



# Hőségperiódusok vizsgálata Budapesten a XX. század elejétől napjainkig

**Bokros Kinga, Lakatos Mónika**

Országos Meteorológiai Szolgálat, bokros.k@met.hu

DOI: 10.56474/légkor.2022.4.4

Ebben a tanulmányban a budapesti magas hőmérséklettel kapcsolatos szélsőséges eseményeket elemeztük 1901. és 2022. között Budapest belterület állomás homogenizált adatsorát felhasználva. A klímaváltozás hatásainak eredményeként a fővárosban a 20. század eleje óta jelentősen megnőtt az összes hőségindex és hőhullám mutató éves előfordulása és intenzitása. Az UTCI humánkomfort index számítását 1997–2022 időszakra végeztük el a Budapest belterület és Budapest Pestszentlőrinc állomások adatait felhasználva. Ez alapján rámutattunk a sűrűn beépített belvárosi környezetben élő lakosság nagyobb kitettségére. Ez a cikk az előző számban (Légkör 2022/3) megjelent országos feldolgozás folytatásának tekinthető.

## Examination of heat periods in Budapest since the beginning on the 20th century to the present day

In this paper we analysed the extreme events related to high temperatures in Budapest based on homogenized time series of Budapest belterület station between 1901 and 2022. As a result of the effects of climate change, the annual frequency of all extreme heat climate index and heatwave indicators has increased significantly in the capital since the beginning of the 20th century. We carried out calculation of UTCI human comfort index based on datasets of Budapest belterület and Budapest Pestszentlőrinc stations between 1997 and 2022. We pointed out the higher exposure of the population living in densely built-in area in Budapest. This article is the continuation of the paper covering the whole area of the country published in the previous issue (Légkör 2022/3).

### Bevezetés

Térségünkben tapasztalható hőségperiódusok, hőhullámok számának, tartamának és intenzitásának növekvő trendje a klímaváltozásnak való kitettségünk egyik megnyilvánulása. A hőhullámok kialakulásának számos oka ismert. A kifejezetten

Közép-Európa térségére vonatkozó vizsgálatok szerint kialakulásuknak két cirkulációs helyzet kedvez: az azori-szigeteki nyomási maximumhoz kapcsolódó magasnyomású képződmény, mely kiterjed a kontinensre, valamint a Skandináviából érkező, norvégiai középpontú anticiklonok (Tomczyk és Bednorz, 2019).

Európában a szélsőségesen magas hőmérsékletek komoly veszélyforrást jelentenek a többlethalalózás tekintetében. Például a 2003-as és 2010-es hőhullámok 127 946 bejelentett halálesetet okoztak [1]. A helyi hatásoknak, mint az orográfia, vagy a felhőzet visszasugárzása, jelentős befolyása van a hőhullámok okozta teherre, de kiemelkedő szerepe van a városi környezet beépítettségének is, ugyanis az ebből adódó városi hősziget hatás nagyban felerősíti ezen kiugróan meleg időszakok hatását. A városokra jellemző hőtöbblet miatt a hőség okozta egészségügyi kockázatoknak és a hőhullámoknak tulajdonítható többlethalalózásnak leginkább a városi lakosság van kitéve (Páldy et al., 2004; Bihari et al., 2015). A növekvő hőmérséklet hatására gyakoribbá válhatnak egyes mikrobiális eredetű élelmiszer fertőzések és -mérgezések. Számolni kell az allergén növények változó elterjedésével, növekvő pollenszórásával is (Páldy et al., 2018). A bolygó népességnövekedése mellett a városi lakosság aránya is nagyban nőtt, így a városokra jellemző magas hőmérséklettel kapcsolatos események vizsgálata elengedhetetlen az eredményes alkalmazkodási folyamat megvalósításához.

Előző hőhullámvizsgálataink Magyarország egészére vonatkoztak (Bokros és Lakatos, 2022), míg itt kifejezetten az éghajlatváltozás miatt fokozottan érintetté vált városi környezetet jellemeztük különböző hőséggel kapcsolatos indexek bemutatásával, melyhez Budapest belterület állomás adatait használtuk fel.

