

## BUDAPEST NAPI KÖZÉPHŐMÉRSÉKLETÉNEK ENERGETIKAI CÉLÚ VIZSGÁLATA

Dian Csenge <sup>(1)</sup> , Talamon Attila <sup>(2)</sup> , Bartholy Judit <sup>(1)</sup> , Pongrácz Rita <sup>(1)</sup> 

<sup>(1)</sup> ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.

<sup>(2)</sup> Energiatudományi Kutatóközpont, 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.  
e-mail: dian.csenge@caesar.elte.hu, talamon.attila@energia.mta.hu, bartholy@caesar.elte.hu,  
prita@nimbus.elte.hu

### Bevezetés

Az ELTE Meteorológiai Tanszékén évtizedek óta folynak városklimatológiai kutatások. Ezek főként a beépített városi területek és a külvárosi területek között kialakuló hőmérséklet különbséget, a városi hősziget jelenségét vizsgálták (Oke, 1973). A hősziget-intenzitás elsődlegesen léghőmérséklet méréseken alapul, abból származtatható az intenzitás. A nemzetközi (Klysis & Fortuniak, 1999; Beranová & Huth, 2005; Bokwa et al., 2018) és hazai szakirodalomban (Gál et al., 2016; Dian et al., 2019) egyaránt számos kutatás foglalkozik a klasszikus értelemben vett városi hőszigettel. A másik vizsgálati módszer a műholdas adatokon alapuló hősziget-intenzitás elemzések (Voogt & Oke, 2003; Pongrácz et al., 2010; Schwarz et al., 2011).

A hősziget-intenzitás mellett egyre fontosabbak lesznek az egyéb városklimatológiai kutatások, például a hőterhelés (Bokwa et al., 2019), valamint az energetikai célú vizsgálatok. Az energiafogyasztás kb. 40%-át az épületek teszik ki, melyek a városokban értelemszerűen koncentráltan vannak jelen. Az épület energetikában különösen fontos szerepe van az időjárásnak, hiszen a komfortos beltéri környezet biztosításához szükséges energia nagymértékben függ a kültéri környezet állapotától, elsősorban a hőmérséklettől. Éppen ezért a fűtési és hűtési berendezések tervezésénél a legfontosabb műszaki paraméterek meghatározásakor figyelembe veszik az átlagos napi középhőmérsékleteket. A fűtési és hűtési idény szintén fontos része az épület energetikának, azonban ezen időszakok kezdetére és végére többféle definíció is létezik. A 157/2005. (VIII.15.) Kormányrendelet<sup>1</sup> 3. mellékletének 2.1.7. pontja alapján a fűtési időszak: az év szeptember 15. napja és a következő év május 15. napja közötti időszak. A FŐTÁV Zrt.<sup>2</sup> ezt három szakaszra osztja: előfűtési időszak (szeptember 15. – október 14.), fűtési időszak (október 15. – április 15.) és utófűtési időszak (április 16. – május 15.). Emellett számos nem hivatalos definíció létezik, melyek különböző hőmérsékleti küszöbértékekhez rögzítik a fűtési idény kezdetét, illetve végét. A fűtési idényen kívüli időszakot nevezzük hűtési idénynek.

Legújabb, városklímával kapcsolatos kutatásunk célja az épület energetikát befolyásoló meteorológiai, éghajlati változások elemzése, a fűtési és hűtési idény hőmérséklet alapú vizsgálata több magyar nagyvárosra vonatkozóan. Ebben a tanulmányban az első eredményeket mutatjuk be Budapestre.

