

A zöldfelületek és a beépítettség szerepe a városi környezetben

SZAKDOLGOZAT
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK
METEOROLÓGUS SZAKIRÁNY



Készítette:

Incze Dóra

Témavezető:

Dr. Pongrácz Rita

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2018

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. A városklimatológia szakirodalmi áttekintése	4
2.1. A városklíma külföldi és hazai kutatásainak történeti áttekintése ..	5
2.1.1. Külföldi kutatások	5
2.1.2. Hazai kutatások	7
2.2. A burkolt felszínek és a zöldfelületek jelentősége	9
3. Adatok, módszertan	12
3.1. A vizsgálati helyszín bemutatása	12
3.2. A 2016. nyári és őszi mérések menete, körülményei	13
3.2.1. A mérőpontok osztályozása	16
3.2.2. A mérőműszerek	18
3.2.3. Az időjárási helyzetek	19
3.3. Az adatfeldolgozás	20
4. Az eredmények	23
4.1. Napi menetek	23
4.2. A városi hősziget térbeli szerkezete	29
5. Összefoglalás	34
Köszönetnyilvánítás	36
Irodalomjegyzék	37
Internetes hivatkozások	43

1. Bevezetés

Közismert, hogy az urbanizáció jelensége egyre erőteljesebben jelentkezik Földünkön, ami az érintett területeken figyelemreméltó környezetmódosító hatásokat eredményez. Ezen hatások közül a helyi klímát meghatározó folyamatok elemzése elsődleges fontosságú, hiszen az egyes területek éghajlati viszonyai alapvetően befolyásolják az ott élők mindennapi életét.

Magyarországon a lakosság egyre nagyobb része költözik a nagyvárosi agglomerációs körzetekbe a jobb életminőség reményében, ezzel azonban a környezeti terhelés és a beépített területek aránya is fokozatosan nő. Az ország túlzott centralizáltsága miatt a teljes népesség közel 20%-a él a fővárosban, így az urbanizációs folyamat szempontjából e térség érintettsége a legnagyobb. Az eltérő beépítettségi viszonyok és klimatológiai adottságok miatt a városon belül egy adott időpontban is jelentős különbségeket mérhetünk. Ezen mikroklimatológiai különbségek feltárását tűzte ki célul a 2015 tavaszán indult helyszíni mérésekből álló városklimatológiai vizsgálat (*Pongrácz et al., 2016*). Budapest IX. kerületében végzett mérésekből kapott adatok feldolgozásával lehetőség adódott a kerület sűrűn beépített, illetve parkos területeinek a hőmérsékleti és a légnedvességi viszonyainak a pontosabb megismerésére, kiértékelésére (*Dian et al., 2015, 2016*). A mérési pontok kiválasztásában nagy szerepet játszott a IX. kerületi önkormányzat tömbrehabilitációs programja, melyben a beépített területeken kívánták a zöldterületek arányát növelni. A háztömbök átépítése és a parkos terek megújítása miatt a környezeti tényezők minőségének javulásában bíznak (*Budapest Főváros IX. kerület Ferencváros Önkormányzata, 2009a*).

Vizsgálataim során a Ferencvárosban egy gyalogos útvonal mentén kijelölt mérőpontokon folyamatosan regisztrált hőmérsékleti adatokat dolgoztam fel, és dolgozatomban értékelem őket a városi hatás szempontjából. A dolgozat célja, hogy bemutassa, milyen klimatikus változásokat képes létrehozni a mesterséges burkolat és a vegetáció a városi környezetben a különböző napszakok és évszakok függvényében.

Először a szakirodalom alapján ismertetem a városklimatológiai kutatások történetét, valamint a beépítettség és a zöldfelületek jelentőségét a városokban. Külön fejezetben taglalom a 2016. nyári és őszi mérési expedíciók menetét és körülményeit, illetve a mért adatok feldolgozásának folyamatát. Ezt követően részletesen bemutatom az eddigi eredményeket is, befejezésként pedig összegzem a legfontosabb következtetéseket.

2. A városklimatológia szakirodalmi áttekintése

A Föld népességének közel fele városokban él [1 – ENSZ¹, 2014]. A nagymértékben koncentrálódó emberi jelenlét és az ehhez kapcsolódó intenzív környezeti átalakítások jelentősen módosítják a helyi éghajlati viszonyokat (pl. *Dobi et al.*, 2013). A városklimát a *WMO*² (1983) a következő módon definiálja: a mesterségesen beépített terület földrajzi adottságainak és a regionális skálán ható éghajlati folyamatoknak a kölcsönhatásából létrejövő lokális éghajlat.

A városok egyik fő sajátossága, hogy a belterület derült, szélcsendes időben akár 5–15 °C-kal is melegebb lehet a külvárosi zöldövezethez, vagy a városon kívüli területekhez viszonyítva. A különböző jellegzetességű városrészek között fellépő hőmérséklet-különbség kialakulása a természetes, illetve a mesterséges borítottságú felszínnek eltérő sugárzási és hőtani tulajdonságaiból adódik, aminek az eredménye a városon belüli hűvösebb és melegebb mikroklíma-együttesek váltakozása. Az ilyen, városokra jellemző meleg mikroklímátikus jelenséget nevezik városi hőszigetnek (*Dobi et al.*, 2013). A hősziget erősségén hagyományosan a városi belterületen és a városon kívüli beépítetlen területen mért hőmérsékleti értékek különbségét értjük. A városi hősziget fejlődése sajátos idő- és térbeli jellegzetességeket mutat., így például a napi menetet vizsgálva érdemes meghatározni a maximális intenzitást, és az ahhoz tartozó időpontot. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a magasabb intenzitási értékek az éjszaka folyamán jelentkeznek, és egy közepes földrajzi szélességen fekvő város esetében az eltérő hűlési sebesség és mérték következtében a naplemente után kb. 3–5 órával mérhetjük őket (*Oke*, 1995). *Oke* (1973) különféle vizsgálatokat végezve kimutatta, hogy a városi hősziget erősségére lényeges hatást gyakorol a felhőzet és a jellemző időjárási helyzet (például a nagyskálájú légköri képződmények – mint a ciklonok vagy az anticiklonok – jelenléte). Derült, szélcsendes meteorológiai viszonyok esetén az átlagosnál erősebben, míg extrémebb szélviszonyok mellett gyengébben bontakozik ki a hősziget jelensége, ami így általában a nyári időszakban intenzívebb (*Oke*, 1982).

¹ Egyesült Nemzetek Szervezete (angolul: United Nations, röviden: UN)

² World Meteorological Organization (Meteorológiai Világszervezet)

2.1. A városklíma külföldi és hazai kutatásainak történeti áttekintése

2.1.1. Külföldi kutatások

A meteorológiára a 17. század végétől tekinthetünk megalapozott tudományágként, mivel ekkortól fogva beszélhetünk rendszeresen végzett, műszeres méréseken alapuló észlelésekről. Ezeknek az észleléseknek köszönhetően rajzolódott ki például az is, hogy a városok és a környékük egyes meteorológiai elemeinek (hőmérséklet, légnyomás, szél, felhőzet, csapadék) értékei között igencsak nagy eltérések mutatkozhatnak. Erre példaként Deuer 1783-ban Mannheimben végzett mérése szolgál, Deuer ugyanis 6 °C-os különbséget figyelt meg a város és a tőle nem messze található botanikus kert között egy téli éjszakán (Unger, 2010).

A városi éghajlat alapvető sajátosságainak felismerése az angol *Howard* (1833) nevéhez fűződik, aki elsőként tárgyalta írásaiban a városklímával kapcsolatos londoni éghajlat és légszennyeződés jellegzetességeit. Három kötetben foglalta össze az észlelési adatokat, melyekből a meteorológiai elemek városi környezetben történő módosulására következtetett. Az egyik kiemelkedő és kulcsfontosságú megfigyelése a város középpontjának és a környező területek hőmérsékletének szignifikáns eltérése volt: a város középpontjánál jellemzően magasabb hőmérsékleti értékeket mért, mint a városhoz közeli vidéki területeken. A főként hőmérsékletben megnyilvánuló területi különbségeket *Howard* (1833) négy tényezővel magyarázta:

- antropogén forrásokkal, melyek a levegő melegedését eredményezik, különösen télen (fűtés);
- a városi felszín különböző geometriái és jellegei miatt nagy mértékben bekövetkező abszorpcióval;
- a városi felszín érdességével, ami akadályozza az enyhe nyári szelek áramlását a városi közegben;
- a párolgáshoz szükséges (talaj)nedvesség hiányával.

Az 1920-as években a műszeres méréseket nem csak rögzített helyű állomásokon végezték, hanem különböző közlekedési eszközökre is felszereltek a meteorológiai elemek méréséhez szükséges mérőműszereket, hogy pontosabb tér- és időbeli felbontást kapjanak az egyes paramétereikről (*Landsberg*, 1981). Kiváló példa erre *Schmidt* (1930) osztrák klimatológus 1927-es autóra szerelt műszeres mérései.

A városi hősziget vizsgálatára az 1950-es évektől kezdve fektetnek nagyobb hangsúlyt. Kezdetben főként Európában végeztek széles körben városklimatológiai kutatásokat. *Sundborg* (1950) például Uppsala (Svédország) lokális klímaviszonyait kutatta, mégpedig a horizontális hőmérséklet-eloszlásra koncentrálva, figyelembe véve a napszakokat és az év különböző időszakait változó időjárási feltételek mellett, míg *Chandler* (1962) Londonban tanulmányozta a hőmérsékleti és nedvességi viszonyokat. Később – az 1960-as, 1970-es években – az észak-amerikai kontinensen is kezdetét vette a városi hősziget jelenségének a vizsgálata. Kanadában komolyabb kutatásokat végzett *Oke* (1973, 1982, 1995), akinek a városklimatológiai munkásságára a nemzetközi szakirodalomban máig alapműként hivatkoznak. A hősziget-intenzitás meghatározásánál figyelembe vette például a felhőzet mennyiségét, illetve a szélesebséget, továbbá megállapította, hogy az intenzitási érték a népesség logaritmusával arányos, ahol a népesség a település méretét reprezentálja. A hősziget intenzitásának pontosabb meghatározására térbeli és időbeli statisztikus modelleket készített. *Oke* mellett *Landsberg* (1981) „The Urban Climate” című művével szintén segítette az egyes meteorológiai elemek hősziget-módosító hatásának alaposabb megértését. Néhány éve *Stewart és Oke* (2012) kifejlesztette az LCZ³ osztályozási rendszert, mellyel lehetőség nyílt a városi területek környezetének sajátosságai alapján termikus szempontból történő objektív összehasonlításra. Tíz beépítési és hét felszínborítási típust különítettek el, amiket kiegészítettek a felszínborítás szezonális vagy ideig-óráig fennálló változásaival.

Manapság a hősziget-intenzitásnak és az intenzitás hatásának a meghatározására különböző mérési metódusok léteznek. A leggyakrabban alkalmazott módszer a felszíni állomási – 2 méterrel a talajszint felett történő – hőmérsékletmérés (*Chan*, 2011, *Zhou et al.*, 2017), a mozgó – jellemzően személygépkocsis vagy kerékpáros – adatgyűjtés (*Torok et al.*, 2001, *Alonso et al.*, 2003, *Yan et al.*, 2014), illetve a technológia fejlődésével a numerikus modellek mellett a termikus infravörös távérzékelés is hozzájárul a városi klíma

³ Local Climate Zones (Lokális Klímazónák)

feltérképezéséhez (Weng, 2009, Yang et al., 2016). A műhold felvételek ugyanis alkalmasak a felszíni hőmérséklet elemzésére, és ezáltal a városi hősziget mértékének a becslésére. Számos kutatásnál a legcélravezetőbbnek a különböző módszerek ötvözését tartják, mivel az ilyen módon összegyűjtött adatokkal teljesebb képet kapnak a városi hőszigetről. Ezekben az esetekben célszerű a műhold felszíni hőmérsékleteit statisztikai összefüggések segítségével léghőmérsékletekké alakítani az adatok összehasonlíthatósága végett (Fung et al., 2009, Nichol et al., 2009, Mohan et al., 2012).

2.1.2. Hazai kutatások

Magyarországon a városklimatológiai kutatások az 1950-es évek végétől mutattak komolyabb fejlődést. Kezdetben a figyelem középpontjában Budapest éghajlatának tanulmányozása állt. Ennek érdekében a főváros területén 10–12 éghajlatkutató állomás beüzemelésére került sor, amelyeken 1964 és 1970 között folyamatos észleléseket végeztek a belvárosban (Unger, 2010). Ezek alapján *Probáld* (1974) készítette el Budapest városklimáját leíró kiemelkedő színvonalú összefoglalóját, amiben részletezi a város hatásait az energiaegyenlegre, a hőmérsékletre, a szélviszonyokra, a csapadéokra és a légnedvességre.

