



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR  
ÉPÍTŐANYAGOK ÉS MAGASÉPÍTÉS TANSZÉK

# BUDAPESTI VÁROSI HŐSZIGET-HATÁS TERMOVÍZIÓS VIZSGÁLATA

TDK dolgozat

**Gyulai Marcell Gábor**

Konzulensek:

Dr. Szalay Zsuzsa, adjunktus

Nagy Balázs, doktorandusz

Budapest, 2016.10.30.

## Tartalomjegyzék

Ábrajegyzék .....	2
Táblázatok .....	2
Jelölések jegyzéke .....	3
Absztrakt .....	4
Abstract .....	5
1. Bevezetés – aktualitás, iránymutatások, célkitűzések.....	6
2. Szakirodalom, alapismeretek .....	8
2.1. Városi hősziget-hatás .....	8
2.2. Termovíziós módszertan .....	14
3. Alkalmazott módszertan .....	18
4. Eredmények .....	22
4.1. Nappali mérés .....	23
4.2. Éjszakai mérés .....	26
4.3. Nappali és az éjszakai mérés összehasonlítása .....	28
5. Összegzés .....	30
6. További kutatási lehetőségek.....	31
7. Köszönetnyilvánítás.....	32
8. Irodalomjegyzék .....	33
9. Melléklet .....	35

## Ábrajegyzék

1. ábra A városi hősziget keresztmetszeti képe és vázlatos horizontális struktúrája, ideális időjárási körülmények között (Unger és Sümeghy, 2000) .....	12
2. ábra A parki szellő kialakulásának sematikus ábrája (Unger et al. 2012) .....	13
3. ábra Hullámhosszok .....	15
4. ábra Budapest felszínhőmérséklete és a városkörnyéki átlaghőmérséklet különbsége (°C), (fekete körrel jelölve a vizsgált terület) (Pongrácz R., Bartholy J. 2013).....	18
5. ábra 2003. február 2., nappal felszínhőmérsékletek (K) műholdas felvétel (Pongrácz R., Bartholy J. 2013).....	29
6. ábra Repülőgépről készült termovíziós felvétel (Pongrácz R., Bartholy J. 2013).....	20
7. ábra Nappali felvételek készítése .....	22
8. ábra Éjszakai felvételek készítése.....	22
9. ábra Dél Pest nappal.....	23
10. ábra Fővám tér nappal .....	24
11. ábra Fővám tér .....	24
12. ábra Nehru part nappal.....	24
13. ábra Nehru part.....	24
14. ábra Dél-Buda nappal.....	25
15. ábra Budai vár nappal .....	25
16. ábra Budai vár .....	25
17. ábra Dél Pest éjszaka.....	26
18. ábra Dél Buda éjszaka 1.....	26
19. ábra Dél Buda .....	26
20. ábra Budai vár éjszaka.....	27
21. ábra Budai vár .....	27
22. ábra Dél Buda éjszaka 2.....	27
23. ábra Március 15. tér nappal .....	28
24. ábra Március 15. tér éjszaka .....	28
25. ábra Március 15. tér .....	28
26. ábra Belgrád rakpart nappal.....	29
27. ábra Belgrád rakpart éjszaka .....	29
28. ábra Belgrád rakpart .....	29
29. ábra Utcával párhuzamos (a) és utcára merőleges légáramlás (b) (Lajos Tamás et al. 2000).....	29
30. ábra Fővám tér modell Trimble sketchupban .....	31
31. ábra Fővám tér modellje Ecotect Analysisben .....	32

## Táblázatok

1. táblázat (a) Jellemző felszíni és légköri tulajdonságok, valamint (b) a városklíma paramétereinek megváltozása egy közepes földrajzi szélességen fekvő, kb. 1 millió lakosú nagyvárosban (a közölt értékek külön megjegyzés hiányában a nyári időszakra vonatkoznak) (Oke 1997) ..... 11

## Jelölések jegyzéke

Jelölés	Megnevezés	Mértékegység
$E_r$	Felszínen megmaradó energia mennyiség	$W/m^2$
$S$	Bejövő sugárzás energiája	$W/m^2$
$a$	Albedó	-
$E_h$	Felszín effektív kisugárzása	$W/m^2$
$E_f$	Felszín hosszuhullámú kisugárzása	$W/m^2$
$E_l$	Légkör hosszuhullámú visszasugárzása a felszín felé	$W/m^2$
$\Phi_\varepsilon$	$\varepsilon$ emissziós tényezőjű test sugárzása	$W/m^2$
$\vartheta_0$	$\varepsilon$ emissziós tényezőjű test hőmérséklete	K
$\varepsilon$	Emissziós tényező	-
$\Phi_\rho$	Visszavert sugárzás	$W/m^2$
$\Phi_\tau$	Átbocsátott sugárzás	$W/m^2$
$\rho$	Reflexiós tényező	-
$\tau$	Transzmissziós tényező	-
$\Phi_0$	Összes sugárzás	$W/m^2$
$\Phi_M$	Érzékelőre eső sugárzás	$W/m^2$
$\tau_p$	Közeg átviteli tényezője	-
$\vartheta_p$	Átviteli közeg hőmérséklete	K
$\vartheta_U$	környezet hőmérséklete	K

## Absztrakt

A városi hősziget-hatás jelenségét (angolul: Urban heat island) elsőként 1833-ban fedezte fel és írta le Luke Howard, angol kémikus, amatőr meteorológus. A hősziget egy mikroklimatikus jelenség, mely elsősorban a nagyvárosokban tapasztalható. Lényege, hogy a beépített városi területen a hőmérséklet magasabb, mint a vidéki és a várost övező területeken.

A jelenség régóta ismert, de az utóbbi években egyre inkább a figyelem középpontjába került. Ennek oka a városok egyre növekvő népessége, az urbanizálódó világ, a klímaváltozás, a környezettudatos szemlélet elterjedése. A városi hősziget-hatást nagyban befolyásolja a város mérete, a városi zöldfelületek száma és kiterjedése. A jelenségre a megoldást a városszerkezeti kialakítás és a városi felületek (pl.: parkok, extenzív-, intenzív- zöldtetők) megválasztása adhatja.

A hősziget-hatás Budapesten is észlelhető. Kutatásomban termovíziós felvételeket készítettem Budapestről, azon belül is Dél Pestet, Dél Budát, a várnegyed és Pest belvárosát vizsgáltam a nyári időszakban nappal és éjszaka a Gellért-hegy különböző pontjairól. Az elkészült felvételeket kvalitatív módon vizsgáltam és vontam le következtetéseket Budapest mikroklimatikus viszonyairól, az épületek hőmérsékletéről. Összehasonlítottam Buda és Pest lokális klimatikus viszonyait. Valamint a vizsgálataim során megállapítottam a budapesti belvárosi épületek, parkok, burkolatok és zöldfelületek hatásait (mind a vizsgált budai, mind a pesti oldalon) a lokális mikroklimatikus viszonyokra tekintettel a napszakok függvényében.

## Abstract

### BUDAPEST URBAN HEAT ISLAND EFFECT THERMOVISION TESTING

The phenomenon of urban heat island effect was discovered and described in 1833 by Luke Howard, English chemist and amateur meteorologist. The heat island is a micro-climatic phenomenon, which is mainly experienced in large cities. The point is that the temperature of the built urban areas is higher than in rural areas.

The phenomenon has been known for a long time, but increasingly became the centre of attention in the recent years. The reason is the growing population of the cities, urbanized world, climate change and the spread of environmental awareness. The city's size, the number and extent of urban green areas will greatly affect the urban heat island effect. The solution to the phenomenon can be a choice of the urban structural design and urban surfaces (eg.: parks, extensive-, intensive green roofs).

The urban heat island effect can be noticed in Budapest. In my research I took thermographic measurement images during the summer, day and night, of Budapest, including South Pest, South Buda, the Castle District, and the centre of Pest from different points on the Gellért Hill. I then made conclusions of the Budapest micro-climatic conditions and the temperature of the buildings by examining the images in qualitative way. I compared Buda and Pest's local climatic conditions. During my investigation I also determined the effects of the buildings in the centre of Budapest, parks, covers and green areas to the micro-climatic conditions in regard to the time of day.

## 1. Bevezetés – aktualitás, iránymutatások, célkitűzések

20. század második felére az urbanizációnak, a városi életforma terjedésének és az ipar nagymértékű fejlődésének köszönhetően a városok száma és lakossága jelentős mértékben megnövekedett. Ennek következtében a városok mérete is megnőtt, ezzel jelentősen károsítva környezetüket.

2007 óta az emberiség több mint fele városokban él. A városlakók több mint 70%-a a fejletlenebb országokban lakik. Az emberiség 9,3%-a metropoliszokban élt 2005-ben. A természetes területek leburkolása és városi felületként alkalmazása a legerősebb olyan emberi beavatkozás, amely a földhasználat megváltoztatásával jár. Mára a földfelszín 1,2%-a városi terület (The UHI Project 2013). A városok népessége egyre jobban növekszik, ebből következik, hogy a népsűrűség is emelkedik és egyre több a magasépítésű épületek száma. 2003-ban Shanghai belvárosában a magasépítésű épületek aránya 44% volt. (Yang et al. 2010). A népességnövekedés és ezzel együtt a városok méretének és számának növekedése miatt a történelem során kialakult egy különleges mikroklimatikus jelenség, a városi klíma, mely definíció szerint „egy olyan lokális éghajlat, amely a beépített városi területek és a regionális szintű klíma kölcsönhatásának eredményeként alakul ki” (WMO 1983). Ezzel a jelenséggel a városklimatológia (urban climatology) foglalkozik, mely a földrajz egyik altudománya. A városklimatológia a mesterséges emberi környezetekben vizsgálja az éghajlati tényezők módosulását. A mikroklimatikus jelenség kialakulása során a hőmérséklet növekedése mutatja a legszembetűnőbb változást, és ez városi hősziget formájában mutatkozik meg. Természetesen a többi klímaelem is jelentősen változik a különböző városi környezetekben (pl. a légnedvesség, a szél, a rövid- és hosszúhullámú sugárzás), ezért e hatások vizsgálatának is nagy szerepe van a városlakók népességének növekedése miatt. (Unger et al. 2010).

A városi hősziget hatás jelenségét (angolul: Urban Heat Island Effect röviden: UHI) először 1833-ban Luke Howard angol kémikus és amatőr meteorológus írta le London viszonylatában a *The Climate of London* című művében. Az azóta eltelt 183 évben sokan és sokféleképpen foglalkoztak ezzel a témával. Vizsgálták egészségügyi, város szerkezeti, klíma változás szempontjából.

Egészségügy felől megközelítve a városi hősziget-hatást, a jelenséggel a városi humán-bioklimatológia (vagy város-bioklimatológia) tudománya foglalkozik, mely a városklimatológia részeként már nem az egyes légköri elemek városi módosulásait vizsgálja, hanem e helyett azok összesített hatásaira koncentrálnak elsősorban az emberi egészség és komfortérzet szempontjából. A humán-bioklimatológia legfontosabb feladata azon felül,

hogyan megvizsgálja, miként hatnak az emberekre a városiasodott területek módosult klímaviszonyai, az hogyan megállapítsa az ott élők számára legideálisabb városi klímát (Höppe 1997). Megfigyelték, hogy a hőhullámok során a városokban a halálozások száma magasabb, mert megnő a termikus diszkomfort. De ugyanakkor az is belátható, hogy hőhullámok esetén a hősziget hatás közel nulla, mivel a város környezetében és a városban hasonlóan meleg van. (Conti et al. 2005)

A városi hőszigeteket szennyező szigetek is egyben. A légszennyezés és a hősziget-hatás egymásra gyakorolt hatását is figyelmébe kell venni mikor a hősziget megoldásán dolgozunk. Nem elhanyagolható a városi hősziget hatás globális éghajlatra gyakorolt hatása sem. Az új várostervezési stratégiák, mint például a zöldtetők, zöldhomlokzatok, magas albedójú, jó fényvisszaverő képességű anyagok alkalmazása képesek csökkenteni a hősziget hatást. (The UHI Project 2013). A hősziget jelenségre hatással vannak még a város felszínét borító olyan anyagok, mint a beton és az aszfalt, melyek nagyobb arányban nyelik el, mint ahogy visszaverik a napsugárzást. Hiányoznak a párolgó felületek, melyek az energia egyensúlyt biztosítanák. A függőleges felületek gátolják a szélmozgást, mely hűtő hatása révén csökkentené a hősziget-hatást. Jelen vannak még antropogén hatások, mint például hőerőművek, épületek hűtése, fűtése, járművek által kibocsátott hőmennyiség. (Nagy B. 2016)

Ezekből a tényekből érezzük, hogy a témával fontos foglalkozni napjainkban is. Nyáron és télen egyre több a melegebb napok száma, mely betudható a klímaváltozás hatásának. Ezt a melegedést csak fokozza a városi hősziget-hatás. A hősziget-jelenségnek számos negatív hatása van, mely a városlakók komfortérzete mellett egészségi állapotában is megmutatkozhat. Gondoljunk csak a nyári hőségre, kánikulára, vagy akár a szmogra, melyek mind rontják a városi élet minőségét, sőt szélsőséges esetben akár emberáldozatot is követelhetnek.

A hősziget-hatás ellen egyértelműen cselekedni kell, hogy elviselhetőbb legyen a városi élet. Ennek a célnak az elérése érdekében jött létre egy projekt 2011. májusában Közép-Európa nyolc, leginkább érintett fővárosa, és nagyvárosa bevonásával (Modena, Padova, Bécs, Stuttgart, Varsó, Ljubljana, Prága, Budapest). „Az UHI projekt a jelenségek hagyományos mikrometeorológiai eszközökkel és távérzékelési technikákkal történő elemzésétől kezdődően a kibocsátás korlátozás, kockázat megelőzés és a kezelési stratégiák kidolgozásáig terjed. Az UHI jelenség megelőzését leginkább a városi és területrendezési tervek mitigációs stratégiái, míg az UHI jelenség következményeinek csökkentését (pl. nyári bioklimatikus diszkomfortot) a kockázat megelőzési és kezelési stratégiák célozzák. A projekt általános célja,



hogy politikai és gyakorlati akciókkal ráirányítsa a nemzetközi figyelmet az UHI jelenség révén a természetes és az ember által előidézett kockázatok megelőzésére, az alkalmazkodás és a mérséklés fontosságára.” (The UHI Project 2012.)

