

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Földrajz- és Földtudományi Intézet  
Meteorológiai Tanszék

# **A városi hősziget hatás és a nedvességi viszonyok eltéréseinek mértéke az időjárási helyzetek függvényében**

SZAKDOLGOZAT



Készítette:

**Kurcsics Máté**

Földtudományi alapszak,  
Meteorológus szakirány

Témavezető:

**Dr. Pongrácz Rita**

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2018

# Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés</b> .....	<b>2</b>
<b>2. Szakirodalmi áttekintés</b> .....	<b>4</b>
2.1. A városi klíma vizsgálata egyes országokban .....	4
2.2. Városklíma-kutatások Magyarországon .....	7
2.3. A városklíma kialakulásának okai, hatásai .....	11
<b>3. Helyszínek, mérések, számítások</b> .....	<b>16</b>
3.1. A mérési helyszínek.....	16
3.2. Az adatok korrigálása .....	18
3.3. A mérések módszertana .....	21
3.4. Adatok kiszámítása.....	24
<b>4. Eredmények</b> .....	<b>25</b>
4.1. A két nyári mérési időszak városi hatásának elemzése .....	25
4.2. A város módosító hatása az őszi hónapokban .....	31
4.3. A város módosító hatása a tavaszi hónapokban .....	38
4.4. A hősziget-intenzitás kapcsolata az időjárási állapothatározókkal.....	40
4.5. A nagytérségű légnyomási mező hatása a város hőmérsékletére .....	44
<b>5. Összefoglalás</b> .....	<b>46</b>
<b>Köszönetnyilvánítás</b> .....	<b>48</b>
<b>Irodalomjegyzék</b> .....	<b>49</b>
Internetes források.....	50

# 1. Bevezetés

Napjainkban a Föld lakosságának folyamatos növekedésével egyre inkább növekszik a városok száma, kiterjedése (Bartholy et al., 2013). Ezzel együtt egyre fontosabbá válik a városok régóta ismert éghajlat-módosító hatásának kutatása, amivel a városklimatológia foglalkozik. A városklíma olyan helyi éghajlat, amely a beépített terület és a regionális éghajlat kölcsönhatásának eredményeként jön létre (WMO, 1983). Egy város hatásának vizsgálata során a viszonyítási alap mindig egy nagyobb térség háttérklímája, ami megmutatja, hogy milyenek lennének a városi terület természetföldrajzi viszonyai a beépítés nélkül, ehhez adódik a városi hatás. A városklimatológiai kutatások célja a városok módosító hatásának feltérképezése, modellezése és előrejelzése.

A városi felszín fizikai paraméterei és a felszínen zajló folyamatok hatására a város feletti légkörben számos eltérés figyelhető meg a környező területekhez képest: a légkör szennyeződik és módosulnak az egyes éghajlati elemek. Ezek közül a legközismertebb a városokban jelentkező hőmérséklettöbblet. A jelenséget városi hőszigetnek nevezzük. Erősségét a városi hősziget-intenzitással jellemezzük, amit a város belső részén, és az azt körülvevő külvárosi, beépítetlen, így vidékinek tekinthető helyen mért értékek különbségeként határozhatunk meg (Oke, 1987). A városokban azonban nem csak a hőmérséklet, hanem más légköri állapotjelzők, például a légnedvességi mérőszámok, a csapadékmennyiség, valamint a szélviszonyok is módosulnak.

Míg a légszennyezés mindenképpen negatív folyamat, addig a módosuló hőmérséklet, légnedvesség, szél és csapadék megítélése nem ennyire egyértelmű. Földrajzi szélesség függvényében például a hűvösebb klímájú térségekben a városokban kifejezetten előnyös a környezeténél pár °C-kal melegebb levegő, míg a melegebb klímájú településeken akár komoly veszélyt jelenthet a lakosság egészségére, s bizonyos esetekben feltétlenül rontja a komfortérzetet. Télen a hőmérsékleti többlet nagy előnye lehet, hogy csökkenti a fűtéshez szükséges energiát. A városklimatológiai kutatások elméleti megalapozó jellege mellett a gyakorlatban hasznosítható tudásra tehetünk szert. Ugyanis segítségükkel felmérhetjük a hősziget-intenzitás mértékét, majd ez alapján megfelelő városfejlesztési stratégiák alkalmazásával megpróbálhatjuk csökkenteni az emberi szervezetre gyakorolt kedvezőtlen hatásokat.

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszékén már évek óta zajlanak városklimatológiai kutatások (pl.: Dezső et al., 2005, 2012, Pongrácz et al., 2010), melyeknek a numerikus modellezés és műholdas adatfeldolgozás mellett egyik része a Budapest IX. kerületében, Ferencvárosban végzett helyszíni mérési program. A szakdolgozat célja Budapest városklímájának elemzése egy kiválasztott, reprezentatívnek tekintett ferencvárosi mérési helyszín adatai alapján, összevetve a külvárosi szinoptikus meteorológiai állomás adataival. Egy diszkrét mérőpont adatait vizsgálva a teljes város vagy nagyobb térségű terület hősziget-intenzitásáról természetesen nem kapunk képet. A dolgozat célja nem is ez, hanem a hősziget-intenzitás és egyéb légköri állapotváltozók módosulásainak elemzése a különböző időjárási helyzetek függvényében. Azért, hogy ezt megtehesük, sokkal előnyösebb egy igen részletes időbeli felbontású adatsorral rendelkező mérőpont eredményeit vizsgálni több mérőpont ritkább adatsora helyett. A vizsgált mérőállomás a ferencvárosi Vendel sétányon helyezkedik el Budapest központi részén (É sz. 47,481°, K h. 19,075°). A rendelkezésemre álló adatok egy másfél éves időszak alatt kerültek rögzítésre, 2016 nyaratól 2017 őszéig. Mindkét év nyarán három napos folyamatos mérési expedíció zajlott, míg a tavaszi és őszi hónapokban egy- vagy kéthetes eltérésekkel, 24 órás időszakok adatai kerültek rögzítésre. Összesen 26 teljes napi adatsor állt rendelkezésre a vizsgált állomásról, míg a referenciaállomás adatai bármely időszakra elérhetőek voltak az Interneten keresztül.

Összevetve a Ferencváros kiválasztott pontján mért adatokat a referenciaállomással elemezhető a városi hősziget hatás érvényesülése. A dolgozatban az egyes nedvességi karakterisztikákban megfigyelhető városi hatásokat is vizsgálom, illetve ezek napi és éves menetét. Mivel a légnyomás, a hőmérséklet és legalább egy nedvességi mérőszám rendelkezésre áll minden mérőponton, így az összes többi nedvességi karakterisztikát is ki lehet számolni. Vizsgálataim során elsősorban a harmatpont-deficitet, illetve a relatív és abszolút nedvességet elemeztem. A dolgozat célja az is, hogy megtudjuk, mely tényezők milyen mértékben vannak hatással a hőszigetre. A markáns időjárási jelenségek, a felhőzet mennyisége, az elmúlt időszak légnyomása, a légnyomásváltozás tendenciája, a hőmérséklet, a szélsőségek mind-mind befolyásolhatják a város belső részein a referenciaállomáshoz képest detektálható hőmérsékleti és nedvességi eltéréseket. Az elemzés során statisztikai kapcsolatot kerestem a légköri állapotváltozók és a városban mért hőmérsékletkülbség között, hogy ezáltal lehetőség nyíljon a felszínközeli hősziget intenzitás mértékének előrejelzésére is.

A dolgozatban a szakirodalmi áttekintést követően bemutatásra kerül a ferencvárosi mérési expedíció, a mért adatok szükségesnek tekinthető korrekciója, a vizsgált mérési helyszínek és az elvégzett számítások. Grafikonokon szemléltetem a hősziget intenzitás és a nedvességi viszonyok különbségeinek alakulását ez egyes időszakokban, összevetve a különféle időjárási helyzetekkel. Végül a dolgozat utolsó fejezetében összefoglalom a legfontosabb következtetéseket.

## **2. Szakirodalmi áttekintés**

### **2.1. A városi klíma vizsgálata egyes országokban**

#### **A városklíma-kutatások kezdete**

Az ipari forradalom hatására egyre több ember költözött városokba, így ezek mérete és száma egyaránt növekedésnek indult. Mivel a városok számos fizikai tulajdonságban jelentősen eltérnek a városon kívüli területektől – például eltérő az albedó, a vízháztartás, a felszínborítottság, valamint sajátos városi struktúrával is rendelkeznek –, ezért a városokban a hőmérséklet és a nedvességi mérőszámok módosulnak a település kiterjedésével, beépítettségi sűrűségével arányosan. Ezt a megállapítást a főként felhőatlaszáról ismert Luke Howard tette közzé elsőként (Howard, 1833). London klímájának vizsgálata során Howard megfigyelte, hogy a saját, London belvárosában feljegyzett hőmérsékleti mérései meghaladják a Brit Királyi Társaság által az ország más részein mért értékeket. E megfigyelésekből kiindulva Howard vizsgálta a városon belül detektált hőmérsékleti különbségeket, a városi hatás nagyságát és okát. A városi hatást London központi és szélső területének hőmérsékletkülönbségeként definiálta, melynek évi, területi átlagértéke kb.  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  volt, de bizonyos pontokon az  $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot is elérte. A legkisebb hatást tavasszal, a legnagyobbat télen detektálta, míg napi menetet tekintve egyértelműen az éjszakák voltak a melegebbek. Annak ellenére, hogy kevés és relatíve rövid időszakra vonatkozó adat állt csak rendelkezésére, Howard sok pontos állítást megfogalmazott a városi hatásról: a hőmérséklettöbblet mellett felismerte a városokra jellemző cirkulációt és a nedvességi mérőszámok módosulását is. A városklíma kifejezést elsőként Stifter használta 1843-ban. A XIX. század közepén Párizs és a

német városok városklímájának elemzése is megkezdődött (Kratzer, 1937). Párizsban felfigyeltek a városklíma levegőminőséggel és sugárzási mérleggel való összefüggésére, illetve a csökkenő szélsőségre. A kutatások megállapították, hogy a városban több a csapadék mennyisége, ellenben alacsonyabb a relatív légnedvesség. Mindkét jelenség az erősebb felmelegedésre vezethető vissza egyrészt a konvektív folyamatok miatt lesz valamelyest több a csapadék, másrészt a magasabb hőmérsékleti viszonyok között a telítettség eléréséhez több nedvességre lenne szükség.

## **XX. század első felének eredményei**

Bécsben 1927-ben már autóra szerelt mérőműszerrel végeztek mobil klímamérést, amely módszer a mai napig használatos. A XX. század közepén Albert Kratzer (1937) igen részletesen elemezte a városok hatását sok nagyváros adatainak figyelembe vételével, a hőmérséklet mellett a szélirány és szélsőségek, a nedvességi mérőszámok, a csapadékviszonyok módosulásaira is koncentrálnak. Átlagosan 0,5–1,5 °C-os hőmérséklet-többletet állapított meg, de a különböző méretű, építészeti stílusú városok között nagy különbséget tapasztalt. A legnagyobb intenzitást az olyan metropoliszok esetén állapította meg, mint Párizs és New York: ezekben az évi átlagérték meghaladta az 1,5 °C-ot, ellenben Baku és Kalkutta hősziget intenzitására csak 0,4 °C-ot kapott, míg Budapestére 0,7 °C-ot. Az azonos éghajlatú és beépítettségű városok közötti intenzitások különbségének okát az átlagos szélsőséggel magyarázta. A városi hatás igen erőteljesen jelentkezett a téli napok, a fagyos napok és a nyári napok számában is. Berlin belvárosában például egy 11 éves időszak alatt évi 2-vel kevesebb téli napot, 19-cel kevesebb fagyos napot és 6-tal több nyári napot detektált a külvároshoz képest. A fagymentes időszak a városban 3-8 héttel bizonyult hosszabbnak, mint a vidéki területen. A hősziget intenzitás mértéke elsősorban a felhőzet, a szélsőségek, a légnedvesség és a hőmérséklet függvénye, melyeket Kratzer (1937) többváltozós lineáris összefüggésként foglalt össze:

$$UHI = A - Bn - Cv - Dt + Ep \quad (1)$$

ahol  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$  a napszaktól és a terület sajátosságától függő konstansok,  $n$  a felhőzet mennyisége,  $v$  a szélsőségek,  $t$  a hőmérséklet és  $p$  a vízgőz nyomása. A fenti képlet az éjszakai időszakra igaz. A tapasztalat azt mutatja, hogy nappal a hőmérséklet értéke pozitív, a gőznyomás értéke negatív irányban módosította a hősziget-intenzitást.

## **Eredmények a XX. század második felében**

London klímáját vizsgálta közel másfél évszázaddal Howard műve után Tony Chandler is. Chandler (1965) munkája eltérő évi menetet állapított meg: tavasz végén és nyár elején jelentkezett a legintenzívebb hősziget, melynek évi átlagértéke 2,5 °C körüli volt. A hősziget intenzitást a megspórolt tüzelőanyag mennyiségével is jellemezte. London legbelső területén 20%-kal, a köztes területen pedig 10%-kal kevesebb tüzelőanyagra volt szükség a szelesebb, alacsonyabb hőmérsékletű külvároshoz képest. Chandler munkájában az abszolút nedvességek eltéréseiről megállapította, hogy a városban mért napi átlagérték alacsonyabb, de éjszaka előfordul, hogy magasabb a városi levegő abszolút páratartalma. Lowry (1977) három földrajzi tényezőt különített el, melyek hatással vannak egy térség (akár város) klímájára: (1) háttérklíma alatt egy terület földrajzi szélességét, kontinensen belüli elhelyezkedését értette; (2) a helyi éghajlat jelentette a tengerszint feletti magasságot, s a környező domborzati viszonyokat; végül (3) a városi módosító hatás.

A belvárosban kialakult hőmérséklettöbblet hatással van a környező peremvárosi területekre. A külső területtől a városközpontig haladva azonban igen eltérő jellegű térbeli mintázatok, szerkezetek alakulhatnak ki. Csökkenhet a hőmérséklettöbblet körkörösén távolodva a központtól, de például meghatározó szélirány esetén a hatás egy irányban elnyúlik ellipszis alakban (Lowry, 1977). A XX. század második felének legjelentősebb városklíma kutatásai T. R. Oke nevéhez fűződnek (pl. Oke, 1967). Oke (1982) részletesen vizsgálta a hősziget intenzitást befolyásoló városi karakterisztikákat és időjárási helyzeteket. Megállapította, hogy a városi hőmérséklettöbblet erősen összefügg az ún. városi kanyon hatással. A hősziget intenzitás annál nagyobb, minél nagyobb az átlagos épületmagasság és utcaszélesség hányadosa, vagyis minél kisebb az átlagos égboltláthatóság.

## **Példák XXI. századi eredményekre**

### **Varsó**

Mivel a szakdolgozatban egy budapesti mérőpont városklímája kerül elemzésre, célszerű a budapesti példák mellett egy hasonló méretű város éghajlatmódosító hatásainak a megismerése. Lengyelország fővárosának, Varsónak a lakossága közel azonos a magyar fővároséval. Blazejczyk et al. (2006) 2001 júniusától decemberéig végeztek méréseket, melyek alapján a hősziget-intenzitás napi menetét és az átlagos minimális, közepes és maximális intenzitásokat elemezték, összevetve más lengyel városokkal, a térségre jellemző légtömegek figyelembe vételével. Egy vizsgált nyári mérési napon az éjszakai órákban 2 °C-

os hőmérséklettöbbletet állapítottak meg a belvárosban, napkeltétől napnyugtáig azonban szinte azonos volt Varsó városközpontjában és a vidéki referenciaállomáson a hőmérséklet. A teljes időszakra átlagolva a napi minimumhőmérsékletek kb. 3,5 °C-kal, a napi középhőmérsékletek 1 °C-kal voltak magasabbak a belvárosban, míg a maximumértékek átlaga szinte azonos volt. Ezzel ellentétben a kisebb városok, például Poznan esetében az átlagos napi maximumértékekben mutatkozott a legnagyobb különbség.

## **Kairó**

Egyiptom a Nílus partján, trópusi klímaövből fekvő fővárosában 1995-2000 közötti mérések alapján született nem csak a hőmérsékleti módosulásokat, hanem a nedvességi és szélviszonyok városi és külvárosi módosulásait is elemző tanulmány (Robaa, 2002). A hősziget intenzitás napi menete Kairóban is az éjszakai maximum és délutáni minimum menetét követte, ahogyan a gőznyomás és a relatív nedvesség különbségei is éjszaka voltak a legnagyobbak a belváros és a külváros, illetve a belváros és a vidék között. Kairó központja egész éven át melegebb volt, kivéve novemberben. A gőznyomás a belvárosban hajnalban és este alacsonyabb volt, míg délután magasabb. Ugyanakkor bemutat a tanulmány ettől eltérő eredményt is más városok esetében, ahol a gőznyomás éjszaka volt magasabb és nappal alacsonyabb a belvárosban. Kairóban a havi átlagos gőznyomáskülönbségek a belváros és a külváros között -2,6 hPa-tól +2 hPa-ig terjedtek, míg a relatív páratartalom eltéréseinek mértéke a belvárosban (-23%) – (+2%) közötti.

## **2.2. Városklíma-kutatások Magyarországon**

### **Kutatások Magyarországon a XX. században**

Magyarországon is zajlottak városklimatológiai kutatások már a XX. század közepén. Ezek egyike Debrecen hősziget intenzitásának, illetve az intenzitás felhőzetrel és szélsőségekkel való összefüggésének elemzése volt (Berényi, 1948). Az első teljes városklimatológiával foglalkozó kutatás azonban Probáld Ferenc nevéhez fűződik (Probáld, 1966), aki a főváros térségét elemezte. A külföldi városokhoz hasonlóan Budapest esetén szintén megállapítható, hogy a belváros egész éven át melegebb a környezeténél. Ezen különbség mértéke függ a város nagyságától, a beépítettségtől, illetve a házak magasságától. Az egyik vizsgált év során például januárban Budapest belvárosa volt az ország legmelegebb területe. Az eredményeket



tíz éven át tartó adatgyűjtés után közölték. Városi állomásként az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSz) központjában, a Kitaibel Pál utcában mértek, míg „vidéki” helyszínrül az OMSz pestszentlőrinci obszervatóriuma (a mai Marcell György Obszervatórium) szolgált.

A különbségek nagysága határozott napi menetet mutatott: a legkisebb különbségeket a déli-délelőtti órákban mérték, míg a legnagyobbak a városfelszín nagyobb hőtároló képessége miatt az esti órákban jelentkeztek. A kutatás vizsgálta a hőmérsékletkülönbségek évi menetét is, mely azt mutatta, hogy a legnagyobb különbségek télen, a legkisebbek pedig nyáron jellemzők. Ezt elsősorban a téli fokozott légszennyeződés okozza, s a fűtésnek is jelentős szerep jut. Az eredmények alapján télen az átlagosnál kisebb különbségek voltak a gyakoribbak, a nagyobb hőmérsékletkülönbségek ritkábban jelentkeztek, viszont meglehetősen szélsőségesek voltak. Az egész évet tekintve az átlagos hőmérsékleti különbség a Kitaibel Pál utca és Pestszentlőrinc között  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  volt. Összességében Prohászka (1966) kutatásai alapján megállapítható, hogy a hőmérsékleti különbség a hőmérséklet csökkenésével logaritmikusan növekszik. Vizsgálta a szélsőségek hatását is a városklímára, mely alapján az adódott, hogy a  $3\text{ m/s}$ -nál kisebb napi átlagos szélsőségek egyáltalán nem mérsékelik a város hőmérsékletnövekedését, csak nagyobb szél esetén kezdenek elmosódni a különbségek.

## **XXI. századi kutatások Magyarországon**

### **ELTE**

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszékén már évek óta folynak városklimatológiai kutatások. A felszíni mérési program az elmúlt pár évben két részből állt: (1) fix mérőpontokon történő folyamatos mérésekből, melyeknek nagy előnye, hogy a teljes adatsor miatt pontosabban összevethetők más, ritkább adatrögzítésű helyszínekkel, például szinoptikus állomással. Egy diszkrét ponttal azonban nehezen reprezentálható egy nagyobb térség városklímája, ezt a (2) mozgó mérési expedíció biztosította (Incze, 2017, 2018), ami nagyobb térbeli lefedettséget nyújt, ellenben hiányosak, nehezebben összehasonlíthatók az adatok. A szakdolgozatban bemutatásra kerülőhöz hasonló, egy rögzített mérőponton történő mérési expedíciók már 2015-ben is voltak (Pongrácz et al., 2016). Tavasszal, nyáron és ősszel végeztek méréseket Budapesten, a Ferencvárosban található Ferenc téren. Tavasszal a mérési eredményeket a Lágymányosi klímaállomás adataival vetették össze (Dian et al., 2016). Eredményként azt kapták, hogy a Ferenc téren mindig magasabb volt a levegő hőmérséklete, s a különbségek  $1\text{--}6\text{ }^{\circ}\text{C}$  között alakultak. A 2015 őszi méréseket – melyeket hat különböző, októberi, illetve novemberi napon 12 órától 20 óráig végeztek – szintén a lágymányosi

adatokkal hasonlították össze (Dian et al., 2016). Ekkor a Ferenc téren átlagosan 0–6 °C-kal volt melegebb, mint az ELTE lágymányosi kampuszán. A legnagyobb különbségek a kora délutáni órákban mutatkoztak, majd estére az eltérések lecsökkentek 0–1 °C közé. A 2016-2017-ben a mozgó és fix mérőponton végzett városklímamérés eredményei a közelmúltban jelentek meg (Pongrácz et al., 2017).

