

Hőhullámos és normál nyári időszakok hőkomfort viszonyainak regionális és városi léptékű összehasonlítása

Regional and urban scale comparison of thermal conditions during heat waves and normal summer periods

Unger János, Skarbit Nóra, Gál Tamás

Szegedi Tudományegyetem Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék

Absztrakt

A tanulmány az emberi hőterhelés napközbeni változásait hasonlítja össze városi területen és környékén hőhullámos és normál nyári időszak során egy városi monitoring hálózat adatai alapján. Az összehasonlítás a léghőmérsékleten, valamint az ún. Fiziológiailag Ekvivalens Hőmérsékleten (PET), illetve ennek a helyi lakossághoz igazított hőérzeti kategóriáinak felhasználásán alapul. Az eredmények szerint regionális léptékben a két időszak között határozott különbség van a hőterhelési viszonyok tekintetében, ami nappal legalább egy PET-kategóriát jelent, míg éjszaka valamivel kisebb. Tehát egy ilyen extrém időszakban a lakosságot érő valós hőterhelés (PET) lényegesen nagyobb, mint ami a város környékén mért hőmérsékleti adatok alapján levonható. Városi léptékben az éjszakai órákban a hőhullám idején a legnagyobb (belvárosban kimutatható) PET értékek jelentősen meghaladták az N időszakban tapasztalható értékeket. Ezért javasolható, hogy a lakossági tájékoztatásokért felelős illetékesek a hőhullámokra vonatkozó figyelmeztetések során a léghőmérséklet helyett a valós termikus viszonyokat tükröző mérőszámokat használják, külön kiemelve a várható, erősebb hőterheléssel jellemezhető városi körülményeket. Az ilyen típusú eredmények értékes információkkal szolgálhatnak a várostervezők és döntéshozók számára a városklíma és a klímaváltozás káros hatásai elleni stratégiák kidolgozásához, az élfelhető települések kialakítása érdekében.

Kulcsszavak: hőhullám, hőérzet, regionális lépték, városi lépték, nappali és éjszakai helyzet

Abstract

The study compares the diurnal variation of human thermal conditions in and around an urban area during a heatwave to a normal summer period based on urban monitoring network data. The comparison is based on the air temperature and Physiologically Equivalent Temperature (PET), as well as the use of its thermal sensation categories adapted to the local population. According to the results, at the regional scale, there is a definite difference between the two periods in terms

of thermal heat load conditions, which means at least one PET-category during the day, but somewhat smaller at night. So, in such an extreme period, the real heat load (PET) on the population is significantly higher than what can be deduced based on the temperature data measured near the city. On an urban scale, at night during the heatwave, the highest PET values (detectable in the city center) significantly exceeded the values observed in the N period. Therefore, it can be recommended that the authorities providing information to the public use metrics describing real thermal conditions instead of air temperature during heatwave warnings, emphasizing the expected urban conditions characterized by stronger heat loads. This type of results can provide valuable information for urban planners and decision-makers to develop strategies against the adverse effects of urban climate and climate change, in order to create livable settlements.

Keywords: heatwave, thermal sensation, regional scale, urban scale, daily and nocturnal situations

1. Bevezetés

Noha a hőhullám (H) kifejezést az utóbbi évtizedekben egyre gyakrabban emlegetik nemcsak a szakirodalomban, hanem a mindennapi életben és a médiában is, nincs általánosan elfogadott definíciója, hiszen éghajlati övek, sőt országok szerint is változó, hogy mit tekintenek hőhullámnak az adott térségben. Ezért számos különböző H definíciót használnak szerte a világban. Általánosságban mondva, ez egy több napos időszakot jelent, szélsőségesen pozitív léghőmérsékleti (T) anomáliával, amely nemcsak a nappali, hanem az éjszakai órákban is előfordulhat (pl. Robinson 2001, Frich et al. 2002, Meehl és Tebaldi 2004, Pongácz et al. 2013, Hatvani-Kovacs és Boland 2015, McGregor et al. 2015, Hintz et al. 2018).

Noha alapvetően egy meteorológiai jelenségről van szó, fontosságát kiemeli, hogy igen nagy hatással lehet a társadalomra (Pascal et al. 2013). Ez a hatás közvetlenül jelentős hőterhelést jelent a lakosságra nézve, ezért komoly egészségügyi kockázata van, valamint közvetve károkat okozhat többek között az energiaellátásban, az infrastruktúra hálózatokban és az ökoszisztémákban, ami összességében az emberi/társadalmi jólét csökkenését eredményezi (Robinson 2001, Chapman et al. 2013, McGregor et al. 2015, Hatvani-Kovacs et al. 2018).