Dolgozatom célja a városok, jelen esetben Budapest tereinek, forgalmas útjainak megfelelő anyag (burkolatok, tetőfedések) megválasztása, városszerkezeti kialakítása és ez által a városi hősziget-hatás mérséklése, hogy egy élhetőbb várost kapjunk. A cél eléréséhez termovíziós felvételeket készítettem Budapestről a nyári időszakban nappal és éjszaka. A kapott képeket kielemeztem, majd a jól dokumentált terek közül kiválasztottam egyet, melyről numerikus szimuláció készíthető. Így vizsgálhatók a terek hőmérsékletei, hőmérséklet változásai.

Jelen dolgozatom csak a nyári időszakra terjed ki, de fontos megjegyezni, hogy a jelenség télen is tapasztalható, melynek nem csak negatív oldalai vannak, hiszen a melegebb városi légkör hatására kevesebbet kell fűteni, ennek következtében javulhat a városok levegőjének minősége.

## 2. Szakirodalom, alapismeretek

### 2.1. Városi hősziget-hatás

A városi hősziget értelmezéséhez tisztában kell lennünk a sugárzási mérleg, az energia- és vízegyenleg jellemzőivel. Ezeket szeretném most röviden bemutatni, ismertetni.

A felszínnel kölcsönhatásba lépő sugárzások egyik csoportja a rövidhullámú sugárzások (látható fény), illetve a hosszúhullámú sugárzások (hősugárzás). A napsugárzás alapvetően egy rövid hullámhosszú sugárzás, melynek jelentős része eléri a földfelszínt, egy kis része pedig elnyelődik a légkörben. A földfelszínre lejutott sugárzás egy része visszaverődik és a többi része elnyelődik. A fényvisszaverő képesség vagy más néven az albedó a visszavert sugárzás és az összes földfelszínt elérő sugárzás hányadosa. Jelentősége igen nagy az energiaháztartás szempontjából. A földfelszínről visszaverődött sugárzás egy kis része a légkörről visszaverődik, nagy része pedig kisugárzódik. Mindezt a földfelszín rövidhullámú sugárzási egyenlege írja le (1.) (Péczy, 1979)

$$E_r = S - aS = S(1 - a). \quad (1.)$$

ahol

$E_r$  a felszínen megmaradó energiamennyiség,

$S$  a bejövő sugárzás energiája,  
 $a$  a visszavert sugárzás mértéke, az albedó:

A felszínre érkező és az onnan visszaverődő rövidhullámú sugarak jelentősebb mértékben elnyelődnek a szennyezettebb városi légtérben, mint a tisztább vidéki légtérekben. Ennek hatására a városi felszínek rövidhullámú sugárzási bevétele akár 2–10%-kal is kevesebb lehet (Peterson és Stoffel 1980). A napsugarak városi légkörben megtett útjától függ a csökkenés mértéke, mely napi tendenciát mutat. A településeken azonban nem csak a rövidhullámú sugárzási bevétel, hanem a kiadás is lecsökken, ez köszönhető az építőanyagok lecsökkent albedójának, és a városok tagoltságának hatására csapdába eső napsugaraknak. Tehát a vidéki területekhez képest a rövidhullámú sugárzási mérleg nem módosul jelentősen. (Oke 1974).

Hasonló figyelhető meg a hosszúhullámú sugárzás esetén is. A felmelegedett városi felszínek is bocsátanak ki hosszúhullámú sugarakat, bár ennek egy részét a szennyezett városi levegő elnyeli, és az égboltsugárzással visszasugározza a felszínre. Ehhez hozzáadódik, hogy maga a felmelegedett városi levegő is bocsát ki hosszúhullámú sugárzást (Unger et al. 2012). Ezeket a sugárzási viszonyokat a hosszúhullámú sugárzási egyenleg (2.) (Péczely, 1979) foglalja össze:

$$E_h = E_f - E_l. \quad (2.)$$

ahol

$E_h$  a felszín effektív kisugárzása,

$E_f$  a felszín hosszúhullámú kisugárzása,

$E_l$  pedig a légkör hosszúhullámú visszasugárzása a felszín felé.

Összefoglalva a sugárzási mérlegeket levonható, hogy a természetes területekhez képest az eltérés mértéke 5% alatti. (Probáld 1975). Érdeemes megemlíteni, hogy a rövid- és hosszúhullámú sugárzásokkal kapcsolatos számítások a városi légtér felsőbb rétegeire vonatkoznak, ebből adódóan az alsóbb rétegekben, ahol az emberek élnek, nagyobb különbségek is előfordulhatnak.

A települések teljes energiaegyenlegében már nagyobb eltérések figyelhetők meg. Ezt a jelentősebb különbséget az antropogén hőtermelés okozza, értéke a felhasznált fűtőanyag mennyiségétől függ. Tipikus napi átlaga 5–50 W/m<sup>2</sup> között változik (Oke 1988). Szintén eltérést okoz a városi felszínek lecsökkent nedvességtartalma, melynek köszönhetően jelentősen megemelkedik a

településeken az érzékelhető és a rendszerben tárolt hő mennyisége (Unger és Sümeghy 2002).

A városi területek vízgyenlege nagymértékben eltér a természetben tapasztalhatóétól. Ennek egyik oka az antropogén égési folyamatok (pl. közlekedés, ipari tevékenység, fűtés) által a városi levegőbe került vízmennyiség, valamint a városba szállított víznyereség. Fontos említést tenni az antropogén tevékenységek általi vízbeveteli források jellegzetes napi és éves ritmusáról. A város vízgyenlegére hatással van a városi környezet kissé megemelkedett csapadékösszege és a vizet át nem eresztő felszínnek lefolyásának megnövekedése a természetes területekhez képest (Unger és Gulyás 2000).

A kondenzációs magvak jelenlétének növekedése a városokban több esőzést okozhat. Ugyanis a kondenzációs magvak a felhő- és a ködképződés alapjai, melyek lehetnek kis lebegő szilárd porrészecskék vagy apró folyadék részecskék. A levegő lehűlése következtében telítetté válik, eléri a harmatpontot, és ha a hűlés tovább folytatódik, ezekre a részecskékre a fölösleges nedvességtartalma kicsapódik (Gombos, 2011).

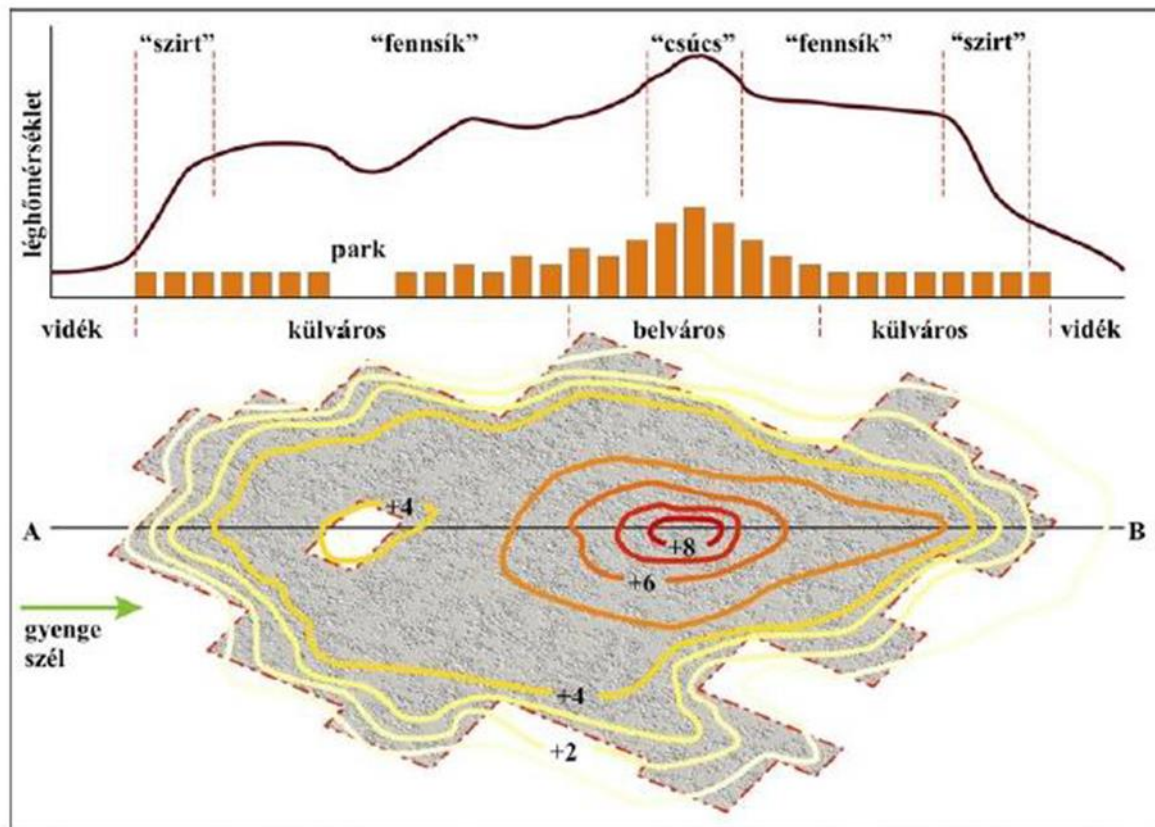
<i>(a) Tulajdonság</i>	<i>Változás</i>	<i>Jellemző nagyságrendek</i>
albedó	alacsonyabb	vidék: 0,12-0,20; külváros: 0,15; város: 0,14
emisszivitás	nagyobb?	vidék: 0,92-0,98; város: 0,94-0,96
antropogén hő	nagyobb	vidék: -; külváros: 15-50 Wm <sup>-2</sup> ; város: 50-100 Wm <sup>-2</sup> (téli 250 Wm <sup>-2</sup> -ig)
kondenzációs magvak: - Aitken - felhőképző	nagyobb nagyobb	vidék: 102-103 cm <sup>-3</sup> ; város: 104-106 cm <sup>-3</sup> vidék: 2-5x10 <sup>2</sup> cm <sup>-3</sup> ; város: 103-104 cm <sup>-3</sup>
<i>(b) Elem</i>	<i>Változás</i>	<i>Nagyságrendi változás vagy megjegyzés</i>
turbulencia-intenzitás	nagyobb	10-50%
szélesebesség	csökken növekszik	5-30% erős áramlásnál (10 m magasságban) a hősziget hatására kialakuló gyenge áramlásnál

szélirány	eltérül	1-10°
UV-sugárzás	sokkal kevesebb	25-90%
napsugárzás	kevesebb	1-25%
infravörös bevétel	nagyobb	5-40%
látótávolság	csökken	
párolgás	kisebb	kb. 50%
konvektív hőáramlás	nagyobb	kb. 50%
hőtárolás	nagyobb	kb. 200%
léghőmérséklet	magasabb	1-3°C több éves átlagokban, de órás átlagban akár 12°C is
légnedvesség	alacsonyabb sokkal magasabb	nyáron nappal nyáron éjszaka és télen egész nap
felhőzet	több pára több felhő	a városban és a város lee-oldalán a város lee-oldalán
köd	több vagy kevesebb	az aeroszol részecskéktől és a környezettől függ
csapadék: - hó - összes - zivatarok	kevesebb több több	egy része esőként hull le inkább a város lee- oldalán, mint a városban

1. táblázat (a) Jellemző felszíni és légköri tulajdonságok, valamint (b) a városklíma paramétereinek megváltozása egy közepes földrajzi szélességen fekvő, kb. 1 millió lakosú nagyvárosban az azonos szélességen jellemző klíma paraméterekhez képest (a közölt értékek külön megjegyzés hiányában a nyári időszakra vonatkoznak) (Oke 1997)

Definíció szerint, a városokban jelentkező hőmérséklet többletet, tehát a város és környezete közötti hőmérséklet-különbséget nevezük városi hőszigetnek (Landsberg, 1981). A „sziget” elnevezés tulajdonképpen a hőtétképen látható, izoterma vonalak által kirajzolt formából származik, amit az 1. ábra is jól mutat. Jól látható a képen, hogy a vidéki terület felől a városközpont felé haladva, a város szélén a hőmérsékleti értékekben ugrás tapasztalható. Ha tovább haladunk a város közepe felé kisebb mértékű, de egyenletes hőmérséklet növekedés tapasztalható, melyet csak néhol szakít meg egy-egy park eltérő energiaegyenlege. A hőmérsékleti csúcstérték pedig a sűrűn

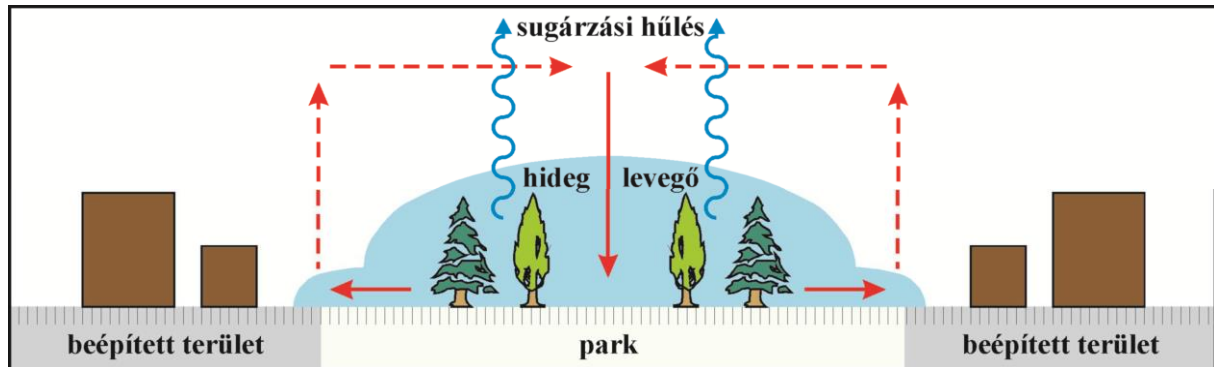
beépített belvárosban észlelhető (Oke, 1987). Ebből is nagyon jól látszik, hogy a felszín anyaga jelentősen befolyásolja a hősziget szerkezetét. Láthatjuk, hogy a város szélén az izoterma vonalak sűrűbben helyezkednek el, mint a városközpontban, ami annyit jelent, hogy a belvárosban kisebb a hőmérsékleti gradiens (Oke, 1982). Azt is észre kell venni, hogy a gyenge szél miatt az izoterma vonalak kissé eltolódnak vízszintesen, a szél irányába. A városi hősziget viszonylag szabályos alakja csak ideális időjárási körülmények között jön létre (Bottyán, 2008).