Ebben a cikkben a fővárosi hőségvizsgálatok elvégzéséhez részben olyan mutatókat használtunk, melyek megjelennek a KlímAdat projektben (<https://www.met.hu/klimadat/hu/kezd/index.php>) mint a hőségnapok, másodfokú hőhullámos napok, trópusi éjszakák és nyári napok száma. Cikkünkben ezeken kívül szerepel a forró napok számának 122 éves elemzése is. A tartós hőségre, hőhullámokra vonatkozóan négyféle definíciót alkalmazunk. Összehasonlítjuk az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) veszélyjelzésben használt, valamint a Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNK) által szakmailag támogatott hazai hőséghatásértékelési rendszerben használt hőhullámfogalmakat. Ezek mellett elemezzük az Európai Unió Kopernikus programjának: Copernicus Climate

Change Services éghajlatváltozási szolgáltatásokat fejlesztő alprogramja (C3S) által működtetett „European Health Service” felületén (<https://climate.copernicus.eu/european-health-service>) található, Magyarországra szabott hőhullámos napok definícióját (Hooyberghs et al., 2019). Végül egy komplexebb hőhullám-detektálásra szolgáló eljárást mutatunk be, melyet Ouzeau és munkatársai (2016) dolgoztak ki, s az Országos Meteorológiai Szolgálat optimalizált Magyarország területére, az ország klimatikus viszonyait figyelembe véve (Simon, 2021; Lakatos, 2017).

Nyári időszakban a fővárosi, sűrűn beépített környezet sajátja a nagy hőstressz, s ez megannyi embernek, megközelítően 1,7 milliónak, de ezen belül a belvárosi kerületekben élő lakosnak különösképp megnehezíti az életét, mely lakosság százezres nagyságrendű. Így a fent felsorolt mutatók mellett egy komplexebb humán komfortindexet (UTCI - *Universal Thermal Climate Index*) (Jendritzky et al., 2012.) is ismertetünk két fővárosi állomásra (Budapest belterület és Pestszentlőrinc), ezzel szemléltetve a bel- és külvárosi hőstressz mértékét, azok különbözőségeit 1997 és 2022 között.

### Felhasznált adatok és módszerek

Elemzéseink során Budapest belterület állomás, valamint a pestszentlőrinci Marczell György Főobszervatórium adatait használtuk fel az Országos Meteorológiai Szolgálat MASH rendszerrel homogenizált (Szentimrey, 2008) adatbázisából 1901-től napjainkig, mely a hazai éghajlati változások nyomon követésére is szolgál (Izsák et al., 2021). Ennek előállítására és évenkénti frissítésére az OMSZ Éghajlati Osztályán zajlik (Izsák et al., 2022). A teljes Magyarországot lefedő, 10 km-es rácsávolságú háló pontjaira tartalmaz adatokat a napi közép-, minimum- és maximumhőmérsékletre, valamint a napi csapadékösszegre 1901-től egészen napjainkig.

Az itt bemutatott hőségindexeket és a hőhullámokra jellemző mutatókat a napi középhőmérséklet, valamint a napi minimum- és maximumhőmérsékleti adatsorokból származtattuk. A trendelemzés során lineáris trendmodellt alkalmaztunk,

a trend szignifikanciájára vonatkozó hipotézisvizsgálatot t-próbával végeztük  $\alpha=0,05$  valószínűségi szintre.

A hőhullám fogalmát területenként, országonként eltérő módon értelmezik, nincs hivatalos, egységes definíció sem a Meteorológiai Világszervezet (WMO), sem az Egészségügyi Világszervezet (WHO) részéről, de megfogalmazzák a hőség, hőhullámokra vonatkozóan javaslatokat és küszöbértékeket. A WMO CCI/CLIVAR/JCOMM az éghajlatváltozás detektálásával és az arra szolgáló indexek meghatározásával foglalkozó szakértői munkacsoportja (ETCCDI) számos szélsőséges időjárási indexet definiált, melyek több nemzetközi kutatási projektben megjelennek (Klein Tank and Konnen, 2003; Karl et al., 1999). Ezek egy részét a hazai gyakorlatban is alkalmazzuk a megfigyelt változások nyomon követése céljából (Lakatos et al., 2021). Ilyen indexek például a fix küszöbökön alapuló, hazai gyakorlatban régóta használt *hőségnapok* és *forró napok*. Ezek mellett a *trópusi éjszakák* azonosítása is fontossá vált a hőhullámok vizsgálatának szempontjából. Az említett hőségmutatók definíciói az 1. táblázatban láthatóak.

Hőségnap	$T_{max} \geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$
Forró nap	$T_{max} \geq 35 \text{ }^\circ\text{C}$
Trópusi éjszaka	$T_{min} \geq 20 \text{ }^\circ\text{C}$

1. táblázat. Az alkalmazott hőségindexek definíciói.