A H időszakok vizsgálatának alapvetően kétféle útja lehetséges. Egyrészt, hatásait utólag lehet és kell is vizsgálni, feltárva a meteorológiai, valamint az emberi (pl. mortalitás/morbiditás, sürgősségi betegfelvételek, stb.) és a gazdasági adatok (pl. energiafogyasztás, infrastrukturális károk) kapcsolatát (pl. Kovacs és Ebi 2006, Kovacs és Hajat 2008, Tong et al. 2010, Chapman et al. 2013, Bobvos et al. 2015). Másrészt, előrejelző és figyelmeztető rendszereket lehet és kell is kifejleszteni. Ezek a meteorológiai előrejelzéseken alapuló rendszerek korai

figyelmeztetést adnak a H-helyzetek előfordulására, és a megfelelő (hatósági, egyéni) megelőző intézkedések életbe léptetésével jelentősen csökkenthetik azok társadalomra gyakorolt ártalmas hatásait (elsősorban egészségügyi vonalon) (pl. Kovats és Ebi 2006, Lowe 2011, Pascal et al. 2013, McGregor et al. 2015). Fontos megjegyezni, hogy egy ilyen rendszer hatékony működése az adott régióban vagy városban azon múlik, hogy a kifejlesztése során mennyire veszik figyelembe a helyi adottságokat (pl. klíma, egészségügyi és közlekedési hálózat, lakásállomány állapota, stb.).

Az erősen beépített, ezért kevésbé zöld városok lakói jobban szenvednek a hőhullámoktól, mint az általában több növényzettel rendelkező vidéki területeken lakók, mivel a településeknek van egy további hőmérséklet-emelő hatása, az úgynevezett városi hősziget (UHI), amely súlyosbíthatja a H-időszakok hatásait (Haines et al. 2006, Hatvani-Kovacs et al. 2018, Hintz et al. 2018). Ez a hőtöbblet különösen veszélyes lehet az éjszakai órákban, mivel kifejlődése ekkor a legnagyobb mértékű, és így egy kritikus küszöb fölé emelheti a minimum hőmérsékletet, magasabb halálozási arányt okozva ebben az időszakban (Kovats és Hajat 2008, Lowe et al. 2011, McGregor et al. 2015). Mind a hőhullám, mind pedig a hősziget erőteljes kifejlődése szempontjából elsősorban a nagy léptékű anticiklonáris szinoptikus helyzetek a kedvezőek (Mika 2012), tehát egyidejűleg ekkor a legerősebbek, ráadásul Li és Bou-Zeid (2013) vizsgálatai szerint szinergikus hatásuk a városokban még nagyobb hőterhelést eredményez, mint terheléseik egyszerű számtani összege.

Az éghajlatváltozással összefüggésben a szélsőséges hőségperiódusok az előrejelzések szerint intenzívebbé és gyakoribbá válnak a következő évtizedekben (pl. Meehl és Tebaldi 2004, Kovats és Hajat 2008, Li és Bou-Zeid 2013, McGregor et al. 2015). E három hőterhelő tényező egyidejű kombinációja, valamint a városok szerkezetének és anyagainak nagy heterogenitása, és az ott folyó antropogén tevékenységek következtében jelentős városon belüli termikus különbségek alakulhatnak ki, „forró pontokat” létrehozva, ahol a hőterhelés rendkívül magas lehet (McGregor et al. 2015). Ez igencsak szükségessé és nagyon fontossá teszi a városi H-események időbeli változásának és városon belüli hatásainak tanulmányozását, részben aktuális mérési adatokra, részben pedig a jövőre vonatkozó modelleredményekre támaszkodva.

A fentiekkel összhangban jelen tanulmány fő célja az, hogy összehasonlítsa egy nagyon megterhelő hőhullámos időszak (H) hőkomfort viszonyait egy normál nyári időszak (N) viszonyaival az év azonos szakában mind a régióra, mind pedig a városra (Szeged) vonatkozóan az itt telepített városklíma monitoring hálózat adatai alapján. Az elemzés a léghőmérséklet (T) és az egyik humán bioklimatológiai index, a Fiziológiailag Ekvivalens Hőmérséklet (PET – Physiologically Equivalent Temperature, Mayer és Höppe 1987) felhasználásával történik.

2. Anyag és módszer

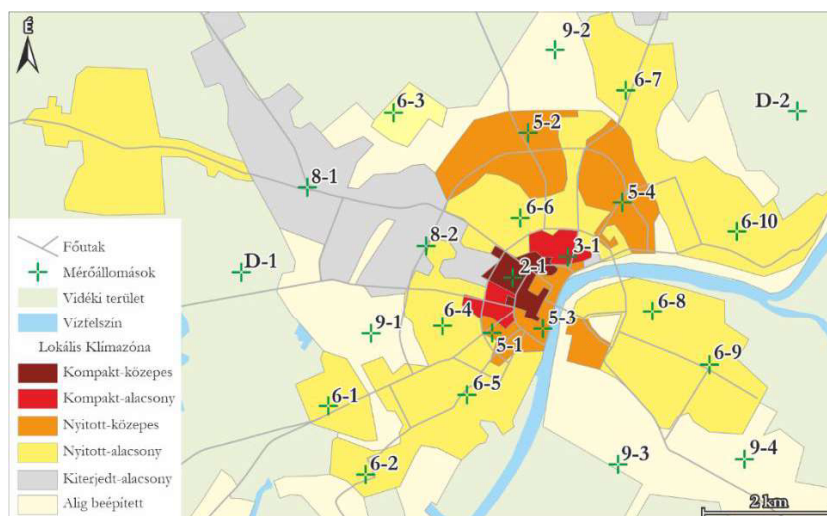
2.1. Vizsgált terület, városklíma állomáshálózat