1. ábra A városi hősziget keresztmetszeti képe és vázlatos horizontális struktúrája, ideális időjárási körülmények között (Unger és Sümeghy, 2000)

Kialakulásának kedveznek az anticiklonális meteorológiai viszonyok, a derült, felhőmentes ég és a szélcsend (Unger, 2010). Anticiklonális, magasnyomású időszakokban észlelték minden nagyvárosban a városi hősziget maximumát. A szélviszonyokat érdemes részletesebben áttekinteni. Igaz, hogy a hősziget kialakulásához teljes szélcsend kell, de teljes szélcsendről nem beszélhetünk, hiszen maga a városi hősziget is indukál szélmozgást, még akkor is, ha a város környezetében teljes szélcsend van (Péczy, 1979). Az indukált szélmozgás magyarázata alapvetően a városi hősziget által kialakított termikus konvekció, vagyis a hősziget hatására a maximum környezetében kialakul egy feláramlás. A meleg levegő felemelkedik, helyére pedig a város pereme, nagyobb kiterjedésű

parkok felől hűvösebb levegő áramlik. Tehát a városi hősziget saját magát hűti. Ezt a jelenséget nevezzük park szellőnek (2. ábra). Megfigyelhető egy olyan jelenség, ahogy a városi levegő hőmérséklete lecsökken, a beáramló hideg levegő hatására a termikus konvekció mértéke is csökken, ez által a légáramlás is mérséklődik, szélső esetben akár meg is szűnhet. Majd az álló levegő újra felmelegszik és a konvekció újra indul (Unger, 2009).



2. ábra A parki szellő kialakulásának sematikus ábrája (Unger et al. 2012)

A tagolt, érdekesebb városi felszínek felett a szélesebbég lecsökken, viszont vannak esetek, amikor pont megerősödés tapasztalható és ez egyfajta ventilációs folyosó kialakulását okozza. Ezen folyosók feltérképezése és fenntartása napjainkban egyre fontosabbá válik, mert hozzájárulnak a belvárosi hőterhelés mérsékléséhez és a szennyezett városi levegő felhígulásához (Unger et al. 2012).

Gyenge regionális szélviszonyok esetén a város maga is indukál egy, a park szellőhöz hasonló mechanizmusú légmozgást, az úgynevezett vidéki szellőt, mely a melegebb városi környezet hatására az alacsonyabb hőmérsékletű vidéki területek felől indul meg. A meleg levegő a települések magjában feláramlik, és egy sajátos körfolyamatot indukál (Eliasson és Holmer 1990). A vidéki szellőnél szintén megfigyelhető, ami a parkszellőnél is jelen van, hogy jelenléte közben gyengíti a hősziget-intenzitást, és ha az egy küszöbérték alá esik, megszűnik a cirkuláció (Unger, 2010).

A hősziget kialakulásának hátterében kizárólag antropogén hatások állnak, melyek elsősorban a sugárzási egyenleg módosulásában mutatkoznak meg. Az alábbiakban a városokban keletkező hőmérsékleti többlet lehetséges okai olvashatók, Oke (1982) írásai alapján.

- Nagyméretű aktív felszín a sugárzási folyamatok szempontjából
- Szennyezett városi levegő
- Égbolt-láthatóság csökkenése
- Antropogén eredetű hőtöbblet

- Mesterséges anyagok rossz hőtechnikai tulajdonságai
- A víz gyors lefolyása
- Városi felszín érdessége

A hősziget-hatásra az egyik megoldást a városi felületek albedójának növelése jelentheti. A jelenlegi technológiákkal a városok felszínének albedója közel 10%-kal növelhető, ezáltal nagyobb lesz a fényvisszaverő képessége az anyagoknak, így kisebb lesz az elnyelt energia, és kisebb lesz a városok hőátadása a környezetnek. Vizsgálatok bizonyítják, hogy az éves CO<sub>2</sub> kibocsátás 57 Gt-val csökkenthető lenne a Földön, ha városi tetők albedóját 25%-kal és az útburkolatokat 15%-kal növelnék (Menon et al. 2010). A kisebb szén-dioxid kibocsátás lassíthatja a globális felmelegedést. Ha minél több városban alkalmazzák a hidegtetőket, hideg útburkolatok technológiáját, annál gyorsabban jelentkeznek a globális mérséklő hatásai (Nagy B. 2016).

## 2.2. Termovíziós módszertan

A felszíni városi hősziget vizsgálatában a távérzékelés nagy jelentőségre tett szert az utóbbi évtizedekben, így mindenképpen szükséges áttekinteni az ilyen típusú vizsgálatok történetét és eddigi eredményeiket.

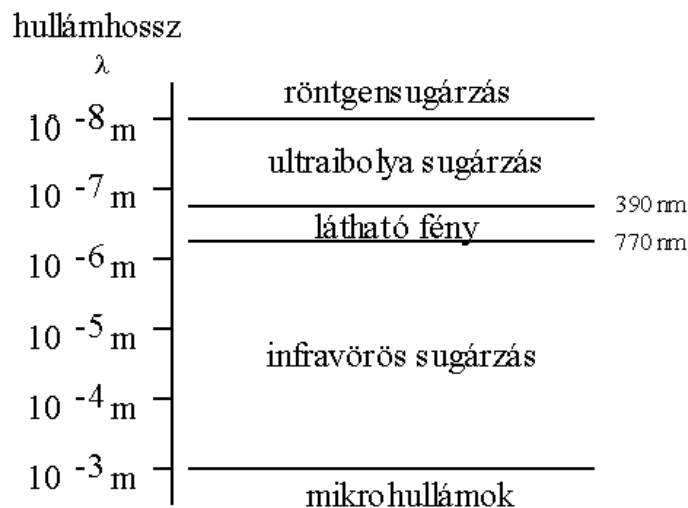
A műholdas vizsgálatok az 1970-es évektől datálhatóak, amikor az első nagyfelbontású műholdképek a civil életben is megjelentek. Ki kell emelni P.K. Rao kutatását, melyhez 7,4 km-es felbontású infravörös műholdképeket használt. Városi léptékhez képest ez ma már rendkívül durva felbontásnak számít, azonban a vizsgált terület (New York, Philadelphia, Baltimore, Washington) rendkívül nagy mérete lehetővé tette a városklimatológiai alkalmazást és az ilyen irányú következtetések levonását (Rao, 1972). Legfontosabb eredménye, hogy a városi területek jelentős hőmérsékleti anomáliát mutattak a műholdas felvételeken, vagyis a műholdas felvételek tényleg alkalmasak városklimatológiai vizsgálatokra. Az 1970-es évekből még ki kell emelni T. N. Carlson, J. A. Augustine és F. E. Boland eredményeit, akik már 1 km térbeli felbontóképességű műholdképekkel dolgoztak, melyekkel már az egyes városi területhasználatokra is lehetett következtetéseket levonni (Carlson et al., 1977) Az 1970-es évek végére már jelentős számú ilyen irányú kutatást végeztek, melyekhez az 1 km-es felbontóképességű műholdképeket felhasználták. A kutatás során vizsgálták a hősziget kiterjedését, maximális intenzitását, illetve annak napi és éves menetét, mindezekhez amerikai városokat használva vizsgálati területként. Érdemes kiemelni J. C. Price munkásságát is, aki már nagyobb felbontású műholdképeket alkalmazva megállapította, hogy a műhold által mért felszínhőmérséklet akár 10-15 °C-kal

is meghaladhatja a várost övező területek felszínhőmérsékletét, továbbá kimutatta, hogy már egészen kis települések esetén is észlelhető a városi hősziget jelenléte (Price, 1979).

A műholdas vizsgálatok mellett mindenképpen meg kell említenünk a távérzékelésnek egy másik módszerét, a repülőgépről történő felvételezést is. Izraelben, Tel-Avivban végeztek ilyen méréseket (Ben-Dor – Saaroni, 1997), melynek során egy repülőgépre szerelt hőkamerával fényképeket készítettek a városról. A módszer előnye a rendkívül jó térbeli felbontóképesség, hátránya viszont a fellépő torzítások problematikája, a mérés időbeli elhúzóda, melyek utólagos korrekciókat igényelnek. Hasonló kutatás folyt a Szegedi Egyetemen is Unger János és Rakonczai János vezetésével (Unger et al., 2009).

A hőkamerás vizsgálatok megértéséhez tekintsük át a hőkamerák működésének elméleti hátterét:

A testek abszolút 0 K (-273,15 °C) felett infravörös sugárzást bocsátanak ki. Az infravörös módon hőmérsékletet mérő eszközök ennek az infravörös sugárzásnak a mérésén alapulnak.



3. ábra Hullámhosszok (Pólik, 2014)

A valóságban a testek másképpen sugározzák ki a hőmérsékletükből adódó energiát, eltérő az emissziós (sugárzási) tényezőjük. Az elméletben egy tökéletes sugárzót, 100%-os emissziós tényezőjű anyagot, úgynevezett fekete test modellt alkalmazunk a valóságos tárgyak megismerésére. A valódi testek infravörös-kisugárzási képességét az emissziós tényező  $\epsilon$  adja meg. A valódi testek esetében  $\epsilon < 1$  és függ a hullámhossztól és hőmérséklettől is. Ezen kívül a következő tényezők szintén befolyásolhatják az emissziós tényezőt, ezáltal a hőmérséklet mérés eredményét is (Pólik, 2014):



- Anyagösszetétel (beleértve: felületi bevonatok, korrodálódás, oxidáció mértéke)
- Felület érdessége
- Hőmérséklet és hullámhossz
- Megfigyelési szög
- Polarizáció mértéke

Termográfiai méréseknél az átviteli közeg szinte majdnem minden esetben levegő. A mérés eredménye függ a közeg transzmissziós képességétől, és a hullámhossztól. Nagy hatással van a levegő szén-dioxid és vízpára tartalma a hullámhosszra. Így közvetve a levegő hőmérséklete és szennyezettsége is befolyásolja a mérést. Kis távolságok esetén jelentősége csekély (Pólik, 2014).

A  $\Phi_\varepsilon$  sugárzás, melyet az  $\varepsilon$  emissziós tényezőjű  $\vartheta_0$  hőmérsékletű test sugároz, az alábbi módon számolható (termográfia alapegyenlete):

$$\Phi_\varepsilon = \varepsilon \cdot \Phi(\vartheta_0), \quad (3.)$$

ahol  $\Phi(\vartheta_0)$  az azonos hőmérsékletű fekete test által kibocsátott sugárzás.  $\varepsilon$  az emissziós tényező.

A tárgy felülete ezen kívül két további sugárzást bocsát ki:

$$\Phi_\rho = \rho \cdot \Phi(\vartheta_U), \quad (4.)$$

visszavert sugárzást és

$$\Phi_\tau = \tau \cdot \Phi(\vartheta_{BG}), \quad (5.)$$

átbocsátott sugárzást.

A mérési útvonalon áthaladó összes sugárzás tehát:

$$\Phi_0 = \Phi_\varepsilon + \Phi_\rho + \Phi_\tau. \quad (6.)$$

Minden testre igaz, hogy

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1, \quad (7.)$$

azaz az emissziós, a reflexiós és a transzmissziós tényező összege egy.

Átlátszatlan testek esetén (ez a leggyakoribb)  $\tau = 0$ .

A termográfiai eszközök által használt tipikus modell a következő:

$$\Phi_M = \tau_p \cdot (\varepsilon \cdot \Phi(\vartheta_0) + (1 - \varepsilon) \cdot \Phi(\vartheta_U)) + (1 - \tau_p) \cdot \Phi(\vartheta_p), \quad (8.)$$

ahol  $\Phi_M$  az érzékelőre eső sugárzás,  $\tau_p$  a közeg átviteli tényezője,  $\vartheta_p$  az átviteli közeg hőmérséklete,  $\vartheta_U$  a környezet hőmérséklete. Ezt  $\vartheta_0$ -ra átrendezve kapjuk a mérendő tárgy hőmérsékletét.

Ezek közül az alábbi mennyiségeket az eszköznek mindig meg kell adni:

- $\varepsilon$ : a mért tárgy emissziós tényezője,
- $\tau_p$ : a közeg átviteli tényezője,
- $\vartheta_p$ : az átviteli közeg hőmérséklete,
- $\vartheta_U$ : a környezet hőmérséklete

Ha a mérési útvonal nagyon rövid, akkor a  $\tau_p=0$  és az egyenlet egyszerűsödik (PIM, 2010).

Most a következőkben tekintsük át a termográfiai mérés problémáit. Az infravörös hőmérsékletmérés hibái közül a leggyakoribb a mérőeszköz működéséből eredő mérési pontatlanság. A mérés pontosságát befolyásoló tényezők a bevitt hiba nagyságának sorrendjében:

- Pontatlanul megválasztott emissziós tényező
- Zavaró sugárzás visszaverődése a mérőtárgy felületéről
- Jelveszteségek a jelterjedési úton
- Háttérsugárzás átbecsátása a mért tárgyon keresztül (pl.: szövet)
- Mérőberendezés pontatlansága

Leggyakoribb és legnagyobb mérési hibát okozó probléma az emissziós tényező pontatlan megválasztása. Ha a mérendő tárgy emissziós tényezője nem 100% (ami csak fekete test esetén igaz), akkor a környezeti hőmérséklet megadása is szükséges. (Környezeti hőmérséklet a mérendő tárgy mérőeszköz felé eső részét körülvevő tér átlagos hőmérséklete.) Minél jobban eltér a mérendő test emissziós tényezője a 100%-tól, annál inkább nő a reflexiós tényezője. Ilyenkor a mérendő testről a környező tárgyak által kibocsátott sugárzás visszaverődik. Ekkor a mérőműszeren a mérendő tárgy kibocsátott hőszugárzásának és a róla visszaverődött sugárzásának az összegét látjuk. (Legrosszabb esetben csak a visszaverődött sugarakat.) A testek által kisugárzott infravörös sugárzás spektrumának az átviteli közegen csak egy része halad át. Az átviteli közegben kialakuló veszteségek nagy távolságok esetén megnövekszenek. Különösen nagyok a veszteségek, ha a közegben köd, aeroszolok, vízpára, nagy koncentrációjú CO, CO<sub>2</sub> vannak jelen. Ezen veszteségnövelők hatásának kiküszöbölésére a kiértékelés során lehetőség van. Szintén gondoskodni kell a kompenzációról, ha a mérés infravörös sugarakat átbecsátó ablakon, áttetsző tárgyakon keresztül történik. Ilyenkor a tárgy mögött lévő testek hőmérsékletét is figyelembe kell venni. Ez különösen nehéz, ha az áttetsző tárgy mögött erős hőszugárzók vannak jelen.

