett kétféle méréssel detektálható hőmérsékleti értékek közötti eltérés harmadik oka az, hogy a léghőmérséklet kialakulásához a teljes városi felszín hozzájárul, viszont nagy napmagasság esetén a vízszintes felületek jobban felmelegednek, mint a függőlegesek. Így a felszínhőmérsékleti értékek jóval magasabbak, és nagyobb szórással rendelkeznek, mint a léghőmérsékleti értékek (Bartholy et al., 2013).

A városi hősziget éves menettel is rendelkezik. A felhasznált adatok típusától függetlenül, általánosságban elmondható, hogy nyári időszakban nagyobb intenzitást mutat, mint télen.

3.1. A hősziget kialakulásának okai

A hősziget kialakulásának háttérében kizárólag antropogén eredetű hatások állnak, melyek elsősorban a sugárzási egyenleg módosulásában mutatkoznak meg. Az alábbiakban a városokban keletkező hőmérsékleti többlet lehetséges okait, forrásait gyűjtöttem össze, *Oke (1982)* írásai alapján.

➤ *Nagyméretű aktív felszín a sugárzási folyamatok szempontjából:*

A városokban kiépült mesterséges felszín a sugárzási folyamatok szempontjából egy nagyméretű aktív felületnek számít, hiszen a természetes felszínhez képest jóval nagyobb részét nyeli el a rövidhullámú sugárzásnak, emellett növeli a hosszuhullámú sugárzás visszaverődését.

➤ *Szennyezett városi levegő:*

A koncentráltan jelentkező emberi tevékenység következtében, a város levegője jelentős szennyezésnek van kitéve. A megnövekedett szennyezőanyag-koncentráció miatt a városi légtérben intenzívebb a felszín által kibocsátott hosszuhullámú sugárzás abszorpciója és újbóli kibocsátása.

➤ *Égbolt-láthatóság csökkenése:*

A városokban kiépített egyedi geometria (szűk utcák, eltérő magasságú épületek) miatt, csökken az *Égbolt - Láthatósági Faktor (Sky View Factor – SVF)*, azaz a városi felszín feletti nyitottság mértéke. Ez azért jelent hátrányt, mert így a felszín által kibocsátott/visszavert sugárzás nagy része „falba ütközik”, s ezáltal nem jut ki a városi határrétegből. Így a sugárzási egyenleg szempontjából nincs akkora hosszuhullámú sugárzásvesztés, mint természetes felszín esetén lenne.

➤ *Antropogén eredetű hőtöbblet:*

A közlekedés, az ipari tevékenységek és a fűtés által termelt plusz hő az egyik alapforrása a városi hőszigetnek a városi határrétegben.

➤ *Mesterséges anyagok rossz hőtechnikai tulajdonságai:*

A városokban alkalmazott anyagokról általánosságban elmondható, hogy alacsony az albedójuk, ami leginkább sötét színűeknek köszönhető. Emellett hővezető-, hőtároló-

képességük jóval magasabb, mint a természetes anyagoké, ami a városi határréteg szenzibilis hőjének raktározását segíti elő.

➤ *A víz gyors lefolyása:*

A mesterséges, vízzáró/vízvezető anyagoknak, és a városokban kiépített csatornahálózatnak köszönhetően a csapadék sokkal gyorsabban lefolyik, mint azt természetes környezetben tenné, ezzel is csökkentve az evapotranspirációt. Ezáltal a teljes sugárzási egyenlegben csökken a látens hőáram aránya.

➤ *Városi felszín érdekessége:*

A már korábban is említett egyedi utcageometria miatt, a város felülete érdekes, ami a szélsőségek csökkenését eredményezi. Ez pedig csökkenést jelent a teljes turbulens hőszállításban.

3.3. A városi hősziget hatásai, következményei

Felmerülhet az olvasóban a kérdés, hogy miért van ekkora jelentősége a város és a természetes környezete közötti hőmérséklet-különbségnek, miért kell ekkora figyelmet fordítanunk erre a jelenségre (*Gartland, 2008*). A válasz a hősziget következményeiben rejlik, ugyanis közvetlen vagy közvetett módon, de minden egyes városlakó életét érintik hatásai. A hősziget egy összetett és szerteágazó jelenség, amit klimatikus, biológiai, gazdasági és egészségkárosító hatásai is jól bizonyítanak. A következő részben a legfontosabb következményeket ismertetem.

A városi hősziget hatásai közül, első helyen említendő, hogy *befolyásolja a légtér termikus komfortviszonyait* (*Unger, 2010*). Ez azonban kétoldalú dolog. Télen kifejezetten kedvező, hogy a városközpont melegebb a környezeténél, hiszen így *csökken az épületek fűtési energiaigénye és a fűtési napok száma* (*Unger és Sümeghy, 2002*), emellett jobb a komfortérzetünk, nyáron viszont kellemetlenséget okoz, ha az akár hetekig is eltartó hőhullámok idején a hősziget-hatás tovább fokozza a *kánikulát és a szárazságot*. A nyári nagy hőségben fokozódik a különféle megbetegedések, a *hőguta, a napszúrás, és a hőségcs előfordulásának az aránya*, melyek szélsőséges esetekben akár halálos kimenetelűek is lehetnek. Az emberi test folyamatosan próbál egyensúlyt tartani a környezettel. Ezt úgy éri el, hogy amennyi hőt termel, illetve fölvesz, annyit le is ad. Ez a mérleg viszont könnyen kibillen a nyári hőségben, amikor a szervezetnek a napsugárzásból, valamint az épületek

kisugárzásából származó többlet hő-bevétellel is egyensúlyt kell tartania, ráadásul úgy, hogy a szélcsend és a város zsúfoltsága mindebben korlátozza. (Unger, 2010)

Egészségünkre nemcsak a kritikus hőmérsékleti értékek jelentenek veszélyt. Anticiklonális időjárási körülmények között a hősziget intenzitása mellett a városi levegő *ózon- és szállópor-koncentrációja is megemelkedik*, ami szélsőséges esetben akár fotokémiai *szmog kialakulásához* is vezethet. Ezek pedig súlyos légzőszervi megbetegedéseket, rohamokat idézhetnek elő a városlakóknál. (Unger, 2010)

A városi hőtöbblet egy másik fontos következménye, hogy a *téli napok sokkal enyhébbek*, emellett *megrövidül a hóval való borítottság ideje*, s ezzel párhuzamosan *csökken a fagymentes időszak* is. Mindez a város növényvilágára is kihat, hiszen *vegetációs periódusaik meghosszabbodnak, fenológiai fázisaik eltolódnak* a természeteshez képest. (Unger, 2010)

A következmények sorában még a városi hősziget egyik klimatikus hatását fontos megemlíteni, mégpedig az úgynevezett *városi szél kialakulását*. Ezt a helyi légmozgást alapvetően a város geometriája és az ott jelentkező hőtöbblet indukálja, s a jól ismert tengerparti szél analógiája szerint működik. A sűrűn beépített városközpont melegebb a környezeténél, így a hűvösebb, s ezáltal magasabb nyomású külterület felől megindul a légáramlás az alacsony nyomású központ felé az alsóbb légrétegekben (Probáld, 1974). A parti cirkulációval ellentétben a városi szél iránya nem változik, hiszen a város és környezete közötti hőmérséklet-különbség állandó, viszont csak egy bizonyos mértékű termikus különbség esetén indul be ez a fajta cirkuláció. Kialakulását leginkább az erős besugárzással járó anticiklonáris időjárás segíti elő.

4. LEHETŐSÉGEK A VÁROSI HŐSZIGET INTENZITÁSÁNAK MÉRSÉKLÉSÉRE

Kutatások igazolják, hogy nagymértékben lehetne csökkenteni a városi hősziget intenzitását, ha a városokban zajló építkezések, átalakítások előtt a tervezési fázisban nagyobb figyelmet kapna ez a jelenség. Éppen ezért, szakdolgozatom következő fejezetében néhány városrendezési és építészeti megoldást fogok bemutatni, melyekkel ilyen téren pozitív változás érhető el.

4.1. Megfelelő városi geometria kiépítése

A városok fejlődése során egyre több és egyre nagyobb épületek borították be az egykor még vegetációval fedett természetes felszínt. Az épületekkel és a közöttük futó szűk utcákkal olyan mély csatornák, úgynevezett kanyonok jöttek létre, amelyek nagyban hozzájárultak a városi klíma és a városi hőtöbblet kialakulásához. Mivel az épületek nagy vertikális kiterjedése korlátozza a kisugárzási felületet, így csökken a hő-transzport és a hosszuhullámú kisugárzás, melynek következtében csökken a helyi turbulencia. (*Bottyán, 2008*) Ebből az ok-okozati összefüggésből is láthatjuk, hogy a város geometriája meghatározó szerepet játszik a városi hősziget kialakulásában és területi eloszlásában. A hősziget mérséklésére irányuló egyik alapvető megoldás az lenne, ha alacsonyabb épületeket és szélesebb utcákat építenének ki a városokban. Ezzel egyszerűen növelni lehetne a városi felszín feletti nyitottság mértékét. Nem utolsó sorban pedig a szélesebb utcák mentén lenne elegendő hely zöld sávok, fasorok telepítéséhez. Mindez azért lenne fontos, hiszen a nagyméretű, zárt lombkoronájú fák árnyékukkal csökkentik a felszíni hőmérsékletet, a sejtjeikben lévő nedvesség párologtatásával pedig hőt vonnak el a környezetüktől, így a léghőmérsékletet is szabályozzák. (*Oláh, 2012*) A megfelelő városi geometria elősegítheti egy városi szélrendszer kialakulását is, ami a város feletti légtér hatékony átszellőzését biztosíthatja (*Oke, 1987*).