### Felhasznált adatok

Épület energetikában a fűtési és hűtési berendezések műszaki paramétereinek meghatározásához figyelembe veszik a napi külső középhőmérsékletet. Az OMSZ honlapjáról<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 157/2005. (VIII. 15.) Kormányrendelet: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A0500157.KOR>

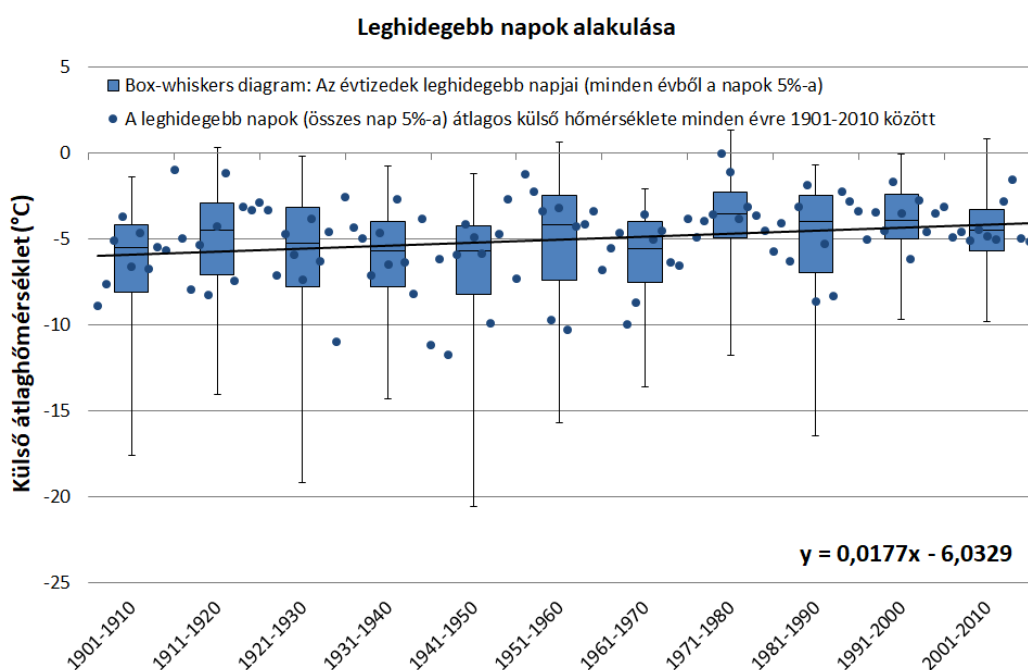
<sup>2</sup> FŐTÁV: <http://www.fotav.hu/lakossagi-ugyfelek/kozos-kepviselo-kepviselok-reszere/uzemviteli-megallapodas>

<sup>3</sup> OMSZ: [https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/eghajlati\\_adatsorok/](https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok/)

ingyenesen letölthető öt magyar nagyváros (Budapest, Debrecen, Szeged, Pécs és Szombathely) különböző meteorológiai változóra vonatkozó napi adatsora (nevezetesen: középhőmérséklet, maximum- és minimumhőmérséklet, csapadékösszeg, csapadék fajtája, napfénytartam napi összege) 1901-2010 időszakra. Ezek közül az itt bemutatandó elemzésben Budapest napi középhőmérsékleti adatsorát alkalmaztuk.

## Eredmények

Az energetikai tervezésnél (pl. Talamon, 2014) fontos figyelembe venni az adott területen jellemző napi középhőmérséklet szélsőértékeit, melyek kijelölik azt a hőmérsékleti intervallumot, amire fel kell készíteni az épületeket. Értelemszerűen a fűtési szezonban a hideg szélsőségekre kell figyelni, míg a hűtési időszakban a meleg szélsőségek az irányadók. Elemzésünkben mindkét irányban kitérünk az extrémumokra. Elsőként a hideg szélsőségeket mutatjuk be az 1. ábrán.