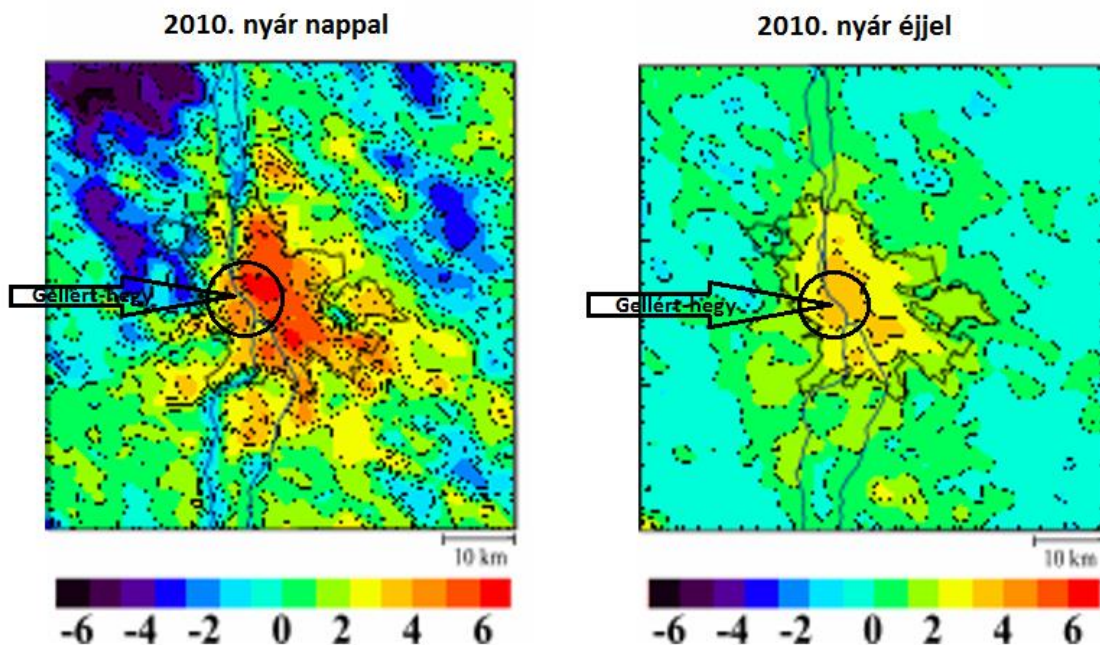
Mérendő anyag pontos emissziós tényezőjének megválasztása szakirodalom alkalmazásával jelentősen csökkentheti a felmerülő hibákat. Ez különösen fémeknél problémás, mivel azok általában alacsony emissziós tényezővel rendelkeznek és a hullámhossz függvényében nagy különbségeket mutatnak. Az anyag felületi megmunkálása is nagy hatással lehet rá (pl. polírozott felületek). Ilyenkor a kísérleti meghatározás vezethet eredményre. Ehhez kísérletet kell végezni a mérendő tárgyon, vagy egy hasonló tulajdonságokkal rendelkező referenciatárgyon. Ha az emissziós tényező értéke eltér az 1-től, akkor a mért érték meghatározásában jelentős szerepe van a környezeti

hőmérsékletnek is (reflexió, transzmisszió). A környezeti hőmérséklettel való korrekciót a hőkamerák automatikusan el tudják végezni, ha a funkció be van kapcsolva, de manuálisan is elvégezhető. (PIM, 2010)

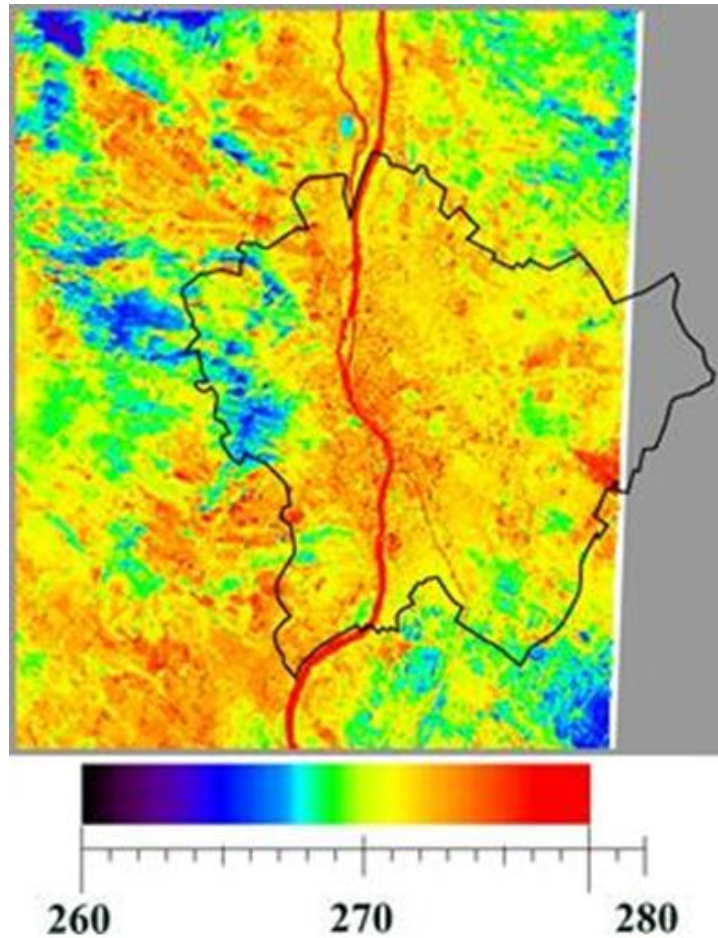
Az épületek termográfiájához az alacsony hőmérsékletek miatt hosszú hullámú hőkamerát kell választanunk. A középhullámú hőkamerákkal ugyanis hideg testek nem mérhetők, mivel azok középhullámú sugárzása minimális, vagy egyáltalán nincs. További pozitívumként merül fel a mérések során, hogy a mérendő tárgyak hőmérséklete tipikusan csak kis mértékben tér el a környezeti hőmérséklettől, a reflexió hatásától csak csekély mértékben kell tartanunk. Egészen más a helyzet például az üvegfelületek vagy a fém burkolatok esetén, mivel magas emissziós tényezővel rendelkeznek ezért ezek sajnos alapesetben nem mérhetők. (Pólik, 2014)

### 3. Alkalmazott módszertan

A városi hősziget-hatást az eddigiekben bemutatott módok alapján tehát többféleképpen is vizsgálták már különböző városokban a múltban. Budapest esetében végeztek publikus kutatásokat már műholdas felvételek alkalmazásával, repülőgépekről készített termovízióval valamint egyes városi magaspontról (pl. magasabb épületek ablakaiból) készített hőkamerás felvételekkel is.

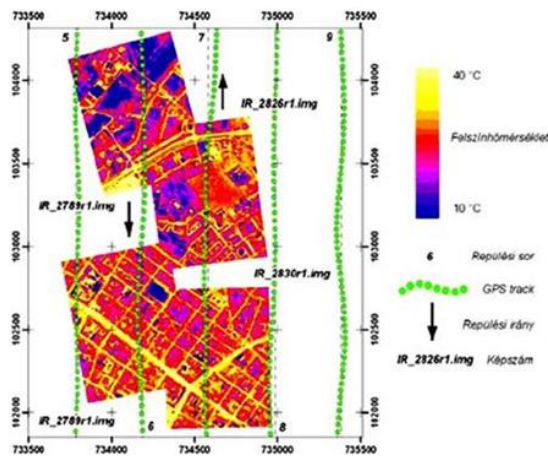


4. ábra Budapest felszínhőmérséklete és a városkörnyéki átlaghőmérséklet különbsége (°C), (fekete körrel jelölve a vizsgált terület) (Pongrácz R., Bartholy J. 2013)



5. ábra 2003. február 2., nappal felszínhőmérsékletek (K)  
műholdas felvétel (Pongrácz R., Bartholy J. 2013)

A műholdas felvételek problémája, hogy a kisebb parkok, zöldfelületek hatásai nem érzékelhetők a felvételeken azok alacsony felbontása miatt. Erre példa a 4. ábrán látható képek, melyek műholdas felvételek. Ha jobban megnézzük, a képeken nem látjuk a nagyobb parkok (Pl.: Városliget, Népliget, Gellért-hegy) hatásait, a belváros egybefüggő hőmérsékletű területként látszódik. Ezzel a felbontással városok és azok környezete vizsgálható. Kimutatható a hősziget-jelenség megléte, azonban a városon belüli lokális klimatikus viszonyok nem látszódnak. Az 5. ábrán szintén műholdas felvételt láthatunk, viszont a felbontása nagyobb az előzőnél. Ezen a felvételen már látszódnak a nagyobb parkok, egybefüggő zöldterületek, de a kisebb zöldfelületek, parkok hatásai nem vizsgálhatók.



6. ábra Repülőgépről készült termovíziós felvétel  
(Pongrácz R., Bartholy J. 2013)

A repülőgépről történő hőkamerás felvételeknek több problémája is van. A repülőgép a felvételek készítése közben mozog ezért a felvételezés során előfordulhat feltáratlan terület és a képek összeillesztésénél ez problémát okozhat (6. ábra). A repülőgépről vagy magaspontról történő felvételek készítésénél viszont már látszódnak a kisebb parkok, zöldfelületek hatásai is. Saját adatgyűjtésemhez az előbb felsoroltak miatt a magas pontról történő termovíziós felvételek készítését választottam. A termográfia segítségével vizsgálhatjuk a hősziget jelenség hatásait az épületek felületének hőmérséklete által. A termográfiai mérések a felületek hőmérsékletének pillanatfelvételét szolgálja, amelyet a legkülönbözőbb mérési körülmények befolyásolnak.

Épületekkel kapcsolatosan alapvetően kétféle termográfiai eljárást különböztetünk meg egymástól: kvantitatív (mennyiségi, számszerű) és kvalitatív (minőségi, általános) termográfiai vizsgálatokat.

A kvantitatív termográfia célja az épületek teljes felületi hőeloszlásának kiértékelése. A hőkamerával végzett adatgyűjtéssel kapcsolatosan szigorú feltételeket kell teljesíteni.

Az eljárásra jellemző:

- nagy kiértékelési igény
- erős korlátok az évszak, a napszak és az időjárás szempontjából
- csak több esőmentes nap után és csak szélcsendben végezhető el

A kvalitatív termográfia lényege a hőmérsékleti különbségek gyors észlelése és dokumentálása. Nagyfelbontású hőkamerával megjeleníthető hőkülönbségek alapján gyors következtetésekre lehet jutni a városi hősziget hatás jelenlétével kapcsolatban.

Az eljárás jellemzői:

- kevesebb korlátozás a mérési feltételekkel szemben
- enyhébb korlátok az évszak, a napszak és az időjárás szempontjából

- csak esőmentes napon és csak szélcsendben, illetve gyenge szélsébségek esetén végezhető el

Vizsgálataim során a kvalitatív termográfiai vizsgálatokat készítettem.

A vizsgálatokhoz nappali és éjszakai termovíziós felvételeket alkalmaztam, melyeket konzulensem Nagy Balázs segítségével készítettem.

Adatgyűjtésem a repülőgépről történő felvételezéshez állt legközelebb. A termovíziós felvételek készítéséhez a felületre merőleges szögben készült képek lennének az ideálisak, ezért célszerű repülőgépről fényképezni. Repülőgép hiányában a felvételeim elkészítéséhez keresnem kellett egy alkalmas magas pontot Budapest belvárosához közel, hogy jól belátható legyen a vizsgált terület, és a merőlegeshez is közelebb legyenek az elkészült felvételek. A Gellérthegy megfelelő pontnak tűnt a felvételeim elkészítéséhez. A termovíziós képek elkészítéséhez egy Testo 885-2 ipari hőkamera superresolution funkcióját használtam. A következőkben ismertetem a kamera néhány, fontosabb műszaki paramétereit:

- Hőkép felbontás: 640x480 pixel
- IFOV (geometriai felbontás): 1,06 mrad
- Fókusz: automata/kézi
- Látómező: 30°x23°
- Termikus érzékenység: <30mK +30°C-on
- Méréstartomány: -30 °C...+100°C; 0 °C...+350 °C (állítható); 0 °C...+650 °C (állítható)
- Magas hőmérséklet mérés: +350... +1200 °C
- Reflektált hőmérséklet: kézi beállítású
- Transzmisszió korrekció: automata
- Pontosság magas hőmérsékletű mérésnél:  $\pm 2$  °C,  $\pm$  a mért érték 2 % -a

A méréshez használtunk még továbbá Testo rádiófrekvenciás páratartalom/hőmérséklet érzékelő fejet, ami folyamatosan küldte a hőmérséklet és páratartalom mérési eredményeket a hőkamerának, ami a hőmérséklet és nedvességtartalom korrekciót így megcsinálta magának. A szélsébséget pedig Testo 405 hődrótos légsebességmérővel mértük.

A nappali felvételeket 2016. július 12-én, az éjszakai képeket pedig augusztus 6-án készítettük. A mérések időpontjában az időjárási adatok a következők voltak:

- Nappali mérés: hőmérséklet: 32,8°C-34,5°C; páratartalom: 31%-35%; szélsébség: 0-8,0km/h
- Éjszakai mérés: hőmérséklet: 19,7°C-21,2°C; páratartalom: 75%-84%; szélsébség: 4,6-11,5km/h

A szélesség 0km/h-tól 11,5km/h-ig a Beaufort-skálán a 0-2 fokozatokba sorolhatók, melyek gyenge szélnek felelnek meg. Megjegyzem, hogy a Gellért-hegyen a magasság miatt feltehetően nagyobb szélesség mérhető, mint a városban.