Az elmúlt két évtizedben a városklíma tanulmányozására több tudományos kutatási módszert alkalmaztak. Az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) Meteorológiai Tanszékén például a városi felszíni hőmérsékletek elemzésével kezdtek el foglalkozni összehasonlítva a környező területek felszíni hőmérsékleti értékeivel a Terra és az Aqua műholdfelvételei alapján (Bartholy et al., 2003). A műholdas hőmérsékletmérések során a műholdak szenzorai érzékelik a felszín által kibocsátott infravörös sugárzást, és ezáltal készítik el egy adott terület hőtérképét. Arra is volt példa, hogy a budapesti agglomerációra vonatkozóan két különböző technika alkalmazását hasonlították össze a városi hősziget-hatás jellemzésére: egyrészt a műholdas MODIS⁴ mérésekből származtatott felszínhőmérsékleteket, másrészt az áthaladások idejére az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) automata méréseiből leválasztott léghőmérsékleteket vizsgálták. Az eredmények azt mutatták, hogy nappal a műholdas adatokkal meghatározott városi hősziget-hatás intenzívebb volt, mint az állomási mérések alapján számított, éjszaka viszont fordított volt a helyzet. Mindkét mérési metódus esetében az intenzitási értékeket tekintve lényegesen elkülönültek az eltérő felszíni

⁴ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Közepes felbontású leképező spektrális sugárzásmérő)

elemek (ipari területek, zöldfelületek, vízfelszínek) (Soósné Dezső, 2009, Dezső et al., 2012). A Meteorológiai Tanszéken más módszerrel is vizsgálják a városi hőszigetet. A mikroklimatológiai különbségek feltárása céljából 2015 tavaszán egy expedíciós mérésorozat vette kezdetét Budapest IX. kerületében, melybe a tanulmányaim során a második évben (2016 nyarán) kapcsolódtam be. A helyszíni mérések 2016 tavaszáig bezárólag rendszerint péntekenként déltől késő estig tartottak, így a teljes 24 órás napi menetek vizsgálatára akkor még nem volt lehetőség (Pongrácz et al., 2016).

Jelentősebb városklíma-kutatás néhány vidéki városban is zajlik. Ebből a szempontból kiemelten említendő Szeged, ahol országos viszonylatban először alkalmaztak mérőautókat a mérési program során (Unger, 2010). A szegedi kutatásokhoz hasonló keretek között Debrecenben is folytattak mérőautós vizsgálatokat a 2002–2003-as időszakban (Bottyán et al., 2005). Szegeden és Debrecenben a mérések alapján elkészített átlagos maximális városi hősziget-intenzitás területi eloszlása alapján igazolták, hogy az intenzitás magasabb értékei a városok belső, beépített területeihez köthetők. A hősziget-intenzitás maximális értéke Szeged esetében 3,1 °C, míg Debrecenben 2,5 °C volt a fűtésmentes félévben. A fűtési félévben a maximumok ennél alacsonyabbak voltak mind a két városban (Bottyán, 2007). Szegeden az ún. URBAN-PATH⁵ projekt keretein belül másféle módszert is alkalmaztak a hősziget-intenzitás meghatározásához: eltérő környezeti feltételek keresésével 24 kijelölt ponton kezdték el regisztrálni a léghőmérsékletet és a relatív nedvességet. Ennek az egyik kitűzött célja a már említett Stewart és Oke (2012) által kifejlesztett LCZ-típusoknak a Szegeden belüli pontosabb meghatározása és jellemzése volt (Gál et al., 2016). Korábbi eredmények alapján a nagyrészt városias karakterrel rendelkező vizsgált területen hat beépített és egy természetes felszínborítással jellemezhető LCZ-típust tudtak megkülönböztetni (Unger et al., 2014). Emellett alátámasztották Stewart és Oke (2012) megállapításait is, miszerint a felszínborítás bármely különbségének a termikus hatása jobban kifejezhető a különböző LCZ-típusok alkalmazásával, mint a város-vidék megközelítéssel. Korábban egy kilenc állomásból álló hálózat keretében Egerben is zajlottak mérések a városi hősziget jelenségének tanulmányozásához (Roncz, 1985), ahol figyelembe vették a domborzatot mint befolyásoló tényezőt. A város környezetének természetföldrajzi adottságai ugyanis szintén hatást gyakorolnak a helyi klímára.

⁵ URBAN PATterns of Human thermal conditions

A városi légszennyezés kutatása is egyre fontosabb irányává vált a meteorológiának (Lajos *et al.*, 2003, Vincze-Csom *et al.*, 2012), mivel számos, főként mesterséges eredetű szennyező anyag megjelenése összefüggésbe hozható a városi klíma módosulásával. Az ELTE Meteorológiai Tanszékén már több mint másfél évtizede foglalkoznak a szennyezőanyagok légköri terjedésének szimulálására alkalmas modellek fejlesztésével (Leelőssy *et al.*, 2016). Országos szinten elsőként Budapesten végeztek kerékpárra szerelhető műszerekkel mobil mérést légszennyezési vizsgálathoz, aminek a célja az volt, hogy a beépítettség függvényében tanulmányozzák a szennyezettségi viszonyokat (Boda, 2016). A városi környezetben előforduló légszennyező anyagok fő emissziós forrásainak a közlekedést, az útépítést és az útfenntartást állapították meg. A gépjárművek által kibocsátott szennyező anyagok hatására kialakuló városi szmog legmeghatározóbb komponensei a troposzférikus ózon, a NO_x, a CO, a CO₂, a szálló por, a formaldehid, az ólom és a benzol (Tulipánt, 2007), amiknek a levegőbe kerülésével nagymértékben hozzájárulunk a környezeti terheléshez, és fokozzuk a már így is jelentősnek mondható városi hősziget jelenségét.

2.2. A burkolt felszínek és a zöldfelületek jelentősége

A városi környezetben az eltérő sugárzási és hőtani sajátosságú anyagokkal burkolt felszínek felett különböző jellegű mikroklímák alakulnak ki. Az emberi szervezet hőérzeti komfortját elsősorban ezek a mozaikszerű mikroklímák határozzák meg (Gajzágó, 1999), vizsgálatuk ezért is kulcsfontosságú.

A városi hősziget kialakulásának oka elsődlegesen a települések termikus adottságaira, illetve a beérkező és a kimenő sugárzásmennyiség módosulására vezethető vissza. Az összes visszavert, illetve elnyelt napsugárzás mennyiségének ismeretében megbecsülhetjük az albedót, ami a városok esetén jellemzően elég alacsony, 10–15% körüli. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a városokban található mesterséges felületek jellemzően nagyobb arányban nyelik el a bejövő napsugárzást a természetes növényzettel borított felszínekhez képest, majd az így nyert energiát a nagyobb kiterjedésű, egymással különféle szöveget bezáró felületek többszörösen kisugározva és elnyelve melegedést eredményeznek a környezetben. Az épület szerkezetét alkotó anyagok fizikai tulajdonságai, mint például a magas hőkapacitás és a jó hővezető képesség tovább gerjeszti a felmelegedést (Dobi *et al.*, 2013).

Ezzel szemben a zöldfelületek minden évszakban alapvetően mérséklik a városi hősziget intenzitását. A kedvezőbb, hűvösebb mikroklímák kialakulását elősegítve a városok nagyobb kiterjedésű zöldterületei a vegetációs időszak közepén, nyáron fejtik ki a legnagyobb mértékben a hőmérsékleti többletet enyhítő hatásukat (Dobi et al., 2013, Fricke et al., 2014), amit mintegy néhány száz m távolságig éreztetnek (Szepesi és Schirokné Kriston, 1999). A növényzet egyik legfontosabb szerepe az árnyékolás, elegendő vízmennyiség esetén pedig az evapotranszpiráció is jelentősen hozzájárul a vegetációval borított felszínek hűtő hatásához, mivel a folyamat hőt von el a közvetlen környezettől. A környező utcák felől a kisebb városi zöldterületekhez érkező meleg, száraz levegő viszont csökkenti az adott terület vízkészlet mennyiségét, így vízutánpótlás nélkül a növényzet a megszokott feladatát nem képes ellátni. Következésképpen a beépített területek zöldfelületei rendszeres vízellátást igényelnek a kedvező hatásuk kifejtéséhez (Gajzágó, 1999). Mindezek mellett a vegetációnak kiemelt szerepe van még az üvegházhatás (így közvetetten a városi hősziget) mérséklésében is a CO₂-elnyelésnek köszönhetően (Radó, 2001, Fóti et al., 2016, Hoyk et al., 2016).

A városiasodás folyamatán belül a nagyvárosokba költöző emberek száma néhány európai nagyvárosban lassan mérséklődik (ez azonban a fejlődő országok városaira egyáltalán nem igaz (Cohen, 2006)). E folyamattal párhuzamosan egyre inkább létfontosságú kérdéssé válik a városi hősziget-intenzitás mértékének a csökkentése is, illetve a súlyosabb urbanizációs ártalmaktól lehetőleg mentes, kellemes lakókörnyezet kialakítása (Szepesi és Schirokné Kriston, 1999). Több kutatás (pl. Doulos et al., 2004, Battista és Pastore, 2017) is beszámol arról, hogy a burkolat színével és anyagával nagyban befolyásolhatjuk a városi albedót. Ennek érdekében egyes városokban például világos tetőket alkalmaznak, hogy maximalizálják a napsugárzás visszaverődését (Synnefa et al., 2007). A közvetetten történő hősziget-módosítás másféle megközelítésével Kandya és Mohan (2018) különböző lehetőségeket dolgozott ki az épületek falainak hőellenállását tanulmányozva. Ezek közül a falvastagság megduplázása, illetve a légréteggel elválasztott, két téglasorból felépülő falszerkezet alkalmazása tűnik a legkedvezőbbnek. A városi hősziget csökkentése végett használt építészeti megoldások mellett a humán komfortérzet optimalizálására fektetnek egyre inkább nagy hangsúlyt, így az ezzel kapcsolatos vizsgálatok száma jelentősen megnőtt (pl. Kántor et al., 2010a, 2010b, Cohen et al., 2012). A hőterhelésről végzett elemzése alapján Lin (2009) arra jutott, hogy az emberek termikus komfortérzetének megőrzéséhez szükség lenne fák ültetésére a kültéri árnyékmentes helyeken főként a melegebb időszakokra való tekintettel. Ennek értelmében a városklimatológiai kutatásoknak további fontos irányává

vált a városi zöldfelületeknek a hősziget területi szerkezetére kifejtett hatásának a feltárása. Általánosságban elmondható, hogy a zöldfelülettel rendelkező térségekhez alacsonyabb hősziget-intenzitási értékek társulnak (*Szegedi és Gyarmati, 2009, Kong et al., 2014, Cohen et al. (2012)*). Tel Avivra végzett tanulmánya szerint például a városi parkosított területek nyáron több mint 3,5 °C-kal, míg télen legfeljebb 2 °C-kal csökkentették a hőmérsékletet. E vizsgálatok azt is kimutatták, hogy a vegetáció hűtő hatása erősebben jelentkezett napközben, mint éjszaka. Az eddigi eredmények egyértelműen igazolják (pl. *Leuzinger et al., 2010, Takács et al., 2016*), hogy a különböző fafajok is eltérően befolyásolják a hősziget mérséklődését: minél alacsonyabb a lombkorona hőmérséklete, annál nagyobb mértékű a hőmérsékleti többletet enyhítő hatás. Ennek ellenére a városi környezetben a nagyobb összefüggő lombkoronájú együttesek telepítése azért nem lenne célszerű, mert ezzel az eljárással az aljnövényzethez szükséges fény mennyisége jelentősen csökkenne a felszín közelében. Ehelyett a fák 30–60%-os területborítással történő telepítését javasolják elszórtan vagy akár fasorok formájában (*Gajzágó, 1999*). Született olyan új építészeti megoldás is, miszerint a zöldfelület kedvező hatása miatt zöldesített burkolatokat (zöldtetőt, növényesített falakat, bambusz-beton keveréket) alkalmaznak, amiknek a hatékonyságát folyamatosan kutatják (pl. *Perini et al., 2011, Hoyk et al., 2016, Dwivedi és Mohan, 2018, Kandya és Mohan, 2018*).

Megfelelő településszervezéssel, vagyis a lakóépületek célravezető magasságának, színének, felületi tagoltságának megválasztásával, illetve a környezet zöld infrastruktúrájának ajánlott kialakításával hatékonyan módosítható a kedvezőtlenebb mikroklímák hatása (*Gill et al., 2007, Mezősné Szilágyi et al., 2012, O'Malley et al., 2015*). A várostervezéssel kapcsolatos innovatív ötletekkel nem csak a hőmérséklet emelkedését és a levegőkörnyezet minőségét javíthatjuk, hanem az ezeken túlmutató humán komfortérzet megőrzése, valamint az ökológiai rendszerek fenntartása is megalapozottabb célkitűzéssé válhat.

3. Adatok, módszertan

3.1. A vizsgálati helyszín bemutatása

A Duna bal partján található, 12,5 km² összkiterjedésű IX. kerület, más néven Ferencváros a fővároson belüli elhelyezkedését tekintve kedvező fekvésű. A Ferencváros több részből tevődik össze, ezeknek az egymáshoz viszonyított helyzetét az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: A Ferencváros egyes részei [2 – Google Earth]

Az egykor a legrosszabb presztízsű kerületek egyikének számító Ferencvárosban a rendszerváltást követően napjainkban egyértelműen pozitív fejlődési tendenciák érvényesülnek. A Fővárosi Közgyűlés által 2003 márciusában elfogadott Budapest Városfejlesztési Konceptiójával összhangban a IX. kerületi önkormányzat hosszú távú tervei között szerepel a lakosság szám további csökkenésének megakadályozása, a szuburbanizáció mérséklése, a közterületek színvonalának javítása, valamint a környezettudatosság jegyében a városi közeg minőségének helyreállítása (talajszennyezettség, légszennyezés csökkentése). A fenti célkitűzések megvalósításával kívánják megteremteni a jobb életminőség alapjait a gazdaságilag kissé elmaradottabb területeken is (*Budapest Főváros IX. kerület Ferencváros Önkormányzata*, 2009b). A Középső-Ferencváros értékőrző rehabilitációját – azaz a

hagyományos városi élettér újraélesztését – indítványozták szintén az élhetőbb környezet kialakításának érdekében. A Belső-Ferencvárosban kulturális fellendülés vette kezdetét a központi fekvésű Kálvin tértől induló és a kerület belseje felé haladó Ráday utca mentén. A kerület városfejlesztési stratégiájának egyik kiemelt célja a zöldterületek megnövelése, ami leglátványosabban a Középső-Ferencváros rehabilitációs területén valósult meg. A folyamatos állapotkövetés kimutatásai alapján 1990 és 2007 között 12,3 m²-ről 17,6 m²-re nőtt az egy főre jutó zöldterületek nagysága az egész IX. kerületet figyelembe véve. A stratégia egy másik fontos pontja az építészeti értéket hordozó házak felújítása, hiszen kiváltképpen a Középső-Ferencvárosban több kiemelkedő műemlék épület (pl.: József Attila szülőháza a Gát utca 3. szám alatt) fellelhető. Mindezeknek köszönhetően napjainkban a IX. kerület Budapest egyik legintenzívebben fejlődő kerületévé vált (*Budapest Főváros IX. kerület Ferencváros Önkormányzata*, 2009a).