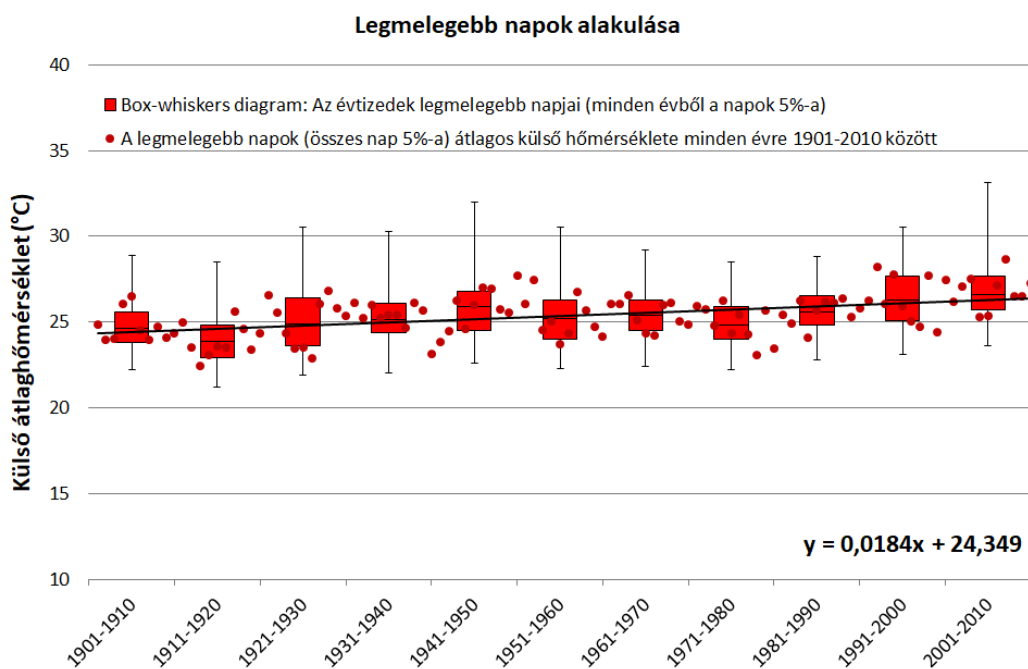


1. ábra: Minden év leghidegebb 18 napja (5%) évtizedes bontásban box-whiskers diagramon (minimum, alsó kvartilis, medián, felső kvartilis, maximum) és évenként a 18 nap átlaga (kék pontok), valamint az erre illesztett lineáris trend.

Az elemzés során minden évben kiválasztásra kerültek a leghidegebb napok, mégpedig a teljes év 5%-a, azaz 18 nap. Ezeket évtizedenkénti bontásban box-whiskers diagram ábrázolja. Továbbá minden évben a 18 leghidegebb nap átlaga is megjelenik egy-egy pontként, melyek 110 éves teljes idősorára illesztett lineáris trend is látható az ábrán. A box-whiskers eloszlások alapján megállapítható, hogy a hideg napok széles intervallumban mozognak egy-egy évtizeden belül, akár a 20 °C-ot is elérheti a minimum és maximum közötti különbség. Az átlagosan leghidegebb napok idősorára illesztett lineáris trend alapján egyértelműen melegedés figyelhető meg Budapesten (mértéke: 1,77 °C/évszázad). A leghidegebb napok ezen melegedését érdemes figyelembe venni a fűtési berendezések tervezése során. Jól látható, hogy a 110 év első felében fordultak elő gyakrabban alacsonyabb értékek. Az évszázad közepén –20 °C alatti napi középhőmérsékletet is regisztráltak Budapesten. Ezzel szemben 1970 óta az évtizedek medián értéke magasabb, azaz az évek leghidegebb 5%-ának