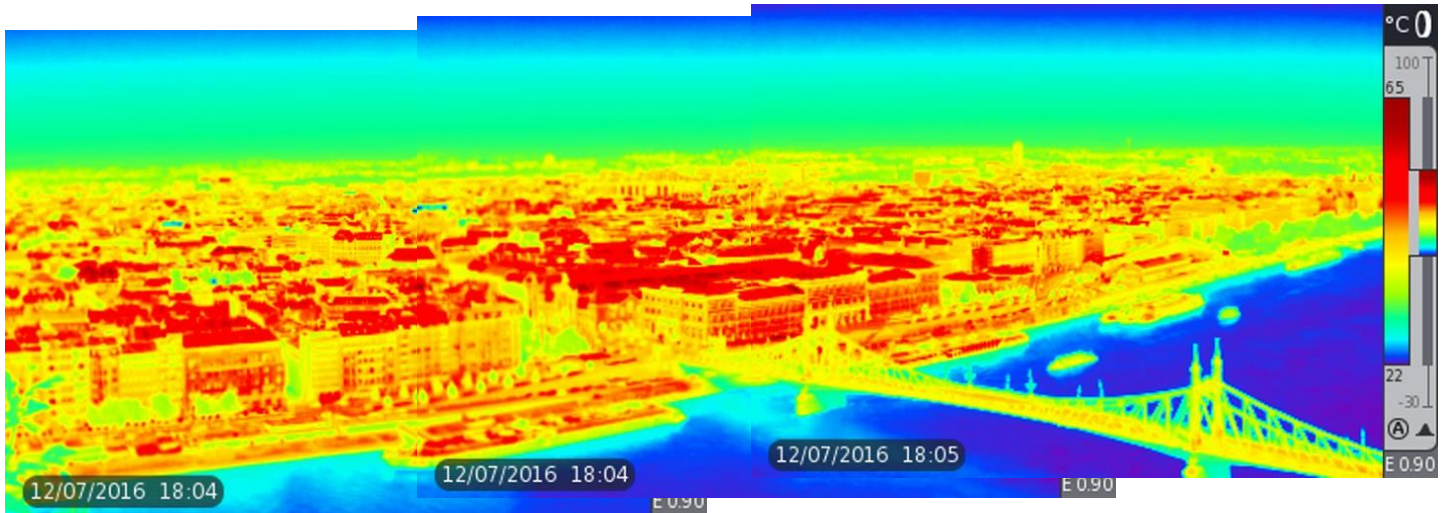
7. ábra Nappali felvételek készítése



8. ábra Éjszakai felvételek készítése

#### 4. Eredmények

A következőkben bemutatom a hőkamerás felvételek elemzésének eredményeit külön nappal, külön éjszaka és végül a kettő összehasonlítását, összevetését. Az termovíziós felvételek eltérő színezése az csupán amiatt van, hogy az olvasó könnyen megkülönböztethesse a nappali (szivárvány) és éjszakai (vas) felvételeket. A skálafelosztás pedig azért nem azonos minden felvételen, mert a skálát a szélsőségek bemutatására használom, ezért az egyes képeket elemzem, és nem a képek tartalmát egymással. A hőképek 0,9-es emissziós tényezővel készültek, egységesen, ezért az eltérő emissziós tényezőjű felületekkel nem foglalkoztam, azaz ilyen esetben nem a pontos hőmérsékleteket látjuk, hanem csak közelítőt, ami a jelentősen eltérő emissziós tényezővel rendelkező felületek (fényes, polírozott fémfelületek) esetén kiugró lehet. Tehát a hűvös foltok jelenthetnek eltérő, rendkívül alacsony emissziójú felületeket is, pl. fémlemezfedéses tetőt adott esetben.

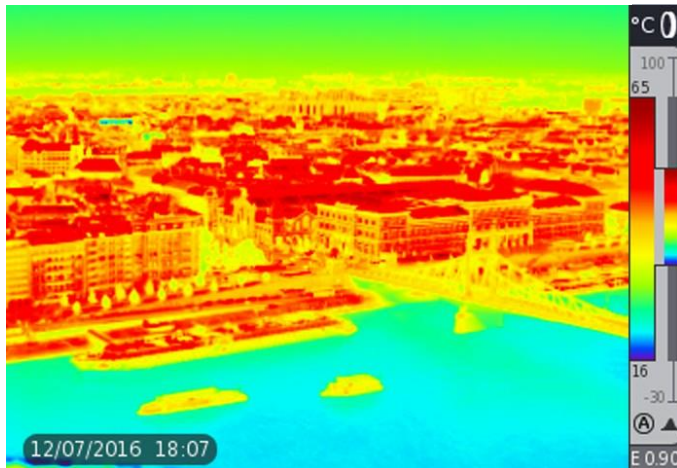


9. ábra Dél Pest nappal

#### 4.1.Nappali mérés

A vizsgálatokat a Pesti oldallal kezdem (9. ábra), külön kiemelve a Duna part melletti területeket. A termovíziós felvételen jól látszik, hogy a tetőfelületek sokkal melegebbek, akár a 64 °C-ot is elérhetik, míg a függőleges felületek hűvösebbek, kevésbé melegednek át. Jól megfigyelhető a képen az is, hogy a növényzetek felülete sokkal hűvösebb környezetüknél. A növényzet e tulajdonságából adódóan észlelhető a környezetre gyakorolt hűtő hatása. Ha megnézzük a képen távolabb látható területeket, azt tapasztaljuk, hogy a színük zöldes árnyalatú, azaz hűvösebb, ennek oka az ott található nagy kiterjedésű zöldfelületek, parkok (Népliget, Orczy kert, Fiumei úti sírkert) hűtő hatása. Ha közelebb tekintünk, több dolog is feltűnhet. Az első, hogy a Duna felé eső épületek homlokzata nem azonos hőmérsékletű, ennek oka az épületek eltérő kora lehet. A sárgásabb színnel látszó épületek új építésűek vagy felújítottak. Ez bizonyítja, hogy az újabb technológiáknak köszönhetően a megnövekedett albedójú anyagok kevésbé melegszenek fel.





10. ábra Fővám tér nappal

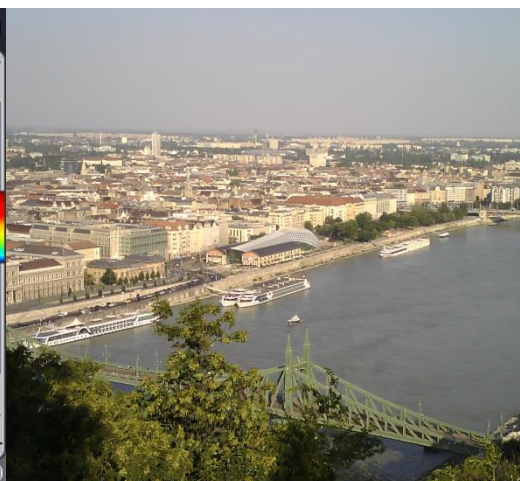


11. ábra Fővám tér

Ha a Fővám teret (10. ábra) vizsgálom, látható, hogy a teret övező épületek hőmérséklete hűvösebb, mint az attól távolabb lévőké, ez leginkább a Corvinus egyetem főépületén látszik. A tér felé eső oldala láthatóan hűvösebb, mint a Duna felé eső része. A parkok hűtő hatása talán még inkább szembetűnőbb a Nehru part esetén (12. ábra). A park körüli épületek színben jelentősen eltérnek, környezetükétől ez azt jelenti, hogy hűvösebbek. A két park hűtő hatása között szemmel látható eltérés van. Ennek oka a parkok kialakítása. Míg a Fővám téren csak néhány fáról beszélhetünk addig a Nehru parton jóval több található. Az is megfigyelhető, hogy a Fővám téren a burkolt felületek aránya jelentősebb.



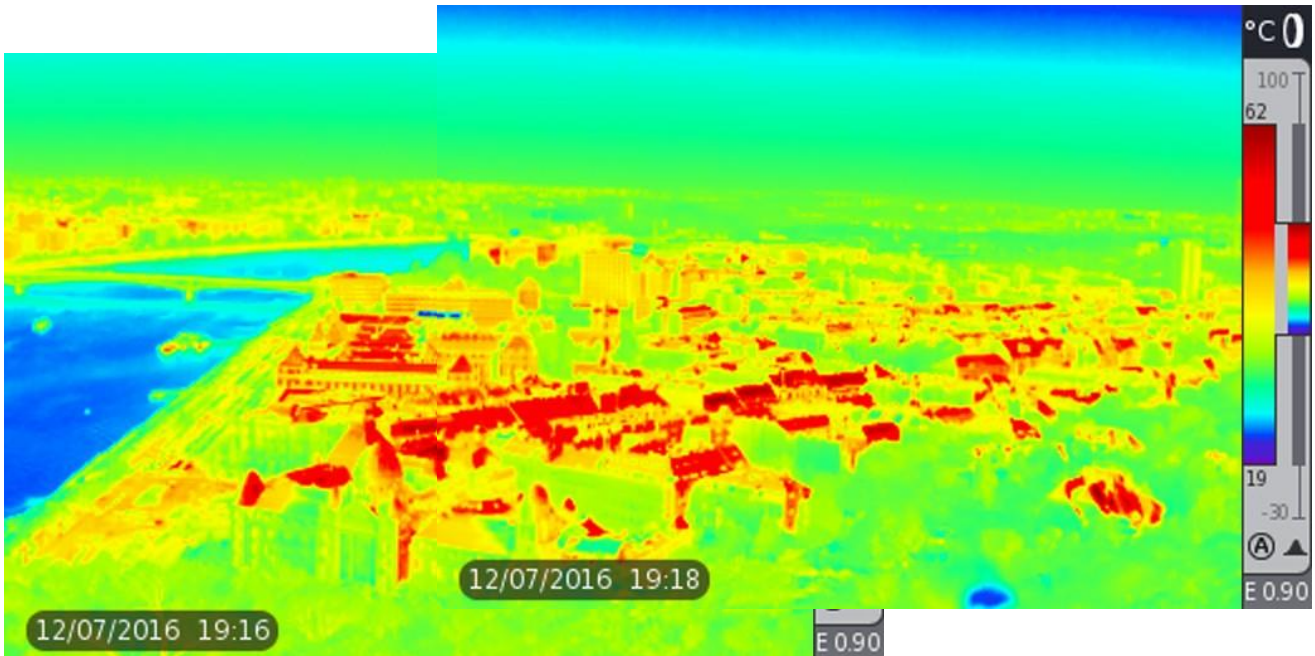
12. ábra Nehru part nappal



13. ábra Nehru part

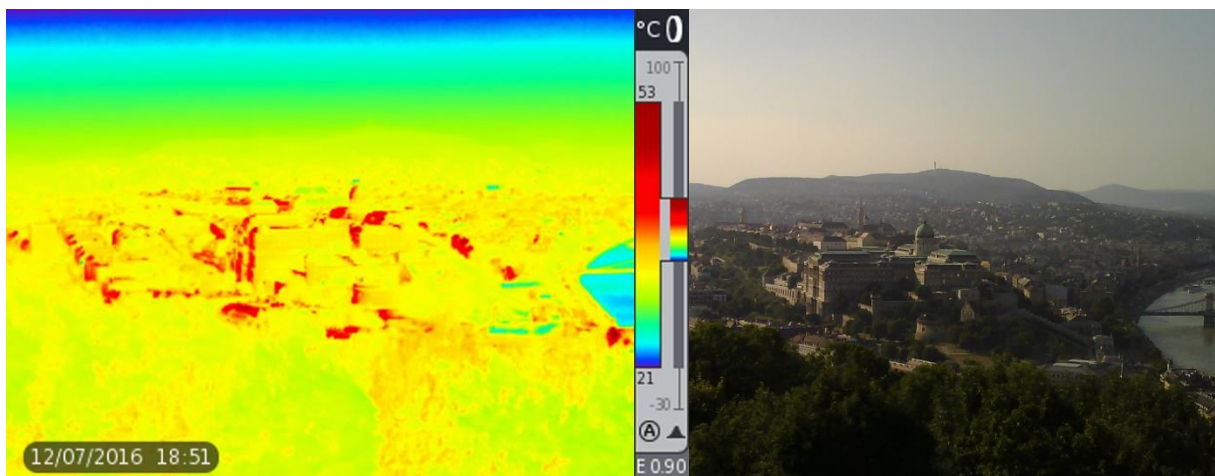
Térjünk át most a budai oldalra, Dél-Budára (14. ábra). A képekről első ránézésre megállapítható, hogy Buda hűvösebb, mint Pest. Ennek oka a több zöldfelület jelenléte és a domborzati viszonyok. Ha közelebbről megnézzük a

Gellért fürdőt, jól látható, hogy a Gellérthegy felőli oldala jelentősen hűvösebb, mint a Műszaki egyetem K épületének hasonló fekvésű homlokzata. A budai oldal épületeinek vizsgálata a sok zöldfelület miatt igen nehéz, ezért a területet egyben lehet vizsgálni. Budapest e területéről megállapítható, hogy jó mikroklimatikus viszonyokkal rendelkezik. A hősziget-hatás nem jelentős.



14. ábra Dél-Buda nappal

Ha áttekintünk a Gellérthegy másik oldalára, a budai várat látjuk (15. ábra) és azt tapasztaljuk, hogy a felületi hőmérséklet maximuma alacsonyabb, mint az eddigi területeken. Lényegében ugyanaz tapasztalható, mint a dél budai területeken.



15. ábra Budai vár nappal

16. ábra Budai vár

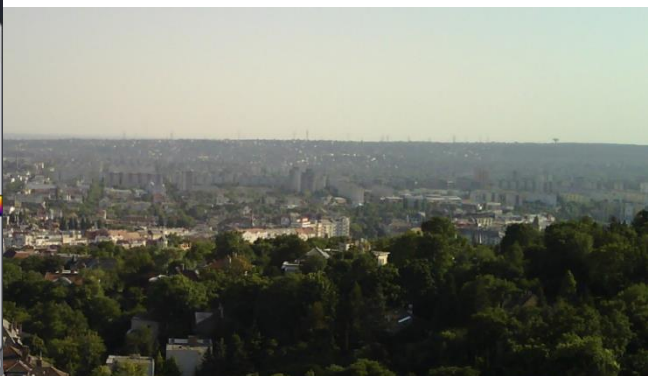
## 4.2.Éjszakai mérés



17. ábra Dél Pest éjszaka



18. ábra Dél Buda éjszaka 1.