4.2. Megfelelő albedójú tetők, burkolatok alkalmazása

Mint már azt az előző fejezetben is említettem, a város klímáját jelentősen befolyásolja annak szerkezete, a beépítettség mértéke és a mesterséges felszínek anyagai. A városklíma szempontjából nem megfelelő anyaghasználat (beton, aszfalt, üveg, fém, kerámia stb.) miatt, egyes épületek forró pontként jelennek meg a városban (*Oláh, 2012*). A burkolatok, a

homlokzatok vagy a tetők esetében érdemes olyan anyagokat választani, melyek viszonylag nagy albedóval rendelkeznek, azaz nagymértékben visszaverik a Napból érkező rövidhullámú sugárzást. Emellett az sem hátrány, ha minél jobb a vízvisszatartó képességük, hiszen a víz gyors lefolyásának megakadályozásával növelhető a párolgás mennyisége, ezáltal javulhat a város vízháztartási egyenlege. Az elnyelt napsugárzás mennyiségének csökkentése leginkább a világos színű felületek alkalmazásával érhető el. Ennek megvalósítását tűzték ki célul az Egyesült Államokban 1993-ban indult „cool roof” illetve „cool paving” programok. A „cool roof” projekt keretében fehér tetőfedő anyagokat használtak egyes philadelphiai épületeken, a „cool paving” projekt során pedig fehér burkolatot kapott Los Angeles állatkertje. Ezeknek az építészeti praktikáknak köszönhetően növelték az adott felületek albedóját, és jelentősen csökkentették azok felmelegedését. (Rosenfeld et al., 1995)

4.3. Vízfelületek növelése

Számos kutatási eredmény bizonyítja, hogy egy városon belül a vízfelületnek van a legjelentősebb hősziget-mérséklő hatása. Ez leginkább a vízfelszín párolgásának köszönhető, ami szabályozza a levegő vízháztartási viszonyait. A nyári és átmeneti időszakban a vízfelületek jelentik a leghűvösebb, míg télen a legmelegebb pontokat egy városban. Budapesten a klimatikus szélsőségek mérséklésében a Dunának van a legnagyobb szerepe, hűtő hatása akár több mint 10 °C is lehet (Oláh, 2012). Ezt a hatást csak fokozza, ha a természetes vízfelületeket növényzet övezi. Fontos megemlíteni, hogy nemcsak a nagyméretű tavak, folyók képesek a hőmérséklet szabályozására.



5. ábra: Budapest VIII. kerület, 4-es metró megállója a Rákóczi téren (forrás: saját fotó)

Kisebb vízfelületekkel, például mesterségesen kialakított csatornákkal, szökőkutakkal vagy éppen az 5. ábrán látható víz-architektúrával is jelentős hatás érhető el ilyen téren.

Az eddigi tapasztalatok és megfigyelések alapján azt mondhatjuk, hogy klimatológiai szempontból erősen ajánlott a városon belüli vízfelületek kialakítása, széleskörű alkalmazása.

4.4. Parkosítás

A városi hősziget intenzitásának mérséklésére a vegetációval borított területek is alkalmasak. A biológiailag aktívnak számító zöldfelületek amellet, hogy növelik a város esztétikáját, jelentős kondicionáló hatással bírnak. Az oxigéntermeléssel, a szén-dioxid- és a por megkötésével javítják a levegő minőségét, és egyben mérséklük az üvegházhatást, a párologtatással szabályozzák a vízháztartási viszonyokat, energiagazdálkodásukkal pedig elősegítik a városi levegő kicserélődését, regenerálódását. Emellet növelik a felszín és felszín alatti vizek minőségét, s megakadályozzák a talaj mennyiségi és minőségi romlását (*Fórián és Hagymássy, 2009*). Azt a tényt sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a parkok, zöldfelületek nagy szerepet játszanak a jó közérzet kialakításában. Egy a nagyvárosok lakosságának körében végzett közvélemény-kutatás szerint a megkérdezettek 90%-a legfontosabb környezeti értéknek a lakókörnyezet zöldterületét tartja (*Nagy, Gy. et al. 1998*). Az előbb említett pozitívumok megvalósíthatók például lakóterületi közparkok kialakításával, parkolók, állomások, pályaudvarok fásításával, utca menti zöld sávok telepítésével. Vizsgálatok eredményei kimutatták, hogy erre a célra a zárt lombkoronaszintű, fás szárú, jó várostűrő növényállomány a legmegfelelőbb, ugyanis ezek bizonyultak a leghűvösebbnek (*Oláh, 2012*).

4.5. Zöld szerkezetek alkalmazása

Az eddig említett lehetőségek mellett, kiváló megoldást jelentenek a városi hősziget intenzitásának mérséklésére, az építészet terén egyre nagyobb teret hódító úgynevezett „zöld szerkezetek”. A kifejezés magában foglalja a növényzettel borított zöld homlokzatokat, tetőket és burkolatokat. Ezek az építészeti lehetőségek amellet, hogy esztétikájukkal javítják a város összképét, a folyamatos oxigéntermeléssel mérséklük a levegő szennyezettségét, és a

növényi sejtekben lévő víz párologtatásával hozzájárulnak a léghőmérséklet szabályozásához (Zöld, 1999). A következő sorokban e zöld szerkezeteket mutatom be részletesebben.

4.5.1. Zöld homlokzatok

A zöld homlokzatok típusai:

Két típust különböztetünk meg a támaszrendszer-igényük alapján.

- *Támaszrendszer nélküli homlokzat:*

Ilyen homlokzat alakítható ki például borostyán vagy vadszőlő telepítésével. Ezek a növények nem igényelnek különösebb tartószerkezetet, hiszen járulékos gyökerekkel, kacsokkal képesek megkapaszkodni az épület falán.

- *Támaszrendszert igénylő homlokzat:*

Vannak olyan növényfajok, melyek csak valamilyen támasztékra képesek felfutni, így kiegészítő szerkezetet kell biztosítani az épület falán, vagy előtte. Ilyen növény például a kínai lilaakác, ami szárának csavarodásával tud a támaszrendszerre kapaszkodni.

Egy másik variációja a támaszt nem igénylő zöldhomlokzatoknak, amikor a futó növényeket a tetőről csüngetik le. Ez egy ritkábban alkalmazott típus.



6. ábra: Zöld homlokzat Budapest 8. kerületében (forrás: saját fotó)

Zöld homlokzatok előnyei:

- A fotoszintézis során a növények a szén-dioxidot oxigénné alakítják át, ezáltal javítják a levegő minőségét, csökkentik az üvegházhatást.
- Megkötik a levegőben lévő port, ezzel is csökkentve a légszennyeződést.
- A növények levelén keresztül történő párologtatás a környezettől hőt von el, a levegő páratartalmát pedig növeli.
- A homlokzat előtti növényfal védelmet biztosít az épületnek a napsugárzással és a hőingadozással szemben, hiszen árnyékoló funkciója mellett még reflektálja is a napsugárzás nagy részét.
- A növényfal egyfajta „szél-fékként” működik, ezáltal csökkenti az épület szél általi hő-vesztését.
- Védi a falat a csapóesőtől, csökkentve ezzel az épület felületi erózióját.
- A homlokzat előtti növénytakaró egy plusz hőszigetelő rétegnek számít, ami nyáron hűt, télen pedig izolál, azaz csökkenti az épületből kiáramló energia mennyiségét.
- A levélzet zajvisszaverő és zajelfedő tulajdonságokkal rendelkezik, így rendkívül jó hangszigetelést nyújt.

4.5.2. Zöldtetők

Zöldtetők típusai:

Zöldtetők között két fő típust különböztetünk meg. Az egyik az *extenzív*, azaz az *ökotető*, a másik pedig az *intenzív*, hétköznapi nevén a *tetőkert*.



7. ábra: Intenzív zöldtető Chicago városában

A legfőbb eltérés a két típus között, hogy a tetőkert emberi tartózkodásra is alkalmas, az ökotető pedig egy olyan könnyűszerkezet, amely csak kisméretű, utólagos gondozást nem igénylő növények számára biztosít szerkezeti alapot. Ebből következik, hogy ennek fenntartása sokkal gazdaságosabb. Az intenzív tető a vastagabb termőföld-rétegének köszönhetően növények széles körének telepítésére alkalmas, sőt kisebb tavak, patakok kialakítását is lehetővé teszi. A két tetőfajta további tulajdonságait, különbségeit a következő táblázatban foglaltam össze.

2. Táblázat: Zöldtető típusok főbb jellemzői (forrás: Nagy et al., 1998)

	Extenzív zöldtető - ökotető -	Intenzív zöldtető - tetőkert-
Talajréteg vastagsága:	6-20 cm	20-40 cm
Növényzet és a talaj együttes tömege m²- enként:	50-120 kg	390-730 kg
Tetőszerkezet típusa:	lapostető, és akár 33%-os lejtésű tető	lapostető, és/vagy 3% alatti lejtésű tető
Telepíthető növényfajok:	szárazságtűrő gyepek, kisméretű, sziklakerti növények	örökzöld és lombhullató fák, bokrok, cserjék,
Funkció:	városklíma és városkép javítása	városklíma és városkép javítása, emberi tartózkodás

Zöldtetők előnyei:

- A tető növényzete a vízpárolgató és oxigéntermelő folyamatok során javítja a helyi mikroklímát. A párolgásnak a léghőmérséklet szabályozásában, az oxigéntermelésnek pedig légszennyezettség csökkenésében van nagy szerepe.
- Mivel a zöldtető egyben szigetelő réteg is, így télen kisebb az épület fűtésigénye, nyáron pedig a hűtésigénye.
- A csapadékvíz felszívásával, tárolásával, illetve a vízfolyás késleltetésével csökken a város vízvezető hálózatának igénybevétele, emellett a városi vízháztartást a természeteshez közelítik.

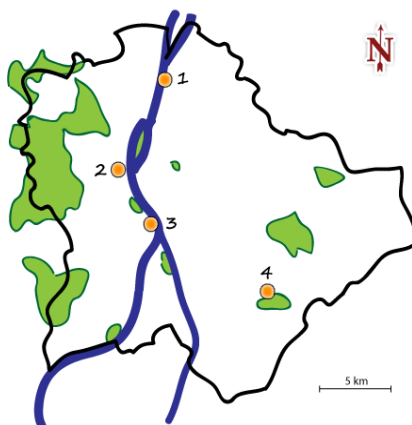
- A talajréteg és maga a növényzet hangszigetelő hatású, így gátolják a hanghullámok bejutását az épületbe.
- Az ilyen funkciójú tető új életteret biztosít bizonyos növényeknek és állatfajoknak.
- Javítja a városképet, emellett megnyugtató, közérzetjavító látványt nyújt a városi betonrengetegben.
- A jól kialakított intenzív zöldtető plusz lehetőséget kínál az embereknek szórakozás és pihenés szempontjából.

5. A VÁROSI HŐSZIGET INTENZITÁSÁNAK MÉRÉSE

A városi hősziget intenzitásának meghatározása felszín- vagy léghőmérsékleti adatok alapján történik. Az elmúlt évtizedek technikai fejlődésének köszönhetően számos olyan új mérőműszer, mérési módszer jelent meg, ami a városklimatológiai mérések során is meghonosodott. E fejezetben a hőmérsékleti adatgyűjtés napjainkban használatos eszközeit, és a városklimatológiában alkalmazott módszereit szeretném ismertetni.