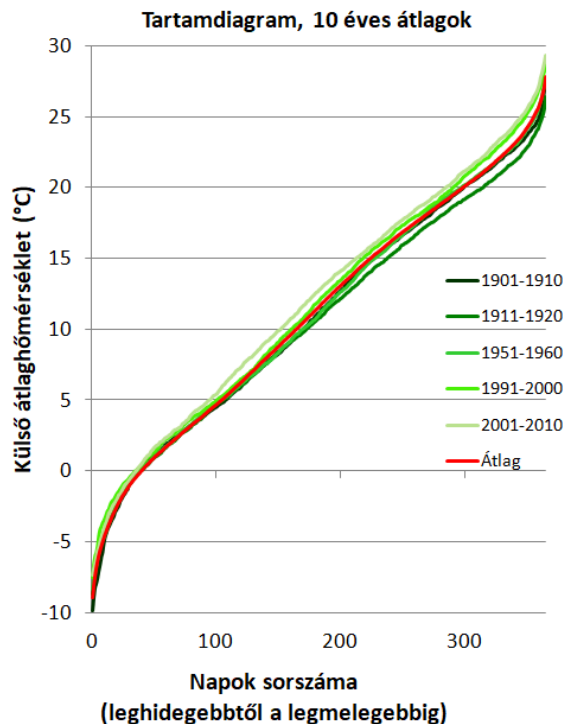
fele  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  fölé esik. A változékonyság mérséklődése is megfigyelhető: az utolsó két évtizedben már csak  $10\text{--}11\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os intervallumba estek a leghidegebb napok, míg korábban többször láthatunk csaknem  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot elérő jóval tágabb évtizedes intervallumot is (pl. az 1920-as vagy az 1940-es években).

Ugyanezt a módszertant alkalmaztuk a napok legmelegebb 5%-ára vonatkozóan (2. ábra). Jól látszik, hogy a meleg napok sokkal szűkebb intervallumban mozognak, mint a hideg napok; legfeljebb  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a különbség a maximum és minimum között egy-egy évtizedben. A megfigyelhető melegedő tendencia kicsit nagyobb mértékű ( $1,84\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{évszázad}$ ). A meleg napok esetén viszont nem mutatkozik az évszázad végére intervallum szűkülés az eloszlás teljes terjedelmében, éppen ellenkezőleg. Ez egybevág a klímaváltozás hatására megnövekvő meleg extrémumok, a hőhullámok gyakoribbá válásával (Lakatos & Bihari, 2011; Göndöcs et al., 2018).

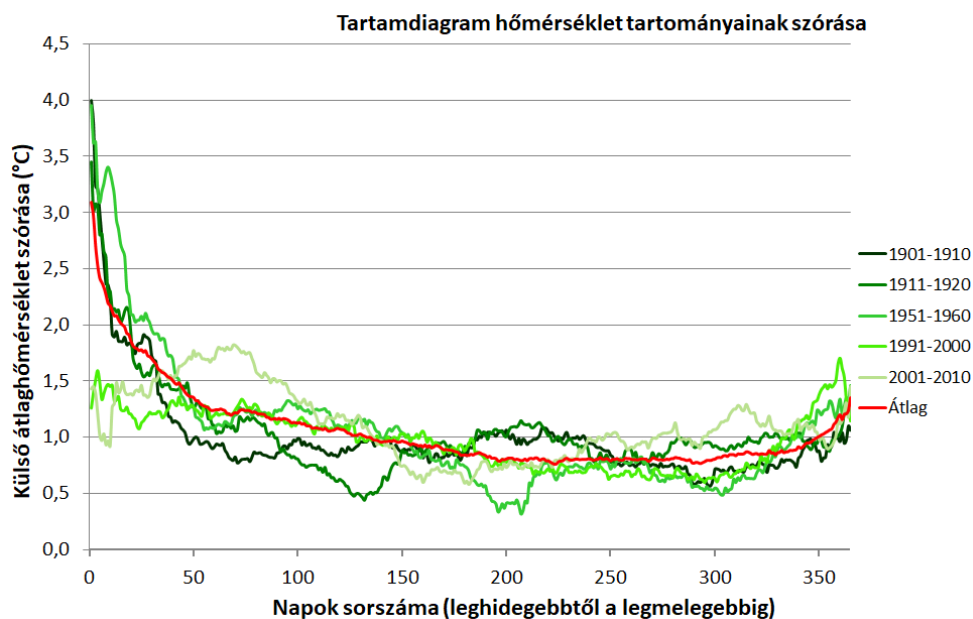


2. ábra: Minden év legmelegebb 18 napja (5%) évtizedes bontásban box-whiskers diagramon (minimum, alsó kvartilis, medián, felső kvartilis, maximum) és évenként a 18 nap átlaga (piros pontok), valamint az erre illesztett lineáris trend.