Az egyetemen a felszíni mérések mellett műholdas adatok alapján történő városklímakutatás is zajlik (Dezső, 2009). A NASA két kvázipoláris pályán keringő műholdján, a Terra és az Aqua műholdon működő MODIS szenzor segítségével a felszíni hőmérséklet jól meghatározható a kibocsátott hosszuhullámú sugárzásból, a műszer ugyanis a sokcsatornás mérési mechanizmusának köszönhetően képes kiszűrni a légköri zavaró jeleket. A műholdas vizsgálatok korlátját jelenti ugyanakkor, hogy felhős időjárás esetén nem alkalmazhatók megfelelően a műholdképek, mivel a szenzor ilyenkor a felhőtető hőmérsékletét méri. Emiatt nincs lehetőség a borult időben megnyilvánuló napi menetek elemzésére. Ez komoly adathiányt jelent, főleg télen. Fontos megkülönböztetnünk a felszíni (azaz 2 m magasságban mért) és a műholdak által a hosszuhullámú kisugárzásból számított hősziget intenzitásokat, ugyanis többek között eltérő napi menetek jellemzik őket (Lelovics et al., 2011). Míg a felszíni mérések esetén a már fentebb említett napi menet a jellemző a műholdas mérések esetében a különbségek maximuma a déli, délutáni órákra tehető, amikor a felszíni méréseken alapuló hősziget intenzitás általában a legalacsonyabb (Voogt és Oke, 2003). Az éves menetet tekintve a műholdas mérések alapján is nyári maximum állapítható meg a hősziget-intenzitásban, elsősorban az igen magas nappali intenzitásoknak köszönhetően. A műholdas felszínhőmérsékleti mérések nappal lényegesen meghaladják az állomási méréseket, éjszaka azonban fordított a tendencia, az állomási mérések eredményeznek magasabb értékeket. Éjszaka jóval kisebb a két módszerrel rögzített adatok különbsége, mint nappal. A legkisebb hősziget intenzitások tavasszal és ősszel detektálhatók. (Dezső et al., 2012). A mérések és megfigyelések mellett a városi klíma vizsgálatának modell alapú elemzése is megkezdődött a WRF<sup>1</sup> felhasználásával (Göndöcs et al., 2017), mely a múltbeli tendenciák mellett lehetőséget teremt a jövőre vonatkozó becslésekre is.

---

<sup>1</sup> WRF: Weather Research and Forecast model, Időjárás kutatási és előrejelzési modell

## **OMSz**

Az Országos Meteorológiai Szolgálat néhány éve egy európai projekt (UHI<sup>2</sup>, [5]) keretében végzett más városokkal összehasonlító vizsgálatokat a Kitaibel Pál utcában és a Pestszentlőrincen lévő állomás mérései alapján (Baranka és Dobi, 2012). Ezen kívül az éghajlatváltozás városi hatásait vizsgálja a SURFEX<sup>3</sup> modellel (Zsebeházi et al., 2015). A SURFEX térbeli felbontásából adódóan – a regionális klímamodellekkel ellentétben – képes kimutatni a városi hősziget napi menetét és térbeli eloszlását. A modellfutások pontosságát múltbéli időszakokra ellenőrzik, majd futtatják a jövőre.

## **Szeged és Újvidék**

Magyarországon jelentős városklimatológiai kutatás zajlik a Szegedi Tudományegyetemen (Unger et al., 2014a). Szegeden egy kiterjedt mérési hálózat működik, 2013-tól az URBAN-PATH<sup>4</sup> projekt keretében telepített mérőrendszerekkel 25 állandó helyszínen folyamatosan rögzítik a meteorológiai állapotjelzőket (Lelovics et al., 2014). Ezek felhasználásával vizsgálják a hősziget-intenzitás mértékét a város különböző pontjain. Az eddigi mérések alapján azt az eredményt kapták, hogy a nappali besugárzás kezdetén a városi és a vidéki terület között elmosódnak a különbségek (1–2 °C körül alakulnak), míg az esti órákban a különböző környezetben található mérőhelyek igen eltérő módon hűlnek le. Napnyugtától kezdődően a különbségek a mérőhelyek között jelentősen megnőnek, értékük elérheti a 6–8 °C-t. A mérési helyszíneket az eltérő beépítettséggel és felszínborítással jellemezhető pontokon jelölték ki, melyek meghatározásához a lokális klímazónák (LCZ<sup>5</sup>) rendszere alapján Szegedre elkészített térképet (Unger et al., 2014b) használták fel.

Az LCZ osztályozási rendszert Stewart és Oke (2012) dolgozta ki, melyben a beépítettség szerint a kompakt magas épületektől az alig beépített területekig 10 különböző típust, a felszínborítottság szerint pedig a sűrű fás felszíntől a csupasz talajig 7 típust határoztak meg. Ezek alkalmazásával összehasonlíthatók a városon belüli területek és a különböző városok hasonló jellegű területei. Szegeden a különböző típusokat egy 250 m sugarú körrel reprezentálták. Hat beépítettséggel és egy felszínborítással meghatározható területtypust különítettek el. A szegedi kutatás is alátámasztotta Stewart és Oke (2012) állítását, miszerint a

---

<sup>2</sup> UHI: Urban Heat Islands: Városi hőszigetek

<sup>3</sup> SURFEX: Surface Externalisée, in French

<sup>4</sup> Evaluations and public display of URBAN PATterns of Human thermal conditions - Az emberi hőterhelés városon belüli eloszlásának kiértékelése és nyilvános bemutatása

<sup>5</sup> Local Climate Zones

felszínborítás termikus hatása a város-vidék megközelítésnél pontosabban meghatározható az LCZ osztályozási rendszerrel.

A fent említett URBAN-PATH projekt keretében zajlik városklímakutatás Szeged mellett a szerbiai Újvidéken (Novi Sad) is, az eredmények pedig összevetésre kerültek (Unger et al., 2016). Újvidék Szerbia második legnagyobb városa, méreteit tekintve a ténylegesen beépített területe és lakosság száma is körülbelül kétszerese Szegedének. Szegeden a Tisza, Újvidéken a Duna folyik keresztül. A Szegeden és Újvidéken használt műszerek validációját a szegedi szinoptikus meteorológiai állomáson végezték. A hőmérsékletet és relatív nedvességet rögzítő mérések nyáron történtek, így a kutatás egy részében az emberi egészségre kritikus nyári napok ( $T_{\max} > 25\text{ °C}$ ) és trópusi napok ( $T_{\min} > 20\text{ °C}$ ) számát vizsgálták a két város különböző LCZ típusú részein. A nyári napok relatív gyakorisága a június 10. és augusztus 31. között zajló mérési időszak alatt Újvidéken 80-90% közötti volt, míg Szegeden csak 65–80%. A nyári napok LCZ típusonkénti gyakoriságában szignifikáns eltérés nem figyelhető meg, a trópusi napok esetében viszont igen. Újvidéken a kompakt, középmagas beépítettségű területen 30%-os a trópusi napok relatív gyakorisága, míg a kiterjedt, alacsony épületek esetén 10% körüli. Ugyanezen arányok Szeged esetében rendre 15% és 7%. A trópusi napok számának erősebb LCZ típustól való függése nyilvánvaló kapcsolatban áll azzal, hogy a hősziget-intenzitás maximuma éjszaka jelentkezik, több Celsius-fokkal növelve ezáltal a hőmérsékletet. Ugyanazon háromnapos mérési időszak alatt a hősziget-intenzitás értékei az éjszakai órákban Újvidéken több °C-kal magasabbak voltak, mint Szegeden. A maximális érték Újvidék esetében 8 °C, Szegeden 6 °C volt.

## **2.3. A városklíma kialakulásának okai, hatásai**

### **A városklíma kialakulásának okai**

Városklíma alapvetően amiatt alakul ki, hogy a mesterséges felszínek hő- és vízháztartási tulajdonságai eltérnek a természetes felszínekétől. A városokban a közlekedés, ipar és egyéb folyamatok hatására szennyezőanyagok: aeroszolrészecskék és különféle gázok kerülnek a légkörbe, amik hatással vannak a kondenzációra és az energiamérlegre. Az épületek tetősíntje egy új sugárzáselnyelő és sugárzó felszínt alkot. A városi felszín sajátos geometriával rendelkezik: tagolt, ami csökkenti a hosszuhullámú sugárzási veszteséget. Az

emberi tevékenység a szennyezőanyagok mellett direkt módon hőt is juttat a városi légkörbe, ami szintén jelentősebben módosíthatja az időjárási állapotváltozókat. A városi felszínre hulló csapadék csak lényegesen kisebb mértékben szívárog be a talajba a vidéki területekhez képest, ugyanis a betonfelszínekre hulló víz csatornarendszerekbe jut, majd a folyóvizekbe vezetve elhagyja a város területét. Nagyobb a lefolyó víz mennyisége és a lefolyás sebessége is a vidéki felszínhez képest (Szegeci et al., 2014).

### **Városi energiamérleg**

Minden vizsgált terület energiamérlege egy rövid- és egy hosszuhullámú tagból tevődik össze. A rövidhullámú egyenleg pozitív, hiszen a felszín a beérkező rövidhullámú sugárzás egy részét albedójától függően visszaveri, a maradékot viszont elnyeli. A hosszuhullámú sugárzási egyenleg negatív: a felmelegedett felszín által kibocsátott hosszuhullámú sugárzásnak az üvegházhatású gázok és a felhők csak egy részét nyelik el és sugározzák vissza, a többi távozik a világűr felé. Ezen sugárzási egyenlegek alapján kezdetben vizsgálni a városok módosult éghajlatának okait. A városokban és a városi határrétegben a felszínre érkező rövidhullámú sugárzás mennyiségét növelő és csökkentő hatások is azonosíthatók a vidékihez képest. A városi aeroszolkoncentráció lényegesen nagyobb a vidékinél, ennek következtében a városi levegő sugárzását bocsátó képessége kisebb. A globálisugárzás és a visszavert sugárzás felszín felé szórt részének összege 2–10%-kal alacsonyabb (Oke, 1987). Ezt a hatást azonban kompenzálja a városi építőanyagok 5–10%-kal kisebb albedója, a nagyobb mennyiségű függőleges elnyelési felület (falfelületek) és az ezek közötti többszörös visszaverődés pedig már több elnyelt rövidhullámú sugárzást eredményez a városban a vidékhez képest. A városokban tehát a vízszintes felszínre 2–10%-kal kevesebb rövidhullámú sugárzás jut. Az épületek tetőszerkezete azonban rendszerint nem vízszintes, így a tájolás és dőlésszög függvényében módosul a beérkező energiamennyiség, akárcsak a domborzat esetében. Ez különösen a közepes szélességeken igaz, így hazánkban is. A keleti, déli és nyugati kitétséggű lejtőkön az éves energiamennyiség a 4/3 része is lehet a vízszintes felszínének (Oke, 1987). A legnagyobb energiátöbblet 25–45° közötti dőlésszög esetén jelentkezik, különösen a téli félévben (mert ekkor alacsony a Nap horizont feletti magassága), ami a városi hősziget évi menetében is meghatározó tényező. A mesterséges felszínek építőanyagainak hőkapacitása nagyobb, kisugárzó képességük kisebb a természetes felszínénél. A városi levegő kisugárzó képessége a szennyezettség miatt kisebb a vidéki levegőénél, ugyanakkor a városi hősziget jelensége, a melegebb városi levegő nagyobb kisugárzást eredményez. A hosszuhullámú sugárzás égbolt felé való távozását akadályozza a

szennyezett levegő nagyobb üvegházgáztartalma, az összesugárzás az épületek falai között és a korlátozott égboltláthatósági faktor is.

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + Q_G + \Delta Q_S \quad (2)$$

A fenti képlet a városi felszín teljes sugárzási egyenlegét írja le (Szegeci et al., 2014). Természetes felszíneken a talaj irányába történő konvektív hőcserét ( $Q_G$ ) a levegő felmelegedésére fordított szenzibilis ( $Q_H$ ) és a víz párolgása és az evapotranszpiráció által elvont látens hő ( $Q_E$ ) árama egyenlíti ki, meghatározva így az energiamérleget ( $Q^*$ ).  $\Delta Q_S$  a mélyebb szintekben történő energiátárolást fejezi ki. A városban az egyes hőáramok aránya módosul, illetve megjelenik az egyenletben az antropogén hőkibocsátás ( $Q_F$ ) is a közlekedés, ipar és energiatermelés révén. Az építőanyagok nagyobb hővezető képessége és hőkapacitása különösen éjszaka jelent megnövekedett hőtárolást ( $\Delta Q_S$ ) a vidékihez képest.

### Városi vízháztartás

A fenti egyenletben szereplő szenzibilis és látens hőáramok arányát a Bowen-arány fejezi ki ( $Q_H/Q_E$ ). Ezt a felszín termodinamikai tulajdonságai és nedvességi állapota, illetve a turbulencia szintje határozza meg (Szegeci et al., 2014). Amennyiben bőségesen áll rendelkezésre nedvesség, a párolgás csak a rendelkezésre álló energia mennyiségétől függ. Ekkor a látens hő aránya maximális, a szenzibilis hőé minimális. Így megállapítható, hogy az azonos mennyiségű rendelkezésre álló energia esetén a kevésbé nedves felszín fog gyorsabban felmelegedni. Csapadékos időszakban nincs nagy különbség a beépített és a természetes felszín felmelegedése között, hiszen a nagy mennyiségű nedvesség mindkét területen nagy látens hőáramot eredményez. Száraz időszakban azonban a szenzibilis hő felhalmozódhat a városban, növelve ezzel a városi levegő hőmérsékletét. Fontos megjegyezni, hogy hosszan tartó szárazság esetén már a természetes felszínborítottságú területen sem áll rendelkezésre elegendő nedvesség a párolgáshoz, így ez a terület is gyorsabban melegszik fel, csökkentve a különbséget (Dezső et al., 2012).

Természetes felszínek esetében a lehullott csapadékmennyiséggel az evapotranszpiráció (párolgás és élőlények légzése), a lefolyás (felszíni és felszín alatti), a beszivárgás, a nedvességadvekción (csapadék tárolódása a talajban) és egyéb folyamatok tartanak egyensúlyt. A városi területeken a vízmérlegnek további tagjai vannak: a lehulló csapadék mellett a bevételi oldalon megjelenik a városon kívülről behozott vízmennyiség, illetve a különböző égési folyamatok (ipar, közlekedés, fűtés) során légkörbe jutó víz. A vegetáció a városi

területeken lényegesen kisebb kiterjedésű, így az evapotranszpiráció is kisebb a természetes felszínekhez képest. Csökken a beszivárgás és a nedvességadvekciónak mértéke is a betonnal borított felszínek miatt. A bevételi oldal mellett azonban növekedik a lefolyás mértéke is, ami döntően meghatározza, hogy a beépített városi terület tényleges vízellátottsága alacsonyabb a városon kívüli természetes felszínénél.

### **Módosuló hőmérséklet a városokban**

A városokban megfigyelhető hőmérséklet-többlet az egyik legjelentősebb és legrégebb óta ismert módosulás (pl. Howard, 1833). Határozott évi menet nem állapítható meg egyértelműen, azonban nyáron és ősz elején (az erős anticiklonok miatt), illetve télen (az eltérő hőkapacitások miatt) általában erősebb a hősziget-intenzitás, de minden város sajátos geometriája, építőanyagai, mérete révén eltérő menetekkel rendelkezik. Budapest esetében januárban jelentkezik a maximum (Probáld, 1966). Napi menetet tekintve különösen napnyugta után 3-5 órával detektálhatók a legerősebb hőszigetek, a megnövekedett hőtárolás és a szenzibilis hő arányainak megváltozása miatt. Ezután, különösen a napkeltét követően, a hősziget gyengülni kezd, a délután folyamán a különbségek kiegyenlítődnek, esetenként a külvárosi, vidéki természetes felszín feletti hőmérséklet lehet a magasabb. Napnyugtát követően a város levegőjének lehűlését az épületek és a felszín nagyobb hőtároló képessége gyengíti: a nap közben eltárolt hő az aktív felszínekről visszasugárzódik, megkezdődik a hőmérséklet-többlet kialakulása, ami az éjszaka közepére eléri maximumát. Ez a menet elsősorban nyugodt, anticiklonális, szélcsendes időjárási helyzetekben jelentkezik, nyáron erősebb, tavasszal és ősszel gyengébb, kevésbé határozott napi menetekkel (Unger, 1997). Ekkor ugyanis zavartalan a besugárzás, a szél nem fújja el a különbségeket. Ilyenkor a nagyobb városok esetében nem csak a felszínen, hanem vertikálisan is pár száz méteres magasságig megfigyelhető a hősziget.

A városon kívüli területeken éjszaka gyakran hőmérsékleti inverzió alakul ki, míg a városokban ez nem jellemző. Ilyenkor a városon kívül a pár száz méteres magasságokban melegebb a levegő. Például emiatt is fontos megkülönböztetni egymástól a felszíni mérések alapján és a műholdas adatok alapján történő városklíma-vizsgálatokat. Borult, szeles időben, kis napi hőingás esetén a hősziget gyakran ki sem alakul. A városok saját cirkulációval is rendelkezhetnek. Amellett, hogy a beépített települések csökkentik a szélsőségeket és módosítják a szélirányt, a hősziget miatt a hűvösebb vidék felől légmozgás indul meg a városközpont irányába (Unger, 1997). Az összeáramló levegő felemelkedése pedig a

felhőképződést is elősegíti, növelve ezáltal a csapadék mennyiségét, különösen a konvektív időszakban.

### **A hősziget horizontális és vertikális szerkezete**

A hősziget térbeli eloszlását a település mérete és beépítettsége határozza meg. A hősziget intenzitás értéke a város szélétől, a kevésbé beépített külvárostól a városközpont irányába erősödik. Ez a növekedés azonban jellemzően nem lineáris: a külvárosban csak kis mértékű hősziget intenzitás detektálható, a belső területek felé haladva ez egyre inkább növekszik. Több kutatás (pl.: Oke, 1973) megállapította, hogy a települések méretének növekedésével logaritmikusan növekszik a potenciálisan kifejlődő maximális hősziget-intenzitás. A település mérete pedig leginkább a lakosságszámmal jellemezhető. Önmagában ez az egy mérőszám azonban nyilvánvalóan nem elegendő, mivel a különböző települések eltérő beépítettségi struktúrával rendelkeznek. A városklímakutatásokban a beépítettség szerkezetére a leghasználatosabb arányszám az épület átlagmagasság (H) és az utcák átlagszélességének (W) aránya (H/W). Nyilvánvalóan a hősziget-intenzitás városon belüli eloszlása a fenti két tényező mellett függ a növényzet mennyiségétől is. Azért, hogy mindezen tényezőket a számszerű jellemzés során figyelembe tudjuk venni, a Lokális Klímazónák (LCZ) módszerét alkalmazhatjuk (Stewart és Oke, 2012).

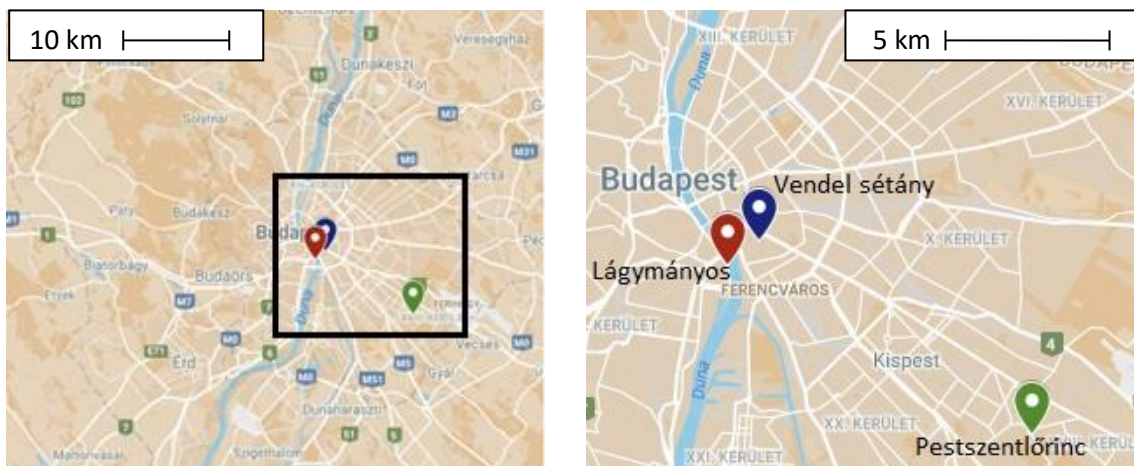
A városi hősziget elnevezés a városok felett az alacsony magasságú légnyomási szinteket ábrázoló potenciáltérképekből ered, ugyanis a melegebb városi levegő tágabb, a vizsgált nyomási szint magassága szigetszerűen emelkedik ki a hűvösebb természetes felszínből. A horizontális kiterjedés mellett azonban fontos ismerni a hősziget vertikális képét is. A sűrűn beépített települések felett sajátos jellemvonásokkal rendelkező városi határréteg alakul ki (Oke, 1987). Nappali szerkezete hasonló a vidéki határrétegéhez, azonban a légmozgások turbulenciahajlama, s ezáltal a határréteg vertikális kiterjedése nagyobb. Magassága a felszín érdekességétől függ, alapja a tetőszinten van. Általában szárazabb, melegebb és szennyezettebb a vidéki határrétegnél. A városi határréteg széles időben akár 100 km-es távolságra is elnyúlhat a vidéki határréteg fölé a szél irányában. Éjszakánként igen jellemző, hogy míg a vidéki határrétegben inverzió alakul ki, a városi határréteg dinamikája miatt inverziómentes marad, magassága elérheti a 300 m-t (Oke, 1987).