Szeged az ország dél-keleti részén (46°É, 20°K), sík terepen fekszik, mintegy 80 m tengerszint feletti magasságban. A régió a Köppen-féle Cfa (mérsékelt, nincs száraz évszak, a nyár meleg) éghajlati típusba tartozik (Köppen 1918, 1. táblázat). A városnak 162 000 lakosa van, urbanizált területe kb. 40 km²-en terül el, melyet a sűrűn és közepesen magas beépítésű központ, nagy panel lakótelepek, családi házas övezetek, valamint bevásárlóközpontok és ipari/raktárházak területek alkotnak. A környező területek többnyire szántóföldek, helyenként ligetekkel (Unger és Gál 2017).

1. táblázat A szegedi régió klimatikus jellemzői a CRU TS v4.03 adatbázis alapján (Harris et al. 2014)

Éves $T_{\text{közép}}$	11,9°C
Legmagasabb havi $T_{\text{közép}}$ (július)	22,7°C
Legalacsonyabb havi $T_{\text{közép}}$ (január)	0,4°C
Éves csapadékmennyiség	508 mm

Szegeden egy 24 állomásból álló városklíma monitoring hálózat működik 2014 óta (Unger et al. 2014, 2017). A hálózat kiépítése során az állomáshelyek kiválasztása elsősorban a városban és környékén előforduló lokális klímazónák (LCZ) térbeli mintázatán alapult (Stewart és Oke 2012), annak érdekében, hogy feltárja e zónák eltérő termikus jellemzőit (Lelovics et al. 2014) (1. ábra). Közülük kettő (D-1 és 5-1) már korábban is működött az Országos Meteorológiai Szolgálat kezelésében. Összességében 22 állomás képviseli Szeged eltérő beépítésű városi területeit, míg a D-1 és D-2 állomások a városkörnyéki, vidéki környezetet. A hálózat mérőrendszerét, az adattovábbítást és az adatfeldolgozást Unger et al. (2015, 2017) tárgyalja részletesen.



1. ábra A monitoring hálózat elemei és az LCZ-típusok területi eloszlása Szegeden és környékén

2.2. Hőhullám definíciója, mérőszámai

A szegedi régió hőhullámos időszakaira fókuszálva a számos H definícióból hármat választottunk ki. Az első definíció klímazónától függetlenül használható (Frich et al. 2002). A második hazánkra érvényes és ez a 2005-ben bevezetett hőségriasztási rendszer alapja (Bobvos et al. 2015). Három szintje van, közülük a két legmagasabb vonatkozik többnapos időszakokra. A javaslatunk szerinti harmadik definíció, annak érdekében, hogy figyelembe vegyük az egyszerre fellépő erőteljes nappali és éjszakai hőterhelést, a napi maximum és minimum hőmérsékletek küszöbértékeivel kapcsolatos: a legalább 5 napos időszak minden napja megfelel két klímaindex, az úgynevezett nyári nap és a trópusi éjszaka kritériumainak (2. táblázat).

2. táblázat Néhány hőhullám definíció

Név	Definíció	Forrás
H1	min. 5 egymást követő nap, ahol a napi $T_{\max} > 5^{\circ}\text{C}$, mint az 1961–1990 normál időszakra vonatkozó napi $T_{\max}$	Frich et al. (2002)
H2 (Hőségriasztás 3)	min. 3 egymást követő nap, ahol a napi $T_{\text{közép}} > 27^{\circ}\text{C}$	Bobvos et al. (2015)
H3	min. 5 egymást követő nap, ahol a napi $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ (nyári nap) és a napi $T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$ (trópusi éjszaka)	javaslatunk

Eddig kizárólag csak a T-t vettük figyelembe a hőterhelés és a hőhullámok meghatározása szempontjából, ahogyan az ebben a tanulmányban idézett cikkek

többsége is (pl. Tong et al. 2010). Azonban, az emberi test és termikus környezete közötti hőcsere, és ennek eredményeként az emberi hőérzet meghatározója nemcsak a környező levegő hőmérséklete, hanem a rövid- és hosszúhullámú sugárzási, a légnedvességi és a légáramlási viszonyok is, együttesen. Komplex hatásukat az emberi energiamérlegen alapuló modellekből levezetett különböző bioklimatológiai indexek értékei közelítik, így megbízhatóbb mérőeszközei az emberi hőérzetnek, mint az önmagában vett léghőmérséklet (pl. Höppe 1993, McGregor et al. 2015). Az egyik leggyakrabban használt ilyen mutató az 1. fejezetben már említett PET (pl. Konstantinov et al. 2014).