Az elemzés következő lépéseként minden évben sorrendbe rendeztük a napokat a leghidegebbtől a legmelegebbig, majd ezeket évtizedenként átlagoltuk, így megkapjuk a hőmérsékleti adatsorok tartamdiagramját. A 3. ábrán öt kiválasztott évtized tartamdiagram görbéje, valamint a teljes 110 éves átlag látható. Két évtizedet mutat be a diagram a vizsgált időszak elejéről (1901–1910, 1911–1920), egyet a közepéről (1951–1960), valamint az utolsó két évtizedet (1991–2000, 2001–2010). Az eredmények azt jelzik, hogy a hideg napok esetén jóval kisebb a különbség az évtizedes átlagok között, míg a meleg napoknál az évszázad végén akár  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  is lehet a különbség. Az évszázad elején végig a 110 éves átlag alatt maradt a tartamgörbe, míg az évszázad végére már fölé került. A fűtés szempontjából fontosabb hideg napok esetén átlagosan 45 napon volt fagyponyt alatt a napi középhőmérséklet, ami összességében az év 12%-át teszi ki.



3. ábra: A vizsgált időszak elejére, közepére és végére, valamint a 110 év átlagára vonatkozó tartamdiagramok. A leghidegebb naptól a legmelegebb napig évenként rendezett napi középhőmérséklet átlagai, az OMSz budapesti állomásának adatai alapján.

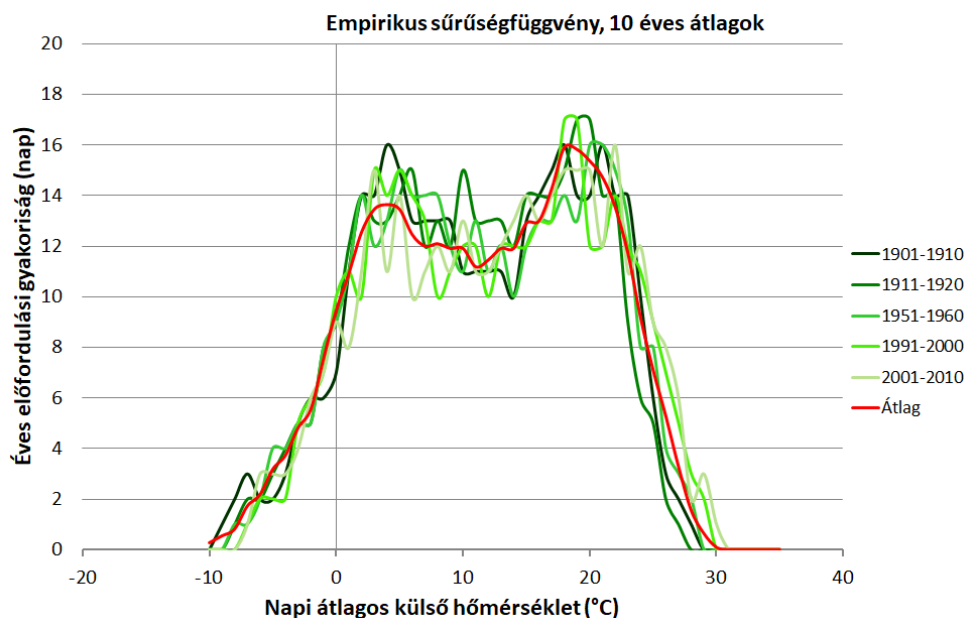


4. ábra: A vizsgált időszak elejére, közepére és végére, valamint a 110 év átlagára vonatkozó tartamdiagramokhoz tartozó hőmérsékleti szórások. A leghidegebb naptól a legmelegebb napig évenként rendezett átlagos napi középhőmérséklet évtizedenkénti szórása, az OMSz budapesti állomásának adatai alapján.