### 3. Helyszínek, mérések, számítások

#### 3.1. A mérési helyszínek

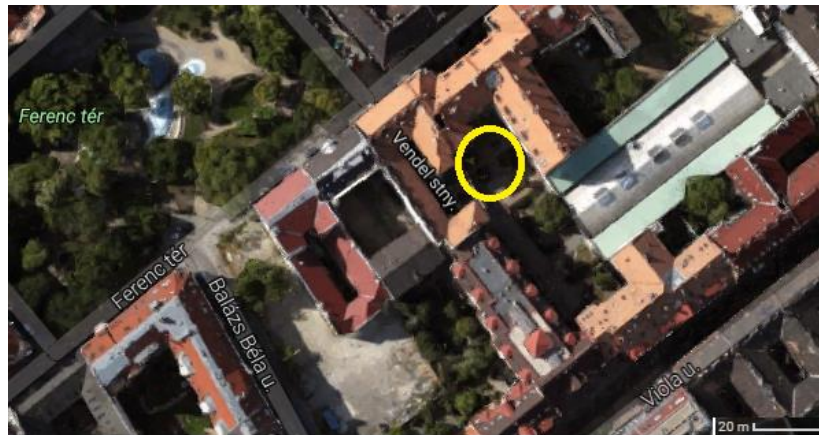
Szaktervezésemben három mérési helyszín adatsorával foglalkoztam: egy ferencvárosi fix mérőponton (1) vizsgáltam a városi hatásokat a pezsztentlőrinci szinoptikus meteorológiai állomást (2) referenciaállomásként felhasználva. Emellett a ferencvárosi mérési adatok ellenőrzése és korrigálása céljából az ELTE-lágymányosi mérőállomás (3) adatait is felhasználtam (1. ábra).



1. ábra: A három vizsgált helyszín elhelyezkedése Budapesten belül: a Vendel sétány (Ferencvárosban), illetve a lágymányosi és a pezsztentlőrinci meteorológiai állomás [4]

A fix mérőpont Budapest IX. kerületében, Ferencvárosban helyezkedik el, a Bokréta utca és a Viola utca közötti Vendel sétányon, a Ferenc tér közelében. Ez a mérőpont a Ferencvárosban zajló mozgó mérések kijelölt mérési útvonalának egyik helyszíne is (Incze, 2017). A korábbi mérési expedíciók a Ferenc téren zajlottak (Dian et al., 2016; Pongrácz et al., 2016), de a tér 2016. nyári átépítése miatt a Vendel sétány lett kijelölve új mérési helyszíneként. A tágabb környezetet tekintve a terület Ferencváros belső részén, a Nagykörúthoz közel, a Dunától légvonalban 750 m-re fekszik (1. ábra). A terület felszínborítása kissé más jellegű, mint a parkosított Ferenc tér. A sétány (2. ábra) nagyobb részét beton, térkő fedi, egy kisebb része viszont parkosított, füvel borított rész néhány nagyobb fával. A házak között megrekedhet a levegő, ugyanakkor a parkosított rész erre hűtőleg hat. A Vendel sétány mind a négy oldalról viszonylag magas, kb. 20 m-es épületekkel van körülvéve, azonban két átjáró biztosít elegendő légmozgást. A Ferencvárosban lezajlott mozgó mérési expedíció eredményei alapján (Incze, 2017) az állapítható meg, hogy a terület belső udvar jellege lényeges eltérést nem okoz a hősziget-intenzitás mértékében a környező, tágasabb mérőpontokhoz képest. Esetenként

nyáron 0,25–0,5 °C-kal még alacsonyabb is a hősziget mértéke a Vendel-sétányon a növényzet és az árnyékolás hatására. Összességében a mérőpont adatait tekinthetjük egy nagyobb térséget reprezentáló adatsornak.



2. ábra: A mérés helyszínétől szolgáló belső udvar a Vendel sétánynál felülnézetből a Google Map térképen [4], mellette a korábbi helyszín, a Ferenc tér

A dolgozat keretében végzett elemzés másik mérési helyszíne az ELTE-lágymányosi meteorológiai állomás (3. ábra). A WMO<sup>6</sup> szabványoknak megfelelő hőmérőházban levő hőmérséklet- és légnedvességmérő szenzor az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSz) felügyeletében 10 perces átlaghőmérsékleteket rögzít. A kapcsolódó adatgyűjtő a hőmérsékletet egytizedes pontossággal Celsius-fokban, a relatív nedvességet egész százalékban tárolja. A mérőállomás a Dunától mintegy 50 m-re, egy nagyobb kiterjedésű parkosított részen található, közelében csak egyetlen épület, az egyetem épülete fekszik kb. 20 méternyire. Így ez egy köztes állomásnak tekinthető a belvárosi, épületekkel körülvett mérőpont, illetve a város külső részén található pestszentlőrinci állomás között. Ezen helyszín hősziget-intenzitásának vizsgálata azért fontos, mert felszínborítás szempontjából nagyon hasonlít a referenciaállomáshoz, ezáltal az itt megnyilvánuló hőmérsékletkülönbség kizárólag a városi hatás eredménye. A Lágymányos és Ferencváros közötti különbségek elemzése már korábban megtörtént (Kurcsics, 2017), így ebben a dolgozatban csak adatkorrigáláshoz használtam fel az itt mért adatsorokat.

<sup>6</sup> World Meteorological Organization: Meteorológiai Világszervezet



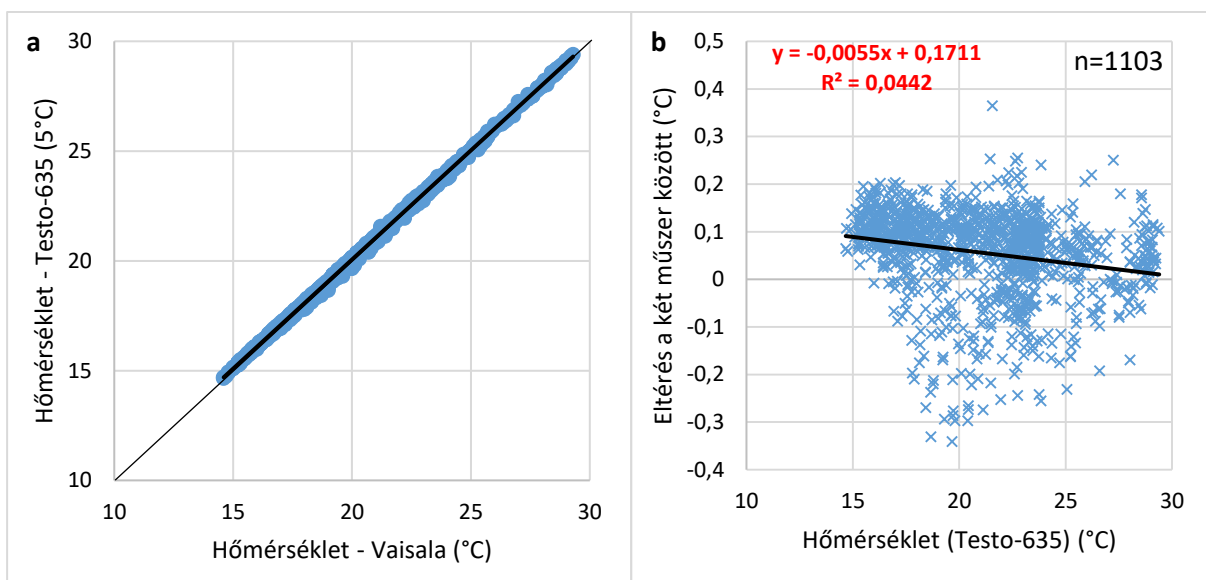
3. ábra: A lágymányosi (balra) és a pestszentlőrinci (jobbra) mérőállomás

A dolgozatban a ferencvárosi adatok a pestszentlőrinci Marcell György Főobszervatóriumában található szinoptikus meteorológiai állomás (3. ábra) adataival kerülnek összevetésre. Az állomás a XVIII. kerületben, Budapest délkeleti szélén, már lényegében a városi sűrűn beépített területen kívül helyezkedik el, így ezt tekinthetjük a vizsgálat szempontjából környező vidéki területnek. Tudjuk ugyanis, hogy a hőmérsékleti többlet a sűrűn beépített rész határán ugrásszerűen változik, a kevésbé beépített rész szélén viszont már alig (pl.: Bartholy et al., 2013). Az állomás környéke külvárosi jellegű, kertes lakóházak jellemzik. A WMO ajánlásainak megfelelően a műszerkertet kellően nyílt, füves területen alakították ki, épületek, fák nem befolyásolják a meteorológiai paraméterek alakulását. Az óránkénti felbontású adatsort az online forrásokból [3] elérhető szinoptikus meteorológiai táviratokból állítottam elő. A rendelkezésre álló letöltött információk alapján a hőmérséklet és a harmatpont egy tizedesjegy pontossággal határozható meg. Az itt rögzítésre kerülő meteorológiai táviratnak köszönhetően óránkénti felbontású adatsor áll rendelkezésre a különböző időjárási paraméterek alakulásáról is, aminek felhasználásával vizsgálható a városi módosító hatás és az időjárás kapcsolata.

### 3.2. Az adatok korrigálása

Mivel a mérések során használt műszerek eltértek az OMSZ standard műszereitől, meg kellett vizsgálni, hogy a Ferencvárosban mért nyers adatok vajon korrekcióra szorulnak-e. Ennek céljából több párhuzamos mérés is történt a Vendel sétányon használt műszerekkel és a lágymányosi klímaállomás műszerével (együttesen elhelyezve az egyetemi klímaállomás helyszínén a szabványos hőmérőházban). Az összehasonlítás során a lágymányosi klímaállomáson telepített Vaisala HMP35D ellenállás hőmérő méréseit tekintetem pontosnak, mivel ez az OMSZ által üzemeltetett, rendszeresen ellenőrzött műszer. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy ennek a szenzornak is van egy hibatartománya, amely

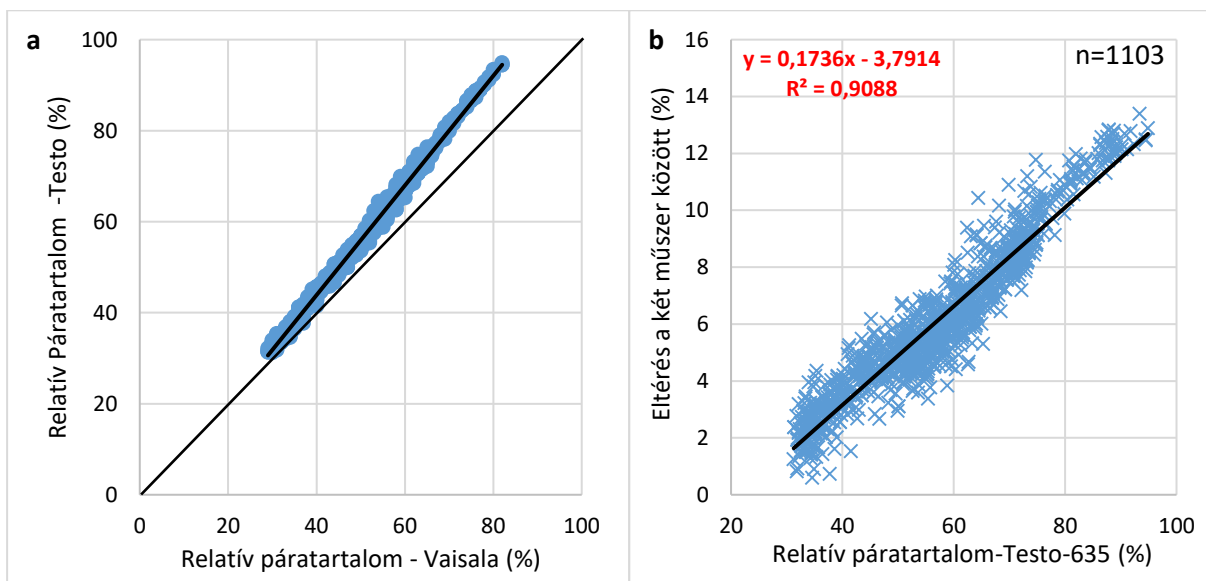
+20 °C-on a legszűkebb (Mészáros, 2013). A rendelkezésre álló adatsorok a műszer 10 percenként rögzített hőmérsékleti és relatív nedvességi értékeit tartalmazzák. Ugyanezen adatokat meghatároztam a Testo műszer rögzített adataiból is. Ez alapján kiszámítottam a Testo műszerek és a klímaállomás mért értékei közötti különbségeket, majd a kapott eltéréseket ábrázoltam a kézi műszerek által mért adatok függvényében. Ezeket a hőmérséklet- és nedvességmérésre vonatkozó vizsgálatokat a másfél éves mérési időszak alatt többször is el kellett végezni, mivel előfordult, hogy a műszerhez tartozó érzékelő szenzort cserélni kellett. Emellett ugyanazon szenzor pontossága is módosulhat az idő múlásával, ahogyan az is nagy különbséget jelenthet a műszer hibáit tekintve, hogy éppen fagypont alatti vagy 30 °C feletti hőmérsékleteket, 30%-os vagy 90%-os páratartalmat mér. A 4. és 5. ábrán rendre egy hőmérséklet és egy relatív nedvesség hibaeloszlás látható a 2017 tavaszán lezajlott összehasonlító mérési időszakból. A 4. ábra összegzi a Testo műszer hőmérsékleti mérései függvényében a lágymányosi Vaisala szenzor méréseihez viszonyított hibákat.



4. ábra: A Lágymányosi Vaisala műszer mért hőmérsékletértékeinek különbsége a Testo-635 műszer értékeihez képest a párhuzamos, hőmérőházban végzett mérések során (2017. május 19 – június 1.)

Látható a 4. ábrán, hogy az eltérések döntő többsége pozitív irányú, azaz a Testo szenzor valamelyest magasabb hőmérsékletet mutat a Vaisala szenzorhoz képest, azonban vannak negatív irányú eltérések is. Az illesztett lineáris regressziós egyenes alapján megállapítható, hogy a 15–30 °C-os hőmérsékleti tartományban a hőmérséklet növekedésével csökken a mérési hibák nagysága. Mivel a lágymányosi műszer 10 perces átlagokat rögzít a hőmérsékletről, a Testo műszer adatsorából is 10 perces átlagokat számítottam az összehasonlításhoz. Annak megállapítására, hogy az eltérések csak véletlenek, vagy a

hőmérséklet függvényében valamilyen tendencia figyelhető meg, a vizuális ábrázolás mellett statisztikai hipotézisvizsgálatot, t-próbát is végeztem. Nullhipotézisként feltettük, hogy a hibák véletlenszerűek, így az adatok korrekciójára nincs szükség. Ez a nullhipotézis a Testo műszer hőmérséklet és relatív nedvesség méréseire elvégzett nyolc hipotézisvizsgálat közül egyszer sem igazolódott, a számított próbastatisztika abszolútértéke adott elemszám mellett mindig nagyobb volt, mint a 0,95 szignifikancia szinthez tartozó küszöbérték. Így a nullhipotézist elvetettük és az alternatív hipotézist alkalmaztuk, azaz korrigáltam a mért adatainkat a pontdiagramra illesztett lineáris regressziós egyenes egyenletének a felhasználásával. Ezáltal megkaptuk a korrigált, ténylegesnek tekintett hőmérsékletet, amit a későbbi számításokhoz fel lehetett használni.



5. ábra: A Lágymányosi Vaisala műszer mért relatív páratartalom értékeinek különbsége a Testo-635 műszer értékeihez képest a párhuzamos, hőmérőházban végzett mérések során

A hőmérséklethez hasonlóan a műszerek által mért értékek összehasonlító vizsgálatát elvégeztem a relatív nedvességmérésekre is. A 5. ábrán azt figyelhetjük meg, hogy a Testo műszer mindig magasabb relatív nedvességet mér, ezért a nyers adatokat csökkenteni kellett a lineáris regressziós egyenes egyenlete alapján. Ebben az esetben a lineáris regressziós egyenes a 5.a ábrán jelentősen eltér a 45°-os egyenestől, egyértelmű szisztematikus eltérés figyelhető meg: a relatív páratartalom emelkedésével nő a mérési hiba, mivel 100%-os relatív páratartalom körül már közel 15%-os a túlmérés, s 85%-os páratartalom felett nem tekinthetők megbízhatónak az adatok. Az összes összehasonlító időszak során kapott összefüggéseket a 1. táblázat összegzi.

1. táblázat: Korrekciós egyenletek az egyes adatsorokra a Testo-635 műszerek standard Vaisala műszerekhez viszonyított eltéréseinek kezelése céljából

Korrigálendő adatsor (x)	Időszak	Korrekciós egyenlet
Hőmérséklet	2016 nyár	$y = -0,0089x + 0,1055$
Relatív nedvesség	2016 nyár	$y = 0,0342x - 0,7196$
Hőmérséklet	2016 ősz	$y = -0,0099x + 0,2287$
Relatív nedvesség	2016 ősz	$y = 0,1834x - 7,7025$
Hőmérséklet	2017 tavasz	$y = -0,0055x + 0,1711$
Relatív nedvesség	2017 tavasz	$y = 0,1736x - 3,7901$
Hőmérséklet	2017 nyár	$y = -0,0049x + 0,1616$
Relatív nedvesség	2017 nyár	$y = 0,1755x - 3,7126$

### 3.3. A mérések módszertana

Míg Pestszentlőrincről és Lágymányosról publikusan hozzáférhető adatokkal dolgoztam, Ferencvárosban, a fix mérőponton saját méréseket végeztem egyetemi hallgatótársaimmal együtt 2016 nyarán és őszén, illetve 2017 tavaszán, nyarán és őszén. A pontos időpontokat a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: A ferencvárosi mérőponton elvégzett mérési expedíciók időpontjai (UTC+2)

Év	Mérés kezdete		Mérés vége	
2016	július 3.	20:00	július 7.	01:00
2016	szeptember 22.	15:00	szeptember 23.	14:00
2016.	szeptember 29.	14:00	szeptember 30.	14:00
2016.	október 13.	14:00	október 14.	14:00
2016.	október 27.	14:00	október 28.	14:00
2016.	november 10.	15:00	november 11.	15:00
2016.	november 17.	15:00	november 18.	15:00
2017.	március 16.	15:00	március 17.	15:00
2017.	március 23.	15:00	március 24.	15:00
2017.	március 30.	14:00	március 31.	14:00
2017.	április 20.	18:00	április 21.	14:00
2017.	május 4.	14:00	május 5.	14:00
2017.	május 11.	14:00	május 12.	14:00
2017.	május 18.	14:00	május 19.	15:00
2017.	május 25.	14:00	május 26.	14:00
2017.	június 1.	14:00	június 2.	14:00
2017.	július 3.	14:00	július 6.	14:00
2017.	szeptember 21.	17:00	szeptember 22.	16:00
2017.	október 5.	16:00	október 6.	16:00
2017.	október 12.	16:00	október 13.	16:00
2017.	október 19.	16:00	október 20.	16:00
2017.	október 26.	16:00	október 27.	16:00
2017.	november 9.	17:00	november 10.	17:00

Amint ebből látható, 2016 és 2017 nyarán három napon át folyamatos mérés zajlott, így a feldolgozáshoz több teljes napi menetet is tartalmazó, összefüggő adatsor áll rendelkezésre két egymást követő év ugyanazon időszakából. Ezen idősorok alapján jól vizsgálható, hogy hogyan változik a hőmérséklet és a nedvességi viszonyok a napszak függvényében, továbbá a számításokat követően elemezhető a városi hatás. A két őszi időszak során hat-hat mérés zajlott egy teljes napon át szeptembertől novemberig. Így éjszakáról, a legintenzívebb hősziget idejéről szintén összefüggő adataink vannak. 2017 tavaszán (márciustól júniusig) kilenc mérési alkalom volt. Ezáltal többé-kevésbé az egész évet lefedik a mérések, egyedül a téli időszak hiányos kissé, de novemberben és márciusban előfordultak alacsonyabb, fagypont körüli/alatti hőmérsékletű napok. Ezen a fix mérőponton a műszerek eleinte percenként, majd félpercenként elektronikusan rögzítették a hőmérsékleti és relatív nedvességi adatokat. A későbbi ellenőrzés céljából a helyszínen tartózkodó észlelők is felírták 10 percenként a műszer által kijelzett értékeket, valamint lejegyezték az időjárási jelenségekkel kapcsolatos, a méréseket befolyásoló megfigyeléseket is. Emellett a már korábban említett mozgó mérést (Incze, 2017) végző észlelők is nagyjából másfél óránként érintették ezt a mérési helyszínt, így további műszerek adatai is rendelkezésre állnak.