Jelen esetben is a PET-en alapul a hőérzet elemzése. Az óránkénti PET értékeket a RayMan szoftverrel számoltuk ki, amelyhez T, relatív páratartalom (RH), felhőzet (C), szélesebesség (u), valamint hely és dátum adatok szükségesek (Matzarakis et al. 2007, 2010). A PET értékek kiszámítási eljárását, valamint a hazai lakossághoz kalibrált PET-kategóriák bemutatását egy korábbi tanulmányunk részletezi (Unger et al. 2018), amelyben több éves adatbázisok alapján értékeltük és hasonlítottuk össze a különböző beépítésű LCZ-k kültéri hőterhelési viszonyait (3. táblázat).

3. táblázat Az egész évre érvényes eredeti hőérzeti kategóriák (*Matzarakis és Mayer, 1996), valamint a hazai lakossághoz kalibrált nyári kategóriák (**Kovács et al. 2016) és tartományaik

Kategóriák (PET, °C tartományokkal)	hideg	hűvös	enyhén hűvös	semleges	enyhén meleg	meleg	forró
*év	4–8	8–13	13–18	18–23	23–29	29–35	35–41
**nyár	-	-13.1	13.1–17.3	17.3–22.4	22.4–28.9	28.9–41.4	41.4–

2.3. A vizsgált időszakok kiválasztása

Mivel a városi hálózat 2014 óta működik, így több nyárra állnak rendelkezésre adatok a 24 állomásról. Ezen nyári hónapokból két 5 napos időszakot választottunk ki, amelyek közül az egyik normál nyári időszaknak (N), míg a másik az extrém hőterhelés időszakának tekinthető a régióban, vagyis a helyi klimatikus adottságok alapján egy hőhullámos periódus (H).

Technikai problémák miatt időnként hiányok adódtak a hálózat egyes állomásainak adatsorában. A kiválasztás során ezeket a hiányokat teljes mértékben figyelembe véve, és a három H definíciót speciálisan minden napra, valamint az 5 napos átlagokra alkalmazva (ez kis eltérés az eredeti definícióktól), a H és N időszakok kiválasztási kritériumai a következők voltak:

- a) ugyanabba a naptári időszakba essenek (az ugyanolyan napállás és naphossz érdekében);
- (b) a H időszak napjai feleljenek meg a három H definíció közül legalább az egyiknek;
- (c) az N időszak napjai ne feleljenek meg egyik H definíciónak sem;
- (d) a H időszak 5 napos átlagos T értékei feleljenek meg a három H definíció közül legalább kettőnek;
- (e) az N időszak 5 napos átlagos $T_{\max}$ értékei ne térjenek el jelentősen a referencia-időszak 30 éves átlagától (itt nem a Frich et al. (2002) által javasolt 1961–1990-et, hanem egy jóval közelebbit, az 1981–2010-es időszakot vettük, az OMSz (2015) adatbázisa alapján).

E kritériumok alapján a kiválasztott naptári időszak július és augusztus fordulójára esik (július 30-tól augusztus 03-ig), az N időszak 2014-ben, a H pedig 2017-ben van. A 4. táblázat tartalmazza a kiválasztott időszakok napi termikus jellemzőit, és jelzi (+ ill. – jelekkel), hogy a napok és maguk a teljes időszakok mennyire felelnek meg 2. táblázatban definiált H periódusok termikus feltételeinek.

4. táblázat A kiválasztott időszakok napi és 5 napos termikus jellemzői (°C) (D-1 állomás adatai)

Dátum		Napi			Anomália $T_{\max}^*$	H1	H2	H3
		$T_{\text{közép}}$	$T_{\max}$	$T_{\min}$				
2014	07.30	24,5	29,7	19,3	1,1	–	–	–
	07.31	21,1	24,7	17,5	-5,3	–	–	–
	08.01	23,5	29,1	18,0	-0,7	–	–	–
	08.02	24,3	30,9	17,7	1,4	–	–	–
	08.03	24,4	30,9	17,9	0,5	–	–	–
5 napos közepek		23,6	29,1	18,1	-0,3	–	–	–
2017	07.30	24,2	33,4	15,0	4,6	–	+	–
	07.31	26,9	33,1	20,7	3,1	–	+	+
	08.01	28,3	36,1	20,5	6,3	+	+	+
	08.02	28,1	37,0	19,1	7,5	+	+	–
	08.03	29,0	38,0	20,0	7,6	+	+	+
5 napos közepek		27,3	35,5	18,1	5,8	+	+	–