Az egyedi küszöbátlépés mellett a hőhullámokat is elemezzük az OMSZ veszélyjelzésben, illetve a hazai hőségriasztás rendszerében használt kritériumok alapján. Ezek összehasonlító elemzése újszerűnek mondható. Magyarországon a hőségriasztások és figyelmeztetések gyakorlata jelenleg úgy alakul, hogy az Országos Meteorológiai Szolgálat veszélyjelzése nyomán a Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNK) szakmai támogatásával az országos tisztifőorvos rendeli el a hőségriadót. Az OMSZ veszélyjelző rendszerében és az ezeken alapuló hőségriadók kihirdetésében a 2. táblázatban található 3–3 kategória szerint különülnek el az elsőfokú, másod- és harmadfokú veszélyjelzések, illetve hőségriasztások.

A C3S European Health Service Magyarországra elérhető szolgáltatásának alapja az NNK szakértői által javasolt hőhullám definíció (Páldy és Bobvos, 2014). Ezen meghatározáson belül nem jelennek meg különböző hőhullámfokozatok, valamint a küszöbérték sem tekinthető állandónak térben, ugyanis az 1981-1990 évtizedre vonatkozó, május 16. és szeptember 15. közötti időszakban értelmezett napi átlaghőmérsékletek 90. percentiliséét veszi alapul ( $T_{90(1981-1990)}$ ), mely taggal egy dinamikus definíció áll elő, területenként eltérő  $T_{90(1981-1990)}$  értékkel. Budapest belterület állomásra a  $T_{90(1981-1990)}$  **25,34 °C**.

Kategóriák	OMSZ figyelmeztetés	NNK hőségriasztás	NNK/C3S European Health Service
Elsőfok	$T_{\text{átl}} \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{\text{átl}} \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$	
Másodfok	$T_{\text{átl}} \geq 27 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{\text{átl}} \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$ min. 3 egymást követő napig	$T_{\text{átl}} \geq T_{90(1981-1990)}$ min. 3 egymást követő napon
Harmadfok	$T_{\text{átl}} \geq 29 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{\text{átl}} \geq 27 \text{ }^\circ\text{C}$ min. 3 egymást követő napig	

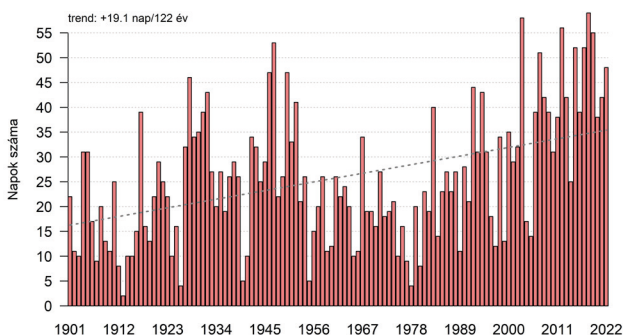
2. táblázat. Hőhullám figyelmeztetés és riasztás kritériumai.

A három fent említett meghatározáson kívül *Ouzeau et al.* (2016) nyomán kifejlesztett, összetettebb hőhullám-detektálási módszert hazánkra optimalizált kritériumokkal (Simon, 2021) alkalmaztunk 1901 és 2022 között. A módosított, Magyarország klimatikus viszonyaihoz igazított kritériumrendszer a következőképp épül fel: a hőhullámmeghatározás a tisztifőorvosi másodfokú hőségriasztás szerinti definíción alapul ( $T_{\text{átl}} \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$  min. 3 egymást követő napon). Ha két, ekképp meghatározott hőségperiódus közti időszakban a napi átlaghőmérséklet  $21 \text{ }^\circ\text{C}$  alá csökken, vagy a két hőségperiódus közti legalább 2 napon keresztül a napi középhőmérséklet  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  alatt maradt, a két periódust egymástól különálló hőhullámként kezeljük, ellenkező esetben egy, összefüggő hőhullámról beszélünk. A kritériumrendszer továbbá tartalmazza a hőhullám-intenzitás meghatározását, melyet a  $25$  fokot meghaladó napi hőmérséklet-összeggel azonosítunk (Simon, 2021).