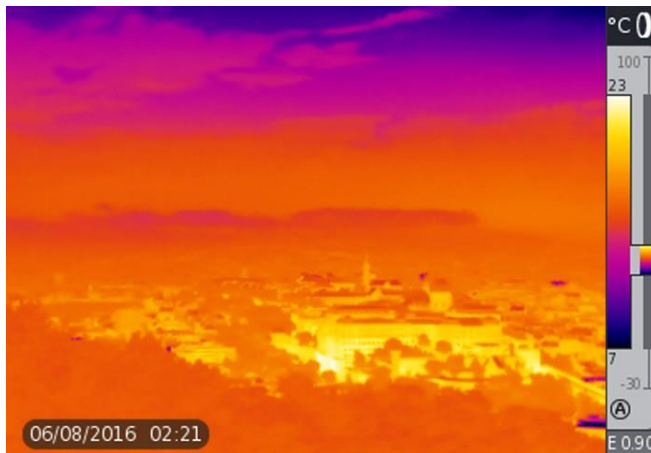


19. ábra Dél Buda

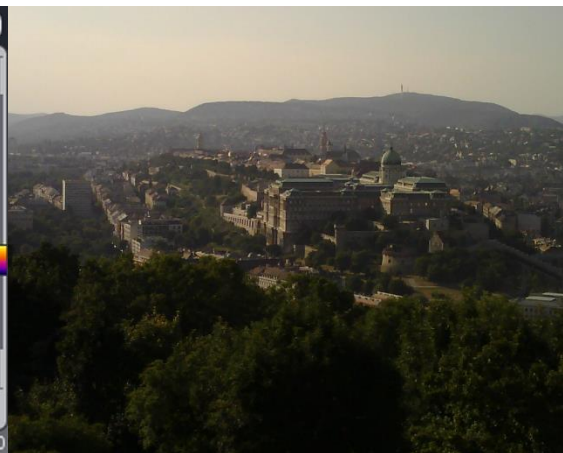
Az éjszakai felvételek bemutatásánál ugyanazt a sorrendet követem, mint a nappali felvételeknél. Így kezdjük is a Dél-Pesti, Duna parti szakasszal (17. ábra). Jól látszik a képeken, hogy a függőleges felületek melegebbek, mint a tetők, vízszintes felületek. Ennek az oka, hogy lassabban hűlnek, mert nem tudják a hőenergiát kisugározni az ég felé ellentétben a tetőkkel. Leolvasható a képről, hogy a Duna melletti támfalak hőmérséklete megközelíti a 30°C-t. A nappali rövidhullámú besugárzáshoz képest most a hosszuhullámú kisugárzás a jellemző. Azok a felületek, melyek nyitottak az ég felé, lényegesen hamarabb lehűlnek, mint a függőleges felületek. Az is kikövetkeztethető a képekről, hogy a zöldfelületek jelentősen nem befolyásolják a környezetük hőmérsékletét. Az

épületek hőleadása egyenletes, nincs kiemelt irány, mely irányban nagyobb vagy alacsonyabb lenne a kisugárzott hőenergia. Ugyanazok a jelenségek tapasztalhatók Budán is, mint Pesten. Jelentős különbség nem vehető észre. A 18. ábrán szépen kirajzolódnak az újbudai panelházak homlokzatai, a nagy függőleges felületek magasabb hőmérsékletei miatt. A 22. ábrán látható, hogy a Duna pesti partján végighúzódó támfal menyivel melegebb, mint környezete.

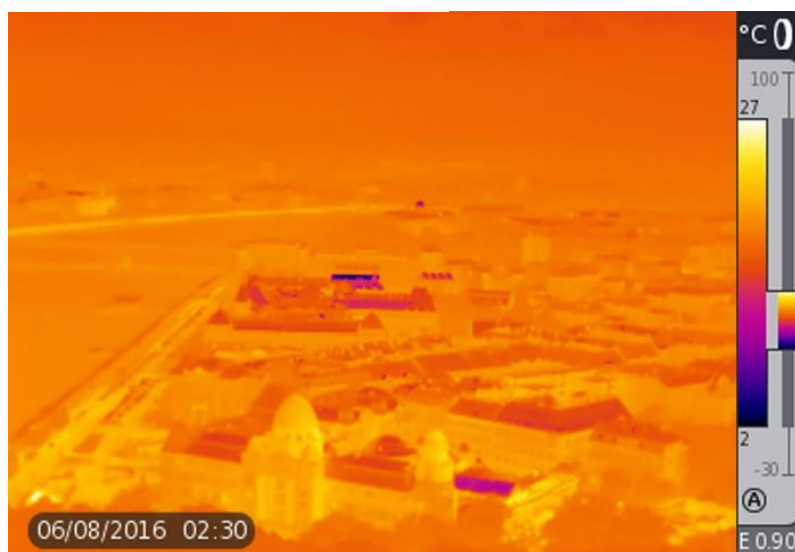
A Budai várról készült képeken (20. ábra) szintén nagyon jól látszanak a függőleges felületek magasabb hőmérsékletei. Ezen a képen felfedezhetők még



20. ábra Budai vár éjszaka



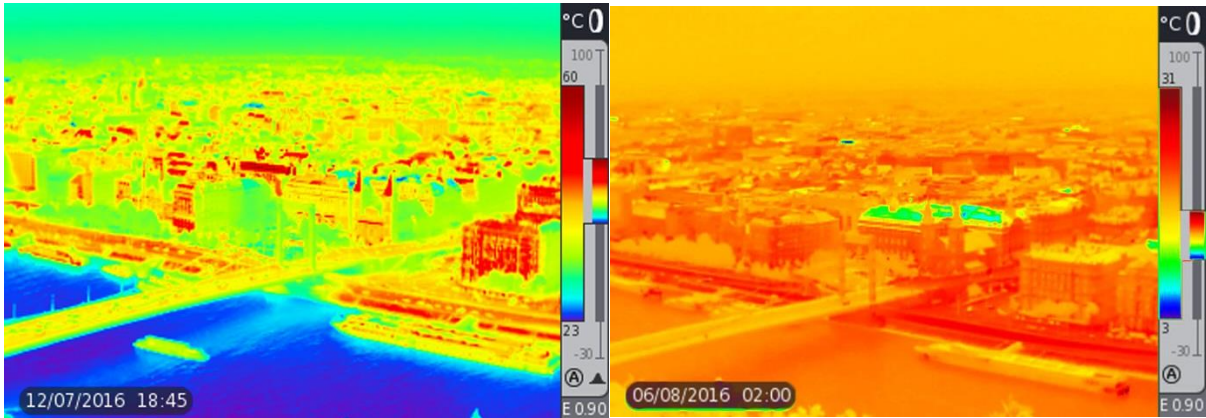
21. ábra Budai vár



22. ábra Dél Buda éjszaka 2.

a háttérben a Budai-hegység vonulatai is. Ha jobban megnézzük, látjuk, hogy a háttérben meghúzódó hegység lilás árnyalatú, ami arra utal, hogy hidegebb a felülete, vagyis ebből arra lehet következtetni, hogy a városi területek hőmérséklete magasabb, mint a vidéki területeké. Az is jól látszik, hogy a hegyvidéki kerületek hőmérséklete is jelentősen alacsonyabb, mint a beljebb fekvő területeké.

### 4.3. Nappali és az éjszakai mérés összehasonlítása



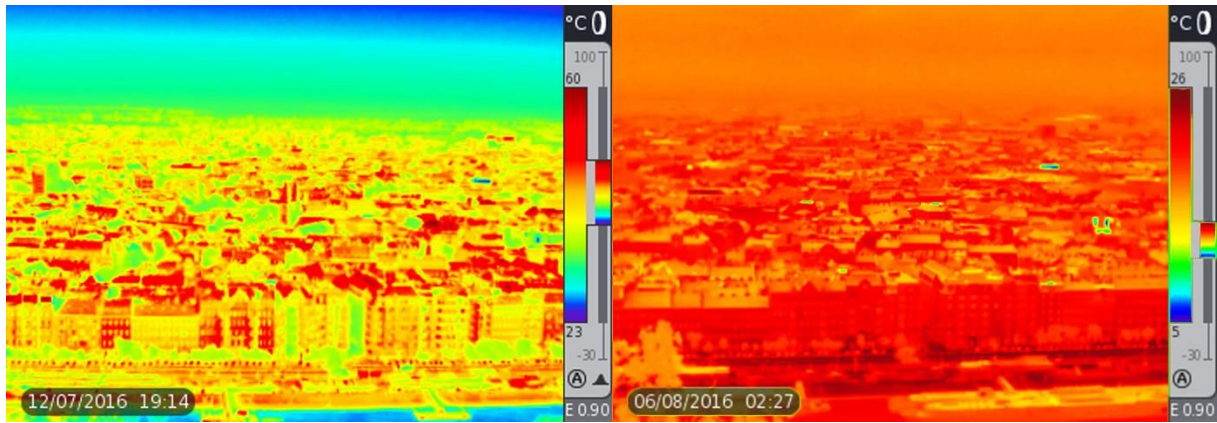
23. ábra Március 15. tér nappal

24. ábra Március 15. tér éjszaka



25. ábra Március 15. tér

A Március 15. téren található egy kisméretű park, de ha a nappali hőkamerás felvételeket jobban megnézzük (23. ábra), akkor azt tapasztaljuk, hogy környezete hőmérsékletének szempontjából igen jelentős. Ha megnézzük az Erzsébet híd Pesti hídfőjének déli oldalán található épületet, azt látjuk, hogy jelentősen magasabb a hőmérséklete, mint környezetének, ha viszont a hídfő északi oldalán található területet vizsgáljuk, láthatjuk, hogy a területet övező épületek hőmérséklete sokkal kedvezőbb. A nappali (23. ábra) és az éjszakai (24. ábra) képek összehasonlításából azt az összefüggést olvashatjuk le, hogy a nappal felmelegedett támfalak éjszaka is megtartják hőmérsékletüket, nehezen hűlnek le.



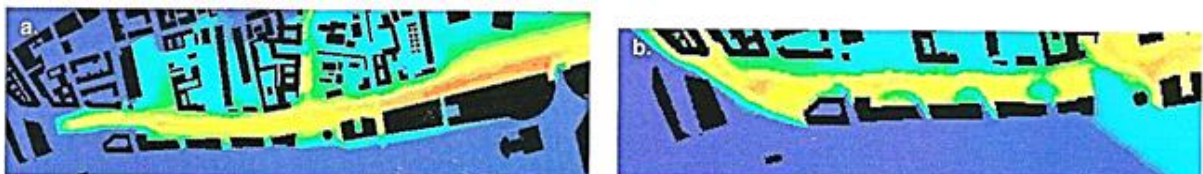
26. ábra Belgrád rakpart nappal

27. ábra Belgrád rakpart éjszaka



28. ábra Belgrád rakpart

A Belgrád rakpartot (26. ábra) egész délután éri a nap, mégis azt tapasztaljuk, hogy az itt található épületek nem egyenletesen, és egyformán melegszenek át. Ennek oka az épületek minősége. Az új építésű épületek kevésbé melegednek fel, mint egy régibb építésű, köszönhető ez a jó hőszigetelési megoldásoknak. Érdeemes megjegyezni, hogy az éjszakai képen (27. ábra) már ezeket a hőmérséklet különbségeket nem tapasztaljuk markánsan. Észrevehető még a nappali képen a Belgrád rakpartról nyíló utca kiugróan alacsony hőmérséklete, ezt valószínűleg a szűk utcák beárnyékoltsága és átszellőzése, huzatossága okozza (29. ábra), viszont az éjszakai képen már jelentős hőmérséklet különbség nem tapasztalható.



29. ábra Utcával párhuzamos (a) és utcára merőleges légáramlás (b) (Lajos Tamás et al. 2008)

## 5. Összegzés

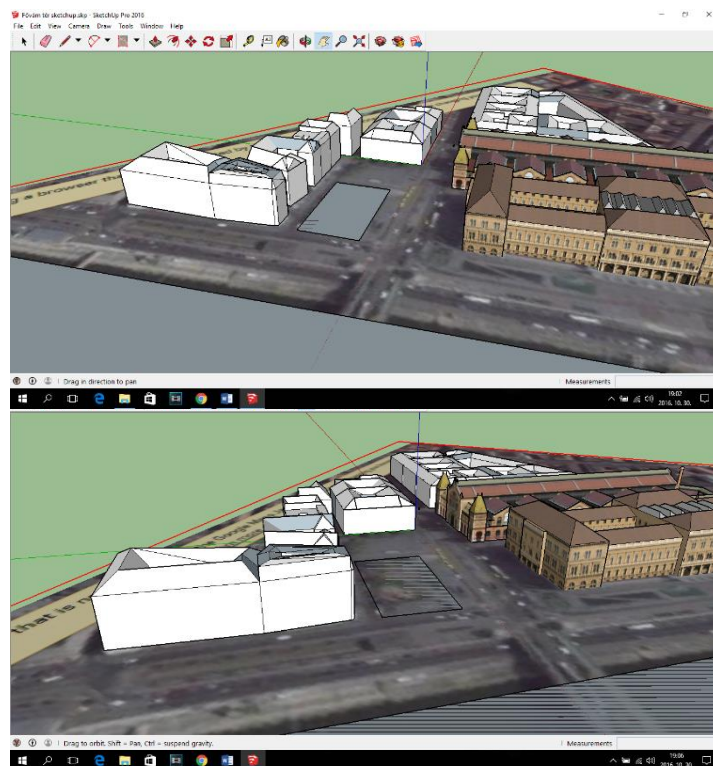
Dolgozatomban megvizsgáltam a nyáron készített termovíziós felvételeket Budapestről és a felvételek kielemezése után a következő következtetéseket vontam le:

- A nappali felvételeken tapasztalható, hogy a függőleges felületek hűvösebbek a háztetőknél.
- Az előző pontnak az ellenkezője tapasztalható éjszaka. A függőleges felületek melegebbek (pl. támfal), mint a háztetők.
- Az látható még a nappali és éjszakai felvételek különbségeként, hogy míg nappal akár 40 foknál is nagyobb differencia látszik a hőképeken a legmelegebb és leghidegebb pontok között, addig éjszaka ez a különbség csupán 25 fok körül alakul.
- A képekről leolvasható, hogy a tetőfelületek egy nap alatt mintegy 25-35 °C-t is képesek melegedni/hűlni Budapesten.
- A parkok hűtő hatása függ a zöldfelületek méretétől és kialakításától.
- A felvételek alapján megállapítható a parkok, zöldfelületek hűtő hatása környezetükre nappal, de ez nagyban függ a parkok jellegétől, burkolt felülettel rendelkező parkok esetén a hűtő hatás nem érvényesül.
- Az éjjeli képekről levonható az a következtetés, hogy a kisebb városi zöldfelületek nincsenek jelentős hűtő hatással környezetükre éjszaka.
- Az új építésű vagy felújított épületek felülete a jobb fényvisszaverő képességű anyagoknak köszönhetően kevésbé melegszik fel.
- A Dunára merőleges és a vele párhuzamos, szűk utcák huzatosabbak, jobban átjárja a szél és érvényesül az utca-csatorna hatás. Ennek a hősziget-hatásra gyakorolt csökkentő hatása a vizsgálatok alapján tapasztalható. Belátható ezek alapján, ha ezekbe a szűk utcákba fákat ültetünk, akkor ez a légáramlat megszűnik és az utca levegője szennyezettebb és melegebb lesz.
- A képekről látható, hogy a Duna hőmérséklete közel állandó nappal és éjszaka.
- Megállapítható, hogy a budai oldal lényegesen hűvösebb, mint a pesti. A hősziget-hatás kevésbé érinti. Jobbak a mikroklimatikus viszonyok. Ez részben köszönhető a sok zöldfelületnek, részben a domborzati viszonyoknak.