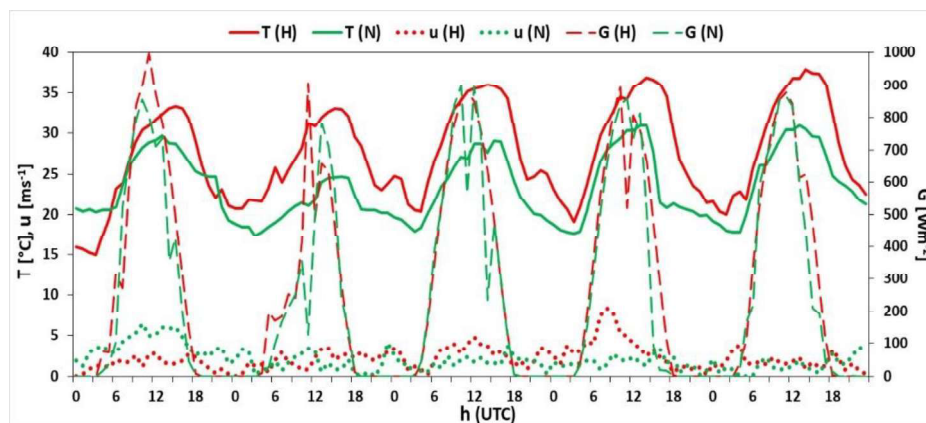
* az 1981–2010 közötti napi $T_{\max}$ normáltól való eltérés a H1 definícióhoz (D-1 állomás, OMSz (2015) adatbázis)

Az időszak középső napját (08.01) tekintve a napkelte és a napnyugta 03:20, illetve 18:10 UTC-kor van, amit – a ± 2 nap alatti minimális időeltolódás miatt – a többi 4 napra is vonatkoztattunk.

3. Eredmények

3.1. Meteorológiai körülmények a vizsgált időszakokban

A 2. ábra a szegedi régióban uralkodó meteorológiai viszonyok napi változásait mutatja be a vizsgált időszakokban. Az ábra szerint a besugárzás (G) napi menete jellemzően szabályos harang alakot követ, de a nappali órákban ezt az alakzatot olykor felhők zavarják meg, főleg az N időszakban. Nincs jelentős tendencia az egymást követő napok során és a két időszak között nincs számottevő különbség, kivéve az első napot, amikor a G rendkívül magas, közel 1000 Wm^{-2} értéket ér el a hőhullám során (a legnagyobb, 140 Wm^{-2} körüli különbség a nap közepén tapasztalható).



2. ábra A léghőmérséklet (T), szélesség (u) és globálisugárzás (G) napi menete az N és H időszakokban (adatok – D-1 állomás, 2014/2017. 07.30–08.03)

Az első napi néhány óra kivételével a T mindig magasabb a H időszakban ($33,1\text{--}38,0^\circ\text{C}$ között van a csúcserték), a legnagyobb eltérések nappal (jellemzően $8\text{--}9^\circ\text{C}$), míg a legkisebbek a kora reggeli órákban ($2\text{--}3^\circ\text{C}$) jelentkeznek. Mindkét periódusban az idő múlásával egy melegedő tendencia figyelhető meg, ami csak a második napon törik meg a napközbeni nagyobb felhőzet miatt (csak az N időszakban, lásd a G görbét). A szél (u) végig mérsékelt marad (jellemzően $0\text{--}3 \text{ ms}^{-1}$ között), csak néhány kiugró érték jelentkezik az első és a negyedik napon ($\sim 5 \text{ ms}^{-1}$).

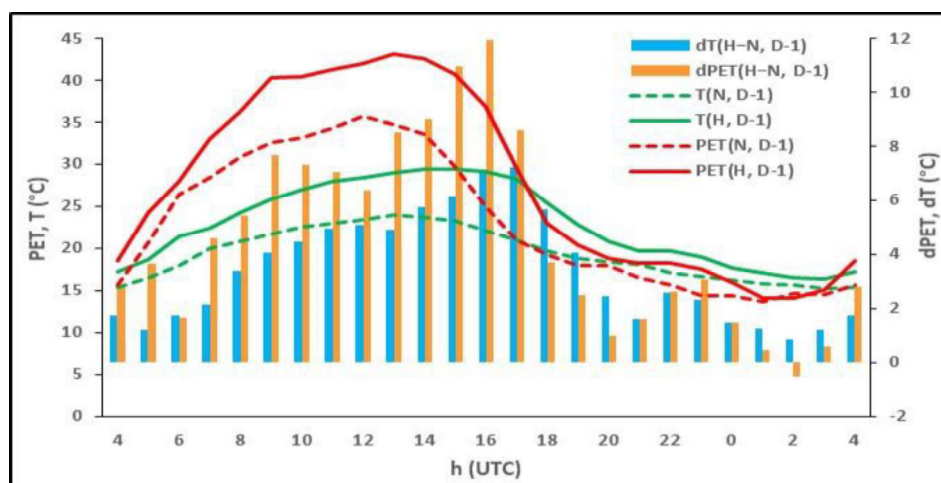
Tehát elmondható, hogy mindkét vizsgált időszakban a G , T és u adatok viszonylag tiszta és nyugodt időjárási viszonyokra utalnak, elősegítve ezzel a felszíni adottságok (LCZ-k) mikro/lokális klimatikus hatásainak érvényre jutását,

így lehetővé téve a kültéri hőterhelés városon belüli és kívüli eltérő mértékű megjelenését.