5.1. Hagyományos meteorológiai mérőállomások

A legalapvetőbb mérési módszer a telepített mérőállomásokon elhelyezett léghőmérséklet mérő eszközökkel történik. Az információszerzés ilyen formája (WMO szabvány szerint) *in situ*, azaz közvetlen, mely során a műszer érzékelője közvetlenül érintkezik a mérendő közeggel (Mészáros, 2013). Előnye, hogy napsütéses és felhős időben egyaránt alkalmazható folyamatos adatgyűjtésre, így 10 percenként nyerhetünk léghőmérsékleti adatokat, ami napi 144 (6x24) db adatot jelent (Lelovics, 2010). E módszer hátránya az, hogy így csak a mérőállomás közvetlen környezetéről kapunk jellemzést a detektált meteorológiai paramétereken keresztül. Budapesten belül az Országos Meteorológiai Szolgálatnak jelenleg 4 olyan mérőállomása van, ami a kutatások, tanulmányok szempontjából már megfelelő hosszúságú adatsorral rendelkezik. Ezek a következők: Kitaibel Pál utca (II. kerület), Lágymányos (XI. ker.), Pestszentlőrinc (XVIII. ker.), Újpest (IV. ker.). A mérőállomások területi elhelyezkedését a 8. ábra mutatja be.



**8. ábra: Az Országos Meteorológiai Szolgálat meteorológiai mérőhálózata Budapesten
(1- Újpest, 2- Kitaibel Pál utca, 3- Lágymányos, 4- Pestszentlőrinc)
(forrás: Lelovics, 2010)**

Természetesen a mérőállomások telepítésénél figyelembe kell venni a környező terület domborzati adottságait és beépítettségét. A városklíma-kutatások során, a reprezentatív eredmények érdekében, érdemes kerülni az olyan területeket, ahol a domborzat hatására kialakult klimatikus jelenségek (felhőzet, hegy-völgyi szél, köd) szignifikánsan befolyásolhatják a város lokális klímáját. Emellett az sem elhanyagolandó, hogy milyen mesterséges objektumok (erőművek, nagyméretű burkolatok) találhatóak a mérőállomás közelében, hiszen ezek szintén markáns eltéréseket okozhatnak a méréseknél. Láthatjuk, hogy egy teljes mérőhálózat kialakítása nagy szaktudást és odafigyelést igényel, emellett jelentős anyagi forrás szükséges hozzá. (Bartholy et al., 2013)

5.2. Mobil mérések

Egy másik *in situ* mérési módszer az úgynevezett mobil mérés, mely különböző közlekedési eszközökre (autóra, kerékpárra) szerelt műszerekkel történik. Az adatgyűjtés e formáját leginkább kisebb városokban alkalmazzák. Maga a mérési folyamat úgy néz ki, hogy az adott települést kis cellákra osztják fel, majd a járművel végighaladnak a városon egy olyan előre megadott útvonalon, amely mindegyik cellát érinti. Ezután a detektált léghőmérsékleti adatokat cellánként átlagolják.

Nagyobb városok esetén nem érdemes ezt az adatgyűjtési módszert alkalmazni, hiszen ott sokkal hosszabb utat kell megtennie a járműnek a teljes térbeli lefedettség eléréséhez, ami rendkívül idő- és pénzigényes. Azt is figyelembe kell venni, hogy egy hosszabb expedíció során a mérendő meteorológiai paraméter természeténél fogva is változik (pl. a léghőmérséklet), ezért a hibafaktor csökkentése érdekében az eredmények kiértékelésénél különböző matematikai módszerekkel kell standardizálni a mért adatokat. Előnye viszont, hogy felhős és derült időben egyaránt alkalmazható, és ezzel a technológiával 10 másodpercenként detektálható léghőmérsékleti adat.

5.3. Repülőgépes mérések

Az utóbbi évtizedekben kezdett elterjedni a repülőgépekkel, helikopterekkel történő *in situ* adatgyűjtési módszer, mellyel a műholdas méréseknél sokkal jobb térbeli felbontású felvételek készíthetők. A levegőkémiai és felhőfizikai folyamatok vizsgálata és modellezése

mellett a városklimatológiai kutatásoknál is előszeretettel alkalmazzák ezt a technológiát. A repülőgépekre szerelt modern, digitális műszerek a látható és az infravörös tartományban egyaránt készítenek felvételt. Az utóbbi segítségével meghatározható egy adott terület felszíni hőmérséklete, amit könnyen össze lehet hasonlítani a látható tartományban készült ortofotókkal. Ezeken a fotókon jól látszik a vizsgált város struktúrája, beépítettsége, és jól elkülöníthetőek a mesterséges és a zöldfelületek. Mindezt összevetve a mért hőmérsékleti adatokkal, egyértelműen kirajzolódik a városfelszín hőmérsékleti mintázata, s a hőtöbblet forrásaira is fény derülhet. Egyetlen hátránya ennek a módszernek, hogy jelentős anyagi háttérrel igényel, emiatt rendszeresen nem, csak expedíciószerűen végeznek ilyen módon méréseket. Pozitívumként említhető viszont, hogy, csak úgy, mint a korábban részletezett két adatgyűjtési módszer, ez is alkalmazható felhős időben. Ilyen esetben a repülőgép a felhőzet szintje alatt végzi a megfigyelést. (Bartholy *et al.*, 2013)

5.4. Műholdas adatgyűjtés

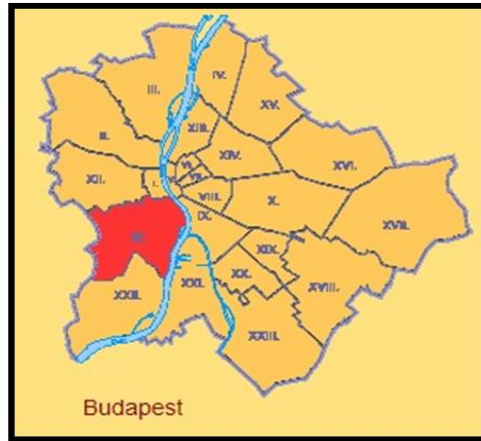
A műholdas távérzékelés napjaink legmodernebb technológiáinak egyike. Ez a fajta közvetett mérés a meteorológia tudományágában is remekül hasznosítható. A Föld körül keringő műholdak alapvetően két nagy csoportba sorolhatók: *geostacionárius* és *kvázipoláris* műholdak.

A geostacionárius műholdak a Földdel együtt keringenek, körülbelül 35800 km magasan, pályasíkjuk pedig az egyenlítő síkjában fekszik. Ezekből következik, hogy az ilyen típusú műholdak szenzorai a Földnek mindig ugyanazt a pontját figyelik. Funkciójukat tekintve képfelvételek készítésére, adatgyűjtésre és adattovábbításra használhatók. Ezzel szemben a kvázipoláris műholdak a Föld körül 600-1500 km magasságban keringenek. Pályasíkjuk az északi és déli pólus mellett is elhalad, így ezek összességében az egész bolygót pásztázzák, de egyszerre csak egy kisebb részt tudnak megfigyelni. A kvázipoláris műholdak adatgyűjtésre, képfelvétel készítésére, vertikális szondázásra és közvetlen adatszolgáltatásra is alkalmasak. (Mészáros, 2013) A városklíma-kutatás szempontjából a műholdak által detektált adatok használatának előnye azok térbeli és időbeli felbontása. Mivel a geostacionárius műholdak magasabban mozognak, így azok szenzorai kisebb térbeli felbontású adatokat szolgáltatnak, mint a kvázipoláris műholdak, viszont időbeli felbontásuk sokkal jobb, képesek akár 15 percenként is felvételek készítésére.

A műholdakon elhelyezett sugárzásmérők segítségével meghatározhatók olyan meteorológiai paraméterek (pl: felszínhőmérséklet), melyekkel könnyen jellemezhető egy adott térség éghajlata, klímája. Emellett a műholdfelvételeknek köszönhetően számos felszíni paraméter is meghatározható, mint például a felszín anyaga, felszínborítottság, vagy éppen a vegetáció állapota, melyek szintén befolyásolják egy adott terület éghajlati tulajdonságait. E paraméterek felhasználásával a városon belüli hőszigetek is vizsgálhatók, jellemezhetők. Egyetlen hátránya ennek a mérési módszernek, hogy csak derült, felhőmentes időben használható reprezentatív adatok gyűjtésére.

6. BUDAPEST 11. KERÜLETÉNEK BEMUTATÁSA

Ebben a fejezetben a szakdolgozatom keretén belül végzett kutatásunk, vizsgálatunk helyszínét, a 11. kerületet, azaz Újbudát mutatom be részletesen.



9. ábra. Budapest kerületei, pirossal Újbuda (11. kerület) (forrás: www.terkep.net)

Újbuda területi kiterjedés szempontjából (33,49 km²) a főváros nyolcadik legnagyobb kerülete. Buda déli részén található, keletről a Duna, nyugatról pedig Budaörs határolja. Északi szomszédja a 12. és az 1. kerület, a déli pedig a 22. kerület. Ez Budapest legnépesebb kerülete, a 2011. évi népszámlálás adatai szerint 2011-ben 143.165 fő volt a lakossága. Összesen 78.219 lakás és lakott üdülő található itt. (KSH, 2013).

Közlekedés szempontjából Budapest nyugati kapujának tekinthető, hiszen a főváros nyugati irányú közúti forgalmának a kivezetője. Az M1-es és M7-es autópályák közös szakasza a Budaörsi útból ered, és emellett innen indul az 1-es, a 6-os és a 7-es főút is.

Több közlekedési csomópont is található a kerületben, mint például a Móricz Zsigmond körtér, a Kosztolányi Dezső tér, a Szent Gellért tér és a kerület határán a BAH csomópont. 2014. március 28-án adták át a főváros 4. metróvonalát, ami a kerületet a főváros földalatti közlekedési rendszerébe is bekapcsolta. A 10 metrómegálló közül 5 Újbuda területén található. Az új metróvonal kiépítésének egyik célja, hogy ritkíthassák a felszíni tömegközlekedés járatait, ezáltal csökkenthessék a főbb útvonalak zsúfoltságát, és mérsékeljék a levegő szennyezettségét.

A kerület a vasúti közlekedés szempontjából is fontos szerepet tölt be, hiszen itt található a főváros egyik nagyobb állomása, a Kelenföldi pályaudvar. Ide fut be, itt halad át a legtöbb Dunántúlról érkező vonat.