- A pesti oldal a hősziget-hatásnak jobban ki van téve a budaival szemben.

## 6. További kutatási lehetőségek

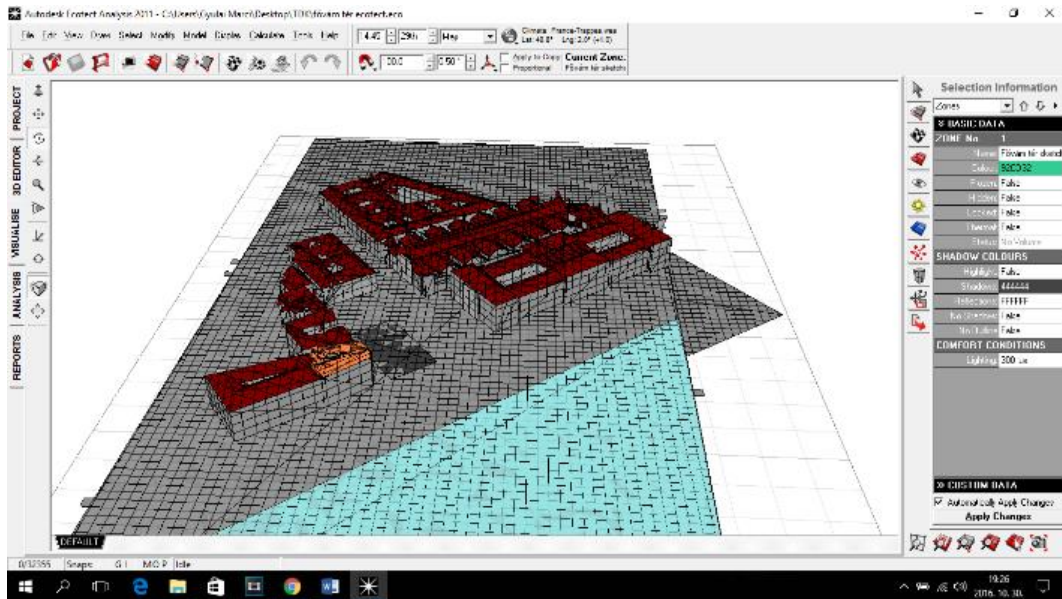
Ebben a témában a kutatást még bőven lehet folytatni. A jövőben a termovíziós felvételek téli méréssorozatát is el lehet készíteni szintén nappal és éjszaka. Az eddig elkészült képek és a téli felvételek összehasonlítása után, lehetséges egy numerikus szimuláció készítése az adott területekről. Az így kapott szimuláció összevethetővé válik a termovíziós felvételekkel, majd ezt követően, ha a modell valós eredményeket hoz, az adott városi felszínnek módosításával vizsgálhatjuk a hősziget jelenségre gyakorolt hatását.



30. ábra Fővám tér modell Trimble sketchupban

A nyári felvételek alapján a Fővám teret választottam a modellem elkészítéséhez, melyhez a Trimble Sketchup programot használtam (30. ábra). A modell elkészítése után a numerikus szimulációs programok közül az Autodesk Ecotect Analysis nevű programot választottam.





31. ábra Fővám tér modellje Ecotect Analysisben

## 7. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni konzulenseimnek Dr. Szalay Zsuzsának és Nagy Balázsnak, hogy időt és energiát nem kímélve segítettek munkámat. Köszönöm a szakmai segítséget és azt a sok támogatást, amit kaptam tőlük. Szeretném továbbá megköszönni az Építőanyagok és Magasépítés Tanszék Laboratóriumának, hogy eszközeiket használhattam a kutatásom során.

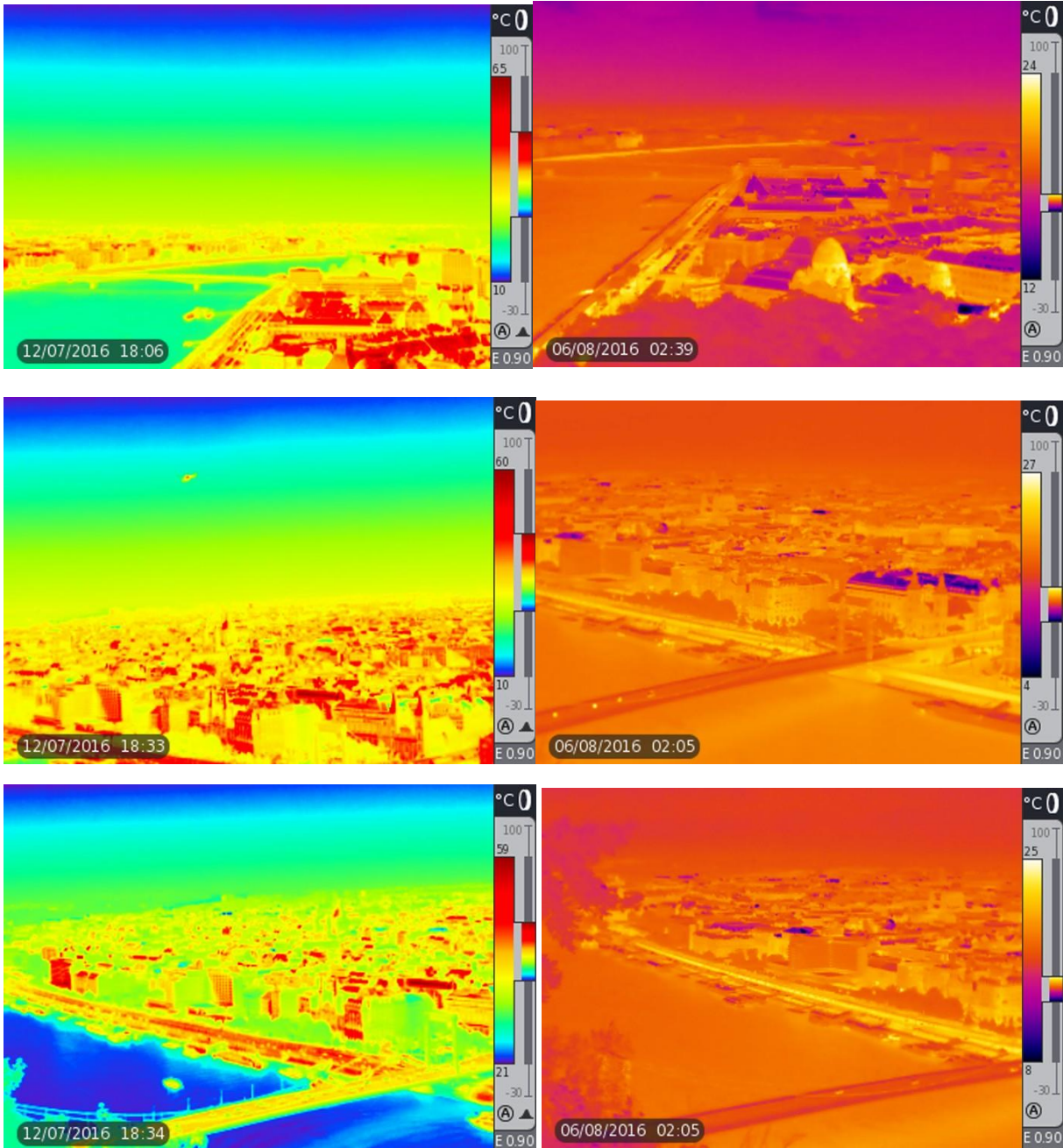
## 8. Irodalomjegyzék

- Ben-Dor, E., Saaroni, H., (1997): Airborne video thermal radiometry as a tool for monitoring microscale structures of the urban heat island, *Int J Rem Sens* 18, 3039-3053
- Bottyán Zs., 2008, Az átlagos maximális hősziget-intenzitás statisztikus modellje Szegeden és Debrecenben, Doktori értekezés
- Carlson, T. N., Augustine, J. A., Boland, F. E. (1977): Potential application of satellite temperature measurements in the analysis of land use over urban areas, *Bulletin American Meteorological Society*, 58, pp. 1301-1303.
- Conti et al (2005): *Environmental Research* 98 (2005) 390-399
- Dobó Eszter (2014): A beépítettség és a városi hősziget kapcsolatának vizsgálata, Budapest XI. kerületének példáján, szakdolgozat
- Egerházi Lilla Andrea (2014): Városi közterületek komplex humán-bioklimatológiai értékelése és annak várostervezési vonatkozásai szegedi példák alapján, doktori értekezés
- Eliasson, I., Holmer, B. (1990): Urban heat island circulation in Göteborg, Sweden, *Theor Appl Climatol* 42, 187–196
- Höppe, P. (1997): Aspects of human biometeorology in past, present and future, *Int J Biometeorol* 40, 19–23
- Lajos T., Goricsán I., Régert T., Suda J., Balczó M. (2008): Légszennyező anyagok terjedése városokban - A magas épületek hatása a légszennyezettségre, *Magyar építőipar* 2008 4. szám
- Landsberg HE, (1981): *The urban climate*
- Menon, S., Koch, D., Beig, G., Sahu, S., Fasullo, J., and Orlikowski, D. (2010): Black carbon aerosols and the third polar ice cap, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 4559-4571
- Morgantin, M., Rinaldi, E., Manzato, V., Region, E. R., Licata, C.: UHI Projekt Newsletter n. 1 Október 2012.
- Morgantin, M., Rinaldi, E., Manzato, V., Region, E. R., Licata, C.: UHI Project Newsletter n. 2 October 2013
- Nagy Balázs (2016): Városléptékű tervezés, előadás
- Oke TR, (1974): Review of urban climatology 1968-1973. WMO Tech. Note No. 134
- Oke TR, (1982): The energetic basis of the urban heat island, *Q J Roy Meteorol Soc* 108, 1-24
- Oke TR, (1987): *Boundary layer climates*, Routledge, London–New York, 435 p

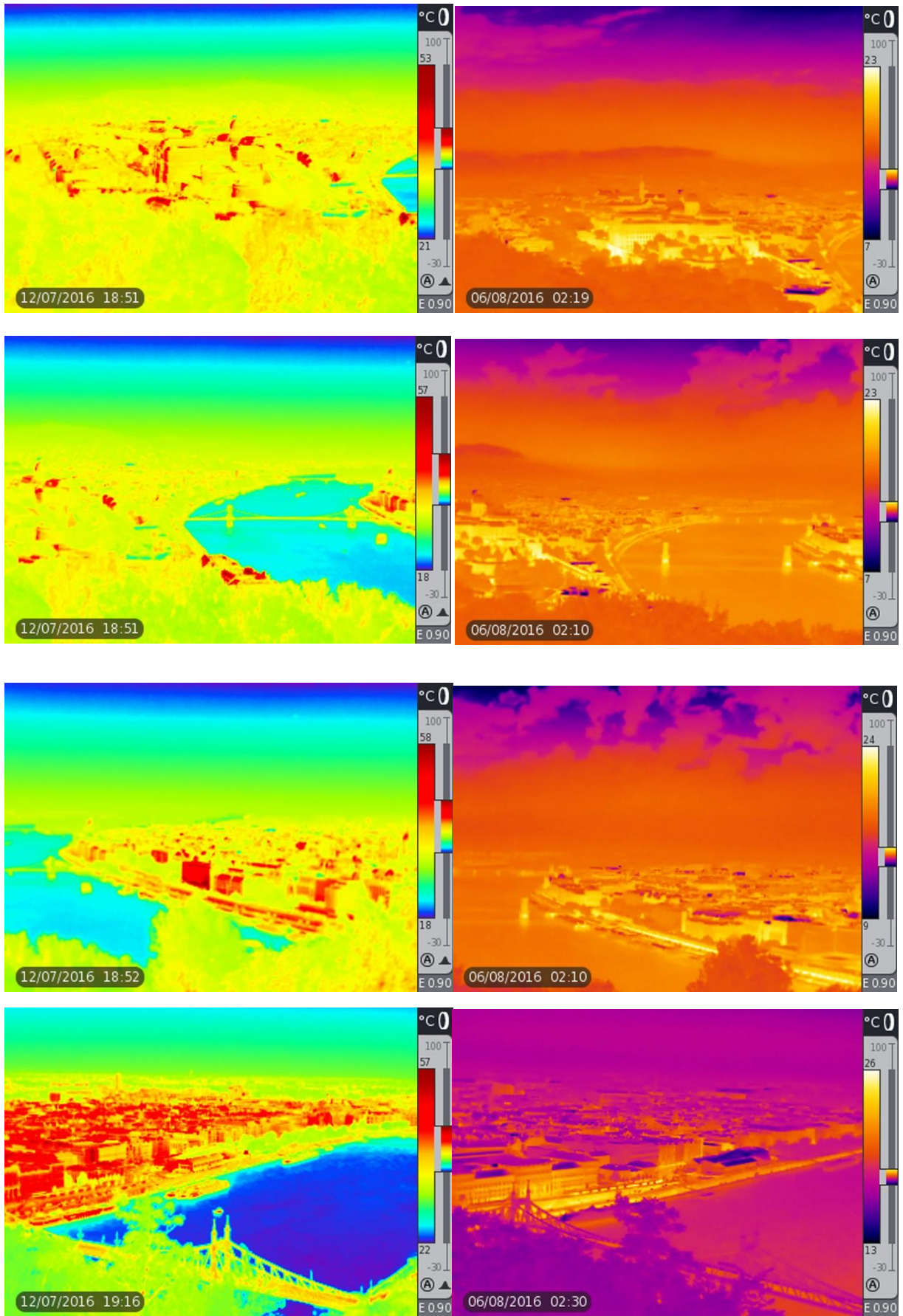
- Oke TR, (1988): The urban energy balance, Progr Phys Geogr 12, 471-508
- Oláh András Béla (2012): A városi beépítettség és a felszín típusok hatása a kisugárzási hőmérsékletre, doktori értekezés
- Peterson JT, Stoffel TL (1980): Analysis of urban-rural solar radiation data from St. Louis, Missouri. J Appl Meteorol 19, 275–283
- Péczely Gy, (1979): Éghajlattan, Tankönyvkiadó, Budapest, 336 p
- PIM Professzionális Ipari Méréstechnika Kft, Termográfiai alaptanfolyam, 6. kiadás (2010)
- Pongrácz Rita, Bartholy Judit (2013): Alkalmazott és városklimatológia <http://ttktamop.elte.hu/online-tananyagok/alkalmazott-es-varosklimatologia/>
- Price, J. C. (1979): Assesment of the heat island effect through the use of satellite data, Monthly Weather Review, 107, pp. 1554-1557.
- Probáld F (1975): A városklimatológia időszerű feladatai, Időjárás 79, 69–76
- Rao, P. K. (1972): Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite, Bulletin American Meteorological Society, 53, pp. 647-648.
- Unger J, Gulyás Á (2000): A városi vízmérleg jellemzői, Léggör 45, 19–23
- Unger J, Sümeghy Z (2002): Környezeti klimatológia, JATEPress, Szeged, 202 p
- Unger, János – Gál, Tamás – Rakonczai, János – Mucsi, László – Szatmári, János – Tobak, Zalán – van Leeuwen, Boudewijn – Fiala, Károly (2009): Air Temperature versus Surface Temperature in Urban Environment
- Unger, J. (2010): A Városi Hősziget Jelenség Néhány Aspektusa, doktori értekezés
- Unger J, Sümeghy Z, Kántor N, Gulyás Á (2012): Kisléptékű környezeti klimatológia, JATEPress, Szeged,
- 221 p
- WMO (1992): Climatic impacts and applications. No. 726, Chapter 6, 72–80
- [http://maxwell.sze.hu/~polik/Automatika\\_erzekelok/04/PolikZ.SZE.AutEpEl.04.pdf](http://maxwell.sze.hu/~polik/Automatika_erzekelok/04/PolikZ.SZE.AutEpEl.04.pdf) letöltés ideje: 2016.10.20.
- [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019\\_hidrologia-hidraulika/ch05s03.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019_hidrologia-hidraulika/ch05s03.html) letöltés ideje: 2016. 11. 01.