A 4. ábra a tartamgörbe hőmérsékleti tartományaihoz tartozó évtizedes átlagos szórásokat mutatja be a kiválasztott időszakokra vonatkozóan. A hideg napoknál a box-whiskers diagramon (1. ábra) látható volt, hogy az évtizedes átlagos hőmérsékletek között kicsi a különbség,

ezzel szemben az átlagos szórás jóval nagyobb. A 110 év átlagos szórása hideg napok esetén eléri a 3 °C-ot, sőt, a 20. század elején még akár 4 °C-os szórás is előfordult. Az évszázad elején és közepén még a 110 éves átlaghoz közeli szórások jellemzők a hideg napoknál, míg az utolsó két vizsgált évtizedben jóval alacsonyabbak (1–1,5 °C között). Az év legnagyobb részében szintén 1–1,5 °C között alakultak a szórások. A legmelegebb napoknál pedig egy kisebb másodmaximum mutatkozik, ahol a 110 éves átlag is eléri a 1,5 °C-ot. A téli nagy szórások miatt nehézkes a fűtési berendezések tervezése, a nyári kisebb szórás viszont kedvezőbb tervezhetőséget biztosít a hűtési berendezésekre vonatkozóan.

Végül a kiválasztott évtizedek és a teljes 110 év empirikus sűrűségfüggvénye látható a 6. ábrán, azaz az egyes napi középhőmérsékletek (–10 °C és +35 °C között) éves előfordulási gyakorisága. A görbékről leolvasható, hogy 2–3 °C, illetve 20 °C körül van egy-egy csúcs a gyakoriságban. A legnagyobb változékonyság a 0–22 °C tartományban mutatkozik az egyes évtizedek között. A magas hőmérsékletek esetén az utolsó két évtizedben egyértelműen nagyobb volt a gyakoriság, mint az évszázad elején és végén, valamint 2–3 °C-kal magasabb hőmérsékletek is előfordultak, mint korábban. A hideg tartományban kevésbé azonosítható egyértelmű különbség a görbék között. Tehát a nyári időszakban stabilabb változás látszik, mint télen; ezért az energetikai tervezhetőséget könnyebb a meleg napokra alapozni.



5. ábra: A vizsgált időszak elejére, közepére és végére, valamint a 110 év átlagára vonatkozó empirikus sűrűségfüggvények, azaz az egyes hőmérsékleti értékekhez tartozó éves előfordulási gyakoriságok, az OMSz budapesti állomásának adatai alapján.

## Összefoglalás

Az épület energetika szempontjából fontos hőmérsékleti paraméter a napi középhőmérséklet. Budapest 110 éves állomási adatait vizsgálva megállapítható, hogy a regionális melegedés egyértelműen detektálható a hideg és meleg extrémumokban egyaránt. Tehát egyrészt az egyes évtizedekre vonatkozó legmelegebb napok átlagos hőmérséklete magasabb a vizsgált időszak végén, mint az elején. Másrészt a téli, hideg napok szélsőségei az elmúlt 110 évben mérséklődtek, de összességében nagyobb szórásúak, mint a magas hőmérsékletű meleg napok. Mindezek arra utalnak, hogy a fűtésre vonatkozó műszaki és gazdasági tervezés nagyobb kihívásoknak néz elébe, mint a hűtési rendszerek esetén.

A megkezdett kutatás folytatásaként további terveink között szerepel több hazai nagyváros hőmérsékleti adatsorának elemzése az energetikai szempontok figyelembe vételével, valamint a fűtési és hűtési idény változásának részletesebb vizsgálata hőmérséklet alapú megközelítéssel.

## Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat az OTKA K-120605 és K-129162 számú projektje, valamint az Emberi Erőforrások Minisztériuma az ELTE Kiválósági Program (projektszám: 783-3/2018/FEKUT-SRAT) keretében támogatta.