3.2. A 2016. nyári és őszi mérések menete, körülményei

Hallgatótársaimmal a 2016. nyári terepgyakorlat és egy őszi kurzus keretein belül végeztünk helyszíni méréseket a Belső-Ferencvárosban, valamint a IX. kerületi önkormányzat által indított rehabilitációs projektbe (*Budapest Főváros IX. kerület Ferencváros Önkormányzata*, 2009a) bevont területeken. A mérési program 2016 tavaszáig bezárólag az év különböző időszakaiban összesen 27 napon végzett méréseket tartalmazott, míg 2016 nyarán és őszén együttesen kilenc teljes 24h időtartamot lefedő mérési sorozatot sikerült megvalósítanunk (*1. táblázat*). A nyári mérési expedíció július 3-án este nyolc órakor indult, és július 6-án éjfélkor ért véget, míg ősszel az adatok rögzítését délután kettő órakor kezdtük el. Ezek az expedíciók a korábbi mérésekhez (*Dian et al.*, 2015, 2016) hasonlóan két részből álltak: a fix ponton történt folyamatos mérések tanulmányozása egy másik dolgozat témája (*Kurcsics*, 2017), a jelen dolgozatban pedig a mozgó mérésekből nyert adatok elemzésén van a hangsúly, így a továbbiakban a mérési programnak ezt a részét részletezem.

A program keretében az adatokat 24 (nyáron még 23) kijelölt mérőponton (*2. táblázat*) regisztráltuk, melyeket egy gyalogos útvonalon megadott sorrendben jártunk be. Az így meghatározott útvonalon a kiindulási pontból, vagyis a Ferenc körút és a Tompa utca kereszteződésétől (101=201. mérőpont) a nappali órákban egyszerre egy-egy, az esti, valamint az éjszakai órákban pedig (a mérés minél zavartalanabb és biztonságosabb lebonyolítása végett) két-két ember indult el egymással ellentétes irányban a délkeleti, illetve az

északnyugati mérési útvonalon – melyeket rendre a 101., 102., ..., 113., illetve a 201., 202., ..., 213. mérőpontok sorozata alkotott. A teljes mérési kör feléhez, azaz a másik találkozási ponthoz (a 113=213. mérőponthoz) érve a különböző irányból érkező mérők egymást megvárva végeztek közös mérést. Majd innen, a Boráros tértől indultak tovább az útvonal másik részén a mérőpontok sorszáma szerint visszafelé haladó sorrendben, ami végül visszavezetett a kiindulási ponthoz. A mérési útvonal délkeleti félköre főként a rehabilitációs részen (Ferenc körút – Üllői út – Haller utca – Mester utca) belül kijelölt mérőpontokat foglalja magában, míg az északnyugati félkör a Belső-Ferencvárosban (Vámház körút – Üllői út – Ferenc körút – Boráros tér – Duna – Fővám tér) levő mérési pontokból áll. Az őszi méréssorozat alkalmával a mérési helyszínek száma a Vásárcsarnok előtti (209.) mérőpontonál bővült, ami 2016 nyarán még nem képezte a mérési kör részét (Incze, 2017). E mérési pont bevonására azért volt szükség, hogy a nyáron rögzített új (105n. – ősztől 105.) mérési pont miatt aszimmetrikussá vált mérési útvonal korrigálva legyen.

1. táblázat: A 2015–2016-os időszakban lezajlott mérési napok összefoglalása évszakok szerint elkülönítve. A zárójelben együtt látható a két egymást követő évben végzett mérési napok száma. Kék betűs kiemelés jelöli azon – jelen dolgozatban is részletesen elemzett – mérési időszakokat, amikor már 24h időtartamot lefedő mérési sorozatot állítottunk elő.

Évszak	2015	2016
Tavaszi (8+5)	március 20., 27. április 3., 10., 17., 24. május 8., 15.	március 4., 11., 18. április 8., 15.
Nyári (4+3)	július 6., 7., 8. augusztus 28.	július 3-6.
Ősz (7+6)	szeptember 18. október 2., 10. november 6., 13., 20., 27.	szeptember 22-23., 29-30. október 13-14., 27-28. november 10-11., 17-18.
Téli (1+2)	december 4.	február 19., 26.

2. táblázat: Az őszi mérésorozat során a mérési kör részét képező mérőpontok sorszáma és a pontos helyszín megadása (zárójelben a nyári mérési expedíció során használt némileg eltérő számozás szerepel)

Sorszám	Pontos helyszín
101=201.	a Ferenc körút és a Tompa utca kereszteződése
102.	a Tompa utca és a Liliom utca kereszteződése
103.	a Liliom utca és a Tűzoltó utca kereszteződése
104.	a Tűzoltó utca és a Bokréta utca kereszteződése
105. (105n.)	a Bokréta utca 18. alatt nyíló átjáró (Vendel sétány)
106. (105.)	Ferenc tér (ÉK-i rész a Bokréta utca mellett)
107. (106.)	a Balázs Béla utca és a Thaly Kálmán utca kereszteződése
108. (107.)	a SOTE épülete előtt (a Thaly Kálmán utcában)
109. (108.)	Kerekerdő Park (É-i bejárat közelében a Tűzoltó utca és a Lenhossék utca sarkánál)
110. (109.)	a Márton utca és a Gát utca kereszteződése
111. (110.)	a Mester utca és a Viola utca kereszteződése
112. (111.)	a Mester utca és a Tinódi utca kereszteződése
113=213. (112=212.)	Boráros tér (a BKV pihenő épület közelében)
212. (211.)	Nehru part (kis mesterséges domb közelében)
211. (210.)	a Bálna Közraktár utca felőli oldala
210. (209.)	Csarnok tér (a játszótér előtt)
209.	Vámház körút, a Vásárcsarnok előtt
208.	a Lónyai utca és a Gönczy Pál utca kereszteződése
207.	a Kálvin téri aluljáró Ráday utca felé nyíló bejárata
206.	a Ráday utca és az Erkel utca kereszteződése
205.	a Ráday utca és a Biblia utca kereszteződése
204.	a Ráday utcai Bérirodák épület előtti mini park
203.	a Bakáts téri templom hátoldala a Ráday utca felé
202.	a Bakáts téri templom Tompa utcai oldala

3.2.1. A mérőpontok osztályozása

A mérési helyszínek kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy mindegyik mérőpont megfelelően reprezentálja a ferencvárosi térség különböző beépítettségi viszonyait, valamint legyenek közöttük felújítás előtt, alatt és után álló területek is. Egy terepi felmérést követően a beépítettség mértéke, a vegetáció mennyisége és a környező utcák forgalma alapján öt kategóriába soroltam a korábbi mérési programban már kijelölt mérési pontokat és az új méréssorozatokban (a 2016. nyári és őszi mérésekben) szereplő újonnan kiválasztott mérőpontokat (2. ábra, 3. táblázat).

Az első (A) kategória két mérőpontot foglal magába: a Boráros teret és a Kálvin teret. Mindkettő egy forgalmas közlekedési csomópontnak számít. Helyszínük viszonylag nyitott, környezetükben pedig nem találunk számottevő mennyiségű zöldfelületet.






A következő (B) csoportba öt mérési pontot soroltam be. Az ebbe a csoportba tartozó összes mérőpont közül három a délkeleti félkörhöz, míg kettő az északnyugati félkörhöz tartozik. Ezek a mérési helyszínek tipikusan olyan utcákban találhatók, ahol az épületek egymástól 10 m-nél kisebb távolságra vannak. Az egymáshoz közeli épületek hátránya, hogy kevesebb fa ültetésére van lehetőség. Pozitívumként azonban megemlítendő, hogy az átmenő forgalom is mérséklődik, mivel főként egyirányú utcákról van szó.

A C kategóriába az a hat mérési helyszín került, amelyek szélesebb és forgalmasabb utcák mentén helyezkednek el. Zöldfelületek, fasorok ugyan részét képezik környezetüknek, de jóval kisebb arányban, mint az E vagy a D osztály esetében. Az ide sorolt hat mérési pont közül három az északnyugati félkörön, kettő a délkeleti félkörön és egy pedig a kettő határán található.

A D jelű csoportba soroltam azokat a mérési pontokat, amelyeket alapvetően épületek határolnak, azonban a növényzet mennyisége is jelentős. A helyszínek közvetlen közelében található utcák kevésbé forgalmasak szintén az egyirányú utcáknak köszönhetően. Az összesen hat mérőpontból négy a mérési útvonal délkeleti részén, míg kettő az északnyugati részén helyezkedik el.

Végezetül az utolsó (E) kategória azt az öt parkosabb jellegű mérési pontot tartalmazza, amelyeknél a zöldfelületek aránya jóval nagyobb, mint az előző négy kategóriánál. Az ebbe a csoportba sorolt mérőpontok közül kettő a délkeleti félkörhöz, három pedig az északnyugati félkörhöz tartozik.

3. táblázat: A mérőpontok kategorizálása környezeti tulajdonságaik alapján ábrával

	A	B	C	D	E
Kategóriák rövid leírása	<i>Közlekedési csomópontok csekély növényzettel</i>	<i>Szűk utcák számottevő zöldfelület nélkül</i>	<i>Forgalmasabb, szélesebb utcák zöldfelületekkel, fasorokkal</i>	<i>Jelentősebb zöldfelülettel rendelkező, épületek által határolt területek</i>	<i>Parkos területek</i>
Mérőpontok	113=213. 207.	104. 107. 110. 205. 206.	101=201. 111. 112. 208. 209. 211.	102. 103. 105. 108. 204. 210.	106. 109. 202. 203. 212.
Épületek távolsága a mérőponttól (m)	15–30	0,5–10	0,5–25	5–15	10–35
Forgalom (autó / 5 perc)	> 100; legalább 5 féle busz + villamos, HÉV, metró	10–20	30–100; kevesebb mint 5 féle busz + villamos	0–20	5–25
Vegetáció (%) (a mérőpont 50 m-es sugarú környezetében)	10	5–10	5–15 (kivétel a 112.: 40)	15–25 (kivétel a 105.: 70)	> 35
Példa					

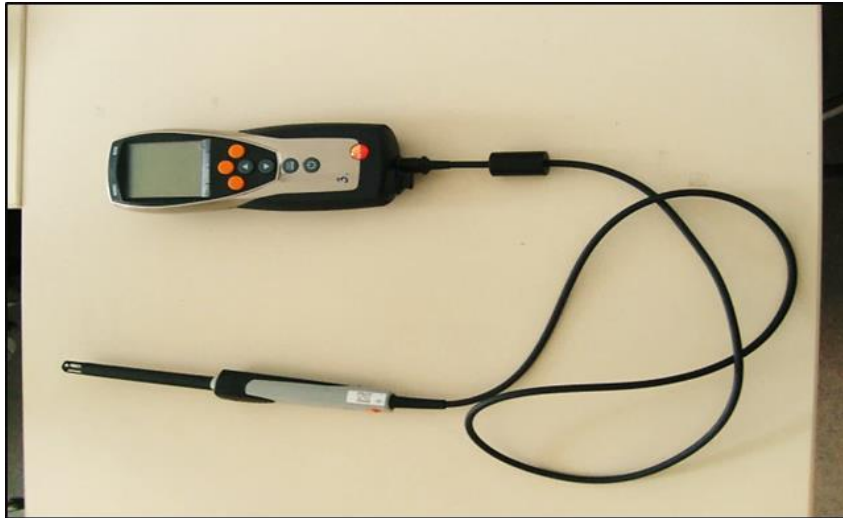


2. ábra: A QGIS programban elkészített térképen látható mérési pontok elhelyezkedése a kerületen belül az őszi mérések szerinti számozással, valamint kategorizálása a beépítettség mértéke, a vegetáció mennyisége és a környező utcák forgalma alapján

3.2.2. A mérőműszerek

Mind a nyári, mind az őszi mérési programban egyidejűleg három mérőműszert használtunk: egyet a folyamatos adatrögzítésű 105. (nyáron még 105n.) mérési ponton (Kurcsics, 2017), két mérőműszert pedig a mozgó mérések során változó helyszíneken. A mérésekhez újonnan beszerezett Testo 635 típusú mérőműszerek (3. ábra) szenzorai mérték a hőmérsékletet és a relatív nedvességet, amikből származtatva a harmatpont, illetve a nedves hőmérsékleti értékek is rögzítésre kerültek. A hőmérsékleti értékek mérése $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ pontossággal, a relatív nedvességé $\pm 2\%$ pontossággal történt [3 – Testo 635], ami a kijelzőn rendre $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, illetve $0,1\%$ egységben jelent meg. A műszerek mérőpontonkénti használatánál az első lépés az érzékelő közel 2 m magasságba történő helyezése volt, mely során figyelniünk kellett arra is, hogy a szenzor ne legyen kitéve a napsugárzás közvetlen hatásának. Mivel a műszer megadott érzékenysége 70 másodperc, ezért 2 perces várakozás után kezdtük el a

mérési adatok újabb 2 percen keresztül történő rögzítését 10 másodperces időközökkel. Az új mérőműszerekkel a 2016. nyári expedíciós mérést megelőzően még nagyon kevés tapasztalatunk volt, így a mérésekbe bevont nagyszámú résztvevő számára az általános instrukciók az elektronikus adatrögzítés mellett a mérések papír alapú rögzítését is tartalmazták a mérési adatok biztonságos megőrzése érdekében. A műszer memóriájának a mérési útvonal közbenső pontján történt telítődése miatt ezekre a lejegyzett értékekre is nagy szükség volt a feldolgozás során.