## 9. Melléklet

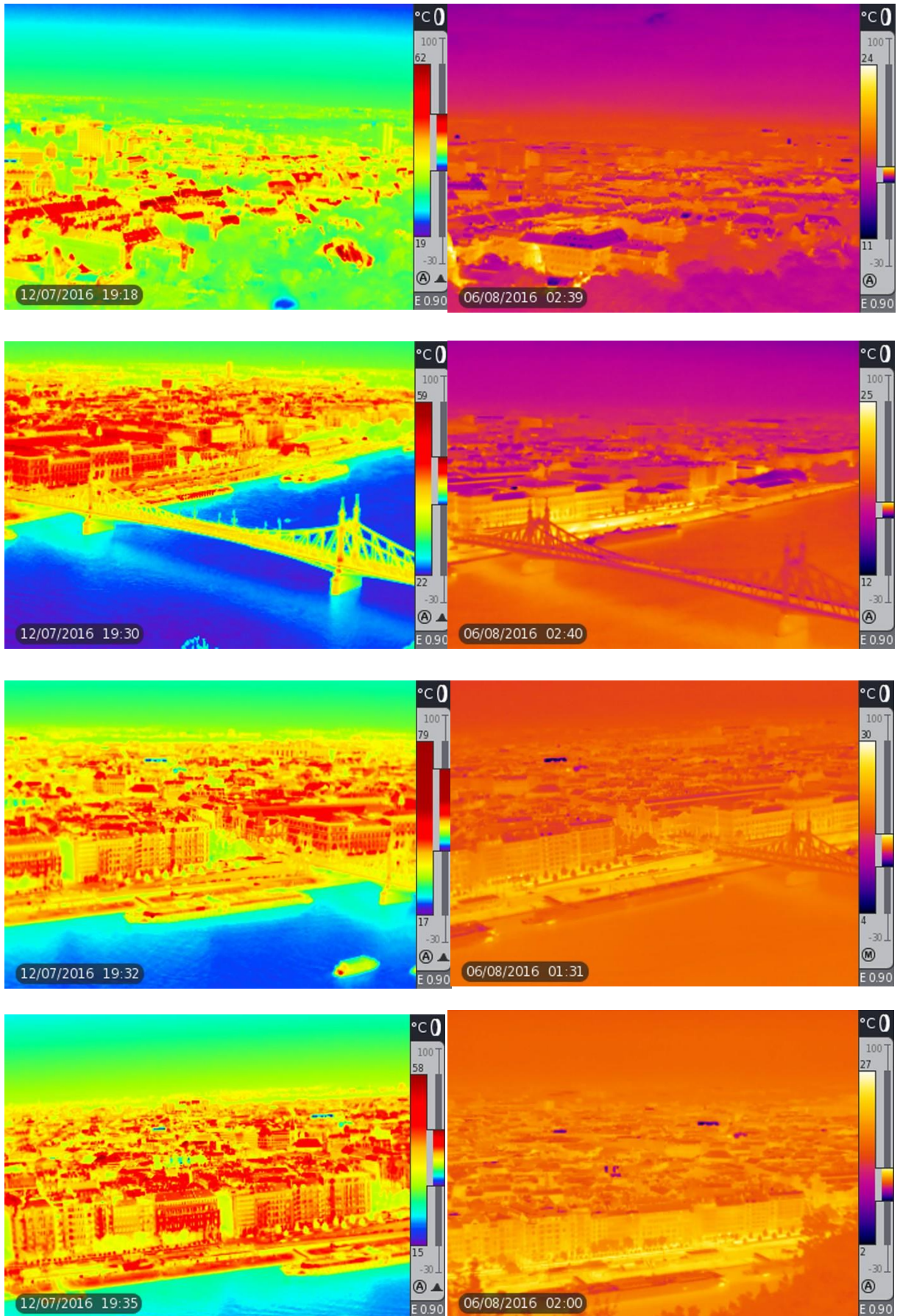
Éjszakai és nappali termovíziós felvételek a nyári időszakban:



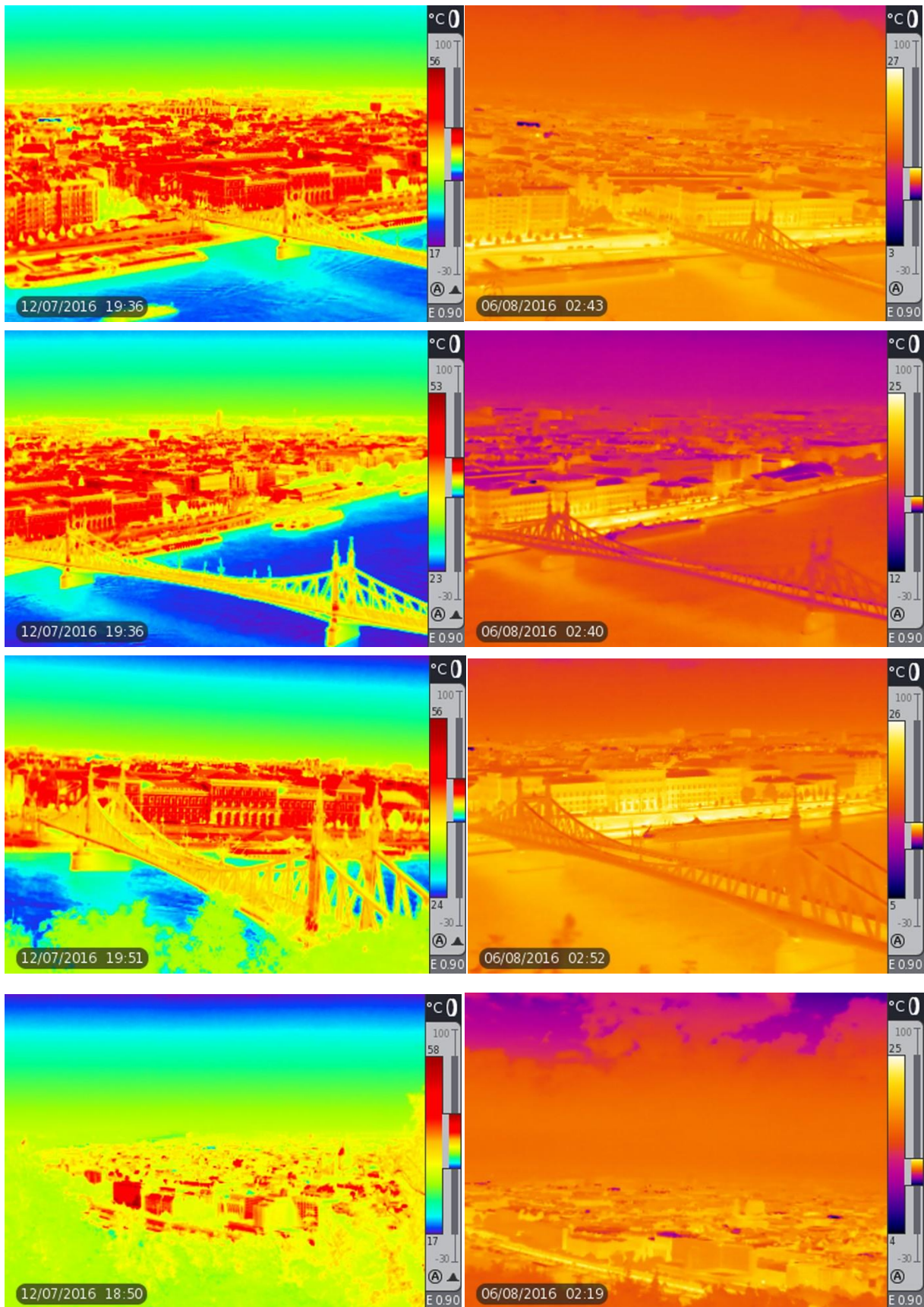
# Budapesti városi hősziget-hatás termovíziós vizsgálata



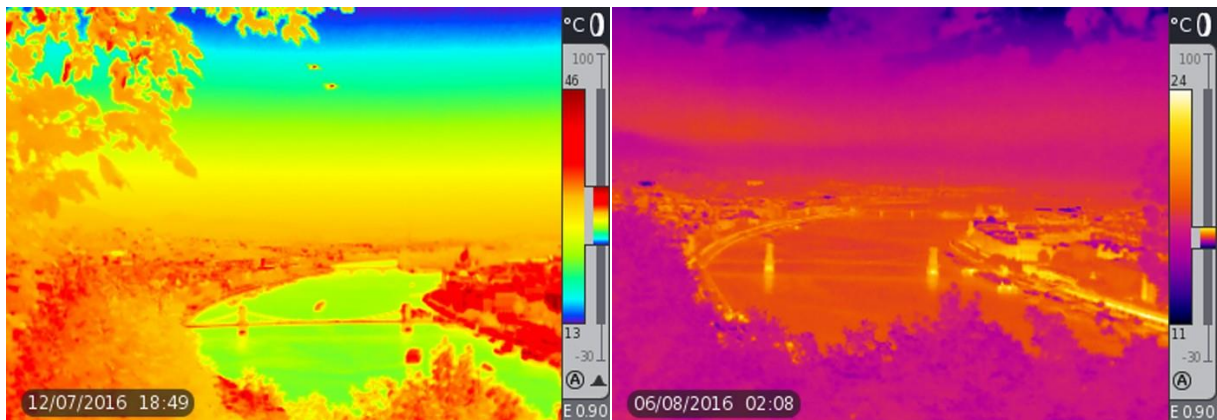
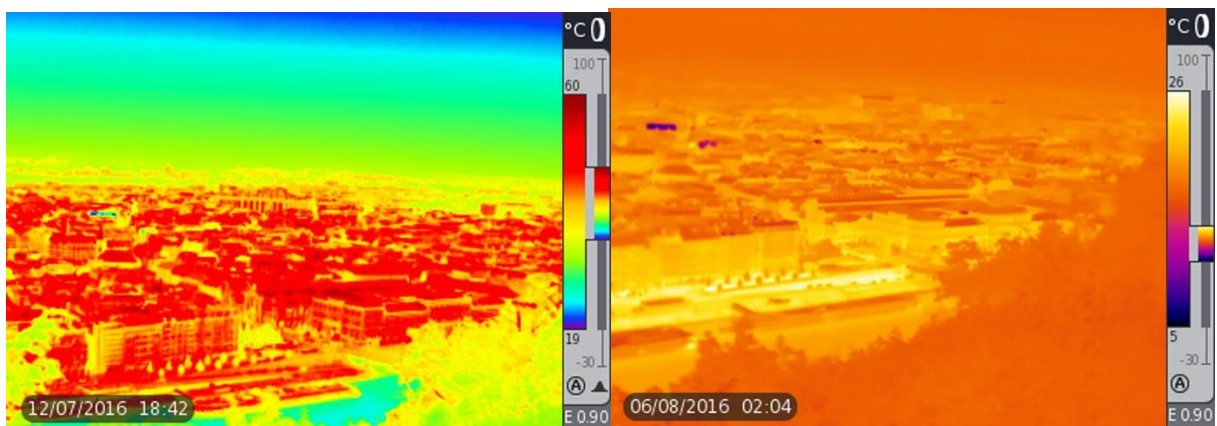
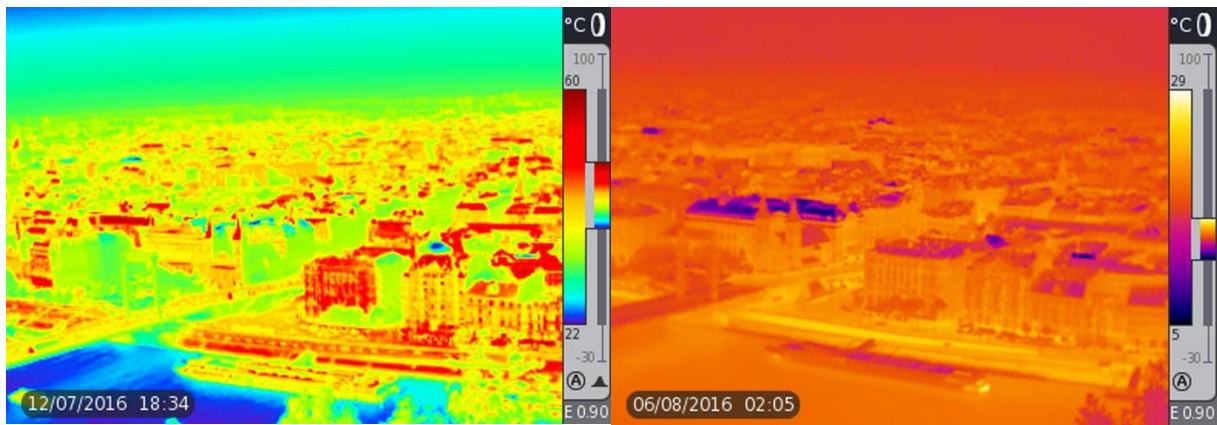
# Budapesti városi hősziget-hatás termovíziós vizsgálata



## Budapesti városi hősziget-hatás termovíziós vizsgálata



## Budapesti városi hősziget-hatás termovíziós vizsgálata





# Budapesti városi hősziget-hatás termovíziós vizsgálata