3.2. Regionális napi (24h) különbségek

A két időszak napi (24 órás) hőterhelési változásai regionális jellemzőinek összehasonlítása érdekében megvizsgáljuk a T és a PET 5 napos óránkénti átlagait és azok óránkénti különbségeit (dT és dPET) 04 UTC-től kezdődően (napkelte 03:20 UTC).

A 3. ábra piros görbéi szerint a H időszakban az óránkénti átlagos PET értékek mindig magasabbak, mint az N időszakban, de napi ingadozásuk hasonló. Jelentős reggeli felmelegedési trend figyelhető meg, és ezt követően 12-13 UTC-kor jelennek meg a legmagasabb értékek, amit viszonylag meredek csökkenés követ napnyugtáig (18 UTC), amikor a csökkenés üteme mérséklődik 01 UTC-ig, majd rövid stagnálás után napkeltekor (03-04 UTC) újra beindul a felmelegedés.



3. ábra Az 5 napos óránkénti PET és T átlagok, valamint különbségeik (dPET and dT) napi (04→04 UTC) menete az N és a H időszakban (adatok – D-1 állomás)

A H időszakban a 06-17 UTC közötti órák a *meleg* hőérzet kategóriába, sőt, ezen belül, 11-14 UTC között a magasabb, *forró* kategóriába tartoznak (a legnagyobb PET érték 43,2°C) (lásd 3. táblázat). Ezzel szemben az N időszakban a *meleg* hőérzeti viszonyok csak 07 és 15 UTC között uralkodnak, és az értékek a kategória alsó felében mozognak (a legmagasabb PET érték 35,7°C). Az éjszakát az N időszakban már túlnyomórészt *enyhén hűvös*, míg a másikban inkább még a *semleges* kategória jellemzi (3. ábra, piros görbék). A két időszak T napi menetei hasonlóak, azzal a különbséggel, hogy mindössze a 29,5°C, ill. a 24,1°C-os átlagos maximális értékeket éri el (3. ábra, zöld görbék).

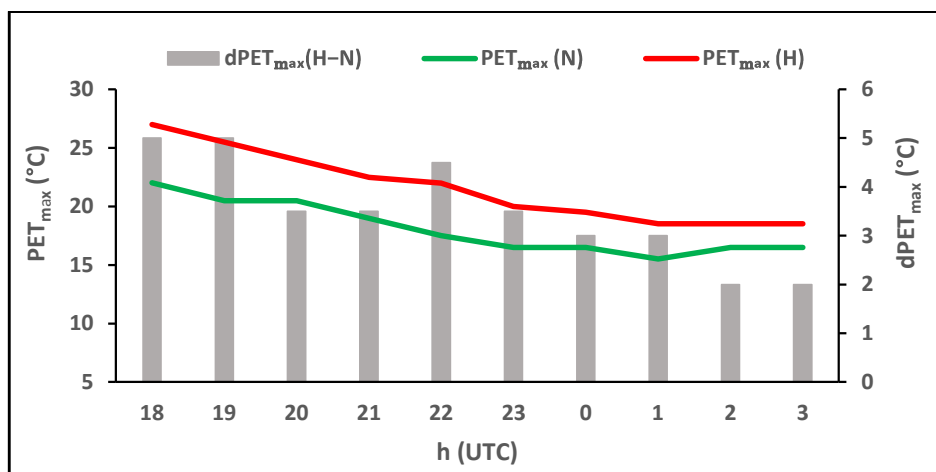
Ami az óránkénti különbségeket illeti, a napkeltétől 12 UTC-ig mérsékelt dPET (1,7–7,7°C) tapasztalható az időszakok között (3. ábra, sárga oszlopok). Ezután a dPET növekszik, és maximumát 16 UTC-kor éri el (11,9°C). Napnyugtakor (18 UTC) már csak 3,7°C a különbség, és hajnalig ezen érték alatt marad. A nappali és az éjszakai dPET értékek között figyelemreméltó a különbség, hiszen nappali átlag 6,8°C, míg az éjszakai csak 1,7°C.

Emellett érdekes és érdemes összehasonlítani a regionális H–N hőérzet-különbségeket az egyszerű T-különbségekkel (3. ábra, sárga és kék oszlopok) a két időszak között. Főleg a nappali órákban vannak jelentős eltérések (1,2–7,2°C, átlagosan 4,5°C) éjszaka a különbség mérsékelt (0,9–4,1°C, átlagosan 1,9°C).

Tehát, egy ilyen extrém időszakban a lakosságot érő – PET értékekben megjelenő – valós hőterhelés lényegesen nagyobb, mint ami a város környékén mért T adatokból levezethető. Azonban általában ezek a T-adatok azok, amelyek megjelennek a nyilvánosság számára a médiában, egy adott H helyzet súlyosságát, illetve egy nyári N időszak viszonylag kedvező viszonyait szemléltető adatokként.

3.3. Éjszakai városi különbségek

Ebben a fejezetben a két időszakban tapasztalható éjszakai (18-tól 03 UTC-ig terjedő), óránkénti hőérzet-változások további főbb jellemzőit hasonlítjuk össze. Ennek érdekében megvizsgáljuk az alkalmazott indexnek a városi forró pontokban lévő, tehát a vizsgált városi területen kimutatható legmagasabb értékeinek (PET_{max}) 5 napra vonatkozó átlagait és azok különbségeit ($dPET_{max}$), ezzel is alátámasztva a H időszak nagyobb városi hőterhelését (4. ábra).