6. ábra: A méréshez használt Testo-635 típusú műszer

A méréseket a 6. ábrán látható új típusú, Testo-635 műszerrel végeztük, melynek mérései közül két állapothatározót vettem figyelembe: a hőmérsékletet és a relatív nedvességet. A hőmérsékletet Celsius-fokban, két tizedes pontossággal, a relatív nedvességet pedig %-ban, szintén két tizedes pontossággal rögzíti a műszer. A mért adatok alapján a harmatpontot és a nedves hőmérsékletet származtatja és szintén tárolja. A Testo típusú műszer a korábbi vizsgálatok során felhasznált Voltcraft típusúnál azért előnyösebb, mert sokkal gyorsabban érzékeli a hőmérséklet és a relatív nedvesség változásait, ezáltal pontosabb adatokat szolgáltat. A műszaki adatok szerint a Voltcraft típusú műszer hibahatára a

hőmérsékletértékekben 2 °C, míg a relatív nedvesség esetén 5%. Ugyanezen paraméterek a Testo műszer esetén rendre 0,2 °C, illetve 2%.

Az OMSz által felügyelt mérések esetében a standard meteorológiai mérési feltételeket biztosítottak tekinthetjük, viszont a Ferencvárosban végzett méréseink esetén szükség van az adatsorok minőségi ellenőrzésére. Mivel a kihelyezett mérőponton a szenzorok hőmérőházban történő elhelyezése nem megoldható, ezért a mérés közben ügyelni kellett arra, hogy a műszert ne érje direkt napsugárzás. A Vendel sétányon a mérésre kijelölt pont nem egész nap esett árnyékba a környező épületek között, így előfordult olyan időszak, amikor rásütött volna a Nap, s ezáltal az összehasonlíthatóságot gátló méréseket rögzítettünk volna. A direkt napsugárzást elkerülendő a délelőtti órákban a műszert a sétány egy másik pontjára, árnyékba helyeztük át (7. ábra). Egyrészt magát a mozgató időszakát ki kellett szűrni a mérési idősből, mivel a helyváltoztatás értelemszerűen befolyásolja a mért értéket. Másrészt az áthelyezés nem történt meg mindig a megfelelő pillanatban. Ilyenkor az adatokban nagyon kiugró értékek találhatók, amiket nyilvánvalóan nem lehetett használni a részletes elemzés során. Az ilyen problémás időszakok megállapítását segítették a mérést végzők feljegyzései is. Így azokat az időszakokat, amikor a műszer a napra került vagy éppen áthelyezték, adathiányként kezeltem. Végeredményképpen a ferencvárosi helyszínre is előállt minden időpontra egy olyan adatsor, amikkel a további számításokat elvégeztük. A dolgozatban minden időpont a nyári, közép-európai időszámítás szerint, tehát UTC<sup>7</sup>+2-ben értendő.



7. ábra: A Vendel sétány menti fix mérőpont, színes körök jelölik a két helyszínt, amik között mozgattuk a műszereket

---

<sup>7</sup> Coordinated Universal Time: egyezményes koordinált világidő



### 3.4. Adatok kiszámítása

Mivel a dolgozat célja a hősziget intenzitás mellett a városi légnedvességi viszonyok elemzése is, ezért a rendelkezésre álló adatokból minden helyszínrre meg kell határozni az összes szükséges nedvességi karakterisztikát. Erre lehetőségünk van, ugyanis minden állomáson ismert a hőmérséklet és egy nedvességi mérőszám, a pestszentlőrinci állomás adataiból pedig a légnyomásról is rendelkezünk információval, amit azonosnak tekinthetünk a másik két helyszínrre is (a légnyomás kis térbeli változékonysága ezt megengedi). Mivel a pestszentlőrinci szinoptikus meteorológiai állomás táviratában nem szerepel minden esetben a relatív nedvesség ( $RH$  [%]), ezért a hőmérsékletből ( $T$  [°C]) és a harmatpontból ( $TD$  [°C]) az

$$RH = 100 \cdot \frac{e^{(17,625 \cdot TD)/(243,04+TD)}}{e^{(17,625 \cdot T)/(243,04+T)}} \quad (3)$$

összefüggéssel (WMO, 2014) előállítottam a relatív páratartalom értékeit. A belvárosi mérőpontok esetén ez az információ rendelkezésre áll, viszont a harmatpont nem, ezért ezt a

$$TD = \left(\frac{RH}{100}\right)^{1/8} \cdot (112 + 0,9 \cdot T) + 0,1 \cdot T - 112 \quad (4)$$

összefüggéssel állapítottam meg (a hőmérsékleti értékeket kelvinben, a relatív nedvességi értéket százalékban behelyettesítve). Innen már egyszerűen számítható a harmatpont-deficit is, ami a hőmérséklet és a harmatpont különbsége. Ahhoz, hogy az abszolút nedvességet is kiszámíthassuk, elsőként a telítési gőznyomásra ( $e_s$ ) van szükség, amit a Magnus-Tetens formulával állapíthatunk meg:

$$e_s = 6,11 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot T}{273,5 \cdot T}} \quad (5)$$

Ezt megszorozva a relatív páratartalom századrészével megkapjuk a gőznyomást ( $e$ ):

$$e = e_s \cdot \frac{RH}{100} \quad (6)$$

Így rendelkezésre áll már minden adat ahhoz, hogy az abszolút nedvesség ( $AH$ ) értékét is megállapítsuk:

$$AH = \frac{e \cdot 216,679}{T + 273,15} \quad (7)$$

Fentiek alapján Ferencvárosra és Pestszentlőríncre is kiszámítottam minden nedvességi karakterisztikát, majd ezeknek a különbségét az egyes időszakokban, hogy ezáltal ábrázolható és kiszámítható legyen a városi hatás a különböző állapotváltozók tekintetében.

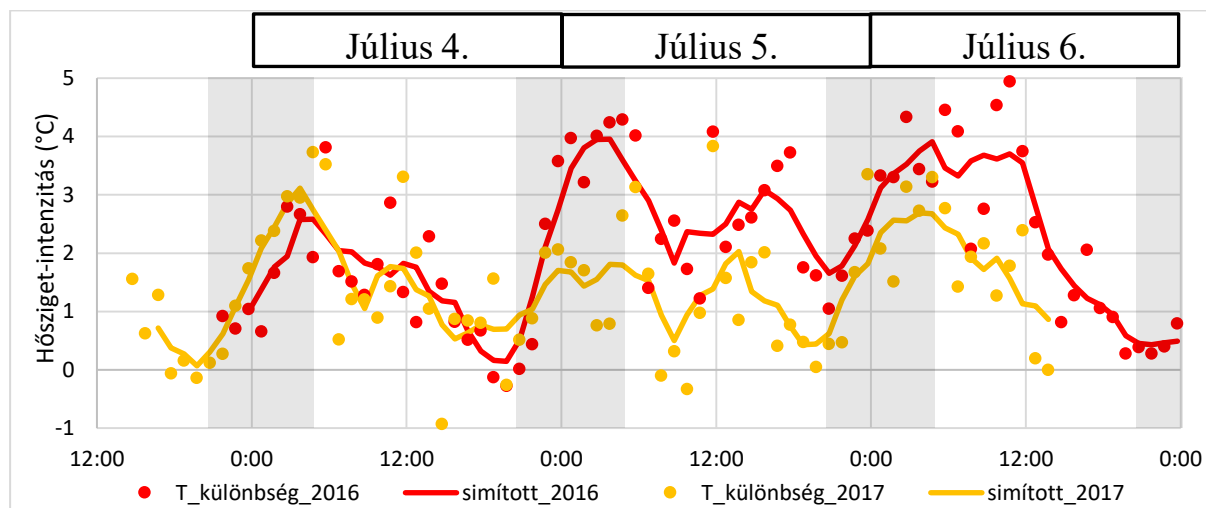
## 4. Eredmények

### 4.1. A két nyári mérési időszak városi hatásának elemzése

Mind 2016, mind 2017 nyarán, azaz július elején szinte pontosan ugyanabban a három napban zajlott városklíma-mérés a ferencvárosi Vendel sétányon. Ez igen előnyös abból a szempontból, hogy két egymást követő év ugyanazon, viszonylag hosszú, 72 órás időszakának az eredményeit lehet összehasonlítani. Nem kell számolni az évszakon belüli változásokkal, a detektálható eltéréseket csak a két időszak időjárásának a különbsége határozza meg. A dolgozat ezen részében elemzem és összehasonlítom a hősziget-intenzitásokat és a nedvességi viszonyok városi módosulásait, figyelembe véve az időjárási paramétereket. Mindezeket a belvárosi, ferencvárosi mérőpont és a külvárosi, pestszentlőrinci referenciaállomás között végzem el, ellenőrzésként figyelembe véve a lágymányosi mérőállomás adatait is, melyeknek elemzése már korábban megtörtént (Kurcsics, 2017).

#### Hősziget-intenzitás

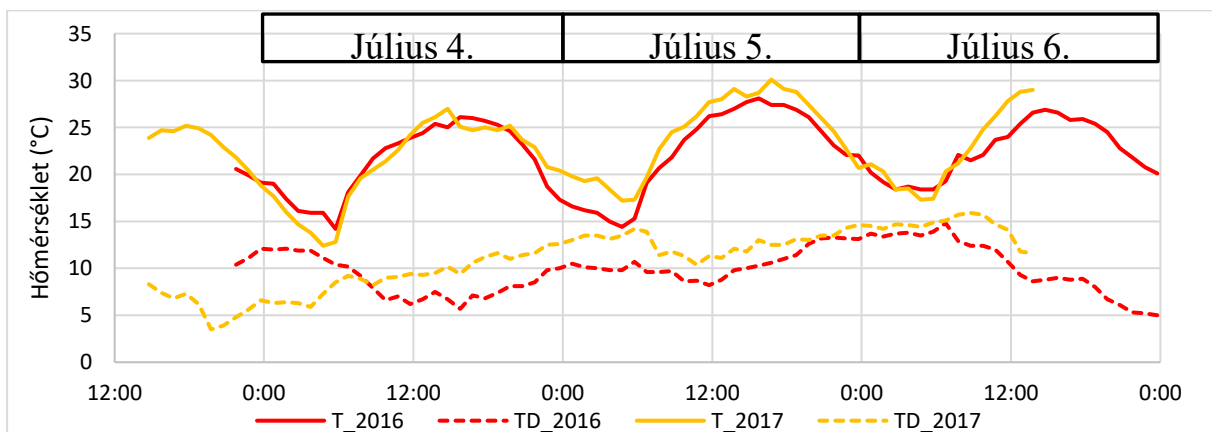
Elsőként megvizsgáljuk a hősziget-intenzitások nagyságát, napi menetét és a menetek eltéréseit.



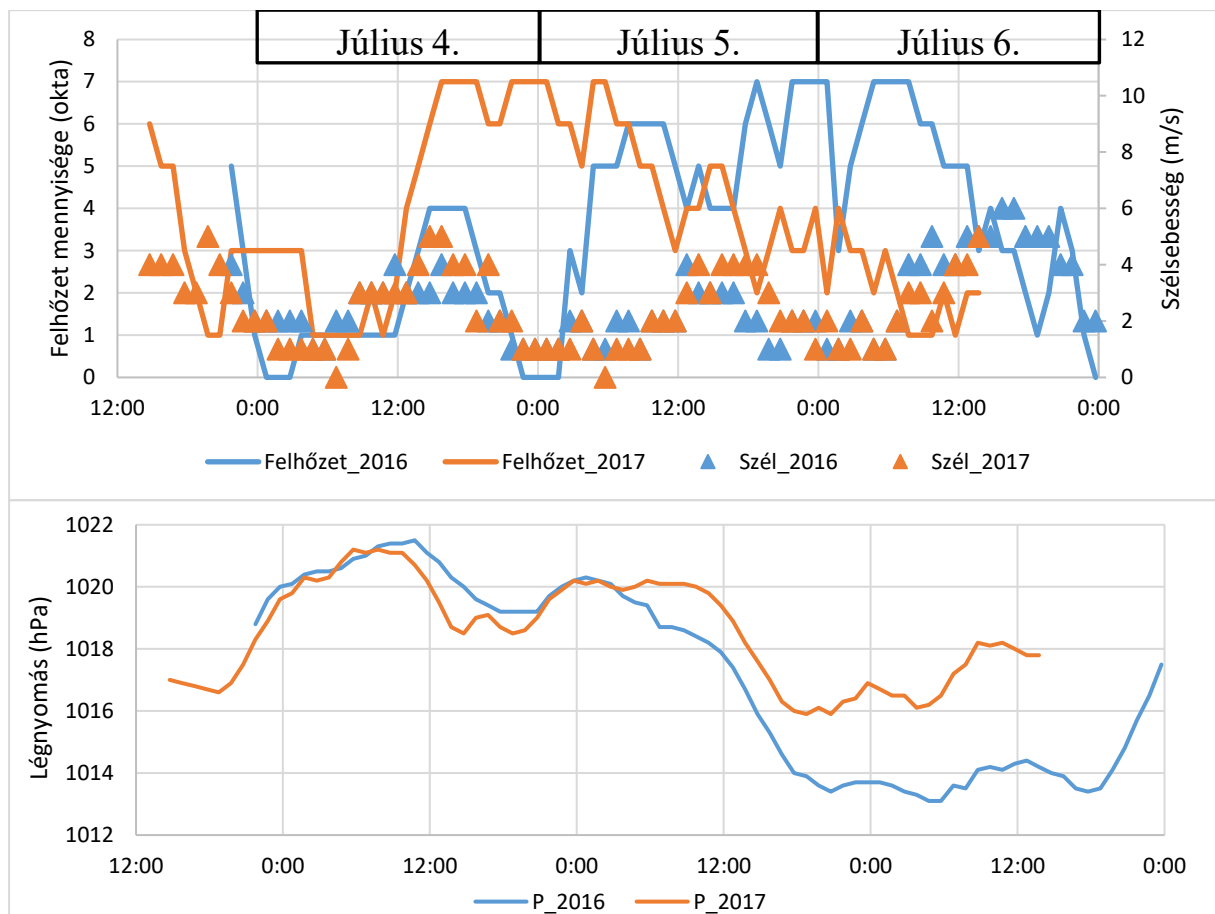
8. ábra: A számolt hőmérsékletkülönbség 2016. és 2017. 07. 03-06. időszakban a ferencvárosi mérőpont és Pestszentlőrinc között (szürke színezés jelöli az éjszakai időszakokat)

A 8. ábrán láthatjuk a hőmérsékletkülönbségek menetét a háromnapos összefüggő időszakokban. A konkrét értékek mellett egy ötórás simítású görbét is illesztettünk az adatokra a kisebb mértékű fluktuációk kiszűrése érdekében. A hőmérsékletkülönbségek értéke  $-1\text{ °C}$  és  $+5\text{ °C}$  közötti. A grafikonon határozott napi meneteket láthatunk, napnyugtakor a

legkisebb (-1) – (+1) °C, az éjszaka második felében a legnagyobb (3–5 °C) különbségekkel. A ferencvárosi Vendel sétányon – ahogyan általánosságban a sűrűn beépített városi területeken – napnyugtát követően a felszín nagyobb hőtároló képessége és a városi geometriából adódó kisebb sugárzási veszteség miatt a levegő hőmérséklete lassabban kezd el hűlni, mint Pestszentlőrincen, ezáltal pár órán belül a közel azonos hőmérséklet helyett 2-5 °C-os hőmérsékletkülbség alakul ki a belvárosban, mely maximumát az éjszaka közepére vagy napkeltére éri el. A napkeltét követő első órában még csak kis mértékben, majd a délelőtti folyamán jelentősen gyorsabban nő a hőmérséklet a külvárosban – a fentebb említett okok miatt, amelyek a gyorsabb lehűlést is előidézték – csökkentve ezzel az intenzitásokat. Dél környékén ismét kissé megnövekszik a hősziget-intenzitás (hatból öt napon megfigyelhető), azonban ez a tendencia a későbbiekben bemutatásra kerülő őszi és tavaszi mérésekben egyáltalán nem jelentkezik. Ennek két oka lehet, melyek egymással összefüggenek: (1) a Vendel sétány egy magas épületekkel körülhatárolt, tágas belső udvar. A Nap horizont feletti magasságából adódóan direkt napsugárzás csak nyáron érheti a mérőpontot, ami árnyékolástól függetlenül is gyorsabb hőmérsékletnövekedést eredményez. (2) Ezen adatok esetében a mérés módszertanából adódó mérési hiba is felmerülhet. A délutáni órákban már minden esetben folyamatos, napnyugtáig tartó csökkenés figyelhető meg. Összehasonlítva az egymás után következő kétszer három napot, illetve a két összefüggő három napos időszakot, jelentős eltérések tapasztalhatók, melyeket az időjárás különbségével indokolhatunk. A hősziget intenzitás mértékét feltételezéseink és a szakirodalom (pl. Kratzer, 1937) alapján alapvetően öt léghőmérséklet-állapothatározó befolyásolja: a felhőzet mennyisége, a szélesség, a hőmérséklet értéke, a légnyomás és a légnedvesség. Ehhez járulnak még hozzá olyan tényezők, mint a szélirány, a jelenidő, a felszínen rendelkezésre álló nedvességtartalom és a légnyomási mező szerkezete.



9. ábra: A hőmérséklet (T) és a harmatpont (TD) menete 2016. és 2017. 07. 03-06. időszakban Pestszentlőrincen



10. ábra: A felhőzet mennyisége, a szélsebesség és a légnyomás (P) menete 2016. és 2017. 07. 03-06. időszakban Pestszentlőrincen

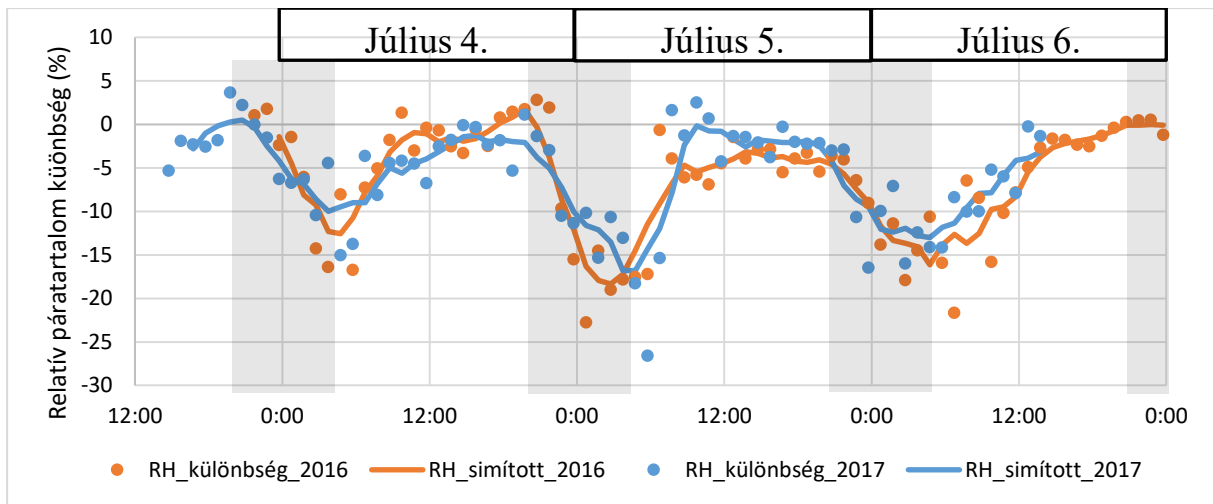
A 9. és 10. ábra alapján, kiegészítve a légnyomási mezőre, az elmúlt időszak csapadékmennyiségére és a szélirányra vonatkozó információkkal elemezhetjük, hogy az egyes időjárási paraméterek milyen hatással voltak a hőszigetre. 2016 nyarán a mérési időszakot megelőző napokban többnyire nyugodt, derült időjárás jellemezte a Kárpát-medencét, a mérés kezdetét megelőzően azonban egy záporokkal, zivatarokkal kísért hidegfront vonult át a térségen, melynek hatására 1 mm csapadék hullott a fővárosban [2]. Ezt követően a mérés kezdetén, június 4-én egy nagy kiterjedésű anticiklon érkezett a Kárpát-medence fölé, amely csak június 5-ére haladt tovább, mögötte pedig egy közeledő hidegfront hatására borultabbá vált az időjárás, ami jól látható a 3. ábrán is. A légnyomás értékei június 3. 12 órától június 5. 12 óráig magasak, 1018–1022 hPa közöttiek voltak, ezt követően azonban gyorsan esett a légnyomás, és délutántól már ciklonális jellegűvé vált a légnyomási mező. A szélsebességek a 2016-os időszakban csak az utolsó napon (július 6.) haladták meg a Probáld (1966) által a hősziget hatás befolyásolása szempontjából kritikusnak tekinthető 3 m/s-os értéket. A 9. ábrára tekintve látható, hogy 2016-ban július 5-én volt a legnagyobb a napi hóingás, mivel

ekkor volt a legnagyobb a nappali felmelegedés, és előtte éjszaka a felhőzet nem gátolta a lehűlést. Összevetve a hősziget-intenzitás menetét és az időjárást, jól látható, hogy a mérést megelőző napon áthaladt hidegfront hatására július 4-én még alacsonyabb hősziget értékek detektálhatók, majd az anticiklonális július 5-i éjszakán kialakult a legnagyobb hősziget intenzitás. A légnyomás süllyedésével, az újabb front közeledtével, ezáltal a felhőzet és a szélsőségek növekedésével július 6-án kis mértékben ismét alacsonyabbak az értékek. Összességében megállapítható, hogy a 2016-os időszak alatt a viszonylag kis mennyiségű felhőzet, magas hőmérséklet, nagy napi hőingás és kis szélsőségek miatt, melyek az anticiklonális helyzet következményei, erős hősziget alakult ki, nagy maximumértékekkel.