A bel- és külvárosi hőstressz mértékének különbözőségeit a Budapest belterület és a Pest-szentlőrincen a Marczell György Főobszervatórium területén működő automata mérésekből származtatott UTCI (Univerzális Termikus Klímaindex) humán komfort index értékek összehasonlításával mutatjuk meg. Az UTCI nemcsak hőmérsékleti tényezőket vesz figyelembe, az emberi hőszabályozás modellezésén alapul, a levegő hőmérsékletének, a szélnek, a sugárzásnak és a páratartalomnak a kombinációjával áll elő. Lényegében fiziológiailag ekvivalens hőmérsékletnek tekinthető, ami annak a fiktív, bizonyos jellemzőiben standardizált beltéri környezetnek a hőmérséklete, melyben a szervezetünk ugyanolyan fiziológiai válaszreakciókat (pl. verejtékezés) ad, mint az aktuális kültéri környezetben. A számítást a Copernicus C3S\_311a\_Lot4 (C3Surf): Climate monitoring products for Europe based on surface in-situ observations projektben alkalmazott programcsomaggal végeztük [2]. Ebben a projektben a CarpatClim (www.carpatclim-eu.org) adatbázisra is előállítottuk a UTCI napi értékeit és emellett még számos éghajlati indexet és aszálymutatót [3].

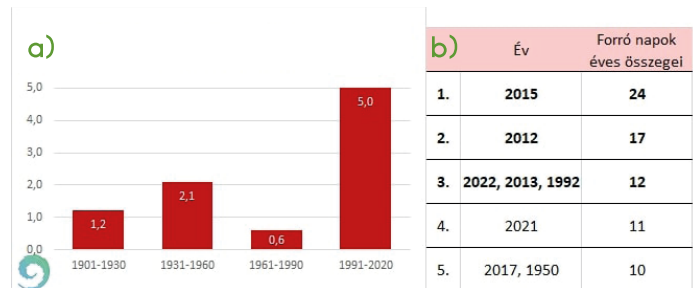
### Hőségindexek vizsgálatának eredményei

Az 1. ábrán a hőségnapok éves összegei jelennek meg 1901 és 2022 között, mely időszak alatt 19,1 nappal nőtt a 30 °C feletti maximumhőmérsékletű napok éves száma. Budapesten a legtöbb hőségnapot számláló év 2018 volt, amikor 59 napon alakult 30 °C felett a napi maximumhőmérséklet.



1. ábra. Hőségnapok számának éves összegei Budapest belterület állomáson (1901–2022).

Ezt 2003 (58 nap), 2012 (56 nap), majd 2019 (55 nap) és 1947 (53 nap) követi. A 2022-es évben, amikor rekord meleg volt a nyár 1901 óta, a 8. a legtöbb hőségnapot számláló évek sorában Budapesten. Az ábráról leolvasható továbbá, hogy 1980-ban fordult elő utoljára 10 nap alatti éves összeg a hőségnapok tekintetében, ugyanakkor 2005 óta minden évben 20-nál több hőségnap fordult elő.

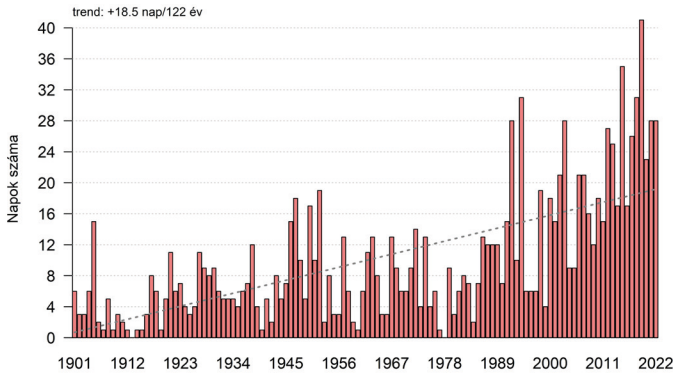


2. ábra. A forró napok számának 30 éves átlagai (a), valamint az 5 legtöbb forró napot számláló év listája (b) Budapest belterület állomáson 1901 és 2022 között.

A 30 fokos maximumok mellett a 35 °C maximumhőmérsékletet elérő (forró) napokat is elemeztük. A fővárosi forró napok 122 éves idősrátát +4,7 napos, statisztikailag szignifikáns trend jellemzi. A forró napok számának növekedése az elmúlt évtizedekben vált erőteljessé, melyet jól szemléltetnek a 30 éves normálidőszakok átlagai (2/a ábra). Az 1991–2020-ra vonatkozó átlag 5 nap, mely az előző normálidőszakok átlagai közül jelentősen kiemelkedik. Ezen 30 éven belül kifejezetten az elmúlt évtized kimagasló, 2011–2020 között átlagosan 8,4 nap volt a forró napok éves számának átlaga. Az elmúlt évek, évtizedek intenzív melegedésének tényét támasztja alá továbbá, hogy az 5 legtöbb forró napot számláló év az elmúlt évtizedből származik (2/b ábra). Az idei év a 122 év 3. legtöbb forró napját tartalmazó év volt – holtversenyben 2013-mal és 1992-vel.