3. ábra: A Testo 635 típusú hőmérséklet és páratartalom mérő a csatlakoztatott érzékelő szenzorral

3.2.3. Az időjárási helyzetek

Az egyes mérési alkalmakat jellemző időjárási helyzeteket a 4. táblázat foglalja össze. A 2016. nyári expedíció során az időjárási körülmények egyrészt megkönnyítették, másrészt megnehezítették a mérések elvégzését, hiszen mind a három napon döntően anticiklon alakította Magyarországot, és ezen belül Budapest időjárási helyzetét. Ennek értelmében nappal markánsan száraz, napos időt észlelhattünk, és éjszaka is derült égbolt volt a jellemző. Így a déli órákban az erőteljesebb besugárzás miatt néhány mérőponton nehezen sikerült megoldani az érzékelő megfelelő árnyékolását. Ez néhány esetben a rögzített mérési adatokat jelentősen befolyásolta, és a számított hősziget-intenzitási értékekben torzulást eredményezett. Ősszel a két szeptemberi és a második októberi mérési napon – hasonlóan a nyári mérési napokhoz – többnyire napos időnk volt. Ellenben az első októberi és a két novemberi mérési napot anticiklon vagy ciklon peremhelyzet, illetve borult égbolt jellemezte [4 – met.hu], mely során az egyik alkalommal jelentkezett eső a mérést is félbeszakította.

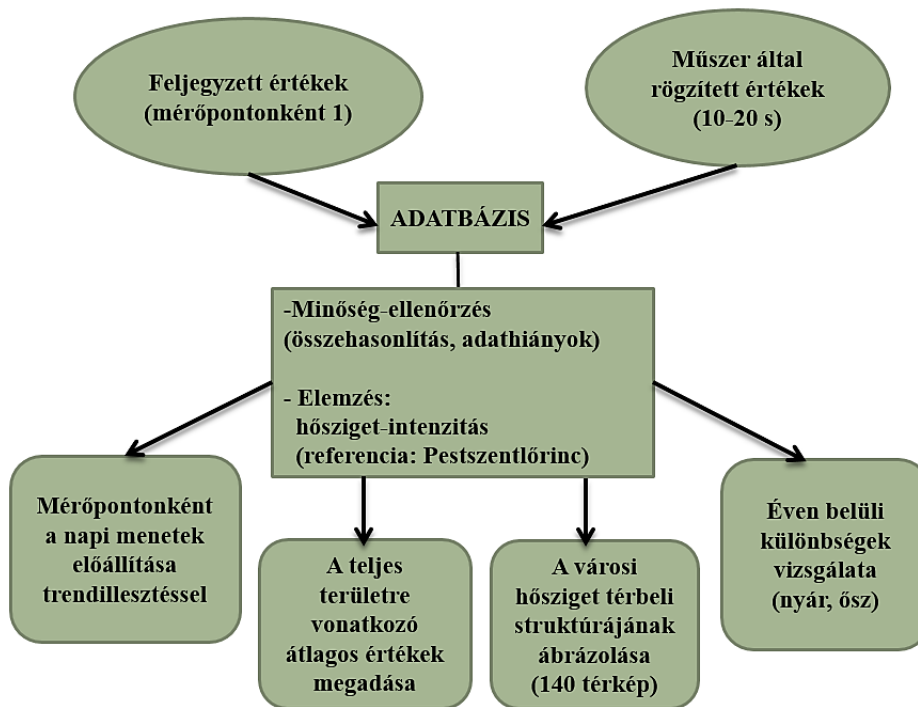
4. táblázat: Az egyes mérési alkalmakat jellemző időjárási helyzetek

Mérési időszak	Időjárási helyzet; a legmagasabb hőmérséklet Budapesten
2016. július 4.	anticiklonális helyzet: derült égbolt; 27 °C
2016. július 5.	anticiklonális helyzet: derült égbolt; 26 °C
2016. július 6.	anticiklon peremhelyzet: kissé felhős ég; 27 °C
2016. szeptember 22-23.	anticiklonális helyzet: napos idő gomolyfelhőzettel; 18–20 °C
2016. szeptember 29-30.	anticiklonális helyzet: derült égbolt; 23–24 °C
2016. október 13-14.	anticiklon peremhelyzet: felhős ég; 11 °C
2016. október 27-28.	anticiklonális helyzet: kezdetben borult égbolt, éjfélről felszakadozó felhőzet; 10–11 °C
2016. november 10.	ciklon peremhelyzet: borult égbolt, eső; 4 °C
2016. november 17-18.	anticiklon peremhelyzet: borult égbolt; 3–8 °C

3.3. Az adatfeldolgozás

Az adatok feldolgozásánál a mozgó mérés során dokumentált értékek elemzéséhez, megjelenítéséhez a Microsoft Excel szoftvert, a Fortran 90 és R programozási nyelveket, valamint a QGIS⁶ térképező programot használtam. Az adatfeldolgozás legfontosabb részfolyamatait a 4. ábra szemlélteti. Kétféle adattal dolgoztam: a Testo 635 típusú műszerek által rögzített értékekkel, valamint a hallgatók által feljegyzett értékekkel, amiket elsősorban akkor használtam, amikor az adatrögzítés során felmerült problémák – pl. a memória útközben történt telítődése – miatt a műszerek nem regisztráltak értékeket. A Testo Comfort szoftver segítségével jelenítettem meg mérőhelyenként a mérőpont nevét (számát), a regisztrált adatok időpontját, valamint a hőmérsékleti, relatív nedvesség, harmatpont és nedves hőmérsékleti értékeket. Az időpontokból látható volt, hogy a mérések elektronikus rögzítése nyáron 10, ősszel 20 másodperces időközökkel történt, és egy mérési periódus átlagosan 2 percig tartott. A nyári és az őszi időszakot is figyelembe véve mintegy 48000 időponthoz tartozó mérési adat állt rendelkezésre. A továbbiakban a mérési napok szerint elkülönítve mérőműszerenként csoportosítottam az adatokat, aminek a későbbi átlagolásoknál volt jelentősége. A nagy mennyiségű mérési adat egyik fő hátránya, hogy feldolgozása rendkívül időigényes, és emellett precíz odafigyelést igényel az adatok minőség-ellenőrzési fázisa.

⁶ Quantum Geographic Information Systems (Quantum térinformatikai rendszer)



4. ábra: Az adatfeldolgozás legfontosabb lépései

A hallgatók az értékek feljegyzése mellett egyéb, például az időjárásra vonatkozó megjegyzésekkel is hozzájárultak az adatok teljességéhez. Az esetlegesen problémás, kiugró értékek azonosításához első lépésként az adott mérőponton és 2 perces mérési időtartam alatti összes regisztrált adatot ábrázoltam vonaldiagramon, majd a hibásnak tűnő értékeket a további feldolgozás során – mérési hibának minősítve – nem vettem figyelembe. Az összes diagram elkészítése után általánosan levonható az a következtetés, hogy a nappali adatok között vélhetően több hibás érték szerepel, mint az éjszakai időszakban, valamint az elektronikus rögzítések elején és végén levő adatok is nagyobb eltérést mutattak a többihez képest. Az előbbi oka leginkább a forgalommal és a napsugárzás közvetlen hatásával magyarázható, míg az utóbbi a mérőműszer érzékelőjének a 2 m-es magasságba, illetve a 2 m-es magasságból történő elmozdulásának a következménye. Mindenképpen meg kell jegyezni, hogy a hibásnak tűnő értékek kiválasztása a szembetűnő értékeken kívül szubjektívnek mondható, hiszen a közel azonos értékektől vett megengedett eltérések nagyságát nem mindig könnyű megállapítani a körülmények pontos ismeretének hiányában. A szubjektivitás minimalizálása végett a teljes adatállományt többször is megvizsgáltam. Arra törekedtem, hogy a mérőhelyenként kiválasztott egy-egy mért érték az elemzéseknél együttesen minél reprezentatívabb eredményt adjon.

A minőség-ellenőrzés mellett szükség volt az adatok korrigálására is. A korrigáláshoz a mozgó méréseknél használt Testo 635 típusú mérőműszerek és az ELTE légymányosi épülete mellett található, az OMSZ által felügyelt mérőállomás műszerének összehasonlítását vettem alapul. A WMO szabványnak megfelelő meteorológiai mérő házikóban végzett egyidejű mérési párok felhasználásával statisztikai hipotézisvizsgálatokat – a hőmérsékleteket jó közelítéssel normális eloszlásúnak tekintve F- és kétmintás t-próbát (Dévényi és Gulyás, 1988) – végeztem. Eredményül azt kaptam, hogy a műszerek között 0,95 szignifikancia szinten kis mértékű eltérés észlelhető. A kapott lineáris regressziós összefüggésekkel korrigáltam a Testo műszerek által mért adatokat, így a pestszentlőrinci állomáson mért értékekkel szintén összehasonlíthatónak tekinthetők a korrigált idősorok.

A minőség-ellenőrzésen és a korrigáláson átesett, rendezett adatokkal végeztem a továbbiakban statisztikai elemzéseket, számításokat. Minden pontra átlagoltam az ellentétes irányban haladó két mérés időpontjait, illetve az adott ponton ezekben az időpontokban mért hőmérsékleteket. Az átlagolással az idő függvényében linearitást feltételeztem a kiválasztott értékek menetében. A hősziget intenzitását vizsgálva a kijelölt mérőhelyeket a pestszentlőrinci szinoptikus állomáshoz viszonyítottam – ez az állomás reprezentálta a külterületet, vagyis a város szélén elhelyezkedő kertes házas övezetet. Az ehhez szükséges referencia adatokat az interneten publikusan elérhető szinoptikus táviratokból [5 – szinoptikus táviratok] töltöttem le. A mérőpontokon mért adatok, valamint a pestszentlőrinci adatok különbségeként értelmezett hősziget-intenzitási értékeket pontdiagramokon ábrázoltam függetlenül attól, hogy melyik napon történt a mérés. Ezt követően minden mérőhelyre előállítottam a hősziget-intenzitás átlagos teljes napi menetét. Az adatpontokra az R programozási nyelvvel kiszámolt polinomiális trendeket illesztettem, amiknek a megjelenítéséhez a Microsoft Excel szoftvert használtam. A p-edfokú polinomok optimális fokszámát az Akaike-féle információs kritérium (Akaike, 1974, Michelberger et al., 2001)

$$AIC(p) = -2\log(L) + 2p \quad (1)$$

segítségével határoztam meg, ahol L a maximált likelihood függvény és p a megfigyeléssorozathoz illeszthető független paraméterek száma. A napi menetek mérőpontenkénti és évszak szerinti tanulmányozása mellett vizsgáltam a városi hősziget térbeli struktúráját is. Az ehhez szükséges térképeket a QGIS programban készítettem el, míg az átlagolt időpontokhoz tartozó, teljes területre vonatkozó átlagos értékek megadásához saját készítésű Fortran 90 nyelvű programmal végeztem számításokat.

4. Az eredmények

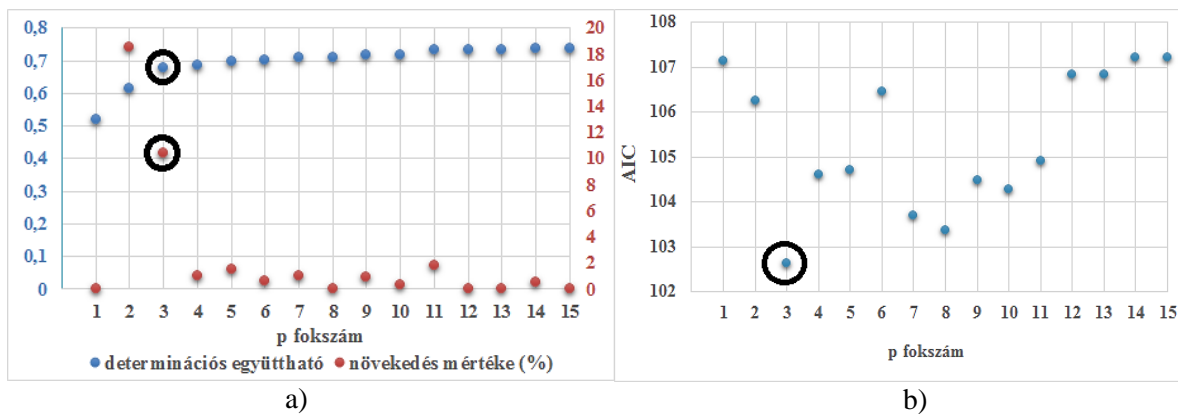
A korábbi, kizárólag nappali időszakban történt mérések eredményei alapján legnagyobb intenzitási értéknek 3 °C-os hősziget-intenzitást detektáltak (Dian, 2015). A 2016. nyári és őszi mérésorozattal lehetővé vált a teljes napi menetek előállítása, mivel az elemzésben már az éjszakai órák észlelései is szerepelnek. Ebből adódóan a korábbi mérésekhez viszonyítva mutatkozhatnak eltérések az akkori és a mostani eredmények között.