4. ábra Az 5 napos óránkénti területi átlagos PET_{max} , valamint különbségeik ($dPET_{max}(H-N)$) éjszakai (18→03 UTC) menete az N és H időszakban (a vizsgált városi területen)

A 4. ábra szerint az óránkénti átlagos PET_{max} értékek a H időszakban mindig magasabbak, de éjszakai menetük hasonló, ugyanis a napnyugtakori kiindulási értékektől (*enyhén meleg* és *semleges* kategória) kiindulva, a várakozásnak megfelelően, egy lehűlési tendencia figyelhető meg (lásd 3. táblázat). Ezt követően a legkisebb értékek 01-02 UTC között jelennek meg (*semleges* és *enyhén hűvös* kategória), majd e rövid stagnálás után 03 UTC-től (napkelte előtt) újra beindul a melegedés.

4. Összegzés, következtetések

A tanulmányban az emberi hőérzeti viszonyok napi (24 órá), illetve éjszakai változását hasonlítottuk össze egy hőhullámos (H) és egy normál (N) nyári időszakban regionális ill. városi szinten, Szeged és régiója példáján keresztül. Az elemzés a léghőmérséklet (T), valamint a Fiziológiailag Ekvivalens Hőmérséklet (PET) – mint releváns termikus mérőszámok – felhasználásával, a szegedi városklíma monitoring hálózat adatsorain alapult. Az eredmények szerint:

* Regionális léptékben határozott különbség volt kimutatható az emberi hőérzet szempontjából a két időszak között, amely szerint a H időszak hőterhelése nappal legalább egy PET-kategóriával erősebb, míg éjszaka ennél valamivel kisebb volt. Egy ilyen extrém időszakban a lakosságot érő valós hőterhelés (PET) lényegesen nagyobb, mint ami a város környékén mért T adatokból levezethető.

* Városi léptékben az éjszakai órákban a hőhullám idején a legnagyobb (belsővárosban kimutatható) PET értékek jelentősen meghaladták az N időszakban tapasztalható értékeket.

Ezért, megfontolandónak tartjuk, sőt erősen ajánljuk, hogy a lakossági tájékoztatások során az illetékes hatóságok és szervezetek a hőhullámokra vonatkozó előrejelzéseknél, illetve figyelmeztetéseknél a léghőmérséklet helyett a valós termikus viszonyokat tükröző bioklimatológiai mérőszámokat használják, külön kiemelve a várható, erősebb hőterheléssel jellemezhető városi körülményeket.

Az ilyen típusú eredmények értékes információkkal szolgálhatnak a várostervezők és döntéshozók számára a városklíma és a klímaváltozás káros hatásai elleni stratégiák kidolgozásához, az élhető települések kialakítása érdekében.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (K-137801) támogatta.

Irodalomjegyzék

- Bobvos J, Fazekas B, Páldy A, 2015. Assessment of heat-related mortality in Budapest from 2000 to 2010 by different indicators. *Időjárás* 119, 143–158.
- Chapman L, Azevedo JA, Prieto-Lopez T, 2013. Urban heat & critical infrastructure networks: A viewpoint. *Urban Climate* 3, 7–12
- Frich P, Alexander LV, Della-Marta P, Gleason B, Haylock M, Klein Tank AMG, Peterson T, 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research* 19, 193–212.
- Haines A, Kovats RS, Campbell-Lendrum D, Corvalan C, 2006. Climate change and human health: impacts, vulnerability, and mitigation. *Lancet* 367, 2101–2109
- Harris I, Jones PD, Osborn TJ, Lister DH, 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology* 34, 623–642.
- Hatvani-Kovacs G, Boland J, 2015. Retrofitting precincts for heatwave resilience: challenges and barriers in Australian context. *Challenges* 6, 3–25.
- Hatvani-Kovacs G, Bush J, Sharifi E, Boland J, 2018. Policy recommendations to increase urban heat stress resilience. *Urban Climate* 25, 51–63.
- Hintz MJ, Luederitz C, Lang DJ, von Wehrden H, 2018. Facing the heat: A systematic literature review exploring the transferability of solutions to cope with urban heat waves. *Urban Climate* 24, 714–727.
- Höppe P, 1993. Heat balance modelling. *Experientia* 49, 741–746.
- Konstantinov PI, Varentsov MI, Malinina EP, 2014. Modeling of thermal comfort conditions inside the urban boundary layer during Moscow’s 2010 summer heat wave (case-study). *Urban Climate* 10, 563–572.
- Kovács A, Unger J, Gál CV, Kántor N, 2016. Adjustment of the thermal component of two tourism climatological assessment tools using thermal perception and preference surveys from Hungary. *Theoretical and Applied Climatology* 125, 113–130.
- Kovats RS, Ebi KL, 2006. Heatwaves and public health in Europe. *European Journal of Public Health* 16, 592–599.
- Kovats RS, Hajat S, 2008. Heat stress and public health: A critical review. *Annual Review of Public Health* 29, 41–55.
- Köppen W, 1918. Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. *Pettersman Geographische Mitteilungen* September/Okttoberheft, 194–203.
- Lelovics E, Unger J, Gál T, Gál CV, 2014. Design of an urban monitoring network based on Local Climate Zone mapping and temperature pattern modelling. *Climate Research* 60, 51–62.
- Li D, Bou-Zeid E, 2013. Synergistic interactions between urban heat islands and heat waves: The impact in cities is larger than the sum of its parts. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 52, 2051–2064.