A hóhullámok, hőségperiódusok velejárái a trópusi éjszakák, amikor éjszaka sem csökken a hőmérséklet 20 °C alá, mely az emberi szervezet számára igen megterhelő egy hóhullámos nap során.

Budapest esetén a trópusi éjszakák száma jelentősen nőtt 1901 óta: +18,5 napos trend jellemzi a változást 122 év alatt. Éves összegeikből kiolvasható, hogy 1978-ban volt az utolsó olyan év,



3. ábra. Trópusi éjszakák számának éves összegei Budapest belterület állomáson 1901 és 2022 között.

mikor nem volt 20 °C fölötti napi minimum egész évben, valamint szembevetendő, hogy 2005 óta nem csökkent 10 alá a trópusi éjszakák száma (3. ábra).

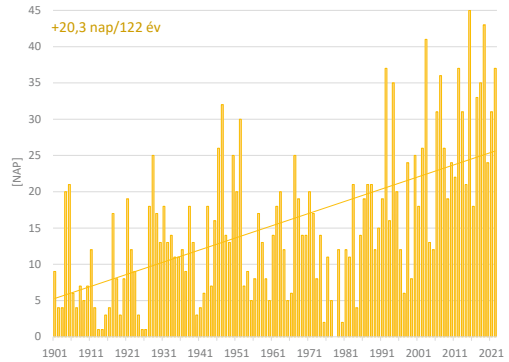
A forró napokhoz hasonlóan jelen esetben is kiemelkedik a 30 éves átlagok közül az elmúlt 30 év (1991–2020), amikor 19,0 nap volt a trópusi éjszakák átlaga, s melyhez képest jelentősen elmaradnak az előző normálidőszakok átlagai: 4,8 (1901–1930), 7,1 nap (1931–1960) és 7,6 nap (1961–1990). Az 1991–2020 normálidőszakon belül a 2011–2020-as évtized átlaga a legmagasabb (25,7 nap), mely nem csupán az elmúlt 30 éves normálidőszakból emelkedik ki, de az 1901-től számított évtizedes átlagok közt is egyedül a 2011–2020-as átlag alakul 20 nap felett. A normálidőszakok és évtizedes átlagok vizsgálata mellett a 3. táblázat alapján is kiderül, hogy az 5 legtöbb trópusi éjszakát tartalmazó év az elmúlt 30 évből származik.

	Év	Trópusi éjszakák éves összegei
1.	2019	41
2.	2015	35
3.	2019, 1994	31
4.	2022, 2021, 2003, 1992	28
5.	2012	27

3. táblázat. Az 5 legtöbb trópusi éjszakát számláló év Budapest belterület állomáson.

### Hőhullámok jellemzői Budapesten

A következőkben Budapest hőhullámos napjait elemezzük a különböző hőségriasztási kategóriák szerint. A 4. ábra szemlélteti a hőhullámos



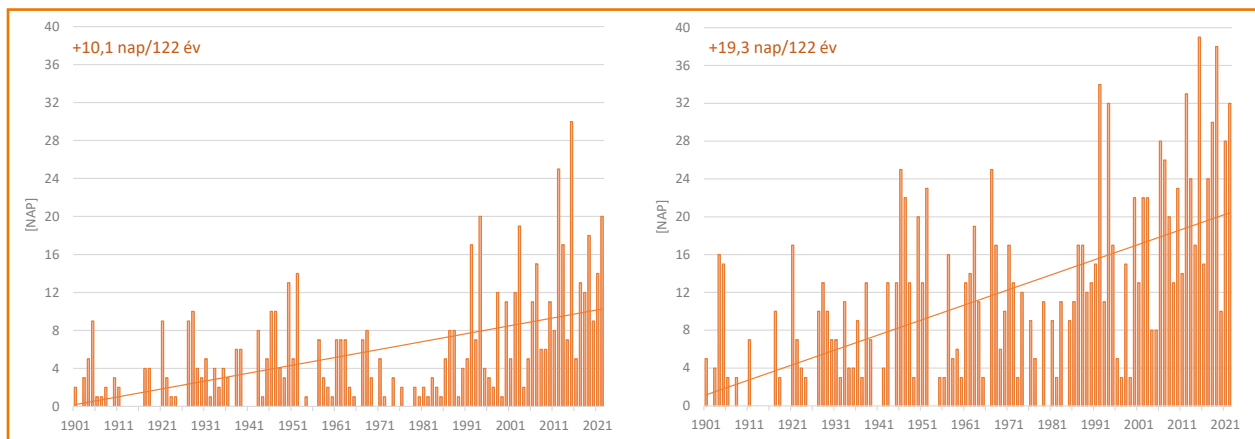
4. ábra. Elsőfokú figyelmeztetés, illetve hőségriasztás küszöbét meghaladó napok éves száma Budapest belterület állomáson (1901–2022).