2017-ben a mérést megelőző napokban nagy mennyiségű, 13 mm csapadék hullott egy ciklon hidegfrontjának hatására. Ezt követően a légnyomás emelkedett, és a mérési időszak július 3-i kezdetére anticiklon helyeződött a Kárpát-medence fölé, ami – ahogy a 10. ábrán is láthatjuk – egészen a mérés július 6-i befejezéséig meghatározta a térség időjárását. A mérési időszak elején a kis szélsőségek, kevés felhőzet, nagy napi hőingás hatására erősebb hősziget fejlődött ki. A következő napon azonban a felhőzet mennyiségének jelentős megnövekedése alacsonyabb értékeket eredményezett, majd az utolsó napra ismét kissé emelkedett a hősziget-intenzitás. Összevetve a 2016-os és 2017-es évet utóbbi esetén az első nap szinte azonos hősziget-intenzitás értékeit követően átlagosan 1–2 °C-kal alacsonyabb volt az intenzitás. Mivel az év ugyanazon szakaszát vizsgáljuk, a különbséget az időjárással lehet magyarázni. A légnyomásban, szélsőségekben jelentős különbség nincs, 2017-ben a hőmérséklet még magasabb is volt, így a kisebb értékeket a 10. ábra adatsorai közül csak a nagyobb felhőzet indokolhatja. Emellett fontos tényező lehet a 2017-es mérést megelőzően lehullott nagy csapadékmennyiség, aminek nyomát a magasabb harmatpontértékekben is láthatjuk a 9. ábrán. Ennek hatására a beérkező napsugárzás elsősorban a párolgásra fordítódott és csak kisebb mértékben a levegő felmelegedésére, azaz a látens hő aránya nagyobb volt a szenzibilishez képest, ami szintén csökkenthette a különbségeket.

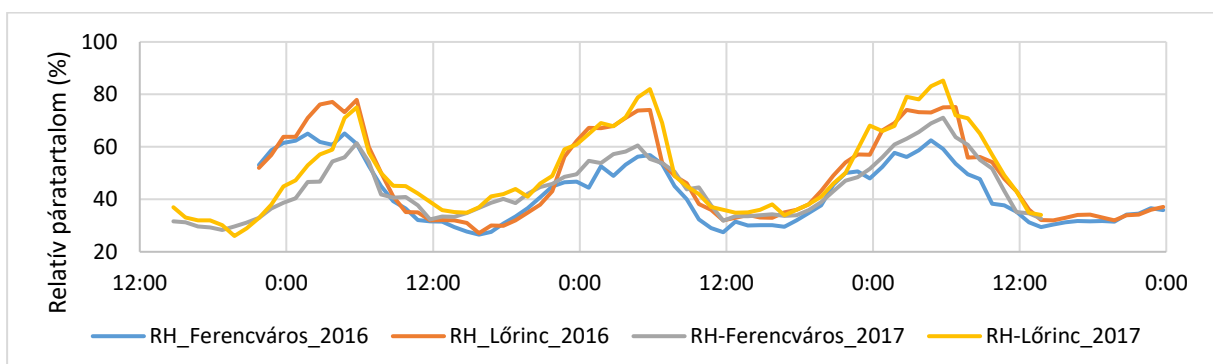
### **Nedvességi viszonyok**

Míg az egyes városokban megfigyelhető hősziget-intenzitás sűrűn vizsgált kutatási terület, az egyes nedvességi karakterisztikákban megfigyelhető városi hatásokról kevesebb szakirodalom áll rendelkezésre, de általánosságban elmondható, hogy a vidéki területek felett magasabb relatív és abszolút nedvesség, gőznyomás, harmatpont és kisebb harmatpont-deficit jellemző.



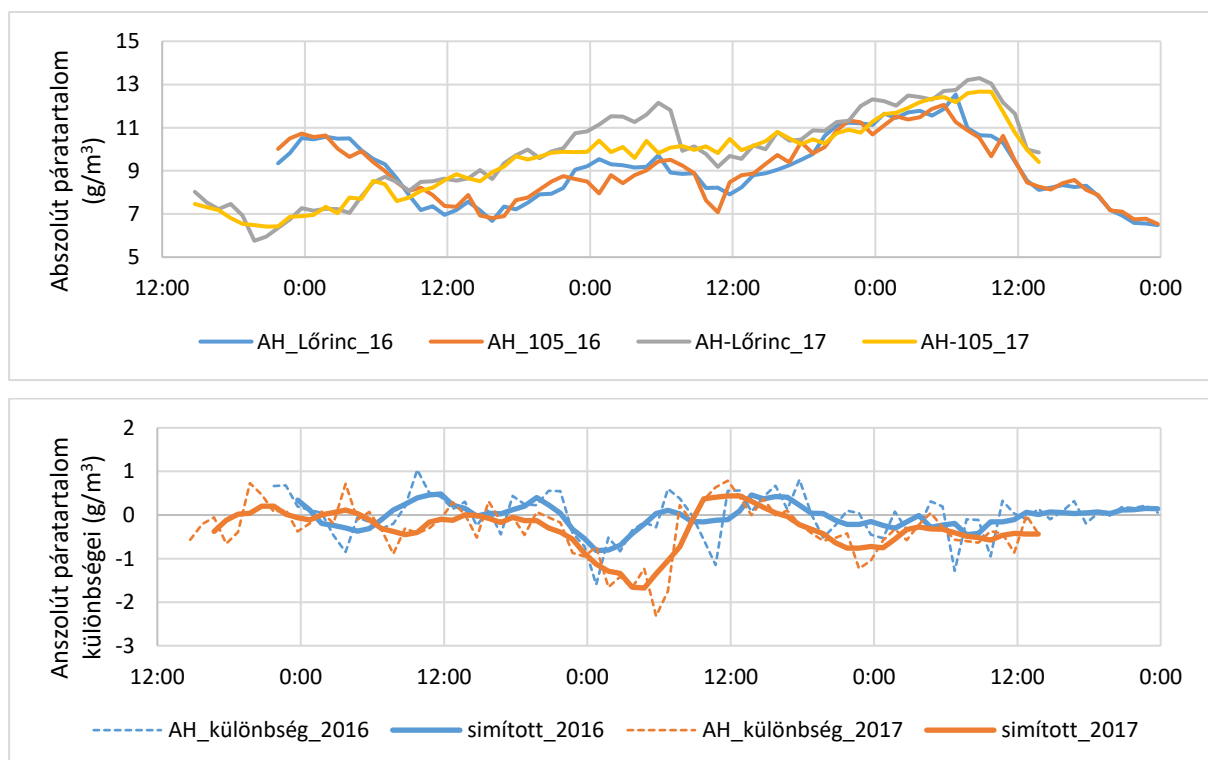
11. ábra: A számolt relatív páratartalomkülönbség 2016. és 2017. 07. 03-06. időszakban a ferencvárosi mérőpont és Pestszentlőrinc között (szürke színezés jelöli az éjszakai időszakokat)

A 11. ábrán látható, hogy a hőmérséklet mellett a relatív nedvesség is jelentős módosulást szenved a belvárosban, a különbségek általában -20% és +5% közöttiek. Mivel kis mértékben változó harmatponti hőmérséklet esetén a relatív nedvességtartalom menete fordítottan arányos a hőmérséklet menetével, így a különbségekben is hasonló tendencia figyelhető meg, a 11. ábrán látható relatív nedvességtartalom-különbségek menete szintén fordítottan arányos a 8. ábra hősziget-intenzitásait ábrázoló görbével. A délutáni, esti órákban a különbségek szinte mindig 5%-on belüliek, esetenként még magasabb is lehet a relatív páratartalom értéke a belvárosban. A külváros gyorsabb lehülése a különbségek megnövekedését eredményezi, a hajnali órákra jelentős különbség alakul ki, ami aztán napkeltét követően a felmelegedéssel ismét csökkenni kezd.



12. ábra: A relatív páratartalom menete a 2016. és 2017. 07. 03-06. mérési időszakban a ferencvárosi mérőponton és Pestszentlőrincen

Összehasonlítva a 11. ábra két görbéjét az látható, hogy a különbségek lényegesen kisebbek, mint a 8. ábrán megfigyelhetők, ugyanis a hőmérsékletkülönbségeket ellensúlyozza, hogy a 2017-es időszakban a magasabb harmatpontból következően éjszakánként lényegesen magasabbak a relatív páratartalom-értékek, ebből következően a különbségek is. Ahogy a 12. ábrán is látható, a relatív páratartalom éjszakai maximumértékei 2016-ban 60–70%, 2017-ben 75–85%-osak voltak, és a nappali, 30–40% közé eső értékek is szinte végig 2017-ben voltak a magasabbak. A további nedvességi mérőszámok nyilvánvalóan a hőmérséklet és a relatív nedvesség függvényei (a légnyomás területi eltérésétől a kis távolság miatt eltekintünk), ezért ezek közül csak az abszolút páratartalom meneteit és különbségeit mutatom be. Az abszolút légnedvesség megmutatja, hogy 1 m<sup>3</sup> levegő hány gramm vízgőzt tartalmaz. Értéke erősen hőmérsékletfüggő: nyáron 15 g/m<sup>3</sup> is lehet, míg télen 5 g/m<sup>3</sup> alatti. Ennek oka, hogy a magasabb hőmérsékletű, kisebb sűrűségű levegő több nedvesség befogadására képes.



13. ábra: Az abszolút páratartalom (AH) menete a ferencvárosi és pestszentlőrinci mérőponton 2016. és 2017. 07. 03-06. időszakban (felül) és a két helyszín értékeinek különbsége (alul)

A 13. ábrán láthatjuk, hogy az abszolút páratartalom a 2017-es mérési időszak nagy részében magasabb volt, mint 2016-ban. 2016-ban 7–11 g/m<sup>3</sup> között ingadozott az abszolút páratartalom, míg 2017-ben a kezdeti 7 g/m<sup>3</sup>-es érték folyamatosan emelkedett 13 g/m<sup>3</sup>-ig. A 2016-os időszakban kisebb különbségeket látunk a belvárosi és külvárosi mérőpont között, -1

és +1 g/m<sup>3</sup> közöttiek az eltérések. A kisebb különbségeket az alacsonyabb nedvességtartalom indokolja. 2017-ben már szinte végig Pestszentlőrincen magasabb az abszolút nedvességtartalom, Ferencvárosban 0–2 g/m<sup>3</sup>-rel kisebbek az értékek. A harmatpont és a gőznyomás esetén is hasonló menetek figyelhetők meg: 2016-ban a két mérőpont között kicsik az eltérések, 2017-ben azonban a ferencvárosi helyszínen a harmatpont 0–2,5 °C-kal, a gőznyomás 0–2 hPa-lal alacsonyabb.

3. táblázat: a Ferencváros és Pestszentlőrinc közötti különbségek idősorának minimum, maximum és átlagértékei a 2016 és 2017 nyári mérési időszakban

	<b>A ferencvárosi adatok eltérése a külvároshoz képest</b>					
	<b>2016. 07. 03-06.</b>			<b>2017. 07. 03-06.</b>		
<b>Állapothatározó</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>Átlag</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>Átlag</b>
Hőmérséklet	-0,3 °C	4,9 °C	2,2 °C	-0,9 °C	3,8 °C	1,4 °C
Relatív páratartalom	-22,7%	+2,8%	-6,2%	-26,6%	+3,7%	-5,9%
Abszolút páratartalom	-1,6 g/m <sup>3</sup>	1,0 g/m <sup>3</sup>	0,0 g/m <sup>3</sup>	-2,3 g/m <sup>3</sup>	0,8 g/m <sup>3</sup>	-0,3 g/m <sup>3</sup>
Gőznyomás	-1,9 hPa	1,5 hPa	0,1 hPa	-2,9 hPa	1,3 hPa	-0,3 hPa
Harmatpont	-2,5 °C	2,1 °C	0,2 °C	-3,0 °C	1,7 °C	-0,3 °C
Harmatpont-deficit	-1,0 °C	6,5 °C	2,0 °C	-1,9 °C	6,2 °C	1,8 °C

A 3. táblázat adatai alapján megállapítható, hogy az átlagos eltérések a két év között hasonlóak voltak, egyedül a hősziget-intenzitás eltérése jelentősebb a 2016-os és 2017-es időszak között. Az egyes évek minimum- és maximumértékei között már nagyobbak az eltérések. Ezek alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az eltérő időjárás elsősorban nem az átlagértékeket, hanem a szélsőértékeket befolyásolja, ezért amikor az egyes paraméterek időjárástól való függését elemezzük, az átlagérték helyett érdemesebb például a maximumértéket, vagy a maximumérték környezetének az átlagát elemezni. Mivel a bemutatott két időszakban alapvetően hasonló volt az időjárás, így annak hatását az őszi és tavaszi adatok alapján tudjuk részletesebben megismerni.

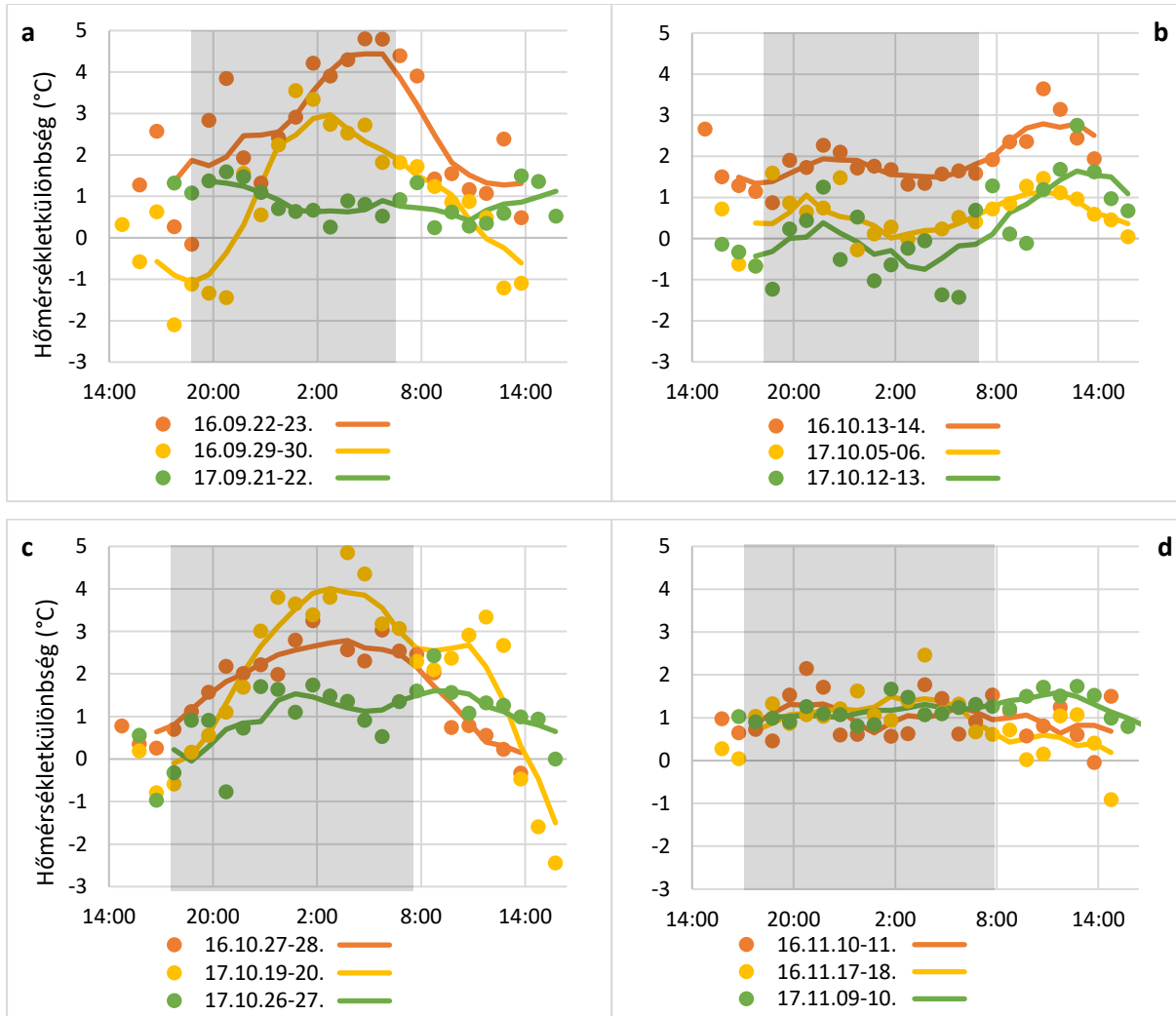
## **4.2. A város módosító hatása az őszi hónapokban**

### **Hősziget-intenzitás**

Az őszi hónapokról két egymást követő év különböző időpontjainak 24 órás adatsorai állnak rendelkezésre, 2016-ból és 2017-ből is hat-hat adatsor. Így jobban értékelhető az időjárási elemek hatása a városi-hősziget hatás megnyilvánulásában. A 14. ábra az őszi hősziget



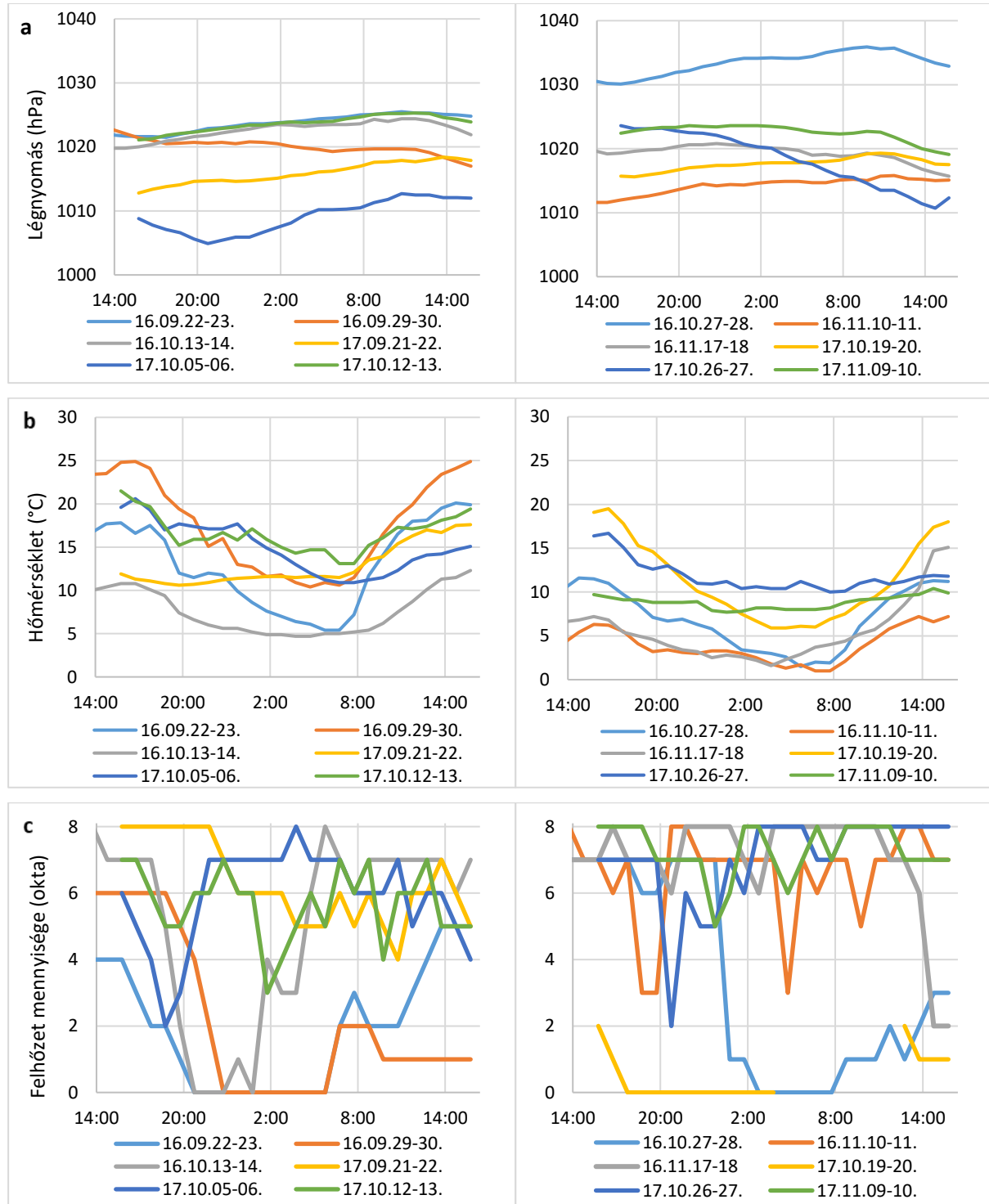
intenzitásokat mutatja be három alkalmanként szeptembertől novemberig. Mivel ősszel a nyárinál sokkal változatosabb időjárási menetek fordultak elő, így a hősziget intenzitások meneteiben is jelentős eltérések láthatók.