## Hivatkozások

- Beranová, R., Huth, R., 2005: Long-term changes in the heat island of Prague under different synoptic conditions. *Theoretical and Applied Climatology*, 82: 113–118.  
<https://doi.org/10.1007/s00704-004-0115-y>
- Bokwa, A., Dobrovolný, P., Gál, T., Geletič, J., Gulyás, Á., Hajto, M.J., Holec, J., Hollósi, B., Kielar, R., Lehnert, M., Skarbit, N., Šťastný, P., Švec, M., Unger, J., Walawender, J.P., Žuvela-Aloise, M., 2018: Urban climate in Central European cities and global climate change. *Acta Climatologica*, 51-52: 7–35. <https://doi.org/10.14232/acta.clim.2018.52.1>
- Bokwa, A., Geletič, J., Lehnert, M., Žuvela-Aloise, M., Hollósi, B., Gál, T., Skarbit, N., Dobrovolný, P., Hajto, M.J., Kielar, R., Walawender, J.P., Šťastný, P., Hole, J., Ostapowicz, K., Burianová, J., Garaj, M., 2019: Heat load assessment in Central European cities using an urban climate model and observational monitoring data. *Energy & Buildings*, 201: 53–69. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.07.023>
- Dian, Cs., Pongrácz, R., Incze, D., Bartholy, J., Talamon, A., 2019: Analysis of the urban heat island Intensity based on air temperature measurements in a renovated part of Budapest (Hungary). *Geographica Pannonica*, 23(4): 277–288 <https://doi.org/10.5937/gp23-23839>
- Gál, T., Skarbit, N., Unger, J., 2016: Urban heat island patterns and their dynamics based on an urban climate measurement network. *Hungarian Geographical Bulletin*, 65(2): 105–116. <https://doi.org/10.15201/hungeob-ull.65.2.2>
- Göndöcs, J., Breuer, H., Pongrácz, R., Bartholy, J., 2018: Projected changes in heat wave characteristics in the Carpathian Basin comparing different definitions. *International Journal of Global Warming*, 16(2): 119–135.  
<https://doi.org/10.1504/IJGW.2018.10015777>
- Klysiak, K., Fortuniak, K., 1999: Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Łódź, Poland. *Atmospheric Environment*, 33: 3885–3895.  
[https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00131-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00131-4)
- Lakatos, M., Bihari Z., 2011: A közelmúlt megfigyelt hőmérsékleti és csapadéktendenciái. In: *Klímaváltozás – 2011, Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére*. (Szerk. Bartholy J., Bozó L., Haszpra L.), MTA és ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest. 146–169.
- Oke, T.R. 1973: City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7: 769–779.  
[https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6)
- Pongrácz, R., Bartholy, J., Dezső, Zs., 2010: Application of remotely sensed thermal information to urban climatology of Central European cities. *Physics & Chemistry of Earth*, 35: 95–99. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.03.004>
- Schwarz, N., Lautenbach, S., Seppelt, S., 2011: Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperature. *Remote Sensing of Environment*, 115: 3175–3186. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.003>



- Talamon, A., 2014: Alacsony energiafelhasználású épületek lehetőségei Magyarországon. *PhD értekezés*, Debreceni Egyetem, Földtudományok Doktori Iskola, 146p.
- Voogt, J.A., Oke, T.R., 2003: Thermal Remote Sensing of Urban Climates. *Remote Sensing of Environment*, 86: 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)

#### Internetes hivatkozások:

- 157/2005. (VIII. 15.) Kormányrendelet a távhőszolgáltatásról szóló 2005. évi XVIII. törvény végrehajtásáról. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A0500157.KOR>
- FŐTÁV, 2019: Üzemviteli megállapodás. <http://www.fotav.hu/lakossagi-ugyfelek/kozos-kepviselvek-kepviselok-reszere/uzemviteli-megallapodas>
- OMSz (Országos Meteorológiai Szolgálat): Éghajlati adatsorok 1901–2010 [https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/eghajlati\\_adatsorok/](https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok/)
- 

#### ORCID

- Dian Cs.  <https://orcid.org/0000-0001-9622-1884>
- Talamon A.  <https://orcid.org/0000-0001-9783-0913>
- Pongrácz R.  <https://orcid.org/0000-0001-7591-7989>
- Bartholy J.  <https://orcid.org/0000-0002-3911-7981>