Arculatát és domborzatát tekintve elég változatosnak mondható a városmagot övező belső kerület. Újbuda legértékesebb részeit képezi a Gellért-hegy, a budai Sas-hegy, a Rupp-hegy, a Kopaszi-gát és a Lágymányosi-öböl, melyek természetvédelmi területté lettek nyilvánítva. Emellett a kerület számos zöldterülettel, parkosított résszel rendelkezik, mint például a Bikás park, az Olimpia park, a Feneketlen-tó környéke, a Függetlenségi park, az Egyetemisták parkja vagy éppen a Kamaraerdő.



10. ábra. Budapest XI. kerületének látképe a Duna felől (forrás: www.ujbuda.hu)

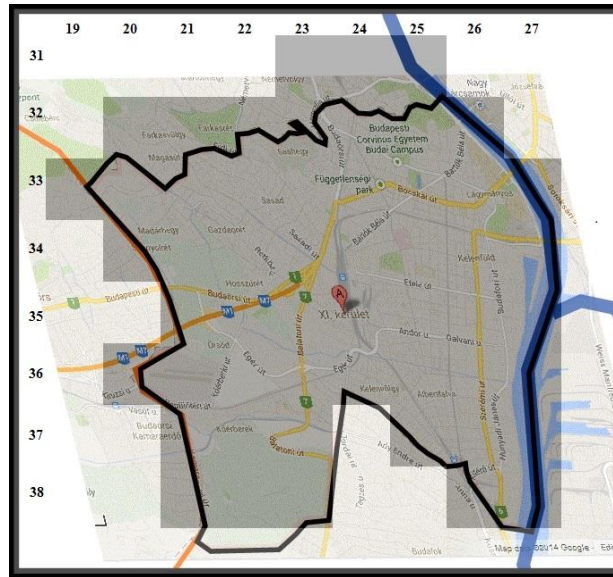
7. VIZSGÁLATOK ÉS EREDMÉNYEK

A szakdolgozatom keretén belül Budapest, 11. kerületének beépítettsége és az ott detektált felszínhőmérsékleti adatok, illetve hősziget-intenzitási értékek között kerestem a kapcsolatokat, összefüggéseket. A rendelkezésünkre álló adatsorokból készített hőtérképek és diagramok látványos eltérést mutattak ki a kerületre és a városkörnyéki területekre jellemző értékek között, sőt, Újbudán belül is megfigyelhető különbség, az eltérő felszínborítottsággal rendelkező területeknél. A következő fejezetben az elmúlt félévben végzett kutatásunk folyamatát, módszereit, s eredményeit mutatom be részletesen.

7.1. Alkalmazott mérőrendszer és felhasznált adatok

A kutatás során műholdas adatokkal dolgoztunk, melyek a Terra és az Aqua kvázipoláris műholdak felvételeiből származnak. E két műhold a NASA Földmegfigyelő Rendszerének (EOS - Earth Observing System) részeként végez másfél évtizede Föld körüli megfigyelést. Ennek során olyan folyamatos, hosszú távú adatsorokat gyűjtenek a szárazföldek, az óceánok, és a légkör állapotáról, melyekkel többek között globális skálán vizsgálható a klímaváltozás, előre jelezhetők a természeti katasztrófák (*NASA, 1999*), s a városokban zajló folyamatok is egész pontosan leírhatók, nyomon követhetők segítségükkel (*Dezső, 2009*).

A Terra műholdat 1999-ben, az Aqua-t pedig 3 évvel később, 2002-ben bocsátották pályájukra. A Terra műhold fedélzetén 5, az Aqua fedélzetén pedig 6 műszer található, melyek segítségével eltérő felbontásban mérik a különböző sugárzási paramétereket, a tengerszint felett 705 km magasan keringve (*NASA, 1999*). Vizsgálatunk során a MODIS (Moderate - Resolution Imaging Spectroradiometer) elnevezésű spektrális sugárzásmérő által detektált sugárzásmérésekből számított hőmérsékleti mezőket alkalmaztuk. Egy áthaladás során a MODIS által megfigyelt terület egy 2300 km széles sávként értelmezhető. Látható tartományban 250 m, míg infravörös tartományban 1 km a szenzor térbeli felbontása (*Lelovics, 2012.*) A MODIS szenzor méréseiből számított 1 km-es térbeli felbontású felszínhőmérsékleti adatbázis felhasználásával Budapest 11 kerületének területe 53 db rácsponttal fedhető le, amit a 11. ábra remekül szemléltet. (A rácspontok sorszáma a teljes budapesti kivágaton (*Dezső, 2009*) belüli helyzetüket jelöli, a későbbiekben is ezekre a pozíciókra fogunk hivatkozni.)



11. ábra: Budapest 11. kerületének rácspontokkal való lefedettsége

Az említett műholdak naponta 2 alkalommal haladnak át egy-egy rácspont felett, így napi szinten 4 db adat is rendelkezésünkre áll egy adott területről. A Terra által készített MODIS-képek délelőtti (9-10 UTC) és esti (20-21 UTC) órákban készülnek, míg az Aqua délután (12-13 UTC) és hajnalban (2-3 UTC) készíti felvételeit térségünk felett (*Lelovics, 2010*).

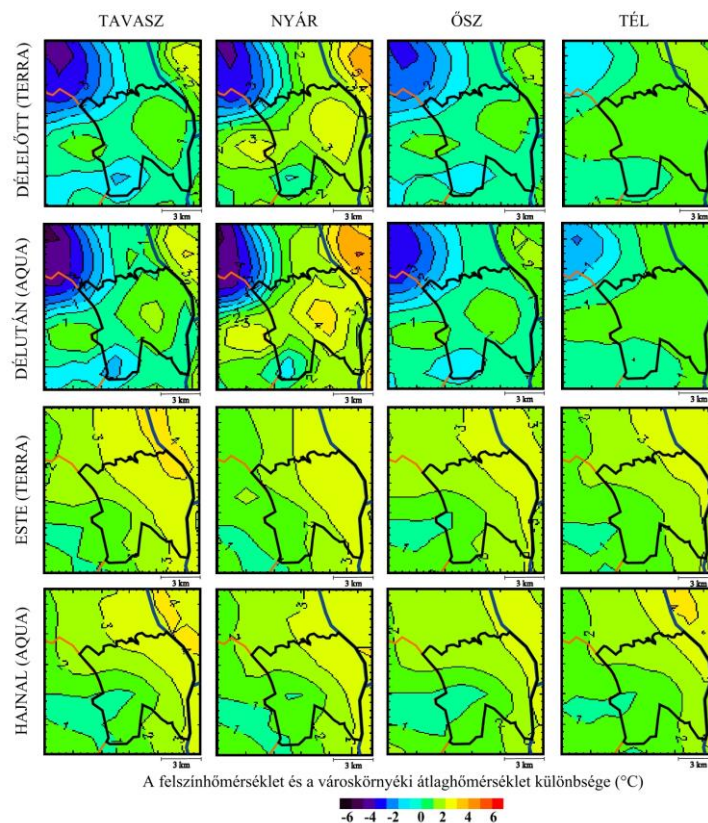
Az adatok beszerzése után, a következő feladatunk a hibás adatok szűrése volt. A Terra műhold adatsorából a 2001 januárjától 2013 decemberéig, az Aqua műhold adatbázisából pedig 2003 januárjától 2013 decemberéig tartó időszakot lefedő adatok álltak rendelkezésünkre. Ezekből viszont elég sok adat hibásnak bizonyult, ugyanis a felhős, borult időben készített adatok használhatatlanok. Ezeket ki kellett szűrniük, majd törölniük az adatsorból, ennek következtében viszont csökkent a használható adatok száma. A 4 mérési időpont adatait összehasonlítva elmondható, hogy általában a Terra műhold délelőtti és esti felvételei között van a legtöbb felhőmentes felvétel, s alapvetően a téli időszakban sokkal kevesebb adat áll rendelkezésünkre, mint nyáron, a felhővel való borítottság mértéke miatt.

7.2. A városi hősziget szerkezete Budapest 11. kerületében

A vizsgálat során Budapest 11. kerületét lefedő 53 db pixel mindegyikében meghatároztuk a városi felszínhőmérséklet és a városkörnyéki átlaghőmérséklet különbségét, azaz a városi hősziget intenzitását, az elmúlt 13 év napjaira, a műholdak által mért napi 4 időpontban. A városkörnyéki átlaghőmérséklet kiszámításánál azoknak a képpontoknak a

felszínhőmérsékletét vettük figyelembe, melyek a városhatárt övező meghatározott sávban találhatóak, a felszín típusát tekintve nem tartoznak a beépített kategóriába, és tengerszint feletti magasságuk a városkörnyék átlagos tengerszint feletti magasságától való eltérése nem nagyobb, mint 100 méter. A városkörnyéki átlaghőmérséklet pontos definícióját, meghatározásának részletes módszertani leírását *Dezső Zsuzsanna (2009)* doktori értekezése tartalmazza.

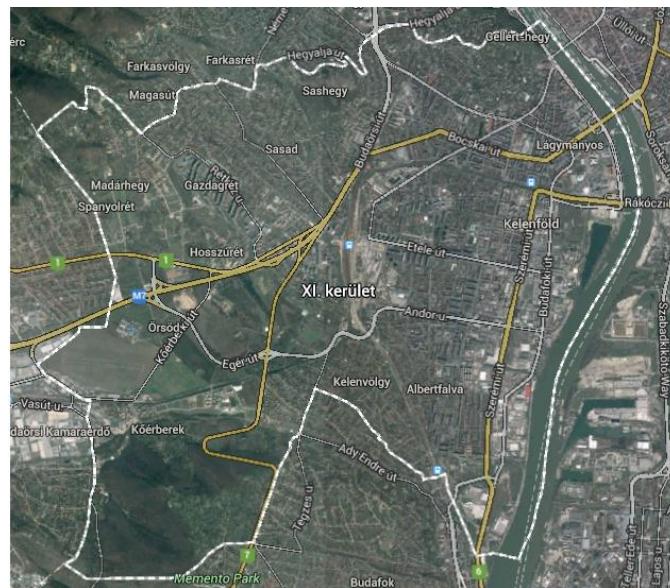
Természetesen, mindezek előtt kiválogattuk a hibás adatokat, melyek detektálásakor felhős, borult idő jellemezte az adott térséget, rácspontot. Ezután a napi átlagokból kiszámoltuk a havi átlagokat, ezekből pedig a hősziget-intenzitás 13 (Terra) illetve 11 (Aqua) évre vonatkozó évszakos átlagát is meghatároztuk délelőtti, délutáni, esti és hajnali időpontokra. Számításaink eredménye a 12. ábrán látható. Ez a kép remekül szemlélteti a Budapest 11. kerületén belül kialakult hősziget intenzitását, horizontális szerkezetét, illetve időbeli menetét.