A 2016-os expedíciók alatt főként az első két nyári (július 4-5.), valamint a két szeptemberi (szeptember 22-23., 29-30.) és a második októberi (október 27-28.) mérési nap során voltak az időjárási körülmények kedvezők, ugyanis ezeken a napokon klasszikus anticiklonális helyzet alakította Budapest területének időjárását. Ez a nappali időszakban száraz, napos időt eredményezett, és az esti, éjszakai órákban is meglehetősen csekély volt a felhőzet mennyisége. Emiatt alapvetően az említett napokra fókuszáltam a mért adatok értékelése folyamán. Az erőteljesebb besugárzás miatt néhány mérőhelyen az érzékelő árnyékolását nehezen lehetett megoldani, ami a számított hősziget-intenzitási értékekben torzulásokhoz vezetett. Ezeket korrigáltam, majd az így kapott hősziget-intenzitási értékekből vontam le következtetéseket. A számszerűsített paraméterekkel meghatározott öt kategórián (*A, B, C, D, E*) keresztül mutatom be dolgozatomban, hogy milyen eltérések jelenhetnek meg a hősziget-intenzitás napi menetében, illetve területi eloszlásában évszakosan (nyáron és ősszel) a heterogén környezeti faktorokból (beépítettségéből, növényzetből) adódóan.

4.1. Napi menetek

Matyasovszky (2002) „Statisztikus klimatológia” című könyvében kifejtett elgondolása alapján határoztam meg a megfigyeléssorozatra illeszthető polinomiális trend p fokszámát. Az AIC Akaike-féle információs kritérium értékének a p szerinti minimalizálásával érhető el az a maximalizált log-likelihood függvény, ami a legkevésbé tér el a valódi log-likelihood függvénytől, és ami elvezet bennünket az optimális statisztikai modellhez. A megfelelő fokszám megadása azonban nem könnyű feladat, mivel az indokoltnál alacsonyabb fokszám a becslés torzítottságához vezethet, míg a magasabb fokszámhoz túl nagy szórás társul. Ennek értelmében az adatsorokra illeszthető polinomok optimális fokszámának megtalálása végett a legegyszerűbb lineáris trendtől, azaz az elsőfokú polinomtól indulva egyesével növeltem a fokszámot 15.-ig, és megnéztem, hogy a kapott trendillesztések mellett hogyan változott az

R^2 determinációs együttható, valamint az AIC értéke. A determinációs együtthatónál azt érdemes figyelni, hogy melyik fokszámnál mondhatjuk el azt, hogy a nála magasabb fokszámok mellett az R^2 értéke lassan nőtt tovább az előző fokszámokhoz képest. Ez azonban sok esetben erősen szubjektív lehet. Az Akaike-féle információs kritériummal viszont objektívizálható a legmegfelelőbb fokszám meghatározása, hiszen az (1) alapján kiszámított AIC értékek közül a legkisebbet kiválasztva megkapjuk a megfigyeléssorozatra illesztett polinomiális trend optimális fokszámát. Ebben az esetben a szórásnégyzet csökkenését a polinom fokszámával büntetjük.



5. ábra: A 207. mérőpont (A kategória) 2016. nyári mérési adatai alapján számított p -edfokú polinomokhoz tartozó a) R^2 értékeinek fokszám szerinti növekedése kék színnel, illetve a növekedések mértéke (%) az előző értékhez képest piros színnel jelölve, b) AIC értékeinek fokszám szerinti alakulása. Mindkét diagramon a kiválasztott optimális fokszámhoz tartozó értékek vannak bekarikázva.

A 2016 nyarán végzett mérések közül a 207. mérőponthoz tartozó adatsorra számított p -edfokú polinomok közül a legmegfelelőbb kiválasztásához szükséges értékeket példaként az 5. ábra mutatja. Az a) diagramon az R^2 értékeinek p fokszám szerinti növekedése, valamint az egyvel előbbi értékhez viszonyított növekedés százalékban kifejezett mértéke látható. Eszerint az R^2 determinációs együtthatót vizsgálva csaknem 20%-kal nő az értéke, ha $p=1$ helyett $p=2$ fokszámú polinomiális trendet illesztünk az adatsorra. Ezt követően 10%-kal nő az R^2 értéke $p=3$ alkalmazásával. A $p=4$ fokszám esetén az R^2 értéke már kevesebb mint 2%-kal nőtt a $p=3$ fokszámra kapott értékhez képest, s a fokszám további növelésével az R^2 növekedés mértéke a továbbiakban is 2% alatt maradt. Ezek alapján a harmadfokú polinom illesztése tűnik a legmegfelelőbbnek, azonban az R^2 szubjektivitáson alapuló – és ebből adódóan – bizonytalan használata, valamint sok esetben a kevésbé egyértelműen meghozható

döntés miatt érdemes egy objektívebb eljárással megállapítani az ideális fokszámot. A b) diagramról az *AIC* értékek fokszám szerinti alakulása olvasható le. Itt kevésbé kell a változás irányára és mértékére koncentrálni, mivel a legmegfelelőbb fokszámú trend kiválasztása a legkisebb *AIC* érték megkeresésével történik. A példában az a) diagram alapján kapott eredménnyel összhangban a b) diagramon is az látszik, hogy a $p=3$ esetén kapjuk az optimális fokszámú polinomiális trendet.

Az összes mérőpontra vonatkozó adatsort hasonló módon megvizsgálva általánosságban elmondható, hogy ideális fokszámként a $p=3$ -at kaptam eredményül mind a nyári, mind pedig az őszi adatok elemzésénél. Ez azt jelenti, hogy a napi menetek többségének egy maximuma van. A különbség leginkább abban jelentkezik, hogy ez a nap folyamán pontosan melyik időszakban figyelhető meg. Kevés esetben az ötödfokú polinomiális trend illesztése bizonyult a legmegfelelőbbnek, jellemzően azoknál a mérőpontoknál, ahol nemcsak éjjel, hanem napközben is magasabbak lettek hősziget-intenzitási értékek. Ugyan a minőség-ellenőrzés során a kiugró értékeket kiszűrtem, azonban voltak olyan mért adatok, amikről nehezebben lehetett eldönteni, hogy hibásak-e, így az ezekből számított intenzitási értékeket is óvatosan kell értelmezni. A nappali magasabb értékek akár adódhatnak a nem megfelelő árnyékolásból. A kapott eredmény kategóriánkénti elkülönítését a 6. ábra foglalja össze. Mindegyik kategóriából kiválasztottam egy – az adott kategóriát jellemző – mérőpontot, amin keresztül bemutatom a számított nyári és őszi hősziget-intenzitási értékeket: az *A*, *B*, *C*, *D*, *E* kategóriákból kijelölt mérési helyszínek rendre a 207., 107., 208., 108., 109. mérőpontok. A diagramok vízszintes tengelyén este 6 órától számított eltelt órák száma szerepel 3 órás felbontásban, míg függőleges tengelyén a hősziget-intenzitási értékek ($^{\circ}\text{C}$) láthatók.

A 2016. nyári mérési napokon a napkelte körülbelül hajnali 5 óra tájban, a napnyugta pedig este 20:45 környékén következett be. Ezek közül a napi menetek vizsgálatánál a július 4-ét és 5-ét vettem figyelembe amiatt, hogy 6-án az időjárást már nem a klasszikus értelemben vett anticiklon alakította. A szakirodalom (Oke, 1995) alapján ennek értelmében a 2016. nyári hősziget-intenzitás a maximumát éjfél és hajnali 3 óra között kellene, hogy felvegye. Ezt bizonyítják a pontdiagramokon (6. ábra) feltüntetett harmadfokú polinomiális trendvonalak is, amiken jól látható, hogy a műszerrel mért hőmérsékleti értékek a pestszentlőrinci értékekhez képesti legnagyobb eltérései éppen ebbe az időintervallumba esnek (ami az ábrán a 6 és 9 óra közötti időszaknak felel meg). Ha viszont az egyes számított intenzitási értékeket szemléljük, és nem az illesztett trendre fókuszálunk, akkor észrevehető,

hogy napnyugta – tehát a diagram szerinti megfeleltetésnek 3 óra – után 6 vagy akár 9 órával is detektálhatunk magasabb értékeket. Az egyes kategóriákat jellemző mérőpontok átlagos teljes napi menetét összehasonlítva a 6. ábra szerint általánosságban elmondható, hogy nyáron mindegyik mérési helyszín esetében a hősziget-intenzitási érték maximuma 2,5 °C és 3,5 °C közé esett. A szomszédos eltérő osztályozású mérőpontokat tekintve ezekben a maximumokban szignifikáns eltérés a diagramok között nem mutatkozik. Mindazonáltal a két szélsőséges esetet (azaz a c) és az e) diagramot) vizsgálva a maximális értékek különbsége 0,9 °C volt, ami már figyelemre méltó. A c) jelölésű diagram a szélesebb, forgalmasabb utcák mentén elhelyezkedő mérési pontokat összefogó kategóriát jellemzi, míg az e) diagram egy tipikusan parkos területű helyszínhez köthető. Emellett még a d) pontdiagram átlagos maximális értéke is 3 °C alatti volt, ami szintén magyarázható a zöldfelületek nagyobb arányával. Ezzel szemben a 3 °C feletti értékek a forgalmasabb és beépítettebb környezetű mérőpontokat jellemzik. Napközben mindegyik mérőpont esetében a hősziget-intenzitás mértékének egyértelmű csökkenése tapasztalható, mely a szakirodalommal (pl. Oke, 1995) összhangban áll.

A területi különbségekből adódó eltérések mellett érdemes megvizsgálni az átlagos napi menetekre gyakorolt évszakos hatást is. Ebből a szempontból tanulmányozva a városi hőszigetet, érdekes következtetések vonhatók le a 6. ábra jobb oldali pontdiagramjait szemlélve. Ezekben a diagramokon a 2016. őszi mérések alapján meghatározott hőmérsékleti eltéréseket jelenítettem meg. A nyári mérések eredményeivel történő összehasonlíthatósága végett az őszi mérések közül azokat a napokat (szeptember 22-23., szeptember 29-30., október 27-28.) vettem figyelembe, amikor anticiklon uralta Budapest térségének időjárási helyzetét, és derült vagy kissé felhős volt az ég.

A 2016. őszi mérési napokhoz tartozó napkelték és napnyugták időpontját a 5. táblázat tartalmazza. Ez – a nyári mérési napokhoz hasonlóan – a napnyugta után észlelhető maximális intenzitási értékek időpontjainak a napnyugta utáni eltelt órák számával történő meghatározása miatt releváns. Az őszi hősziget-intenzitást szemléltető diagramokról leolvasható, hogy ezek az időpontok átlagosan 6–7 órával napnyugta után jelentkeztek (hiszen a diagram kezdetét ez esetben körülbelül a napnyugta jelenti). Így a nyárhoz képest az éjjeli maximumok időpontja korábbra tolódott, éjfél körülre. A diagramok alapján nyáron az éjszakai hősziget-intenzitás mértéke általában kisebb volt, mint ősszel, mivel ekkor 3 °C és 5 °C közöttiek voltak az átlagos maximumok. A területi eltérésekből adódó őszi hősziget-intenzitásban megnyilvánuló különbségekről a nyárhoz hasonló következtetések

vonhatók le. Ebben az esetben a két szélsőséges érték (4,9 °C, illetve 3,1 °C) különbsége szintén a c) és az e) diagramok alapján határozható meg: a nyári értéknek a kétszerese az őszi (1,8 °C). 4 °C alatti átlagos értéket szintén a *D*, illetve *E* kategóriát jellemző mérőpontoknál detektálhatunk, így a jelentősebb vegetációval rendelkező mérési helyszínek ősszel is elkülönülnek a kisebb zöldfelület arányú helyszínektől.