14. ábra: A számított (óránkénti) és az 5 órás simítású hősziget-intenzitások a 2016 és 2017-es őszi mérési időszakban Ferencvárosban (szürke színezés jelöli az éjszakai időszakokat)

A 14. ábrán megfigyelhetünk a nyáriakhoz hasonló nagy éjszakai, hajnali maximummal, esti minimummal rendelkező görbéket (2016.09.22-23., 2016.09.29-30., 2016.10.27-28., 2017.10.19-20.), melyek esetén a hősziget intenzitás maximumértéke 5 °C körüli. A novemberi mérési alkalmak idején a hősziget intenzitásnak nem volt napi menete, szinte végig egy konstans érték környékén ingadozott az időszakok nagy részében 1 °C-on belül. Megfigyelhetünk olyan alkalmakat is, amikor a városi hőmérséklet-többlet menete a nyári mérésektől és a szakirodalomban bemutatott eredményektől teljesen eltérő, például napnyugtát követően a gyors növekedés helyett folyamatosan csökken. Annyit

megállapíthatunk a 14. ábra alapján, hogy ősszel a hősziget-intenzitás mértéke kis mértékben alacsonyabb, mint nyáron, a napi átlaghőmérséklet csökkenésével egyre kisebb különbség tud kialakulni város és vidék között. Annak érdekében, hogy a különbségek pontos okai láthatók legyenek, az időszakok időjárásának vizsgálata szükséges.



15. ábra: A 2016 és 2017-es őszi mérési időszakok légnyomása, hőmérséklete és a felhőzet mennyisége a pestszentlőrinci mérőállomás adatai alapján (a bal oldalon a szeptember közepétől október közepéig, a jobb oldalon az október közepétől november közepéig zajlott mérési időszakok)

A 14. és 15. ábra alapján elsőként a szeptemberi hősziget intenzitásokat elemezzük. 2016.09.22-23. és 2016.09-29-30. időszakban jellegzetes napi menettel rendelkező hősziget-intenzitás alakult ki, ellenben 2017.09.21-22-én egyáltalán nem jelentkezett a hőmérséklet-különbség éjszakai megnövekedése, sőt, még kis mértékben csökkent is. Ennek egyértelmű oka, hogy a mérést megelőzően és kezdeti időszakában egy többközéppontú ciklonrendszer felhőzete határozta meg az időjárást, elhaladását követően a légnyomás csak lassan emelkedett, a felhőzet mennyisége jellemzően 6 okta felett maradt. A legegyszerűbb okot azonban a hőmérsékletet bemutató 15.b ábrán látjuk: a hőmérséklet értéke a mérési időszak kezdetétől egészen napkeltéig változatlan volt, nem hűlt le a levegő, ami a különbség megnövekedését eredményezte volna. Ezzel szemben a 2016 szeptemberi alkalmak idején anticiklon alakította a Kárpát-medence időjárását, kevés felhőzetet, nagy napi hőingást, kis szélsőségeket eredményezve. Az, hogy a hősziget-intenzitás maximumértéke egyik alkalommal 5 °C volt, míg a másikon csak 3 °C, azzal indokolható, hogy utóbbi esetben a mérést megelőzően ciklon haladt át a Kárpát-medencén, melynek során 10 mm feletti csapadék hullott le, s emiatt a hőmérséklet az évszakos átlag maradt, ami nem kedvezett az erős hősziget-kifejlődésének.

A 14.b ábrán nem látunk a 2016. szeptemberihez hasonló menetet, sokkal inkább hasonlítanak a 2017. szeptemberi ciklonális időszakhoz. Ahogy a 15a. ábrán látható 2017.10.05-06-án volt a légnyomás értéke az összes őszi mérés közül a legalacsonyabb, ugyanis hidegfront vonult át Magyarország felett, amely ugyan nem hozott jelentős mennyiségű csapadékot, de a hőmérsékletet több °C-kal csökkentette és felhőzete is meggátolta a hősziget kifejlődését, emellett magas, 4–7 m/s-os szélsőségeket eredményezett. 2017.10.12-13-án a légnyomás értéke magas volt, az időszak anticiklonálisnak tekinthető, ugyanakkor a Dél-Európa feletti nagy kiterjedésű anticiklontól északra két ciklon is örvénylett, az egyik hidegfrontja a felhőzet mennyiségének megnövekedését eredményezte. Az anticiklon miatt az évszakos átlaghoz képest magasabb volt a hőmérséklet, az 5–7 okta közötti felhőzet pedig kis éjszakai lehülést eredményezett, ezek együttes hatására az összes őszi mérési időszak közül ekkor volt a legmagasabb a minimumhőmérséklet. 2016.10.13-14-i időszakot megelőzően és alatta is ciklonok haladtak át a térségen, melyek az Atlanti-óceán felől, a Földközi-tenger érintésével nyugati, dél-nyugati irányból közelítették meg a Kárpát-medencét. A vizsgált időszak a légnyomásértékek alapján szintén az anticiklonálisak közé sorolható, de a DNy felől érkező ciklon melegfronti felhőzete már elérte Budapestet, ezt látjuk a 15. ábrán is. A hőmérséklet több °C-kal elmaradt a sokévi átlagtól, csapadék nem hullott. Ezen 2016.10.13-14-i és a

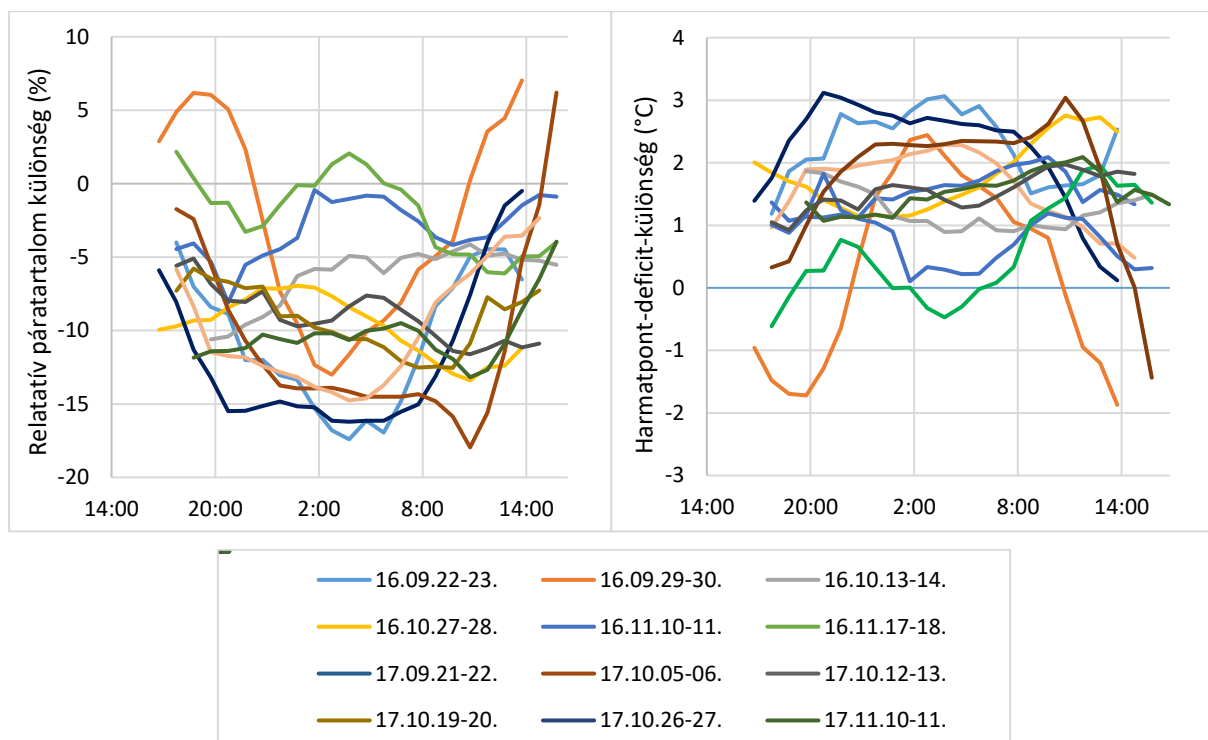
2017.10.12-13-i időszak is azt mutatja, hogy a hősziget-intenzitás menetének, maximumértékének alakulásában a felhőzet mennyisége és a vele összefüggésben álló napi hőingás a legmeghatározóbb tényező, a makroszinoptikus helyzet, vagy a légnyomás értéke önmagában nem elegendő információ a vizsgálathoz. Ha a három, október hónap első felében történő mérés hősziget-intenzitásainak különbségét keressük, megállapítható, hogy a magasabb légnyomású, főleg fátyolfelhős 2016.10.13-14-i alkalommal volt a legmagasabb, 1–3 °C közötti az intenzitás. Az erős ciklon áthaladó hidegfrontja 2017.10.05-06-án 0–1 °C-ra csökkentette a ferencvárosi hőmérséklettöbbletet. 2017.10.12-13-i időszak alatt pedig az 1025 hPa körüli légnyomás ellenére hosszabb időszakokra is Pestszentlőrincen volt melegebb a levegő, amit a magas éjszakai hőmérséklet indokol.

A 14.c ábrán ismét változatos menetek láthatók, melyek változatos időjárási helyzetekre engednek következtetni. 2016.10.27-28-i mérési időszakot megelőzően frontrendszer haladt át Európán, mely lehülést és 10 mm feletti csapadékmennyiséget eredményezett mögötte azonban a légnyomás folyamatosan növekedett és a mérés kezdetére már 1030 hPa volt, az összes mérési időszak közül a legmagasabb. A hőmérséklet kissé a sokévi átlag alatt maradt, ennek a lehülésnek (is) tudható be, hogy bár a különbség az anticiklonális helyzeteknek megfelelően az éjszaka közepére érte el a maximumát, de ez az érték nem haladta meg a 3 °C-ot. 2017.10.19-20-án is ez a napi menet látható, azonban akkor a hősziget-intenzitás maximuma 5 °C volt. Ezt a különbséget az indokolja, hogy a 2017.10.19-20-i mérési időszakot megelőzően több mint egy hete anticiklon helyezkedett el a Kárpát-medence felett, igen kevés felhőzetet, nagy napi hőingást eredményezve, ráadásul éjszaka köd képződött, ami csak délutánra szállt fel, ez pedig különösen kedvez a városi hőmérséklet-többlet kialakulásának, hiszen az alacsonyabb nedvességtartalom miatt a városban később képződik köd, és korábban is oszlik fel. A ködös időszak a 15.c ábrán adathiányként jelenik meg, mivel ekkor nem lehet észlelni a felhőzet mennyiségét. Az éjszakára kialakult nagy hőmérséklet-többlet napkeltét követően igen gyorsan csökkent, és délutánra már Pestszentlőrincen volt 2,5 °C-kal melegebb a levegő. Ez közel 7,5 °C-os eltérést eredményezett a hősziget-intenzitás 24 órán belüli folyamatos adatsorában. 2017.10.26-27 ismét egy olyan időszak, amikor nem jelentkezett a nyugodt időjárási helyzetekre jellemző menet. Az ezt megelőző napot jellemző anticiklon ugyanis gyengült és egy közeledő ciklon előoldali áramlásrendszere a felhőzet mennyiségének jelentős megnövekedését és igen kicsi napi hőingást eredményezett, a mérési időszak alatt gyorsan csökkent a légnyomás. Emiatt a hősziget-intenzitás a napnyugtáig kialakult 1–2 °C körül maradt a mérési időszak végéig.

A 14.d ábrán három egymáshoz igen hasonló hősziget-intenzitás menet figyelhető meg a novemberi időszakokban, jellemzően 0–2 °C közötti hősziget-intenzitásokkal. 2016.11.10-11-én a Kárpát-medencétől keletre és nyugatra is örvénylett egy ciklon, a medencében alacsony, 1015 hPa alatti légnyomás, borult égbolt volt jellemző. 2016.11.17-18-án a légnyomás 1020 hPa körüli volt, a megelőző nap anticiklonális helyzetét egy közeledő ciklon áramlásrendszere váltotta fel, szintén borult időjárást eredményezve. 2017.11.09-10-én hidegfront haladt át az ország felett, hatására a felhőzet mennyisége 6–8 okta, a légnyomás 1020–1025 hPa volt. Mindhárom novemberi alkalommal csapadéktevékenység is előfordult. A hősziget-intenzitások a novemberi alacsonyabb hőmérséklet, illetve a minden alkalomra jellemző erősen felhős vagy borult égbolt miatt voltak közel azonosak.

### Nedvességi viszonyok

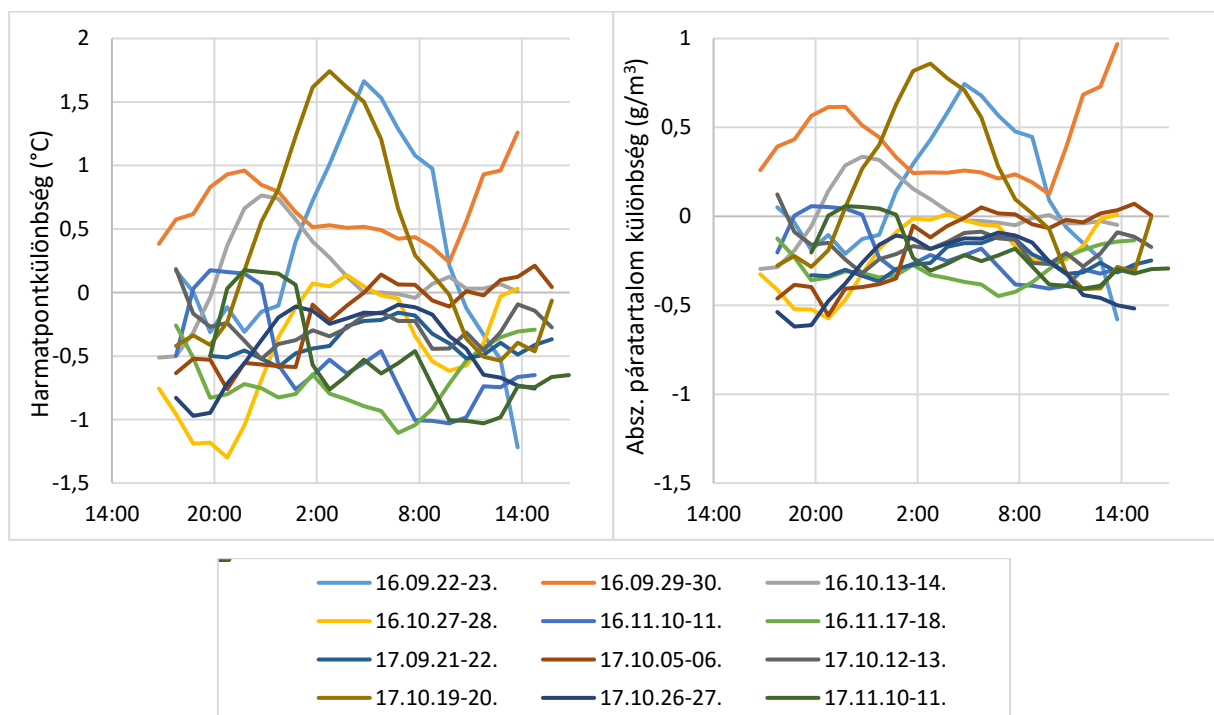
Az őszi időszakban változatos meneteket figyelhettünk meg a hősziget-intenzitásban, és ugyanez állapítható meg a nedvességi karakterisztikák napi menetét tekintve is.



16. ábra: A relatív páratartalom és a harmatpont-deficit különbsége a ferencvárosi és pestszentlőrinci mérőpont között 2016 és 2017 őszi mérési napokon (5 órás simítású görbék)

A 16. ábrán a relatív páratartalom és harmatpont-deficitek napi menetét elemezzük. Jól látható, hogy a relatív páratartalom értéke Pestszentlőrincen, a külvárosban szinte mindig magasabb, az 5 órás simítású görbék alapján a különbségek legtöbbször 5–15% közöttiek. A

napi meneteket vizsgálva jelentős különbségek figyelhetők meg: az anticiklonális, kis mennyiségű felhőzettel jellemezhető napokon a különbség (fordított arányosságban a hősziget-intenzitással) napnyugtát követően az éjszaka folyamán jelentőssé válik, míg ciklonális jellegű időszakokban nincs jellegzetes napi menet, vagy éjszaka akár csökken is a különbség. A mérési alkalmak negyedében fordul elő olyan időszak, amikor magasabb a relatív páratartalom a Ferencvárosban. Ez kialakulhat ciklonális, csapadékos időszakokban, amikor a különbségek elmosódnak, vagy az igen erős hőszigettel rendelkező éjszakák körüli délutánokon. A harmatpont-deficit definíció szerint a hőmérséklet és harmatpont különbsége, meghatározza, hogy az adott légréznek hány °C-ot kellene hűlnie, hogy elérje harmatpontját. A harmatpont-deficit a relatív páratartalommal erősen összefüggő mérőszám, mindkettő a levegő telítettségét fejezi ki. A két vizsgált mérőpont közötti harmatpont-deficit különbségek napi menete pontosan fordított arányosságban áll a relatív páratartalom-különbségekkel. Jellemzően Ferencvárosban 1–3 °C-kal többet kellene hűlnie a levegőnek, hogy elérje harmatpontját, a különbségek ráadásul sok esetben hajnalban a legnagyobbak, amit nyilvánvalóan az idéz elő, hogy míg egyes őszi napokon Pestszentlőrincen köd képződik, a belvárosban ez a levegő telítettségének hiányában nem tud megtörténni.



17. ábra: A harmatpont és az abszolút páratartalom különbsége a ferencvárosi és pestszentlőrinci mérőpont között 2016 és 2017 őszi mérési napokon (5órás simítású görbék)

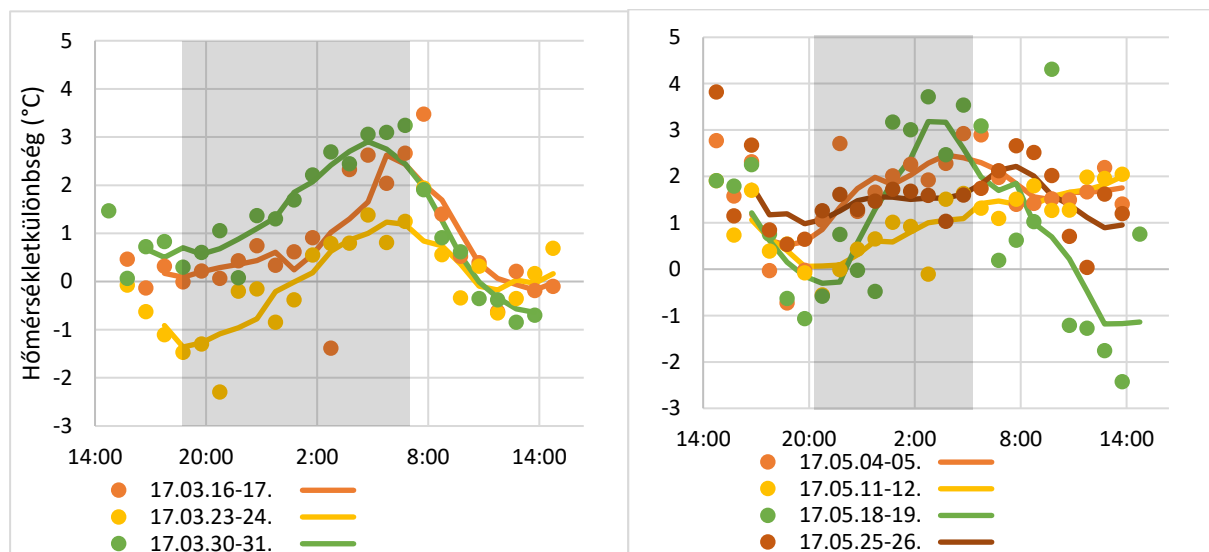
A 17. ábra alapján jól látható, hogy a harmatpont és az abszolút páratartalom is az esetek háromnegyedében a teljes mérési időszak alatt magasabb Pestszentlőrincen, a harmatpont-

különbségek 0–1 °C közöttiek, azabszolút nedvességtartalom eltérései pedig 0–0,5 g/m<sup>3</sup>-esek (ami figyelembe véve, hogy ősszel jellemzően 5–10 g/m<sup>3</sup> között alakul az abszolút páratartalom értéke, már jelentős eltérésnek tekinthető). Egyes napokon azonban az is előfordul, hogy a Ferencvárosban magasabb ezen két állapotváltozó értéke, és abszolútértékben ilyenkor a legnagyobbak az eltérések.