12. ábra: A városi hősziget átlagos évszakos szerkezete Budapest 11. kerületének térségében (a Terra/MODIS 2001-2013, és az Aqua/MODIS 2003-2013 közötti felszínhőmérsékleti mérései alapján)

Megfigyelhető, hogy a nappali időpontokban a kerület keleti részén helyezkedik el a hősziget magja, itt a legerősebb a hősziget évszakos intenzitása. Ez azzal magyarázható, hogy ebben a térségben sűrűbb a beépítettség, az itt található magas, eklektikus épületek viszonylag szűk utcákat fognak közre, s így nincs biztosítva a város átszellőztetése. A tavaszi, nyári és őszi nappali térképeken a hősziget határán jól láthatóan kirajzolódik a Duna vízfelületének hőmérséklet-mérséklő hatása.

Láthatjuk, hogy Újbuda északnyugati területének hőmérsékleti értéke közelít a városkörnyéki értékhez. Ez annak köszönhető, hogy ez a térség láthatóan (13. ábra) sokkal nagyobb növényállománnyal rendelkezik, és az ott kialakított utcageometria is jobb tulajdonságokkal bír. A kertváros jellegű területen álló épületek nagy része alacsonyabb, mint a városközpontban épültek, és egymástól távolabb helyezkednek el. Így a közöttük futó utcák sokkal jobban szellőznek, ami elősegíti a hőtranszportot. Emellett az utcák mentén, s a házak körül szabadon maradt területek dúsabb, sűrűbb növényállománynak biztosítanak helyet, s mint azt már korábban részleteztem, a biológiailag aktív növényzet párologtatásával szintén hozzájárul a hősziget intenzitás mérsékléséhez.



13. ábra: Google Earth felvétel Budapest 11. kerületéről

(forrás: <https://www.google.com/maps/place/District+XI.>)

A 12. ábra hőterképein jól látható, hogy a kerület délnyugati csücskében évszaktól függetlenül az átlagostól egy jóval hűvösebb folt jelenik meg. Ez szintén a zöldfelületek hőmérséklet-csökkentő hatására bizonyíték, hiszen ezen a részen található a 180 hektáros Budapesti Kamaraerdő. Az alacsonyabb hőmérsékleti értékekhez az is hozzájárul, hogy itt még az

északnyugati részénél is kisebb a beépítettség mértéke. A Kamaraerdő mellett nagy kiterjedésű mezőgazdasági földterületek és a Budaörsi repülőtér kapott még helyet a kerület ezen részén. A 13. ábrára tekintve láthatjuk, hogy Újbuda ezen része körülbelül 80%-ban természetes felszínborítottsággal rendelkezik. A délutáni, nyári hőtérképet megnézve, láthatjuk, hogy a kerület legmelegebb (a hősziget magja) és leghűvösebb pontja (Kamaraerdő) között 5-6 °C eltérés mérhető. Ez is jól tükrözi, hogy mennyire fontos a városi komfort és klímaviszonyok szempontjából a természetes és mesterséges felszínek megfelelő aránya.

Az előbbi pozitív példa után érdemes szemügyre venni a kerület nyugati határán kívül kirajzolódó kisebb kiterjedésű hőszigetet. Összevetve a hőtérképeket a Google Earth térképen látottakkal, egyértelművé válik, hogy ennek háttérében az M1/M7-es autópálya melletti bevásárlóközpontok óriási méretű parkolói és áruházai állnak.

Az is jól látható, hogy a 11. kerületen belül a városi hősziget intenzitása, és kiterjedése a nyári időszakban, azon belül pedig a délutáni órákban a legintenzívebb. Ilyenkor a kerület nagy részében akár 5-6 °C - kal is magasabb lehet az átlaghőmérséklet a városkörnyékihez képest. Ez a pár °C eltérés, egy amúgy is forró nyári napon, rendkívül kellemetlen a városban élők számára, s emellett az egészségükre nézve is veszélyt jelent. Őszi és téli időszakban, nappal a hősziget intenzitása csupán 1-2 °C, tehát sokkal gyengébb, mint nyáron.

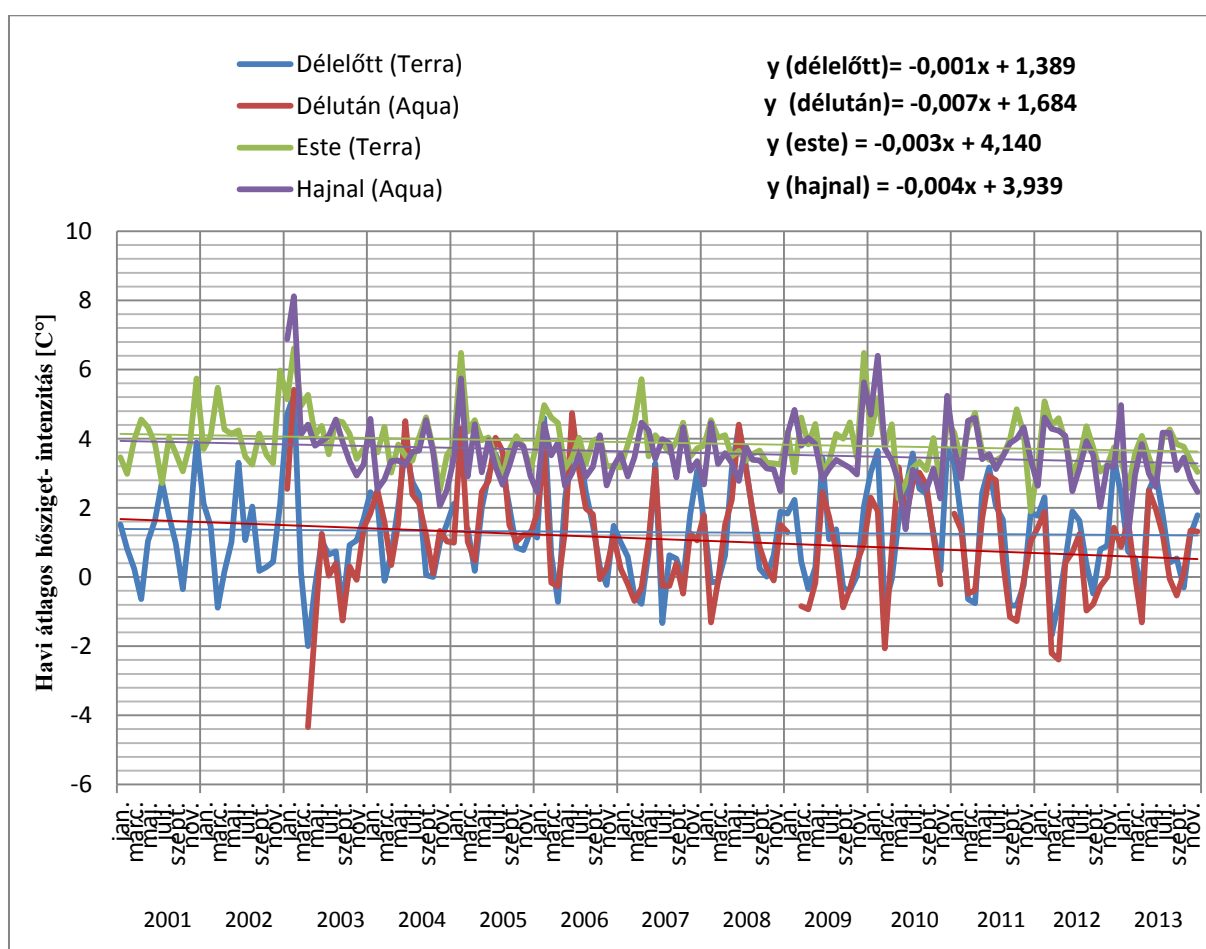
Az éjszakai hőtérképeket megvizsgálva, azt tapasztaljuk, hogy a kerületen belül az izotermák nem alkotnak zárt magokat. Annak ellenére, hogy a nappal kirajzolódó hősziget magja az esti lehüléssel kitolódik Újbuda területéről, a kerület nagy része még így is melegebb a városkörnyéknél.

7.3. A hősziget-intenzitás változásának vizsgálata a 11. kerület térségében, a 2001-től 2013-ig tartó időszakra vonatkozóan

A kutatásunk fő célja az volt, hogy a rendelkezésünkre álló adatsorok segítségével megvizsgáljuk, majd pedig diagramokon bemutassuk, hogy a 11. kerületen belül az elmúlt 13 év során a felszín borítottságában tapasztalt változások hogyan befolyásolták a városi hősziget intenzitását. A felszínborítottság változása alatt például az ez idő alatt megvalósult építőipari beruházásokra, a növényvel való borítottság arányának változására, vagy épp a mesterségesen kialakított vízfelületekre gondolunk. Az eredmények látványos szemléltetésére 2 módszerrel is próbálkoztunk. A következőkben ezeket ismertetném.

7.3.1. Első módszer – Átlagos havi hősziget-intenzitás

Első lépésben a kerület minden egyes képpontjában meghatároztuk az átlagos havi hősziget-intenzitást, a Terra (délelőtt, este) és az Aqua (délután, hajnal) műholdak által mért 4 időpontban. A Terra esetében 2001-2013-ig, az Aqua esetében pedig 2003-2013-ig tartó időszakban végeztük el számításainkat, mivel eme időszakokból álltak rendelkezésünkre a felszínhőmérsékleti adatok. Ezután a számításaink eredményét vonaldiagrammal ábrázoltuk, majd trendvonalakat illesztettünk rájuk. A trendvonalak egyenleteit megvizsgálva negatív meredekséget, azaz kis mértékű csökkenést tapasztaltunk a délelőtti, délutáni, esti és hajnali hősziget intenzitás értékében, mint ahogy azt a 14. ábra is mutatja.