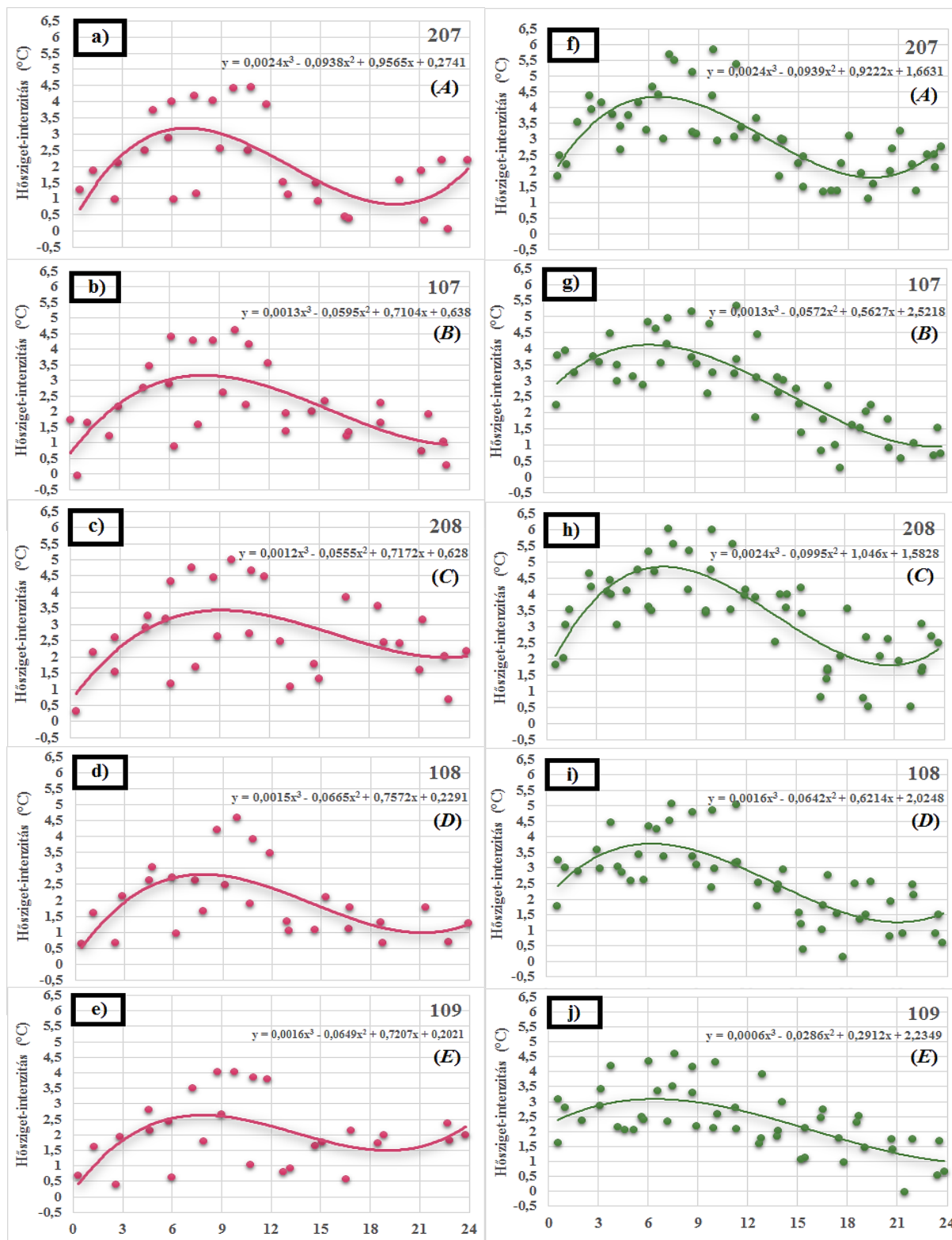
5. táblázat: A 2016. őszi mérési napok, valamint a mérés időtartama alatt bekövetkező napkelték és napnyugták körülbelüli időpontjai. Az egyértelműen anticiklon által alakított időjárási helyzetű napokat kék betűs kiemelés jelöli.

	Napkelte	Napnyugta
szeptember 22.	-	18:45
szeptember 23.	6:35	-
szeptember 29.	-	18:30
szeptember 30.	6:45	-
október 13.	-	18:05
október 14.	7:05	-
október 27.	-	17:40
október 28.	7:25	-
november 10.	-	16:20
november 17.	-	16:10
november 18.	6:55	-

A mérőpontokhoz tartozó intenzitások napi menetét szemléltető *6. ábra* alapján tehát megállapítható, hogy az éjszakák nyáron és ősszel mintegy 3–4 °C-kal melegebbek Budapest belterületén a külvároshoz, Pestszentlőrinchez képest. Napközben az intenzitási értékek azonban már kisebb eltérést mutatnak a szinoptikus állomáson mért értékekhez viszonyítva. A nyári és az őszi átlagos napi menetek összehasonlításakor megfigyelhető az éjszakai maximumok időpontjának eltolódása, illetve az, hogy az őszi maximumok értékei körülbelül 1 °C-kal magasabbak, mint a nyáriaké. Általában az is elmondható, hogy a zöldfelülettel rendelkező helyszínek mérséklő hatása – évszaktól függetlenül – néhány tized, vagy akár 1–2 °C-os hősziget-intenzitás csökkenést is eredményezhet, ami az emberi hőérzet szempontjából már jelentősnek tekinthető.

Nyár

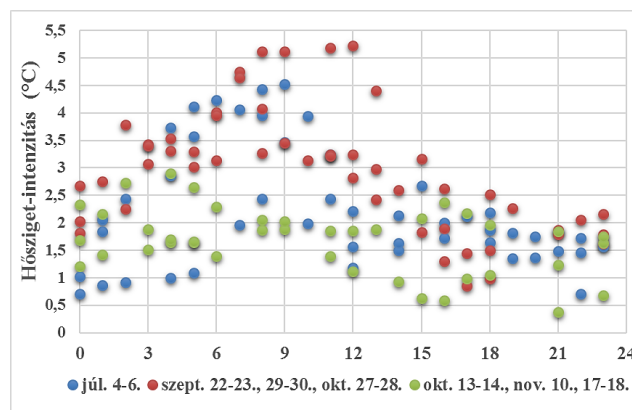
Ősz



6. ábra: Az öt kategóriából kiválasztott egy-egy mérőponthoz tartozó intenzitások napi menete külön a nyári (bal oldal) és külön az őszi (jobb oldal) időszakra vonatkozóan. Az adatpontokra illesztett görbe harmadfokú polinomiális trendet rajzol ki. Az x tengelyen a 18 órától számított eltelt órák száma szerepel 3 órás felbontásban.

4.2. A városi hősziget térbeli szerkezete

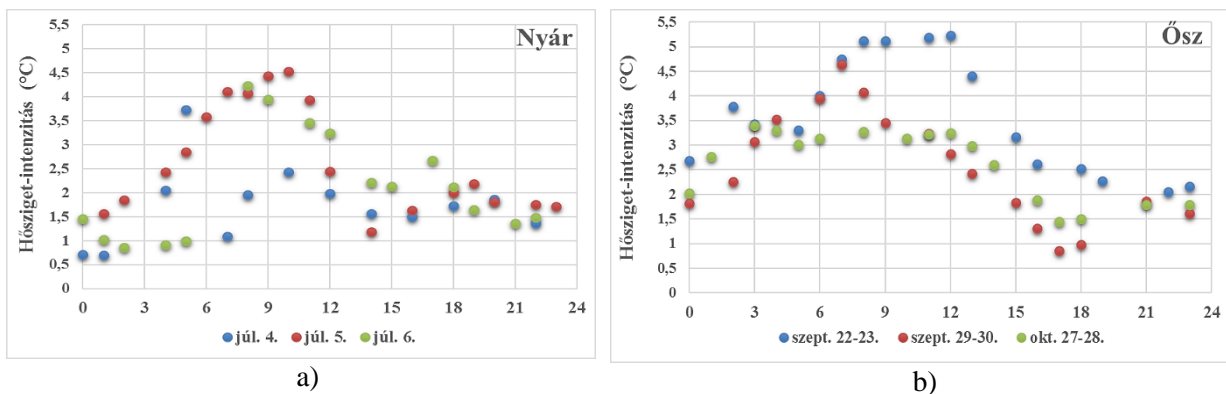
Az előző alfejezetben a különböző évszakok szerint öt-öt példát mutattam be arra, hogy miként alakulhat a hősziget-intenzitás átlagos napi menete eltérő környezeti feltételek mellett. Az elemzésből kiderült, hogy a hősziget-intenzitás szempontjából a legfontosabb időszak az éjszaka – több órával napnyugta után –, amikor az intenzitás értéke eléri a napi maximumát. Az eredmények alapján azt a következtetést lehetett levonni, hogy az őszi (anticiklonális időjárási körülmények között regisztrált adatokból számított) hősziget-intenzitás értéke magasabb volt, mint a nyári. Ezt néhány kiválasztott mérőponton keresztül mutattam be, azonban ez még nem feltétlenül igazolja azt, hogy a többi mérőpont esetében is így volt.



7. ábra: A hősziget-intenzitás átlagolt időpontokhoz tartozó területi átlagai évszakosan elkülönítve, valamint az őszi mérési napok esetén az időjárási körülmények szerint szétválasztva. Az x tengelyen a 18 órától számított eltelt órák száma szerepel 3 órás felbontásban.

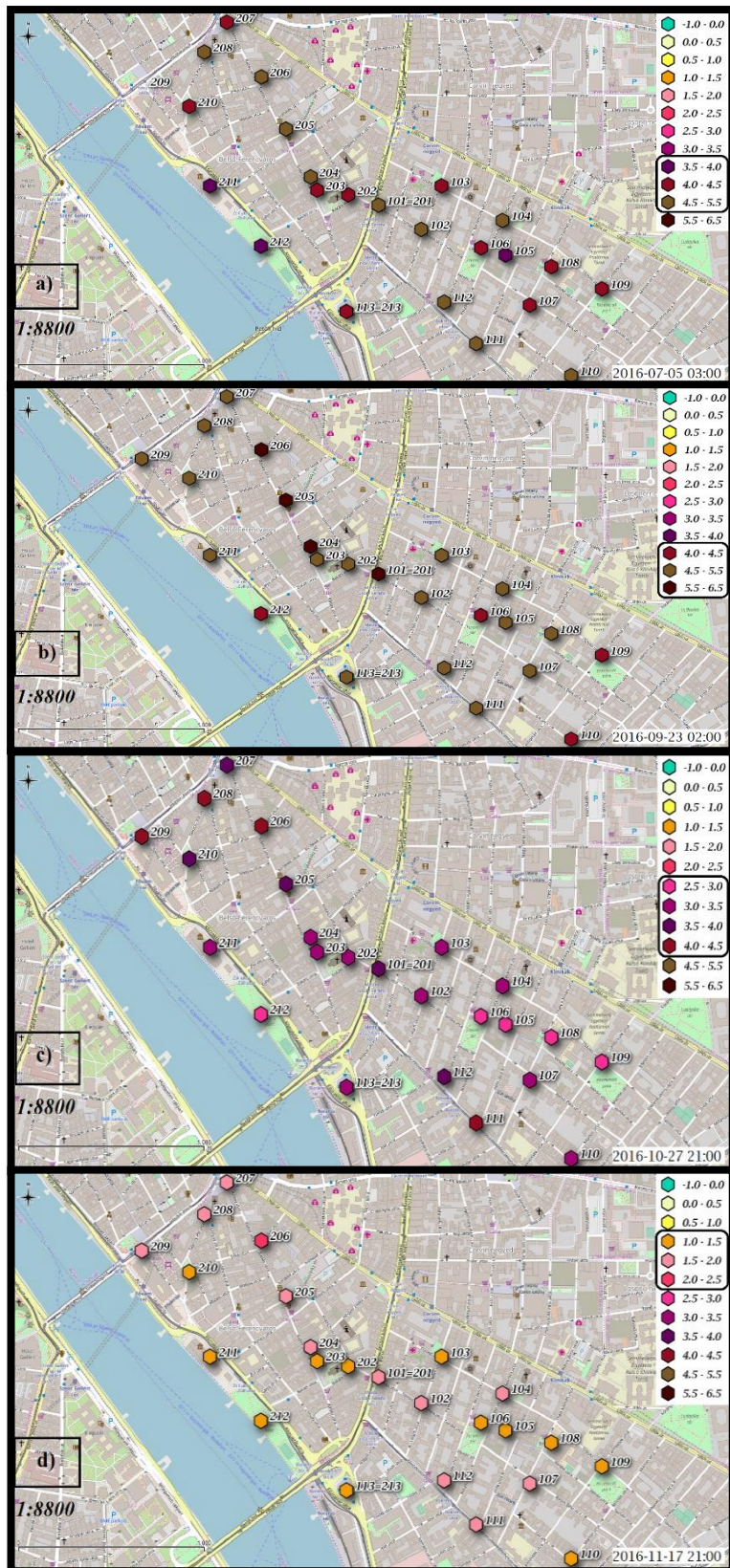
A 7. ábra azt szemlélteti, hogy a vizsgált területre vonatkozó átlagolt időpontokhoz rendelt intenzitási értékek valóban a két szeptemberi és a második októberi mérések alkalmával voltak a legnagyobbak – vagyis a többi mérőpontonál is átlagosan magasabb volt a hősziget intenzitása ebben az időszakban. Ezen a grafikonon az anticiklon vagy ciklon peremhelyzet által uralt őszi mérési napokra meghatározott értékek is fel vannak tüntetve zöld színnel. Látható, hogy ekkor az intenzitási értékek jóval alacsonyabbak voltak, ami magyarázható az eltérő időjárási körülményekkel, illetve azzal, hogy ezeken a napokon már a késő őszi jelei mutatkoznak. Ennek a feltárása további vizsgálatot igényel, amire dolgozatomban külön nem térek ki. A polinomiális trendekhez hasonlóan a területi átlagok elemzésekor is alapvetően az anticiklonális helyzetű napokra koncentráltam. A 8. ábrán bal oldalon a nyári, jobb oldalon pedig az őszi hősziget-intenzitási értékeket jelenítettem meg az egyes napok szerinti felbontásában. Az a) diagramon elsőre kitűnik, hogy július 4-én éjjel és hajnali 3 óra között szokatlanul alacsony intenzitási értékek voltak, ami azért érdekes, mivel

várhatóan erre az időszakra kellett volna, hogy essen az éjszakai maximum. Ezzel szemben július 5-én a legmagasabb érték eléri a 4,5 °C-ot. Bár mind a két napon napos időnk volt, az OMSZ időjárás fronttérképei alapján [4 – met.hu] július 3-án egy hidegfront vonult át Magyarországon, ami valószínűleg még július 4-én hajnalban is éreztette hatását. Ennek következtében a két nap értékei alapján számított átlagos napi menetek éjjeli maximális intenzitása is az alacsonyabb értékek felé tolódott. A b) jelzésű diagramon ennek az ellenkezője figyelhető meg: szeptember 23-án éjjel több órán át igen magas (5–5,5 °C) volt a hősziget-intenzitás. Ugyan a mérés alatt többnyire derült volt az égbolt, az mégis elképzelhető, hogy a hajnalban kialakuló – kezdetben még csak 2–3 oktás – felhőzet már akadályozta az éjszaka során felhalmozódó hőtöbblet távozását. Ennek értelmében ősszel inkább a magas intenzitási értékek felé történt az átlagos értékek eltolódása. A 8. ábra alapján tehát érzékelhető, hogy a kisebb skálájú folyamatok is már jelentősen módosíthatják a városi hőszigetet, amiknek a részletesebb elemzésével pontosabb képet kaphatunk a hősziget jelenségéről.