### 4.3. A város módosító hatása a tavaszi hónapokban

#### Hősziget intenzitás

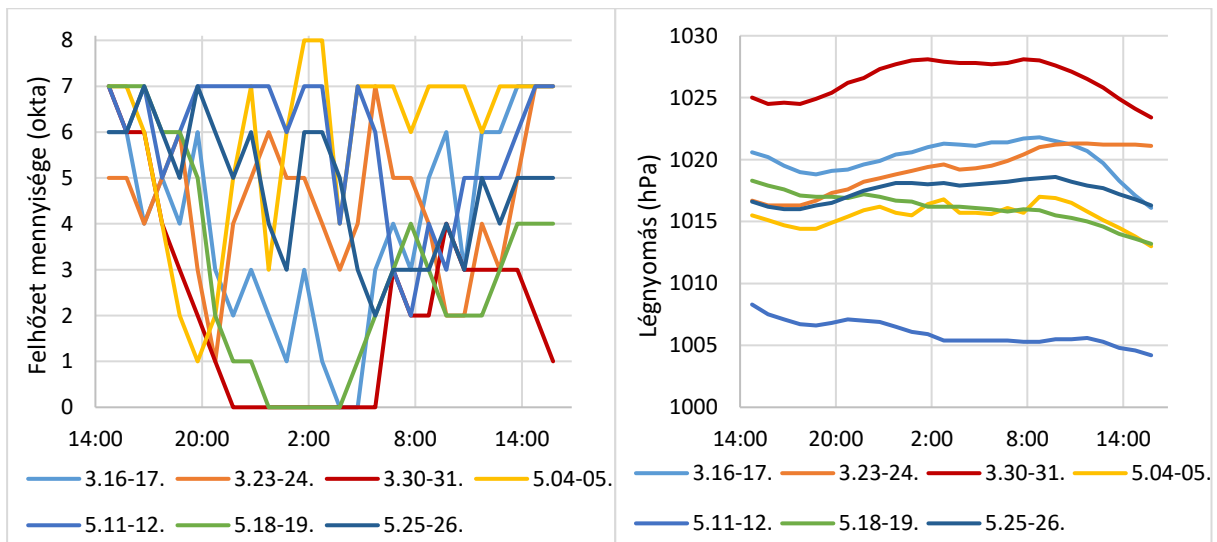
2017 tavaszán összesen kilenc időszakra áll rendelkezésre mérési adat, amik közül három márciusi és négy májusi kerül bemutatásra. A szakirodalom alapján azt várjuk, hogy a legnagyobb nyári és téli hősziget-intenzitásokkal szemben ősszel és különösen tavasszal alacsonyabb értékek alakulnak ki. Ezt vizsgáljuk a következőkben.



18. ábra: A számított (óránkénti) és az 5 órás simítású hősziget-intenzitások a 2017 tavaszi mérési időszakokban Ferencvárosban

A 18. ábra alapján megállapíthatjuk, hogy márciusban és májusban a ferencvárosi hőmérséklet többlet értéke -1 °C és +3 °C között alakult, néhány kiugró értékkel. Márciusban minden nap megfigyelhető a nyugodt időjárási helyzetekre jellemző napi menet, azonban az értékek jelentősen eltérnek egymástól. Ez utóbbi megállapítás májusban is igaz, azonban akkor a kapott napi menetek is változatosabbak. Az eltérések okait ezúttal is az időjárási helyzetek vizsgálatával lehet megállapítani. A 18. és 19. ábra együttes elemzésével látható, hogy az anticiklonális, többnyire derült időszakok hősziget intenzitása rendelkezik jellegzetes

napi menettel, s magas éjszakai maximumértékkel. 2017.03.16-17-én már több napja anticiklon alakította a Kárpát-medence időjárását, kevés felhőzetet, a sokévi átlagnál magasabb hőmérsékletet és nagy napi hőingást eredményezve, ennek hatására napkeltére ki is alakult a márciusi mérési időszakok közüli legnagyobb, 3,5° C-os belvárosi hőmérséklettöbblet. 2017.03.23-24-én a légnyomás értéke az előző időszakhoz közeli, folyamatosan emelkedő volt, az időszak végére meghaladta az 1020 hPa-t. Egy melegfront, majd egy hidegfront áthaladása változó mennyiségű felhőzetet eredményezett, ez azonban nem járt csapadéktevékenységgel. Mivel a felhőzet mennyisége éjszakára kissé csökkent, anticiklonális menet látható a hősziget-intenzitásban (18. ábra), azonban az értékek több °C-kal alacsonyabbak. Ennek egyértelmű oka az év ezen napján az átlagosnál több mint 8 °C-kal magasabb napi középhőmérséklet. A hőmérséklet ugyanis miként lassabban csökken a belvárosban, úgy lassabban tud csak emelkedni is ott, márpedig a mérést megelőző három nap alatt 7 °C-ot emelkedett a napi középhőmérséklet értéke. 2017.03.30-31-én 2017.03.16-17-hez hasonlóan már hosszabb ideje erős anticiklon helyezkedett el Közép-Európa felett, a légnyomás értéke 1025 hPa feletti volt, többnyire derült égboltot eredményezve. A hősziget-intenzitás értéke ezért gyorsan megközelítette a 3° C-ot éjszaka, majd napkeltéig meg is haladta azt. Jól látható a 18. ábrán, hogy mindhárom márciusi időszakban napkeltét követően 2 órán belül több mint 2 °C-ot csökkent a különbség és a délutáni órákra már Pestszentlőrincen volt melegebb a levegő.



19. ábra: A felhőzet mennyisége és a légnyomás menete a vizsgált 2017 tavaszi mérési időpontokban Pestszentlőrincen

2017.05.04-05-én zárt alacsony nyomású képződmény helyezkedett el a Kárpát-medence felett, mely nagy mennyiségű felhőzetet, 10 mm körüli csapadékmennyiséget eredményezett.



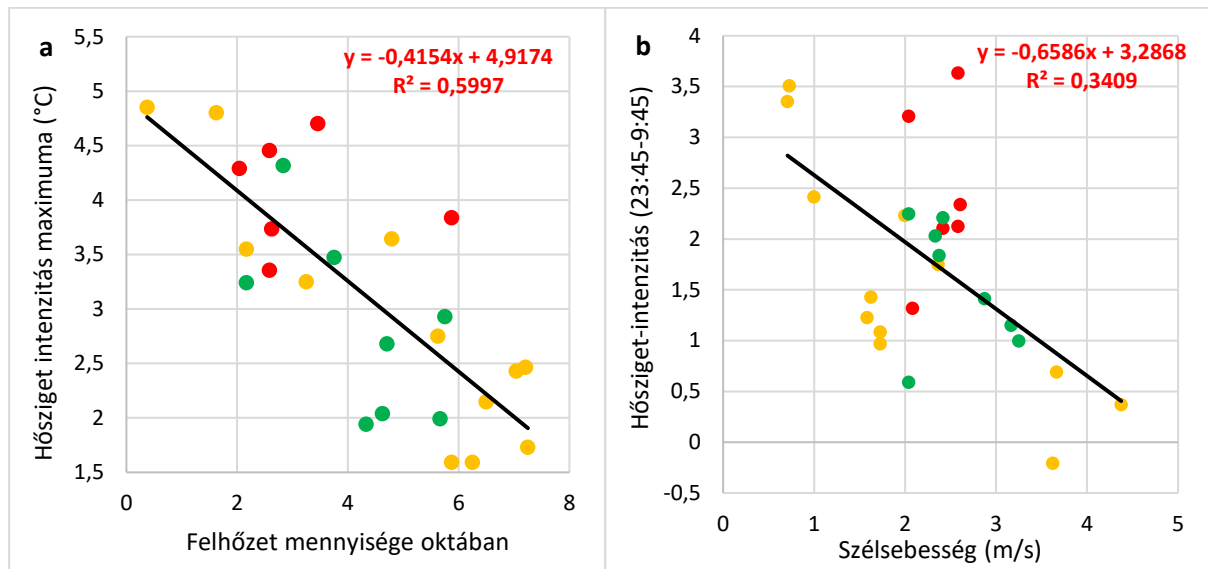
Mivel az időszak első felében még kevesebb volt a felhő, az éjszaka közepére nőtt a hőmérsékletkülönbség, de nem olyan mértékben, mint ahogy az anticiklonális helyzetekben jellemző. 2017.05.11-12-e az egyetlen olyan tavaszi időpont a bemutatottak közül, melyet egyértelműen ciklonálisnak nevezhetünk. 1005–1010 hPa közötti csökkenő légnyomás, s a ciklonok áramlási rendszere miatt nagy mennyiségű felhőzet jellemzi ezt az időpontot, emiatt az eddigiektől teljesen eltérő menet figyelhető meg a hősziget-intenzitás alakulásában: lassan növekszik hajnalig a hőmérsékletkülönbség, majd azt követően is folytatódik a növekedés. 2017.05.18-19-én gyengülő anticiklon következtében kevés felhőzet, csökkenő légnyomás a jellemző, mely a nagy napi hőingással együtt kedvez az erős éjszakai hősziget kialakulásának, az éjszaka közepére 4 °C-hoz közeli a ferencvárosi hőmérsékletkülönbség. Napkeltét követően azonban rendkívül nagy a különbség a ferencvárosi és pestszentlőrinci helyszín felmelegedése között, délutánra már közel 3 °C-kal a külvárosban melegebb a levegő. 2017.05.25-26-án az 1015 hPa feletti légnyomás ellenére eleinte egy ciklon hátoldali áramlásrendszere volt a meghatározó hazánk időjárásában, az éjszaka közepén vált anticiklonális jellegűvé a szinoptikus helyzet, s csökkent a felhőzet. Emiatt a jellegzetes napi menet nem figyelhető meg, kisebbek a hőmérsékleti különbségek, a hősziget-intenzitás maximum eltolódva, délelőtt jelentkezik.

#### **4.4. A hősziget-intenzitás kapcsolata az időjárási állapotathatározókkal**

##### **Felhőzet és szélesség**

A 4.1-4.3. fejezetben mérési naponként elemeztem az időjárási helyzetek hatását minden állapotathatározó bevonásával. A 21. ábra különválasztva szemlélteti egy kiválasztott időjárási állapotathatározó és egy hősziget-intenzitást jellemző mérőszám kapcsolatát. Utóbbiak közül az szerepel a dolgozatban, amely a legerősebb kapcsolatban áll az állapotathatározóval. A 20.a ábrán láthatjuk, hogyan függ a hősziget intenzitás maximumértéke az átlagos borultságtól. A két adatsor között erős összefüggés van, amit az illesztett lineáris regressziós egyenes meredeksége és a korrelációs együttható ( $R^2$ ) is megerősít. A pontthalmazban igen látványosan elkülönül egymástól két csoport: 4 oktánál kevesebb napi átlagos felhőzetmennyiség esetén a hősziget-intenzitás maximumértéke minden egyes időszak (12 alkalom) alkalmával 3 °C feletti volt, míg 4 oktánál nagyobb borultság esetén (12 alkalom) két kivétellel mindig 3 °C alatti volt a legnagyobb intenzitás. Előbbi esetben az értékek 3–5 °C közöttiek, míg utóbbinál

1,5–3 °C-osak. Ez alapján a felhőzetmennyiség előrejelzésének ismeretében 90%-nál is nagyobb valószínűséggel előrejelezhető, hogy az éjszakára kialakuló hősziget-intenzitás maximuma 3 °C feletti vagy alatti lesz.



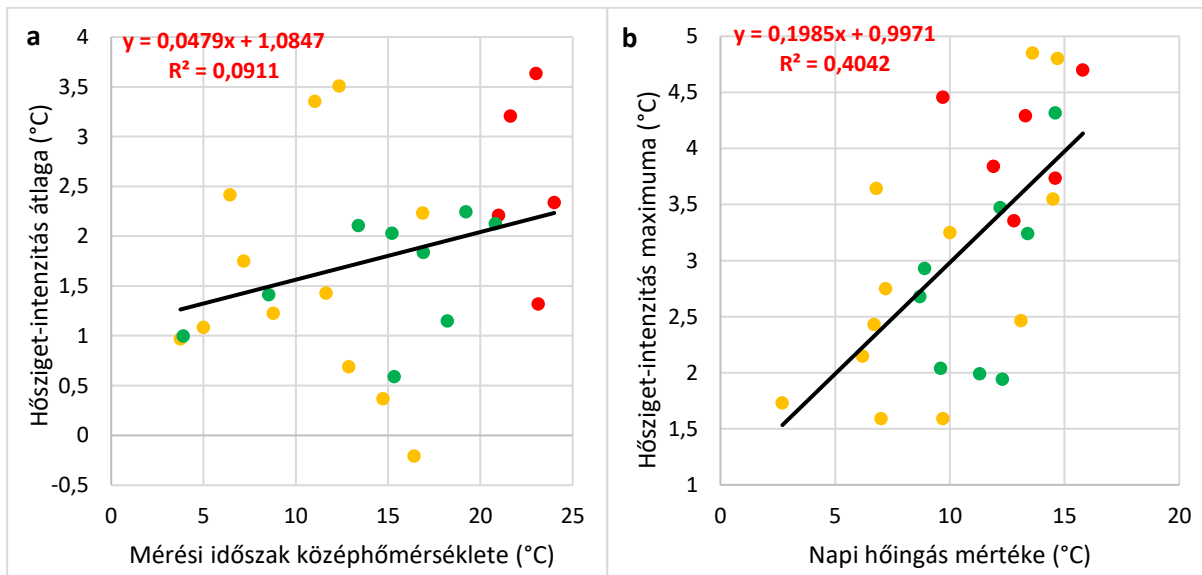
20. ábra: Hősziget intenzitás függése a felhőzet mennyiségétől (balra) és a szélsebességtől (jobbra) (a szimbólumok színe az évszakot adja meg: piros - nyár, sárga - ősz, zöld - tavasz)

A 20.b ábrán a szélsebesség és a hősziget-intenzitás kapcsolatát vizsgáljuk, melyek között a kapcsolat gyengébb, mint a felhőzet esetében. A három vizsgált mérőszám (maximum, napi átlag, 23:45-9:45-ös átlag) közül utóbbival áll fenn a legerősebb kapcsolat. A grafikon Probáld (1966) megállapításaival egybehangzó eredményeket mutat, azaz 3 m/s alatti szélsebességnek nincs befolyása a hőszigetre, efelett csökken a város és vidék közötti hőmérséklet-különbség, a szél „elfújja a hőszigetet”. 3 m/s alatt nem figyelhető meg lineáris kapcsolat, 3 m/s feletti szélsebességek azonban 1,5 °C alatt tartják a 23:45-9:45-ös időszak átlagos ferencvárosi hőmérséklettöbbletét.

### Légnyomás és hőmérséklet

A tengerszintre átszámított légnyomás konkrét értéke és a hősziget-intenzitás között kevésbé érdemes kapcsolatot keresni, ugyanis adott érték különböző évszakokban a különböző hőmérsékletek miatt teljesen eltérő makroszinoptikus helyzeteket jelenthet. Például 1020 hPa-os légnyomás nyáron többnyire erős anticiklon esetén jelentkezik, ősz végén viszont könnyen előfordulhat, hogy erős ciklonhoz kapcsolódik. Emellett a légnyomásértékekben nem vehető észre egyértelműen az időjárási frontok áthaladása. Ezért ehelyett a későbbiekben a makroszinoptikus helyzeteket vizsgáljuk. A hőmérséklet és a hősziget-intenzitás között sem

áll fenn erős kapcsolat, azonban mivel a szakirodalomtól eltérő eredmény adódott, ezt mégis érdemes megvizsgálni. A 21.a ábrán láthatjuk, hogy gyenge pozitív kapcsolat áll fenn az átlaghőmérséklet és a 23:45-9:45-ös időszak hősziget-intenzitásának átlaga között (ugyanaz igaz a teljes mérési időszak átlagára is). Korábbi kutatások (pl.: Probáld, 1966) negatív kapcsolatot állapítottak meg, és a Ferencvárosban kapott eredményt is inkább a mérési időpontok befolyásolják. Az általam kapott eltérő eredmény oka valószínűsíthetően az, hogy nyáron erősebb a hősziget, mint tavasszal és ősszel, viszont a hideg időjárási viszonyok alulreprezentáltak (mivel téli mérések egyáltalán nem állnak rendelkezésre. Ugyanakkor ha rendelkezésre állnának téli adatok is, minden bizonnyal az illetett egyenes meredeksége csökkenne. Mivel a kiugró értékek is meglehetősen nagyok, megállapíthatjuk, hogy a hőmérséklet értéke nem jelentős befolyásoló tényezője a Ferencváros és Pestszentlőrinc közötti hőmérséklet-különbségnek.



21. ábra: Hősziget intenzitást függése a hőmérséklettől (balra) és a napi hőingástól (jobbra)

A 21.b ábrán látható napi (pontosabban a vizsgált 24 órás időszakokra vonatkozó) hőingások már lényegesen erősebb kapcsolatban állnak a hősziget-intenzitás mérőszámaival. Ez nyilván összefügg azzal, hogy a hőingás és a felhőzet mennyisége között erős a kapcsolat.

### Többváltozós lineáris regresszió

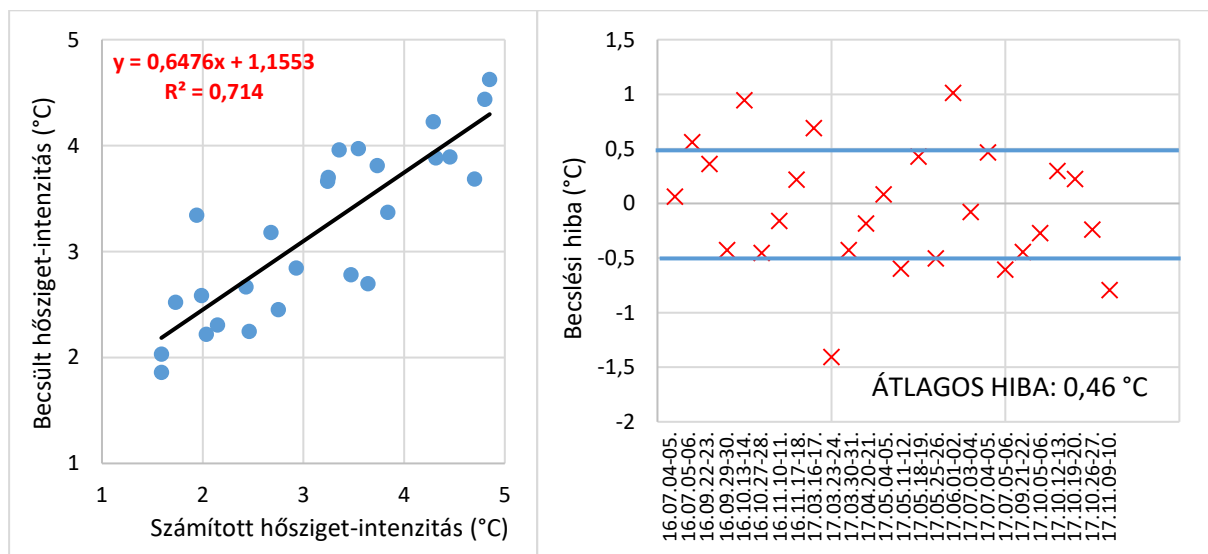
Az egyes állapothatározók különválasztott, egyváltozós lineáris regresszióval való elemzésénél célszerűbb többváltozós lineáris regresszióval vizsgálni a hősziget-intenzitás kapcsolatát az időjárással. Ezen módszer regressziós együtthatókat határoz meg a vizsgált magyarázó változókhoz, illetve egy regressziós konstans értéket, melyek alapján ideális

esetben pontosan kiszámítható lenne a hősziget-intenzitás. A többváltozós lineáris regresszió meghatározásához a legkisebb négyzetek közelítését alkalmazhatjuk, mely során arra törekszünk, hogy a becslési hibák négyzetösszegét minimalizáljuk. Vizsgálataim során olyan egyenletet kerestem, mellyel négy időjárási változó ismeretében jól becsülhető a hősziget-intenzitások napi átlagértéke és maximuma. Az egyváltozós esetek tapasztalatai és a szakirodalom alapján arra jutottam, hogy a felhőzetmennyiség ( $n$  [okta]), a légnyomás ( $p$  [hPa]), a hőmérséklet ( $T$  [°C]) és a szélesség ( $v$  [m/s]) napi átlagértéke ismeretében a következő egyenlettel becsülhető a hősziget-intenzitás napi maximuma [°C] az általam vizsgált mérési ponton:

$$UHI_{MAX} = 0,008 \cdot p - 0,427 \cdot v + 0,053 \cdot T - 0,240 \cdot n - 4,101 \quad (8)$$

míg a teljes napra vonatkoztatott átlagos hősziget-intenzitást [°C] a következő egyenlet becsli:

$$UHI_{AVG} = -0,015 \cdot p - 0,265 \cdot v + 0,011 \cdot T - 0,127 \cdot n + 17,2 \quad (9)$$