14. ábra: A 25. oszlop 35 sor. pixelére (11. ábra) jellemző hősziget-intenzitás változás

(Terra/MODIS-2001-2013, Aqua/MODIS 2003-2013)

Mivel az összes 11. kerületi képpontra vonatkozóan hasonló eredményre jutottunk, ezért át kellett gondolnunk, hogy a vizsgálat során nem követtünk-e el valami hibát, hisz ez az eredmény ellentmond annak a hipotézisünknek, miszerint azokban a képpontokban, ahol az

elmúlt másfél évtizedben komoly építészeti beruházások valósultak meg, és ezáltal nőtt a beépítettség, ott a hősziget-intenzitásának növekedésével kell számolnunk. Az ELTE Meteorológiai Tanszékén korábban megvalósult városklimatológiai vizsgálatok során (Dezső, 2009) nyilvánvalóvá vált, hogy a hasonló módszerrel számított városi hősziget-intenzitás értékek éppen azokban az években bizonyultak a többi évhez képest alacsonyabbnak, amikor a nyarakat különösen meleg és száraz időjárás jellemezte. E látszólagos ellentmondás magyarázata abban rejlik, hogy ezeken a nyarakon a városkörnyéki képpontokban is rendkívül magas hőmérsékleteket mértek, illetve nem állt rendelkezésre elegendő mennyiségű nedvesség a párolgáshoz, ami azt eredményezte, hogy a városkörnyéki képpontok az átlagosnál nagyobb mértékben felmelegedtek. Tehát nem a városi területek voltak ezekben az években a megszokottnál „hidegebbek”, hanem a városkörnyéki képpontok voltak „melegebbek”, ami a két terület átlaghőmérséklet-különbségének csökkenéséhez vezetett (Dezső, 2009).

Ha ezt a szempontot is figyelembe vesszük, akkor felmerül a kérdés, hogy nem az okozza-e az idősorok csökkenő tendenciáját, hogy éppen a vizsgált időszak vége felé volt több olyan nyár is, amikor a hőmérséklet jóval az átlag felett (2011, 2012, 2013), a csapadékmennyiség pedig átlag alatt (2012, 2013) alakult.

7.3.2. Második módszer - Tényleges felszínhőmérsékleti értékek

A fenti feltételezés bizonyítása céljából úgy gondoltuk, hogy a hősziget-intenzitás értéke helyett érdekesebb lenne a tényleges felszínhőmérsékleti adatokat összehasonlítani és diagramokon ábrázolni. Így a műholdas adatsorokból pixelenként leválogatott felszínhőmérsékleti adatokat a városkörnyéki átlagos hőmérséklettel vetettük össze, és vizsgáltuk az eltérések mértékét és ezek forrásait.

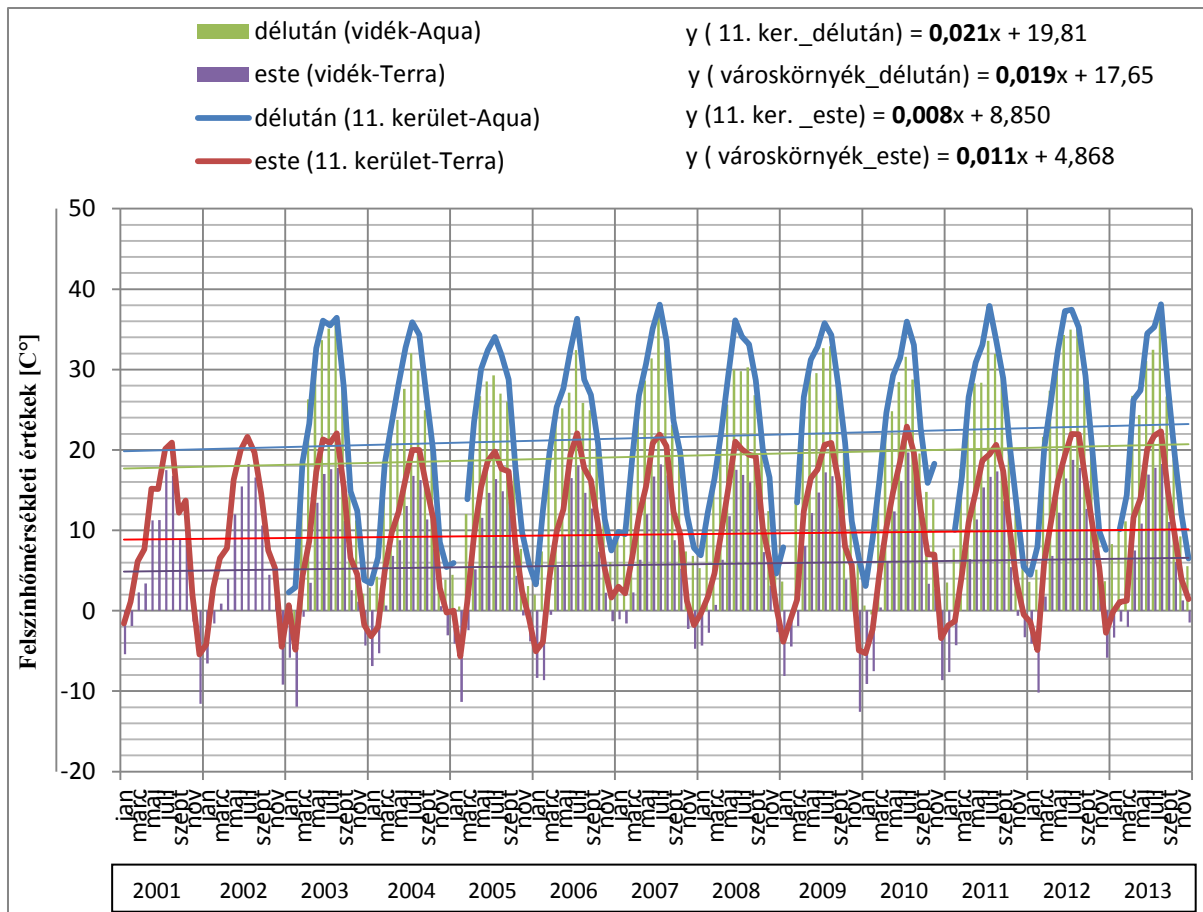
A felszínhőmérséklet idősorainak grafikus ábrázolását és a lineáris trendvonal illesztését követően megállapítottuk, hogy Budapest 11. kerületének minden egyes pixelében egyértelmű emelkedést mutattak a trendvonalak a megvizsgált 4 időpont adatsorában. Ezután megvizsgáltuk a városkörnyéki átlaghőmérséklet adatsorát is a délelőtti, délutáni, esti és hajnali időpontokban. Ennek eredménye látható a 15.ábrán.

diagramjainkban. A városkörnyéki adatokat oszlopdigram, míg Újbuda egy-egy pixelére jellemző adatokat vonaldiagram formájában jelenítettük meg. Ezekre trendvonalakat illesztettünk, hogy egyenleteikből még több információhoz jussunk. A következő részben 3 db olyan eltérő felszínborítottsággal rendelkező pixel eredményeit mutatom be, melyek szélsőséges esetnek számítottak vizsgálataink során.

(1) Sűrűn beépített terület (11. ábra: 25. oszlop, 34. sor)

Elsőként egy olyan pixelt választottunk ki, amely felszínborítottsága leginkább a 11. kerület központi magjára jellemző. Ez a képpont Újbuda azon részére esik, melyet az Etele út, Tétényi út, Bocskai út és a Szerémi út határol. Viszonylag sűrűn beépített terület, ahol eltérő magasságú panelházak, családi házak, irodaházak, parkolók találhatóak, több-kevesebb növényzettel körülöttek. Jól látható a 16. ábrán, hogy a kerületen belül mért felszínhőmérsékleti értékek az elmúlt 13 év minden egyes hónapjában meghaladták a városkörnyéki értékeket. Emellett az is megfigyelhető, hogy a városi hőtöbblet következtében a téli hónapok esti időpontjaiban sok esetben 6-7 C°-kal melegebb volt a város felszíni hőmérséklete. Az ábra jobb alsó sarkában elhelyezett egyenletekből az is kiderül, hogy a 4 felszínhőmérsékleti adatsor közül a két délutániban mérhető a legnagyobb mértékű negatív változás, azaz ezek növekedtek az évek során a legnagyobb ütemben. Összevetve a városkörnyéket és a kerület adott pixelét jellemző egyenletet, láthatjuk, hogy a képpontra illesztett trendvonal meredekebb, tehát ott nagyobb az évről évre változó felszínhőmérséklet emelkedése.

Érdeemes megfigyelni az egyenleteknél azt is, hogy a délutáni városkörnyéki és délutáni városi értékek egymástól átlagosan 2,16 C°-kal térnek el, míg az esti felszínhőmérsékleti értékek majdnem 4 C°-os eltérést mutatnak. Elgondolkodtató az is, hogy a nyáron mérhető havi átlagos felszínhőmérsékleti értékek az évek múlásával egyre magasabbak, a nyári hónapokban lassan már a 40 C°-ot is elérik.