8. ábra: A hősziget-intenzitás átlagolt időpontokhoz tartozó területi átlagai a) nyáron és b) ősszel az anticiklonális helyzetű napokon. Az egyes napok mind a két diagramon más-más színnel vannak feltüntetve. Az x tengelyen a 18 órától számított eltelt órák száma szerepel 3 órás felbontásban.

A városi hősziget térbeli szerkezetének további tanulmányozásához a QGIS program segítségével készítettem térképeket a mérőpontokénti hősziget-intenzitásokról. Így az átlagolt időpontokhoz nem csak a vizsgált terület átlagos intenzitásait rendeltem hozzá, hanem az egyes mérőpontok konkrét értékeit is. Ezzel megmutatható, hogy milyen különbségek észlelhetők az eltérő környezeti tényezőkből adódóan. A továbbiakban ezekkel a térképekkel szemléltetem a maximális hősziget-intenzitási értékek területi eloszlását nyári és őszi példákon keresztül.



9. ábra: A városi hősziget-intenzitás (°C) térbeli struktúrája a) 07.05-én 3:00-kor, b) 09.23-án 2:00-kor, c) 10.27-én 21:00-kor, d) 11.17-én 21:00-kor. A térképek jobb felső sarkában feketével bekeretezve a térképen szereplő konkrét értékek tartományai szerepelnek.

A 9. ábrán szereplő a) jelölésű térkép a hősziget-intenzitásnak a 2016. július 5-ei éjjel 3 órához tartozó térbeli szerkezetét szemlélteti. A megjelenő magas intenzitási értékek három tartományt ölelnek fel $3,5\text{ °C}$ és $5,5\text{ °C}$ között, ami összhangban van az átlagos napi meneteknél levont következtetésekkel. Első ránézésre nem könnyű különbséget tenni a beépített és a parkos területek között, azonban a Dunához közeli mérőpontoknál (212., 211.), valamint az utcáktól épületekkel elzárt, relatíve nagy zöldfelülettel körülvett 105. mérőpontnál kb. $0,5\text{ °C}$ -kal kisebb a számított hősziget-intenzitás értéke a többi mérőponthoz képest. A kapott térképet összevetve a 3.2.1. alfejezetben taglalt kategorizálással (2. ábra, 3. táblázat) elmondható, hogy a kevésbé látványos különbségek ellenére a tíz pirossal színezett, közepes mértékű intenzitást mutató helyszín közül hét a *D* vagy az *E* kategóriába van besorolva, míg a $4,5\text{--}5,5\text{ °C}$ -os tartományba eső mérőpontok többsége a szűk vagy forgalmas utcák mentén helyezkedik el (*B* és *C* kategória). A teljes területre vett átlagoknál (7. és 8. ábra) beláthattuk, hogy a 2016. nyári és őszi mérési expedíciók folyamán végzett mérésekből számított intenzitási értékek közül a szeptember 22-23-ai intenzitások voltak a legmagasabbak. Ez megállapítható a b) térkép alapján is, ahol a hősziget-intenzitás értékek 4 °C és $6,5\text{ °C}$ közöttiek. A legalacsonyabb tartományba eső négy mérőpont közül három szintén az *E* osztályhoz tartozik, míg a negyedik mérőpontot a *B* kategóriába soroltam. Az $5,5\text{ °C}$ feletti értékekkel rendelkező mérőpontok többsége a viszonylag beljebb levő Ráday utcában található. A nyári (a)) és az októberi (c)) hősziget-intenzitási térkép között már jelentősebb különbség észlelhető. Mind a négy térkép az adott időszak maximális intenzitási értékeit ábrázolja, amik a napnyugtát követően jellemzően 3–6 órával detektálhatók. A napnyugta azonban nyáron és ősszel különböző időpontokban következett be – ebből adódhat a szembetűnő eltérés az a) és a c) térkép között. A maximális értékek $0,5\text{ °C}$ -kal kisebbek voltak októberben, ráadásul ezek az értékek jóval hamarabb (21 órakor) jelentkeztek, mint nyáron. A $2,5\text{--}3\text{ °C}$ -os tartományba eső öt mérőpont közül három az *E*, kettő pedig a *D* kategóriába van besorolva, míg a legmagasabb értékű intenzitásokat magába foglaló tartományba a *C* és *B* kategóriájú mérési helyszínek kerültek. Értelemszerűen a d) jelzésű térképről is leolvasható, hogy a hősziget-intenzitás a maximumát a nyárhoz képest novemberben korábban – négy órával napnyugta után – érte el. Ugyan a d) térkép olyan tekintetben kilóg a sorból, hogy a november 17-18-ai napokon nem a klasszikus értelemben vett anticiklon határozta meg az időjárási helyzetet, mindazonáltal érdemes bemutatni az egyik térképen keresztül, hogy ebből adódóan a hősziget-intenzitások mennyire tértek el a többi nap intenzitási értékeitől. A 7. ábra alapján le lehetett vonni azt a következtetést, hogy összességében azokon a napokon, amikor nem a derült égbolt volt a jellemző, kisebb mértékű

volt a hősziget-intenzitás. A felső három bemutatott térképről a bekeretezés segítségével könnyen megállapítható, hogy a legalacsonyabb intenzitási érték a 2,5 °C lehetett, míg a legalsón ez az érték a térképen szereplő értékek felső határa volt. Ez kizárólag egyetlen mérőpontnál fordulhatott elő: a *B* kategóriába sorolt 206. mérőpontnál. A novemberi térkép is azt igazolja, hogy a belső, forgalmasabb utcákra volt jellemző a magas hősziget-intenzitás, míg a Duna partjához közeli, illetve a parkos területű mérési helyszíneknél kb. 0,5 °C-kal volt kisebb az intenzitás mértéke.

A térképeket összegezve elmondható, hogy a napnyugta eltérő időpontban történő bekövetkezése miatt a négy térképen végig nézve megjelenik a hősziget-intenzitás maximális értékének időbeli eltolódása. Az a), b), c), d) térképen a teljes területre vonatkozó átlagos intenzitási értékek rendre: 4,4 °C, 5,1 °C, 3,4 °C és 1,5 °C, vagyis a legmagasabb értékek a b), míg a legalacsonyabb értékek a d) térképről olvashatók le. Ez alapján is felülmúlta a szeptember 22-23-ai hősziget-intenzitás a nyárit. A mérőpontok közötti különbségek egyértelműen megmutatkoznak a térképeken: a legtöbb esetben a belső szűk vagy forgalmasabb utcákban (*B* és *C* kategóriájú mérési pontoknál) volt nagyobb az intenzitás mértéke, ellenben a jelentősebb zöldfelülettel rendelkező *E* és *D* osztályba sorolt helyszíneknél a növényzet hűtő hatása kimutatható. A Duna szerepe is érdekes: a térképeken nem csak a parkosabb 212. mérőpontnál lehetett alacsonyabb értékeket látni, hanem a 113. és a 211. pontoknál is, amiknél a mesterséges burkolat aránya, valamint a környező utak forgalma számottevő.

5. Összefoglalás

Manapság egyre nagyobb jelentőséggel bírnak a burkolt, beépített területek, amik a városokban az ún. városi hősziget jelenségét okozzák. A hősziget például a hőmérséklet és a páratartalom jelentősebb megváltozásához vezet, ami az emberi szervezetre nézve sokszor kedvezőtlen hatású, mivel a humán komfortérzet nagymértékben ezektől a tényezőktől függ (Gulyás, 2009). A beépítettség növekedése azonban az egyes lakóközösségekben a zöldfelületek utáni igény növekedését is magával vonta, így például a Ferencvárosban is évek óta folynak munkálatok az ideálisabb környezet kialakításának érdekében (Budapest Főváros IX. kerület Ferencváros Önkormányzata, 2009a, 2009b).

A Belső-Ferencvárosban, valamint a rehabilitációs területen végzett folyamatos 24 órás 2016. nyári és őszi mérési sorozatokkal lehetővé vált a hősziget-intenzitás teljes napi menetének és térbeli szerkezetének elemzése. Ennek köszönhetően a következő eredményekre jutottam:

- az Akaike-féle információs kritérium minimumának kiválasztásával meghatározott polinomiális trendek optimális fokszáma a mérőpontok többségében $p=3$ volt, mind a nyári, mind az őszi mérési adatok kiértékelésénél;
- a hősziget-intenzitás a napi maximumát általában a napnyugtát követően 3–6 órával érte el, ami a napnyugta eltérő időpontjaiból adódóan nyáron éjfél és hajnali 3, míg ősszel este 9 és éjfél között valósult meg;
- nyáron éjszaka az intenzitás átlagosan 2,5–3,5 °C közé esett, míg ősszel (anticiklonális helyzet esetén) ennél kb. 1 °C-kal voltak magasabbak az értékek;
- az időjárási körülmények nagyban befolyásolhatják a városi hőszigetet: a klasszikus értelemben vett anticiklonális helyzetű napokkal ellentétben a késő őszi napokon az intenzitás értéke kisebb volt;
- napközben a hősziget-intenzitás mértékének csökkenése volt detektálható;
- a városi hősziget területi eloszlását illetően adott időpontban a magasabb intenzitási értékek a szűk és forgalmasabb utcákra (azaz a *B* és *C* kategóriákra) voltak jellemzők, míg az alacsonyabb értékek a Dunához közeli, illetve a jelentősebb zöldfelület arányú mérőpontoknál (azaz a *D* és *E* kategóriáknál) jelentkeztek;
- a növényzet akár 1–2 °C-kal is mérsékelheti a városi hősziget hatását – ami az emberi hőérzet szempontjából már jelentősnek mondható.

További tervek között szerepel a különböző nedvességi karakterisztikák elemzése, valamint a mérőpontok klaszteranalízissel történő kategorizálása a városi hősziget alaposabb értékelése céljából.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni hálámat témavezetőmnek, Dr. Pongrácz Ritának, aki türelmével, szakértelmével és a konzultációk során biztosított nélkülözhetetlen javaslataival, precízségével segítette a dolgozatom elkészítését.

A helyszíni mérésekben való részvétele miatt szeretnék köszönetet mondani Balázs Bence, Balogh Henrietta, Becságh Bence, Boros Dániel, Csapó Tamás, Darányi László, Dian Csenge, Dolgos Emília, Dósa Attila, Felföldi Anita, Galli Csaba, Ganbat Demberel, Gulyás Márk, Huszánk Daniella, Jó Viviána, Kerek Aliz, Koós Gergő, Kovács Bence, Könyves-Tóth Réka, Kurcsics Máté, Lakos Tamás, Lázár Krisztina, Magyar Zoltán, Makkai Martina, Márfoldi Nelli, Markó Dániel, Molnárová Viktória, Mutsy Réka, Nagy Gabriella, Pintér Dóra, Priegl Csongor, Sallai József Martin, Simon Csilla, Supka Zsófia, Szabó Alex, Szabó Dávid, Szalay Eszter, Tóth Anita, Tóth Boglárka, Tóth Domonkos, Tóth Péter Richard, Tseveenjav Gantulga, Varga Lóránt, Varga Stefánia és Zsolnai Gabriella hallgatóknak.

A dolgozat keretében végzett kutatásokat támogatta az OTKA K109109 és a K120605 számú projektje, valamint az AGRÁRKLIMA2 projekt (VKSZ_12-1-2013-0034).

Irodalomjegyzék

- Akaike, H.*, 1974: A new look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19, 716–723.
- Alonso, M. S., Labajo, J. L., Fidalgo, M. R.*, 2003: Characteristics of the urban heat island in the city of Salamanca, Spain. *Atmósfera*, 16, 137–148.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Dezső, Zs.*, 2003: Application of satellite information to urban climatology. Combined Preprints of the 83rd American Meteorological Society (AMS) Annual Meeting. Long Beach, California, CD P1.10
- Battista, G., Pastore, E. M.*, 2017: Using cool pavements to mitigate urban temperatures in a case study of Rome (Italy). *Energy Procedia*, 113, 98–103.
- Boda, B.*, 2016: A városi beépítettség hatása a légszennyezettségre. BSc szakdolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE), Budapest (témavezető: Mészáros Róbert). 33 p.
- Bottyán, Zs., Kircsi, A., Szegedi, S., Unger, J.*, 2005: The relationship between built-up areas and the spatial development of the mean maximum urban heat island in Debrecen, Hungary. *International Journal of Climatology*, 25, 405–418.
- Bottyán, Zs.*, 2007: Az átlagos maximális hősziget-intenzitás statisztikus modellje Szegeden és Debrecenben. Doktori (PhD) értekezés, Szegedi Tudományegyetem (SZTE), Szeged (témavezető: Unger János). 122 p.
- Budapest Főváros IX. kerület Ferencváros Önkormányzata, Főépítési Iroda – Budapest*, 2009a: Integrált városfejlesztési stratégia, I. kötet, 220 p.
- Budapest Főváros IX. kerület Ferencváros Önkormányzata, Főépítési Iroda – Budapest*, 2009b: Integrált városfejlesztési stratégia, II. kötet, 190 p.
- Chan, A. L. S.*, 2011: Developing a modified typical meteorological year weather file for Hong Kong taking into account the urban heat island effect. *Building and Environment*, 46, 2434–2441.
- Chandler, T. J.*, 1962: Temperature and humidity traverses across London. *Weather*, 17, 235–241.
- Cohen, B.*, 2006: Urbanization in developing countries: Current trends, future projections, and key challenges for sustainability. *Technology in Society*, 28, 63–80.