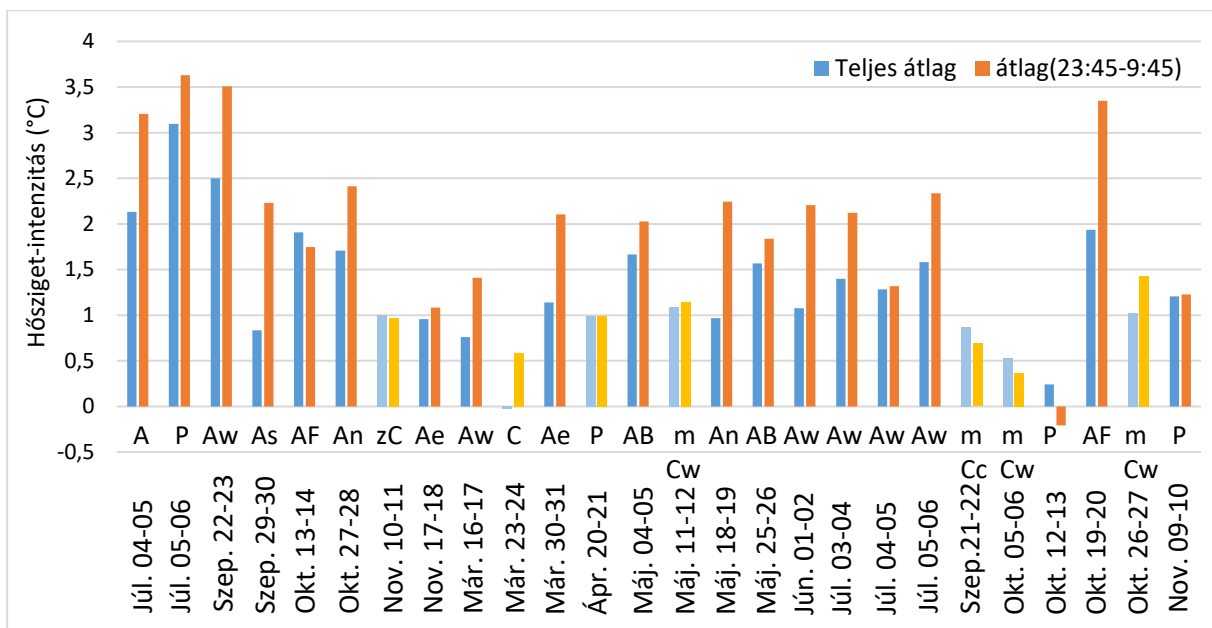


22. ábra: A maximális hősziget-intenzitás becslésére szolgáló (8) egyenlettel kiszámított értékek hibája

A 22. ábrán láthatjuk, hogy az egyenlet viszonylag pontosan, jellemzően 0,5 °C-on belüli hibával visszaadja a számított hősziget-intenzitásokat, egy kiugró, 1,5 °C-hoz közeli érték (ez a 2017.03.23-24-i méréshez kapcsolódik, amikor ciklonközpont helyezkedett el a Kárpát-medence felett) kivételével minden hiba 1 °C-on belüli. Így tehát levonhatjuk azt a következtetést, hogy ezen négy változó előrejelzése alapján jó közelítéssel előrejelezhető az éjszakára kialakuló maximális hősziget-intenzitás. Ugyanez igaz a napi átlagos intenzitásértékekre is, melyek esetén 0,4 °C-on belüli az átlagos becslési hiba.

#### 4.5. A nagytérségű légnymási mező hatása a város hőmérsékletére

A borultság, hőmérséklet, szélsébség, illetve a konkrét légnymási értékek mellett a nagy térségű, Európára jellemző légnymási mező is fontos tényező a hősziget intenzitás mértékének alakulásában. A szakirodalmi eredmények is egyértelműen megállapítják, hogy anticiklonális helyzetekben erős hősziget alakul ki, míg ciklonális időjárás esetén elmosódnak a különbségek (pl.: Probáld, 1966). Egy teljes 24 órás időszakot bizonyos esetekben egyértelműen besorolhatunk a ciklonális vagy anticiklonális helyzet valamelyikébe, előfordulnak azonban peremhelyzetek, illetve olyan időszakok, amikor nagyon gyorsan változik a nyomási mező képe, például áthalad egy front. A 23. ábrán az ilyen eseteket „P” betűvel jelöltem, és a számításoknál figyelmen kívül hagytam, a többé-kevésbé egyértelműen besorolható eseteket pedig a Péczely (1983) által definiált makroszinoptikus típusok szerint osztályoztam (4. táblázat).



23. ábra: Az egyes mérési alkalmak hősziget intenzitásának átlagértéke a teljes 24 órás időszakokra (anticiklon: sötétkék, ciklon: világoskék) és a legnagyobb intenzitásokkal rendelkező 10 órás időszakokra (anticiklon: narancssárga, ciklon: citromsárga)

A 23. ábrán a hősziget-intenzitás mérőszámai közül nem a dolgozat korábbi részeiben leginkább jellemzett maximális hősziget-intenzitást, hanem a teljes, 24 órás időszakra, illetve egy kiválasztott, 10 órás időintervallumra (23:45-9:45) számított átlagértékeket mutatom be. Utóbbi az alapján került kiválasztásra, hogy jellemzően ebben az időszakban a legerősebb a hősziget. A peremhelyzetek színezését az alapján végeztem el, hogy ciklonális vagy

anticiklonális helyzethez áll-e közelebb. A 23. ábra alapján megállapítható, hogy az alacsony nyomású légköri képződmények áramlási mezeje általában gyengébb városi hősziget intenzitásokat eredményez, mint a magasnyomású rendszereké. A mérsékeltövi ciklonok és a kapcsolódó időjárási frontok következtében nagyobb felhőzet és szélsőségek, valamint csapadéktermékenység alakul ki, s ezek hatására a frontok áthaladása csökkenti a hőmérsékletkülönbséget. Ciklonok elő- vagy hátoldali áramlásrendszere esetén minden alkalommal maximum 1 °C-kal voltak magasabbak az értékek a ferencvárosi mérőponton, és ezen időpontokban nem volt meg a jellegzetes napi menet (éjszakai maximum, esti minimum), amit az mutat meg, hogy a kiválasztott, 10 órás időszak átlaga szinte teljesen egyezik a napi átlagokkal. Az egyetlen olyan alkalommal, amikor ciklonközéppont helyezkedett el a Kárpát-medence felett, a teljes időszakra számított átlag a legalacsonyabb volt a 26 vizsgált mérési alkalom közül. Ekkor a teljes napi átlag nullához igen közeli negatív érték, tehát Pestszentlőrincen igen kis mértékben, de valamelyest magasabb volt a napi átlaghőmérséklet, mint Ferencvárosban.

4. táblázat: A Péczely-féle makroszinoptikus osztályok (Péczely, 1983)

mCc	ciklon hátoldali áramlásrendszere
mCw	ciklon előoldali áramlásrendszere
CMc	mediterrán ciklon hátoldali áramlásrendszere
CMw	mediterrán ciklon előoldali áramlásrendszere
C	cikloncentrum a Kárpát-medence felett
Zc	zonális ciklonális áramlás
Ae	anticiklon Magyarországtól keletre
As	anticiklon Magyarországtól délre
Aw	nyugatról benyúló anticiklon
An	anticiklon Magyarországtól északra
AF	anticiklon Fennoskandinávia felett
AB	Anticiklon a Brit-szigetek felett
A	anticiklon a Kárpát-medence felett

Anticiklonális esetekben jellemző nyugodt légkörben kialakulnak nagyobb különbségek a belvárosi és külvárosi régiók között, ugyanis a levegő felmelegedése és lehülése nagy mértékben függ a helyi adottságoktól (felszínborítás, beépítettség). A két helyzet közötti különbségeket az 5. táblázat szemlélteti, mely alapján megállapítható, hogy a Ferencvárosban átlagosan 1,3 °C-kal magasabb a levegő hőmérséklete, mint Pestszentlőrincen. Ez az érték anticiklon esetén kissé magasabb (1,5 °C), ciklonális helyzetben pedig 0,5 °C-kal alacsonyabb. A makroszinoptikus helyzet tehát hatással van a teljes átlagokra is, de nagyobb

mértékben befolyásolja a maximumokat. Ciklon esetén ugyanis csak 2 °C az átlagos maximális hősziget (ami nem is mindig éjszaka alakul ki), míg anticiklon hatására 3,6 °C a maximumok átlaga.

5. táblázat: Anticiklonális és ciklonális helyzetek hősziget-intenzitást jellemző mérőszámainak átlaga

Makroszinoptikus időjárási helyzet	A 26 mérési alkalom mérőszámainak átlaga		
	Maximumok	Teljes átlag	23:45-9:45-ös átlag
Anticiklonális	3,6 °C	1,5 °C	2,1 °C
Ciklonális	2,0 °C	0,8 °C	0,9 °C
<i>Összes</i>	<i>3,2 °C</i>	<i>1,3 °C</i>	<i>1,8 °C</i>

## 5. Összefoglalás

A szakdolgozatomban a városi hatások legfontosabb szakirodalmának áttekintését követően Budapest városának hőmérsékletet és nedvességi viszonyokat módosító hatását vizsgáltam egy adott mérőpontra. Konkrét értékeket, különbségeket, napi és éves meneteket elemeztem, összefüggéseket keresve az időjárási helyzetekkel. Az elemzések alapján egyértelműen megállapítható, hogy a belvárosi, ferencvárosi Vendel sétánynál mért hőmérsékleti értékek szinte mindig magasabbak a külvárosi, pestszentlőrinci Marczell György Főobszervatórium mérésénél. Az összes mérési időszakra átlagolva ez az érték közel 1,5 °C.

A hősziget-intenzitás napi menetének vizsgálata során az anticiklonális és a ciklonális helyzeteket el kell különítenünk egymástól. Ha anticiklon középpontja helyezkedik el a Kárpát-medence felett, vagy Európa más részéről benyúlva meghatározza a térség időjárását, jellegzetes hősziget-intenzitás menetet a jellemző: éjszaka alakulnak ki a legnagyobb hősziget-intenzitások (2–5 °C), melyek értéke napkeltétől napnyugtáig csökken, így sokszor előfordul, hogy magas légnyomás esetén délutánra Pestszentlőrincen magasabb kis mértékben a hőmérséklet. Ciklonális esetekben ez a napi menet egyáltalán nem jelentkezik, a különbségek az esetleges csapadéktevékenység, nagyobb szélsebesség és felhőzetmennyiség miatt elmosódnak. Ilyen helyzetekben a napi menetek, ezáltal a napi maximum ideje is lényegében

véletlenszerű, a frontok áthaladásának idejétől függ. Ciklonális helyzetekben a felére csökken a napi maximális és a napi átlagos hősziget-intenzitás értéke is.

Az éves menetet tekintve egyértelműen látszik, hogy a rendelkezésre álló időszakok esetén nyáron a legnagyobb a hősziget-intenzitás a gyakori anticiklonális helyzetek, illetve a nyári anticiklonok jellemző időjárása miatt. A maximális hősziget intenzitások átlaga 1 °C-kal, az átlagos intenzitások pedig több mint 0,5 °C-kal haladják meg a tavaszi és őszi hőmérsékletkülönbségeket. Tavasszal a hősziget-intenzitások napi átlaga kis mértékben alacsonyabb, mint ősszel, míg ezen két évszak átlagos maximumai teljesen megegyeznek.

Az időjárási állapothatározók közül a legerősebb kapcsolat a felhőzetmennyiséggel adódott, amely meghatározza a potenciálisan kifejlődhető hőmérsékletkülönbséget. A napi hőingás mértéke is erős pozitív kapcsolatban áll a hősziget-intenzitással, míg a hőmérsékletértékek esetén gyenge pozitív kapcsolat állapítható meg, de ez nem általánosítható a teljes évre a téli mérések hiánya miatt. Egyértelmű negatív összefüggés figyelhető meg a hősziget-intenzitás és a nagyobb szélsébség között, míg a kisebb szélsébségek nem befolyásolják jelentősen a hőszigetet. A legfontosabb időjárási állapothatározók felhasználásával többváltozós lineáris regresszióval meghatároztam a maximális hősziget-intenzitás értékét kifejező egyenletet, mely az előrejelzések során akár a gyakorlatban is használható lehet (beváltását még külön részletes vizsgálatnak szükséges alávetni).

A légnedvességi mérőszámok mindegyike esetén jellemzően magasabb a külvárosban mért érték, ugyanakkor előfordulnak kivételes napok, amikor akár a teljes időszak alatt a belvárosban nagyobb a légnedvesség. A relatív páratartalom különbségeiben jelentősebb évszakai menet nem látható, a legtöbbször 0–15% közöttiek az eltérések. Az abszolút páratartalom különbségei nyáron a legnagyobbak, míg az alacsonyabb hőmérsékletű tavaszi és őszi napokon lényegesen alacsonyabbak, leginkább 0–0,5 g/m<sup>3</sup> között változnak. A gőznyomás és a harmatpont értéke is többnyire alacsonyabb a belvárosban. A magasabb hőmérséklet és alacsonyabb harmatpont miatt nyilvánvalóan a harmatpont-deficit értéke nagyobb a sűrűn beépített belvárosi területen.



## **Köszönetnyilvánítás**

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Pongrácz Ritának, hogy lehetőséget biztosított számomra a városklimatológiai kutatásba való bekapcsolódásra, az elmúlt két évben végig figyelemmel kísérte munkámat, iránymutatásával, észrevételeivel és hasznos tanácsaival segítette, hogy elkészülhessem ez a szakdolgozat.

Köszönet illeti a 2016–2017-es ferencvárosi helyszíni méréseket végző földtudományi szakos BSc hallgatókat.

A kutatásokat támogatta az OTKA K-109109 és K-120605 számú projektje, valamint az AGRÁRKLIMA2 (VKSZ 12-1-2013-0034) projekt.

## Irodalomjegyzék

- Baranka Gy., Dobi I. (2012): Városi hősziget vizsgálatok Budapest térségében. Magyar Meteorológiai Társaság Vándorgyűlése, 2012. augusztus 29-31, Debrecen
- Bartholy J., Dezső Zs., Gelybó Gy., Kern A., Pongrácz R., Radics K. (2013): Alkalmazott és városklimatológia. ELTE, Budapest. 179p. <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/AlkalmazottEsVarosklimatologia/book.pdf>
- Berényi D. (1948): Effect of house-blocks of towns on the fall of temperature at night, Meteorological Magazine, London, 77: pp. 277-278
- Blazejczyk K., Bakowska M., Wieclaw M. (2006): Urban heat island in large and small cities, in: 6th International Conference on Urban Climate June 12-16 2006, Göteborg, Sweden, p. 794-797
- Chandler, T. (1965): The climate of London. Republished by IAUC and available at [www.urban-climate.org](http://www.urban-climate.org).
- Dezső Zs., Bartholy J., Pongrácz R. (2005): Satellite-based analysis of the urban heat island effect. Időjárás, 109, pp. 217-232.
- Dezső Zs. (2009): A magyarországi és közép-európai nagyvárosokban kialakuló városi hősziget vizsgálata finom felbontású műholdképek alapján (doktori értekezés), ELTE, Budapest. p. 112
- Dezső Zs., Bartholy J., Pongrácz R., Lelovics E. (2012): Városi hősziget vizsgálatok műholdas és állomási adatok alapján. Légkör, 57, pp. 170-173.
- 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. (Pongrácz R., Mészáros R., Kis A. szerk.) Egyetemi Meteorológiai Füzetek, No.26. pp. 15-21. <http://nimbus.elte.hu/oktatas/metfuzet/EMF026/PDF/02-Dian-et-al.pdf>
- 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. (Pongrácz R., Mészáros R., Kis A. szerk.) Egyetemi Meteorológiai Füzetek, No.27, pp. 33-38. <http://nimbus.elte.hu/oktatas/metfuzet/EMF027/PDF/05-Dian-et-al.pdf>
- Göndöcs J., Breuer H., Pongrácz R., Bartholy J. (2017): Városi hősziget meghatározásának lehetőségei a WRF modell felhasználásával. Légkör, 62, pp. 165-170.
- Howard, L. (1833): The climate of London. Republished by IAUC and available at [www.urban-climate.org](http://www.urban-climate.org).
- Incze D. (2017): Budapest IX. kerületében végzett nyári mérési expedíció eredményei. TDK dolgozat (témavezető: Pongrácz R.), ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest. 40. p.
- Incze D. (2018): A zöldfelületek és a beépítettség szerepe a városi környezetben. Szakdolgozat (témavezető: Pongrácz R.), ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest. 45. p.
- Kratzer A. (1937): Das Stadtklima. Wissenschaft 90, Vieweg F. & Sohn, Braunschweig, Germany, 221 p.
- Kurcsics M. (2017): Városklimatológiai elemzés ferencvárosi és lágymányosi mérések alapján. TDK dolgozat (témavezető: Pongrácz R.), ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest. 38. p.
- Lelovics E., Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. (2011): Budapesti városi hősziget elemzése: műholdas és felszíni mérések összehasonlítása. Légkör, 56, pp. 55-59.
- Lelovics E., Unger J., Gál T., Gál C.V. (2014): Design of an urban monitoring network based on Local Climate Zone mapping and temperature pattern modelling. Climate Research, 60, pp. 51-62.
- Lelovics E., Unger J., Savic S., Gál T., Milosevic D., Gulyás Á., Markovic V., Arsenovic D., Gál Cs. (2016): Intra-urban temperature observations in two Central European cities: a summer study, Időjárás, 120., pp. 283-300.
- Lowry, W.P. (1977): Empirical estimation of urban effects on climate: A problem analysis. Journal of Applied Meteorology 16, pp. 129-135.

- Mészáros R. (2013): Meteorológiai műszerek és mérőrendszerek, ELTE, Budapest., 204 p.  
<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MeteorologiaiMuszerekEsMerorendszerek/book.pdf>
- Oke, T.R. (1967): City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7, pp. 769-779.
- Oke T.R. (1982): The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 108, pp 1-24.
- Oke, T.R. (1987): *Boundary layer climates*. Routledge, London-New York, pp. 435.
- Péczely Gy. (1983): Magyarország makroszinoptikus helyzeteinek katalógusa (1881-1983), Budapest 116p.
- Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. (2010): Application of remotely sensed thermal information to urban climatology of Central European cities. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, pp. 95-99.
- Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs., Dian Cs. (2016): Analysis of the air temperature and relative humidity measurements in the Budapest-Ferencváros. *Hungarian Geographical Bulletin*, 65, pp. 93-103.
- Pongrácz R., Dian Cs., Incze D., Kurcsics M., Dezső Zs., Bartholy J. (2017): Budapesti városklimatológiai helyszíni mérések elemzése. *Légekör*, 62., pp. 126-129.
- Probáld F. (1966): Budapest városklimája. *Földrajzi Közlemények*, pp. 310-323.
- Robaa S. M. (2003): Urban-suburban/rural differences over Greater Cairo, Egypt, *Atmosfera*, 16. 3.
- Stewart, I.D., Oke, T.R. (2012): Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, pp. 1879-1900.
- Szegedi S., Tóth T., Lázár I., László E. (2014): A városklíma jellegzetességei és hatásai, In: Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával. Akadémia Kiadó, Budapest, pp. 51-82
- Unger J. (1997): Lokális es mikroklímák. *JATE TTK, Éghajlattani es Tájföldrajzi Tanszék, Szeged*, pp. 135–153.
- Unger J., Lelovics E., Gál T. (2014a): Local Climate Zone mapping using GIS methods in Szeged. *Hungarian Geographical Bulletin*, 63, pp. 29-41.
- Unger J., Lelovics E., Gál T., Mucsi L. (2014b): A városi hősziget fogalom finomítása a lokális klímazónák koncepciójának felhasználásával – példák Szegedről, *Földrajzi Közlemények*, 138., pp. 50-63.
- Voogt J. A., Oke T. R. (2003): Thermal remote sensing of urban climates, *Remote Sensing of Environment*, 86., pp. 370-384.
- WMO, 1983: Abridged final report, 8th session. Commission for Climatology and Applications of Meteorology, World Meteorological Organization (WMO No. 600), Geneva
- WMO, 2014: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8. World Meteorological Organization, Geneva. 1139p.
- Zsebeházi G., Krüzselyi I., Szépszó G. (2015): Study of urban climatology over Budapest with SURFEX/TEB model at the Hungarian Meteorological Service. *ALADIN-HIRLAM Newsletter* 5, pp. 107–113.

## Internetes források

- [1 – International Association for Urban Climate] <http://www.urban-climate.org/>
- [2 – Időjárási napijelentések] [http://www.met.hu/idojaras/aktualis\\_idojaras/napijelentes/](http://www.met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes/)
- [3 – Szinoptikus meteorológiai táviratok] <http://www.ogimet.com/synops.phtml.en>
- [4 – Térképek] <https://www.google.hu/maps>
- [5 – UHI Városi hőszigetek] [http://www.met.hu/omsz/palyazatok\\_projektek/uhi/](http://www.met.hu/omsz/palyazatok_projektek/uhi/)