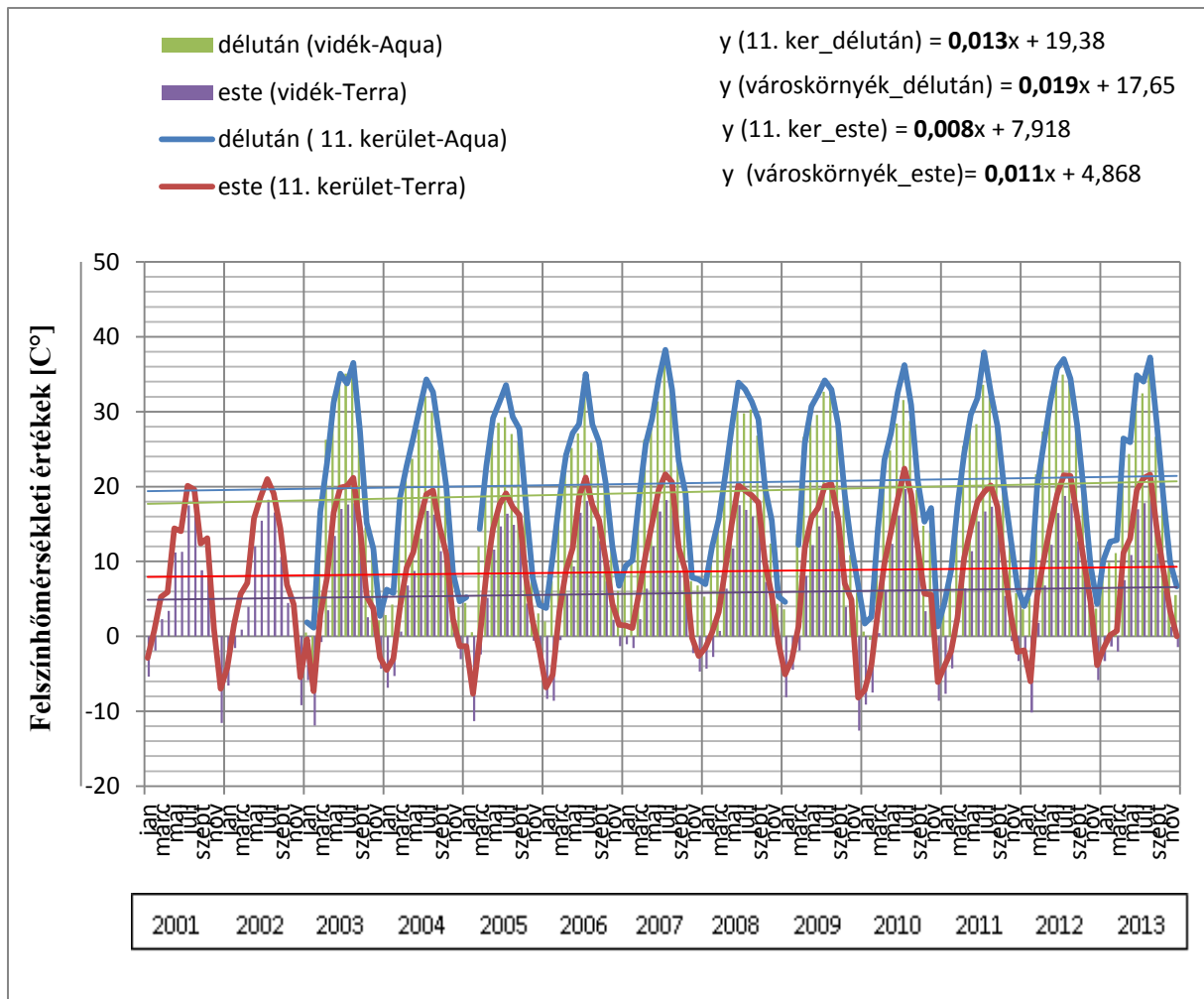


16. ábra: Budapest 11. kerületének egy sűrűn beépített területét lefedő pixelben (11. ábra: 25. oszlop, 34. sor) mérhető felszínhőmérsékleti értékek változása a városkörnyékihez képest

Összességében azt mondhatjuk el erről a képpontról, hogy a városi hősziget-jelenség egy tipikus példája. A mesterséges felületek aránya a zöld felületekkel szemben jóval nagyobb, s ennek következményét az elmúlt 13 év felszínhőmérsékleti értékei remekül tükrözik. Tény, hogy az utóbbi években a városkörnyéki felszínhőmérsékleti értékek is növekvő tendenciát mutatnak, viszont a képpontra jellemző emelkedés sokkal nagyobb mértékű.

(2) Kamaraerdő (11. ábra: 22. oszlop 38. sor)

A következő képpontot azért választottuk ki, mert az egész területe erdővel borított. Itt található a 180 hektáros Budapesti Kamaraerdő, melyet csak a tanösvények szelnek át. Teljes mértékben természetes felszínborítással rendelkezik, többnyire tölgy-, kőris-, és juhar fák élőhelyéül szolgál. Így hát megvizsgáltuk, hogy ez a zárt lombkoronával rendelkező, nagy kiterjedésű növényállomány hogyan befolyásolta az elmúlt 13 évben a felszínhőmérséklet alakulását a kerületen belül.



17. ábra: A Kamaraerdőt lefedő pixelben (11. ábra: 22. oszlop, 34. sor) mérhető felületi hőmérsékleti értékek változása a városkörnyékihez képest

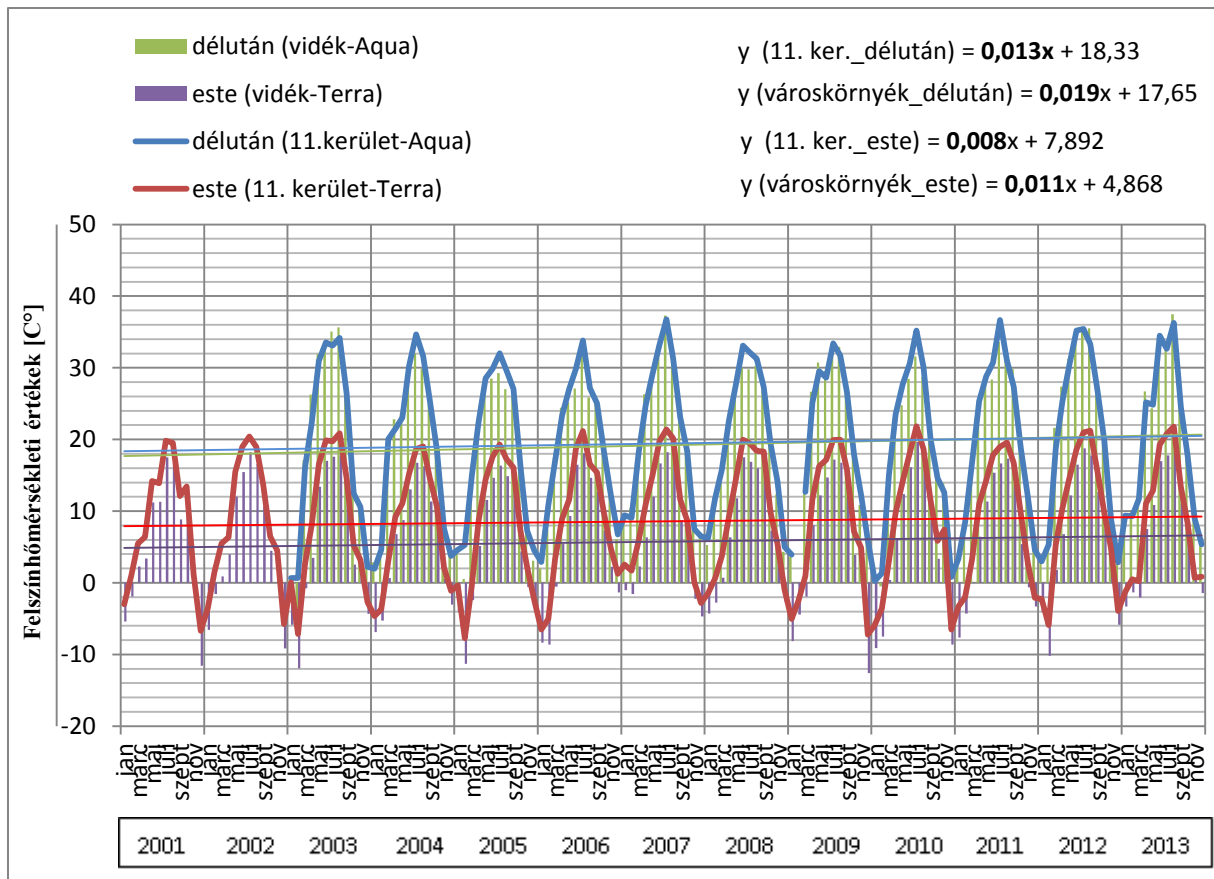
A 16. ábrára nézve szembevetendő a változás az előbb vizsgált képpont diagramjához képest. Láthatjuk, hogy ebben a pixelben a havi átlagos felületi hőmérsékleti értékek mind délután, mind este közelebb helyezkednek el a városkörnyéki értékekhez. Itt nincs akkora eltérés a téli időszakban sem, ami azzal magyarázható, hogy az erdőben nem halmozódik fel hőtöbblet, ezáltal a felszín jobban le tud hűlni. A biológiailag aktív felszín pozitív hatásának legmeggyőzőbb bizonyítékai a trendvonalakhoz tartozó egyenletek. Láthatjuk, hogy a terület eme részén jóval kisebb mértékű a felületi hőmérsékleti értékek emelkedése, mint az előző képpont esetén. A délutáni trendvonal meredeksége itt + 0,013, míg az előző esetben +0,021 volt. Ez a pozitív változás az esti adatsorra is igaz. Ennél viszont még meggyőzőbb az a tény, hogy a Kamaraerdőben detektált hőmérsékleti értékek a városkörnyéki értékeknél is kisebb emelkedést mutatnak.

Összességében elmondhatjuk, hogy a kerületnek ez a része hősziget-mérséklő hatással bír, ami a már korábban bemutatott hőtérképeken is szépen kirajzolódott. Ez a képpont, nagyon jó bizonyíték arra, hogy a városhatás és a városokban kialakult hőtöbblet mérséklése szempontjából szükség van a természetes, zöld felületekre. Igen látványos, pozitív eredmény érhető el velük.

(3) Gazdagréti lakótelep egy része (11. ábra: 22. oszlop, 34. sor)

A következő képpont a Gazdagréti lakótelep egy részét fedi le. Ez a terület azért lett kiválasztva, mert felszínborítottság szempontjából vegyesnek számít, mondhatni, az előző két pixel keveréke. A '80-as években épült, szabályos elrendezésű panelház-sorok egymástól viszonylag távol helyezkednek el, közöttük pedig nagy kiterjedésű természetes, zöld felületek találhatóak. Az elmúlt 13 évben itt nem történt komolyabb mesterséges beavatkozás a felszín borítottságát illetően. Az egyetlen változást a növényzet növekedése, terjeszkedése jelenti.

A 17. ábrát megvizsgálva meglepően pozitív eredményekkel szembesülhetünk. A havi átlagos felszínhőmérséklet nyári csúcserőke 35-36 C° körül mozogott az elmúlt 13 évben, ami a mesterséges beépítettség mellett viszonylag jó értéknek számít, főleg ha összevetjük az elsőként bemutatott, szintén mesterséges felülettel rendelkező képponttal, ahol volt, hogy meghaladta a 38 C°-ot is a nyári csúcserőke. A trendvonalak egyenleteit megvizsgálva, láthatjuk, hogy a kerületen belüli mind az esti, mind a délutáni hőmérséklet-növekedés kisebb mértékű, mint a városkörnyéki területeken. Ebben a képpontban ez egyrészt azzal magyarázható, hogy a természetes felületek kicsivel nagyobb arányban vannak jelen, mint a mesterségesek, s az elmúlt 13 év alatt a növényzet folyamatos növekedése, terjeszkedése ezt az arányt tovább növelte. Másrészt a panelházak elrendezéséből adódóan a lakótelep átszellőződése is biztosítva van, ez pedig nagymértékben hozzájárul a hőmérséklet szabályozásához. Erre az is bizonyíték, hogy itt az éjszakai városkörnyéki és az éjszakai lakótelepi felszínhőmérsékleti értékek között nincs akkora differencia, mint az elsőként ismertetett pixelnél. Ez annyit jelent, hogy a felszín jobban le tud hűlni, a megfelelő szellőzésnek és hőtranszportnak köszönhetően.