- Cohen, P., Potchter, O., Matzarakis, A., 2012: Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort. Building and Environment, 51, 285–295.*
- Dezső, Zs., Bartholy, J., Pongrácz, R., Lelovics, E., 2012: Városi hősziget vizsgálatok műholdas és állomási mérések alapján. Léggör, 57, 170–173.*
- Dévényi, D., Gulyás, O., 1988: Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában. Tankönyvkiadó, Budapest. 443 p.*
- Dian, Cs., 2015: Felszínhőmérsékleti változások elemzése Budapest IX. kerületére. BSc szakdolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE), Budapest (témavezetők: Pongrácz Rita, Bartholy Judit, Dezső Zsuzsanna). 49 p.*
- Dian, Cs., Pongrácz, R., Dezső, Zs., Bartholy J., 2015: Városklimatológiai mérési expedíció Budapest IX. kerületében. In: Aktuális kutatások az ELTE Meteorológiai Tanszékén. Jubileumi kötet – 70 éves az ELTE Meteorológiai Tanszéke (szerk.: Pongrácz, R., Mészáros, R., Kis, A.). Egyetemi Meteorológiai Füzetek, No. 26., Budapest. 15–21.*
- Dian, Cs., Pongrácz, R., Dezső, Zs., Bartholy, J., 2016: Egész napos helyszíni mérések a Ferenc téren, Budapest IX. kerületében. In: Kutatási és operatív feladatok meteorológusként. Az ELTE Meteorológus TDK 2016. évi Nyári Iskola előadásának összefoglalói (szerk.: Pongrácz, R., Mészáros, R., Kis, A.). Egyetemi Meteorológiai Füzetek, No. 27., Budapest. 33–38.*
- Dobi, I., Baranka, Gy., Unger, J., 2013: A városi hősziget-jelenség Közép-Európában. Természettudományi Közlöny, 144, 397–400.*
- Doulos, L., Santamouris, M., Livada, I., 2004: Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. Solar Energy, 77, 231–249.*
- Dwivedi, A., Mohan, B. K., 2018: Impact of green roof on micro climate to reduce Urban Heat Island. Remote Sensing Applications: Society and Environment (RSASE), 10, 56–69.*
- Fóti, Sz., Kertész, P., Koncz, P., Nagy, Z., 2016: A növényi produkció. In: Növényökológia – Egyetemi jegyzet (szerk.: Balogh, J., Fóti, Sz., Gecse, B., Hidy, D., Kertész, P., Koncz, P., Nagy, Z., Papp, M., Pintér, K.). Szent István Egyetem (SZIE), Gödöllő. 90–122.*
- Fricke, C., Pongrácz, R., Dezső, Zs., Bartholy, J., 2014: A vegetáció szerepe a budapesti városi hősziget jelenségében. Léggör, 59, 150–153.*

- Fung, W. Y., Lam, K. S., Nichol, J., Wong, M. S., 2009: Derivation of Nighttime Urban Air Temperatures Using a Satellite Thermal Image. Journal of Applied Meteorology and Climatology (JAMC), 48, 863–872.*
- Gajzágó, L., 1999: Mikroklímák városi környezetben. In: I. Városklimatológiai munkaértekezlet (szerk.: Szalai, S.). Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ), Budapest. 21–30.*
- Gál, T., Skarbit, N., Unger, J., 2016: Urban heat island patterns and their dynamics based on an urban climate measurement network. Hungarian Geographical Bulletin, 65 (2), 105–116.*
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., Pauleit, S., 2007: Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. Built environment, 33, 115–133.*
- Gulyás, Á., 2009: Humán bioklimatológiai értékelések különböző léptékű megközelítésben. Doktori (PhD) értekezés, Szegedi Tudományegyetem (SZTE), Szeged (témavezető: Unger János). 115 p.*
- Howard, L., 1833: The climate of London, deduced from meteorological observations made in the metropolis and at a various places around it. 3rd edition. Darton and Harvey, London. 267 p.*
- Hoyk, E., Kovács, A. D., Tompa, M., 2016: Energia-megtakarítás és klímavédelem zöldfalak alkalmazásával. Gradus, 3, 245–251.*
- Incze, D., 2017: Budapest IX. kerületében végzett nyári mérési expedíció eredményei. OTDK dolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE), Budapest (témavezető: Pongrácz Rita). 39 p.*
- Kandya, A., Mohan, M., 2018: Mitigating the Urban Heat Island effect through building envelope modifications. Energy and Buildings, 164, 266–277.*
- Kántor, N., Gulyás, Á., Unger, J., 2010a: Komplex humánkomfort vizsgálatok városi környezetben – I. rész. Léggör, 55, 108–114.*
- Kántor, N., Gulyás, Á., Égerházi, L., Unger, J., 2010b: Komplex humánkomfort vizsgálatok városi környezetben – II. rész. Léggör, 55, 115–126.*
- Kong, F., Yin, H., James, P., Hutrya, L. R., He, H. S., 2014: Effects of spatial pattern of greenspace on urban cooling in a large metropolitan area of eastern China. Landscape and Urban Planning, 128, 35–47.*

- Kurcsics, M.*, 2017: Városklimatológiai elemzés ferencvárosi és lágymányosi mérések alapján. OTDK dolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE), Budapest (témavezető: Pongrácz Rita). 38 p.
- Lajos, T., Szepesi, Zs., Goricsán, I., Réger, T., Suda, J., Balczó, M.*, 2003: Wind tunnel measurement and numerical simulation of dispersion of pollutants in urban environment. Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'03), Budapest, 507–514.
- Landsberg, H. E.*, 1981: The Urban Climate. Academic Press, Inc., New York. 275 p.
- Leelőssy, Á., Mészáros, R., Kovács, A., Lagzi, I.*, 2016: Légköri diszperzió modellezése különböző skálákon. In: Kutatási és operatív feladatok meteorológusként. Az ELTE Meteorológus TDK 2016. évi Nyári Iskola előadásának összefoglalói (szerk.: Pongrácz, R., Mészáros, R., Kis, A.). Egyetemi Meteorológiai Füzetek, No. 27., Budapest. 100–105.
- Leuzinger, S., Vogt, R., Körner, C.*, 2010: Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 56–62.
- Lin, T.-P.*, 2009: Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. *Building and Environment*, 44, 2017–2026.
- Matyasovszky, I.*, 2002: Statisztikus klimatológia: idősorok elemzése. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. 317 p.
- Mezősné Szilágyi, K., Almási, B., Hutter, D., Szabó, L.*, 2012: A várostervezés szürke-zöld dilemmái. A városi térszerkezet alakítása és az élhető város elve. In: Fenntartható fejlődés, Élhető régió, Élhető települési táj, 1. kötet (szerk.: Szilágyi, J.). Budapesti Corvinus Egyetem (BCE), Budapest. 205–226.
- Michelberger, P., Szeidl, L., Várlaki, P.*, 2001: Alkalmazott folyamatstatisztika és idősor-analízis – Egyetemi tankönyv. Typotex Kiadó, Budapest. 336 p.
- Mohan, M., Kikegawa, Y., Gurjar, B. R., Bhati, S., Kandya, A., Ogawa, K.*, 2012: Urban Heat Island Assessment for a Tropical Urban Airshed in India. *Atmospheric and Climate Sciences (ACS)*, 2, 127–138.
- Nichol, J. E., Fung, W. Y., Lam, K., Wong, M. S.*, 2009: Urban heat island diagnosis using ASTER satellite images and ‘in situ’ air temperature. *Atmospheric Research*, 94, 276–284.
- Oke, T. R.*, 1973: City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7, 769–779.

- Oke, T. R.*, 1982: The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1–24.
- Oke, T. R.*, 1995: The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. In: *Wind Climate in Cities* (szerk.: Cermak, J. E., Davenport, A. G., Plate, E. J., Viegas, D. X.). Springer Science + Business Media, Dordrecht. 81–107.
- O'Malley, C., Piroozfar, P., Farr, E. R. P., Pomponi, F.*, 2015: Urban Heat Island (UHI) Mitigating Strategies: A Case-based Comparative Analysis. *Sustainable Cities and Society*, 19, 222–235.
- Perini, K., Ottel , M., Haas, E. M., Raiteri, R.*, 2011: Greening the building envelope, façade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology (OJE)*, 1, 1–8.
- Pongrácz, R., Bartholy, J. Dezs , Zs., Dian, Cs.*, 2016: Analysis of the air temperature and relative humidity measurements in the Budapest Ferencváros District. *Hungarian Geographical Bulletin*, 65 (2), 93–103.
- Prob ld, F.*, 1974: Budapest v roskl m ja. Akadémiai Kiadó, Budapest. 127 p.
- Radó, D.*, 2001: A növényzet szerepe a környezetvédelemben. Zöld  rdek Alapítvány – Levegő Munkacsoport, Budapest. 142 p.
- Roncz, B.*, 1985: Városklíma mérések Egerben. *Légkör*, 30, 31–33.
- Schmidt, W.*, 1930: Kleinklimatische Aufnahmen durch Temperaturfahrten. *Meteorologische Zeitschrift*, 47, 92–106.
- Soósné Dezső, Zs.*, 2009: A magyarországi és k z p-eur pai nagyv rosokban kialakuló városi h sziget vizsgálata finom felbont s  m holdk pek alapján. Doktori (PhD)  rtekez s, Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE), Budapest (t mavezet : Bartholy Judit). 113 p.
- Stewart, I. D., Oke, T. R.*, 2012: Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS)*, 93, 1879–1900.
- Sundborg, A.*, 1950: Local climatological studies of the temperature conditions in an urban area. *Tellus*, 2, 222–232.

- Synnefa, A., Santamouris, M., Akbari, H., 2007: Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. Energy and Buildings, 39, 1167–1174.*
- Szegedi, S., Gyarmati, R., 2009: Impacts of urban green spaces on the spatial structure of the urban heat island in Debrecen and different sized settlements in its neighbourhood. Acta climatologica et chorologica, Universitatis Szegediensis, Tomus 42–43, 151–158.*
- Szepesi, D., Schirokné Kriston, I., 1999: A városi levegőkörnyezet tervezésének aktuális kérdései. In: I. Városklimatológiai munkaértekezlet (szerk.: Szalai, S.). Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ), Budapest. 7–19.*
- Takács, Á., Kiss, M., Gulyás, Á., Kántor, N., 2016: Népszerű városi fafajok árnyékolóképességének vizsgálata Szegen. Tájökológiai Lapok, 14 (1), 21–32.*
- Torok, S. J., Morris, C. J. G., Skinner, C., Plummer, N., 2001: Urban heat island features of southeast Australian towns. Australian Meteorological Magazine (AMM), 50, 1–13.*
- Tulipánt, G., 2007: A közúti és vasúti áruszállítás zajkibocsátásának elemzése és a zajterhelés csökkentési lehetőségeinek vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME), Budapest (témavezető: Havasi Péter). 120 p.*
- Unger, J., 2010: A városi hősziget-jelenség néhány aspektusa. MTA Doktori Értekezés, Szegedi Tudományegyetem (SZTE), Szeged. 108 p.*
- Unger, J., Lelovics, E., Gál, T., Mucsi, L., 2014: A városi hősziget fogalom finomítása a lokális klímazónák koncepciójának felhasználásával – példák Szegedről. Földrajzi Közlemények, 138, 50–63.*
- Vincze-Csom, V., Domonkos, E., Bui, P., Nagy, G., Rédey, Á., 2012: Study on the impact of the traffic on air quality by using diffusive sampling method in Veszprém. Environmental Engineering and Management Journal, 11, 2083–2090.*
- Weng, Q. H., 2009: Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64, 335–344.*
- WMO, 1983: Commission for Climatology and Applications of Meteorology: abridged final report of the eighth session. World Meteorological Organization (WMO) – No. 600, Geneva. 94 p.*

Yan, H., Fan, S., Guo, C., Wu, F., Zhang, N., Dong, L., 2014: Assessing the effects of landscape design parameters on intra-urban air temperature variability: The case of Beijing, China. Building and Environment, 76, 44–53.

Yang, L., Qian, F., Song, D.-X., Zheng, K.-J., 2016: Research on Urban Heat-island Effect. Procedia Engineering, 169, 11–18.

Zhou, Y., Zhuang, Z., Yang, F., Yu, Y., Xie, X., 2017: Urban morphology on heat island and building energy consumption. Procedia Engineering, 205, 2401–2406.

Internetes hivatkozások

[1 – ENSZ, 2014]: <https://esa.un.org/unpd/wup/CD-ROM/>

[2 – Google Earth]: <https://www.google.com/earth/>

[3 – Testo 635]: <https://www.testo.com/en/testo-635-1/p/0560-6351>

[4 – met.hu]: http://met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes/

[5 – szinoptikus táviratok]: <http://www.ogimet.com/synops.phtml.en>