- Lowe D, Ebi KL, Forsberg B, 2011. Heatwave early warning systems and adaptation advice to reduce human health consequences of heatwaves. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 8, 4623–4648.
- Matzarakis A, Mayer H, 1996. Another kind of environmental stress: thermal stress. *WHO Newsletter* 18, 7–10.
- Matzarakis A, Rutz F, Mayer H, 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 51, 323–334.
- Matzarakis A, Rutz F, Mayer H, 2010. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 54, 131–139.
- Mayer H, Höppe P, 1987. Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology* 38, 43–49.
- McGregor GR, Bessemoulin P, Ebi K, Menne B (eds), 2015. Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. WMO-No. 1142, World Meteorological Organization – World Health Organization, ISBN 978-92-63-11142-5
- Meehl GA, Tebaldi C, 2004. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science* 305, 994–997.
- Mika J, 2012. A globális klímaváltozás és a városi hősziget összefüggései. In: Kerekes S, Jámor I (szerk.) Fenntartható fejlődés, élhető régió, élhető települési táj 1. Budapest, Budapesti Corvinus Egyetem, 139–155.
- OMSz, 2015. Éghajlati adatsorok, Szeged. OMSz, Budapest, http://met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok/
- Pascal M, Wagner V, Le Tertre A, Laaidi K, Honoré C, Bénichou F, Beaudeau P, 2013. Definition of temperature thresholds: the example of the French heat wave warning system. *International Journal of Biometeorology* 57, 21–29.
- Pongrácz R, Bartholy J, Bartha EB, 2013. Analysis of projected changes in the occurrence of heat waves in Hungary. *Advances in Geosciences* 35, 115–122.
- Robinson, 2001. On the definition of a heat wave. *Journal of Applied Meteorology* 40, 762–775.
- Stewart ID, Oke TR, 2012. Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bulletin of American Meteorological Society* 93, 1879–1900.
- Tong S, Wang XY, Barnett AG, 2010. Assessment of heat-related health impacts in Brisbane, Australia: Comparison of different heatwave definitions. *PLoS ONE* 5(8), e12155.
- Unger J, Savić S, Gál T, Milosević D, 2014. Urban climate and monitoring network system in Central European cities. Novi Sad, 101 p, ISBN:987-86-7031-341-5
- Unger J, Gál T, 2017. Városhőklíma. Szeged városklimatológiai vonatkozásai. Geolitera, Szeged, 256 p, ISBN: 978-963-306-541

- Unger J, Skarbit N, Gál T, 2017. Szegedi városklíma mérőállomás-hálózat és információs rendszer. *Légekör* 61, 114–118.
- Unger J, Gál T, Csépe Z, Lelovics E, Gulyás Á, 2015. Development, data processing and preliminary results of an urban human comfort monitoring and information system. *Időjárás* 119, 337–354.
- Unger J, Skarbit N, Gál T, 2018. Evaluation of outdoor human thermal sensation of local climate zones based on long-term database. *International Journal of Biometeorology* 62, 183–193.

SZERZŐK

Dr. Unger János DSc, egyetemi tanár, Szegedi Tudományegyetem Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, városklimatológia, városi humán bioklimatológia
e-mail: unger@geo.u-szeged.hu

Dr. János Unger DSc, full professor, Department of Climatology and Landscape Ecology, University of Szeged, urban climatology, urban human bioclimatology,
e-mail: unger@geo.u-szeged.hu

Dr. Skarbit Nóra PhD, tudományos munkatárs, Szegedi Tudományegyetem Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, városklíma-modellezés
e-mail: skarbitn@geo.u-szeged.hu

Dr. Skarbit Nóra PhD, research fellow, Department of Climatology and Landscape Ecology, University of Szeged, urban climate modelling,
e-mail: skarbitn@geo.u-szeged.hu

Dr. Gál Tamás PhD, tszv. egyetemi docens, Szegedi Tudományegyetem Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, városklimatológia, időjárás és klímamodellezés városi léptékben, térinformatika városklimatológiai alkalmazásai
e-mail: tgal@geo.u-szeged.hu

Dr. Gál Tamás PhD, associate professor, head of department, Department of Climatology and Landscape Ecology, University of Szeged, urban-scale weather and climate modelling, application of geoinformatics in urban climatology
e-mail: tgal@geo.u-szeged.hu