18. ábra: A Gazdagrét egy részét lefedő pixelben (11. ábra: 22. oszlop, 34. sor) mérhető felszínhőmérsékleti értékek változás a városkörnyékihez képest

Összegezve a Gazdagréti lakótelep eredményeit, elmondhatjuk, hogy a mesterséges felületeket megfelelő arányú természetes felületekkel ellensúlyozva, illetve a terület átszellőződését biztosító geometria kiépítésével nagymértékben csökkenthető a felszínhőmérséklet, s ezáltal a hősziget intenzitása is.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkám során bemutattam a városi klíma, azon belül pedig a városi hősziget jelenségét, ami napjainkban minden egyes várost érintő probléma. Részleteztem kialakulásának legfőbb okait, forrásait, s emellett kitértem a klimatikus, biológiai, gazdasági, és egészségkárosító hatásaira is, próbáltam ezzel is felhívni a figyelmet az emögött rejlő veszélyekre.

Emellett, szakdolgozatom első részében bemutattam néhány olyan építészeti és téralakítási módszert, melyekkel nagymértékben lehet csökkenteni a városi-hősziget intenzitását. Szó volt többek közt a megfelelő utcageometria kialakításáról; a jól megválasztott tetők, burkolatok alkalmazásáról; a városon belüli vízfelületek növeléséről; a parkosításról és a zöldszerkezetek (zöld tető, - homlokzat, - burkolat) alkalmazásáról.

Ezután bemutattam a hősziget intenzitásának vizsgálataihoz elengedhetetlen, napjainkban használatos hőmérsékleti adatgyűjtés módszereit, mint például a hagyományos meteorológiai mérőállomáson történő hőmérsékletmérést, mobil adatgyűjtést, repülőgépes mérést és a műholdas adatgyűjtést.

Szakdolgozatom második részében beszámoltam az elmúlt félévben végzett hősziget intenzitással kapcsolatos vizsgálataink folyamatáról és eredményeiről.

A kutatás során Budapest 11. kerületének beépítettségét és az ott kialakult hősziget intenzitásának kapcsolatát, összefüggését vizsgáltuk. Az ehhez szükséges adatok a NASA műholdas adatbázisából származnak, amit rácspontra leválogatva témavezetőm, Soósné Dr. Dezső Zsuzsanna bocsátott rendelkezésemre. A Terra műhold által detektált adatok 2001-2013-ig, az Aqua műhold által mért adatok pedig 2003-2013-ig álltak rendelkezésünkre. Ezután az adatokból meghatároztuk a 11. kerület 53 pixelére az elmúlt 13 évre, a műholdak mérési időpontjaiban a hősziget-intenzitás mértékét. Ebből kiszámoltuk az évszakos értékeket, majd ezeket térképeken ábrázoltuk.

Az intenzitási térképeken szépen kirajzolódott az Újbudán belül kialakult hősziget horizontális szerkezete és intenzitása, s emellett évszakos és napi menete is jól látható a képeken. A térképek alapján megállapítottuk, hogy:

1. Nappali időpontokban a kerület északkeleti, sűrűn beépített részén helyezkedik el a hősziget magja.

2. A tavaszi, őszi és nyári nappali képeken jól láthatóan kirajzolódik a Duna vízfelületének hőmérséklet-mérséklő hatása.
3. A kerület északnyugati részében mérhető hőmérsékleti érték közelít a városkörnyéki értékhez.
4. A kerület délnyugati csücskében a Kamaraerdő egy hűvös foltként jelenik meg a térképeken.
5. A kerület legmelegebb és leghidegebb pontjai között az eltérés akár 5-6 C° is lehet.
6. A 11. kerület nyugati határánál, az M1/M7-es autópálya bevezető szakasza mellett elhelyezkedő nagykiterjedésű bevásárló központ egy kisebb hőszigetet idézett elő.
7. A hősziget intenzitása nyáron, a délutáni órákban a legerősebb Újbuda területén. Télen és ősszel, sokkal gyengébb az intenzitása.
8. Éjszaka kitolódik a hősziget magja a kerületből, de a városkörnyéki értékekhez képest még így is magasabb hőmérsékleti értékek detektálhatóak Újbuda területén.

Ezután többféle módszert alkalmaztunk annak érdekében, hogy kimutathassuk a 11. kerület felszínborítottságának, beépítettségének és az ott kialakuló hősziget intenzitásának kapcsolatát. E célból összevetettük a kerületen belüli átlagos felszínhőmérsékleti adatokat a városkörnyéki átlagos felszínhőmérsékleti értékekkel. Az esti és a délutáni adatsorokat diagramokban ábráztuk, majd trendvonalakat illesztettünk rájuk. A kerület 53 db képpontja közül kiválasztottunk 3 db-ot, amelyek valamilyen szempontból tipikusnak vagy szélsőségesnek mondhatók. Így esett a választásunk egy Gazdagrétet, egy Kamaraerdőt és egy belvárosi részt lefedő pixelre. A kiválasztott képpontokkal kapcsolatos vizsgálatok eredményeit részletesen ismertettem szakdolgozatomban.

A vizsgálataink eredményét összegezve elmondható, hogy a mesterséges felületek, a rossz utcageometria és a megfelelő mennyiségű biológiailag aktív növényzet hiánya nagymértékben hozzájárul a kerületen belüli hősziget kialakulásához. A hősziget intenzitása viszont látványosan mérsékelhető különböző építészeti és téralakítási módszerekkel, mint ahogy azt a szakdolgozatomban említett példák is bizonyítják.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS:

A műholdas felszínhőmérsékleti adatbázis elkészítését illetve rendelkezésünkre bocsátását a NASA-nak köszönhetjük, melyhez a Földfelszíni Megfigyelőrendszer Adatközpontján keresztül jutottunk hozzá.

Nagy-nagy köszönettel tartozom témavezetőmnek, Soósné Dr. Dezső Zsuzsannának, egyrészt a felhasznált adatok rácspontonkénti leválasztásáért, másrészt pedig azért, mert szaktudásával és lelkes, segítőkész hozzáállásával az első perctől kezdve segítette munkámat.

IRODALOMJEGYZÉK:

- Bálint J., 2005, Építőanyagok I., Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar, Budapest, 162p.
- Bálint J., 2005, Építőanyagok II., Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar, Budapest, 152p.
- Bartholy Judit, Dezső Zsuzsanna, Gelybó Györgyi, Kern Anikó, Pongrácz Rita, Radics Kornélia, Pongrácz Rita, Bartholy Judit (szerk.), 2013, Alkalmazott és városklimatológia, egyetemi jegyzet, Budapest, ELTE TTK FFI Meteorológiai Tanszék, 179p.
- Bottyán Zs., 2008, Az átlagos maximális hősziget-intenzitás statisztikus modellje Szegeden és Debrecenben, Doktori értekezés, Szegedi Tudományegyetem, Szeged, (Témavezető: Dr. Unger János), 122p.
- Dezső Zs., 2009, A magyarországi Közép-európai nagyvárosokban kialakuló városi hősziget vizsgálata finomfelbontású műholdképek alapján, Doktori értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest (Témavezető: Dr. habil. Bartholy Judit), 112 p.
- Fórián S., Hagymássy Z., 2009, Zöldfelületek szerepe az urbanizált környezetben, p 1-10
- Gartland L., 2008, Heat Islands, Earthscan, London, 208p.
- Howard L., 1833, The Climate of London Deduced from Meteorological Observations, 3d ed. Vol. 1-3. Harvey and Darton. 1138p.
- KSH, 2013, 2011. évi népszámlálás, 3. Területi adatok, 3.1. Budapest, Központi Statisztikai Hivatal, Budapest, 519p.
- Landsberg H. E. 1981. The Urban Climate. Academic Press, 275p.
- Lelovics E., 2010, A hazai városi hősziget hatás összehasonlító elemzése földfelszíni és műholdas mérések felhasználásával, Bsc szakdolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest (Témavezetők: Dr. Pongrácz Rita, Dr. Bartholy Judit) 34p.
- Lelovics E., 2012, Műholdas és állomási méréseken alapuló városi hősziget vizsgálat Budapest térségére, Msc szakdolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, (Témavezető: Pongrácz Rita, Bartholy Judit) 57p.
- Mészáros R., 2013, Meteorológiai műszerek és mérőrendszerek, egyetemi jegyzet, Budapest, ELTE TTK FFI Meteorológiai Tanszék, 204p.

- Nagy Gy., Novák Á., Osztrólczyk M., Pandula A., 1998, Zöld szerkezetek, Ybl Miklós Műszaki Főiskola, Budapest, 168 p.
- NASA, 1999, Science writers' guide to Aqua. – NASA Earth Observing System Project Science Office, Greenbelt, MD. 38 p
- NASA, 1999, Science writers' guide to Terra. – NASA Earth Observing System Project Science Office, Greenbelt, MD. 27 p
- Oke T. R., 1974, Review of urban climatology 1968-1973, WMO Tech. Note No. 134p
- Oke T. R., 1982, The energetic basis of the urban heat island, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 108, p. 1-24.
- Oke T. R., 1987, Boundary layer climates, Routhledge, London and New York, 405 p
- Oláh A., 2012, A városi beépítettség és a felszín típusok hatása a kisugárzási hőmérsékletre, Doktori értekezés tézisei, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest (Témavezető: Mezősné Szilágyi Kinga), 24p.
- Probáld F., 1974, Budapest városklímája, Akadémiai Kiadó, Budapest, 127p.
- Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Bretz, S., Fishman, B. L., Kurn, D. M., Sailor, D., Taha, H., 1995. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. Energy and buildings, 22 (3), 255-265.
- Unger J., Sümeghy Z., 2000, A városi hőmérsékleti többlet- Szeged példáján keresztül, A földrajz tanítása 8/4, p. 8-13
- Unger J., Sümeghy Z., 2002, Környezeti klimatológia, SZTE-TTK jegyzet, Szeged, p. 132-197
- Unger, J., 2010, A városi hősziget-jelenség néhány aspektusa, MTA Doktori Értekezés, Szeged, 107p.
- United Nations (2012): World Urbanization Prospects: The 2011 Revision. Population Division, Department of Economic and Social Affairs.
- World Bank, 2013, World Development Indicators Database, <http://web.worldbank.org>
- Zöld A., 1999: Energiatudatos építészet, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 214p.