napok ( $T_{\text{ait}} \geq 25 \text{ °C}$ ), azaz az elsőfokú figyelmeztetés és hőségriasztás kritériumát kielégítő napok éves számát 1901 és 2022 között Budapest belterület állomáson, melynek változása igen jelentős, +20,3 nap/122 év. Míg 1901–1930 között átlagosan mindössze 8,9 nap volt Budapesten a 25 °C-ot meghaladó átlaghőmérsékletű napok száma, addig ez 1931–1960, valamint 1961–1990 között 13,5 és 12,9 napos átlagok adódtak. Az elmúlt 30 év, 1991–2020 átlaga kiemelkedik a normálidőszakok közül, a maga 25,2 napjával majdnem háromszorosan meghaladja az 1901–1930, és közel kétszeresen meghaladja a 1931–1960, 1961–1990 időszakokra vonatkozó átlagokat. A hőhullámos napok számának növekedését szemlélteti továbbá a 4. táblázat, mely megadja az 5 legtöbb ilyen napot számláló éveket. A felsorolásban 2022 is igen magas értékkel szerepel (37 nap), 2012-vel és 1992-vel együtt a 4. legtöbb hőhullámos nappal rendelkező év a sorban.

A legalább 3 napon keresztül fennálló, 25 °C átlaghőmérsékletet elérő napi középhőmérsékletek éves száma nagyobb, és a 122 éves változás

	Év	Elsőfokú hőhullámos napok évi száma
1.	2015	45
2.	2019	43
3.	2003	41
4.	2022, 2012, 1992	37
5.	2007	36

4. táblázat. Az 5 legtöbb hőhullámos napot ( $T_{\text{ait}} \geq 25 \text{ °C}$ ) tartalmazó év listája.



5. ábra. Másodfokot kielégítő napok éves száma Budapest belterület állomáson az OMSZ veszélyjelzési rendszere szerint (a) és a tisztifőorvosi hőségriasztás meghatározás szerint (b) 1901 és 2022 között.

	OMSZ másodfokú	Tisztifőorvosi másodfokú	OMSZ harmadfokú	Tisztifőorvosi harmadfokú	NNK/C3S European Health Service
1901-1930	2,53	4,57	0,40	0,97	3,47
1931-1960	3,93	8,20	0,70	1,47	6,90
1961-1990	3,03	9,67	0,13	0,70	7,63
1991-2020	10,60	19,47	3,43	7,53	16,33

5. táblázat. Hőségriasztással jellemzett napok 30 éves átlagai különböző kategóriák és meghatározások szerint Budapest belterület állomásra.

is jelentősebb (+19,3 nap), mint a 27 °C átlaghőmérsékletet meghaladó napok száma, és trendje (+10,1 nap/122 év). Akár a tisztiorvosi, akár az Országos Meteorológiai Szolgálat veszélyjelzése szerinti definíciót vizsgáljuk (5. ábra), jelentős növekedést tapasztalunk: utóbbi esetén az elmúlt 30 évben tapasztalható nagymértékű növekedés, 1990-ig a három 30 éves átlag mind 4 nap alatt alakult, míg 1991–2020 időszak átlaga már 10 feletti érték (5. táblázat). Ezzel szemben a tisztifőorvosi definícióval meghatározott másodfokú hőségriasztás éves számaira egyenletesebb és nagyobb mértékű növekedés jellemző. Így a két definíció egymást kiegészítve ad információt a hőségidőszakok alakulásáról, változásáról.

A legtöbb másodfokba sorolható nap mindkét meghatározás szerint 2015-ben volt (OMSZ: 39 nap, tisztifőorvosi: 30 nap). A 27 °C átlaghőmérsékletet meghaladó napok száma 2012-ben is nagyon magas volt (25 nap), melyet 2022 és 1994 követett 20–20 nappal. A tisztifőorvosi definíció

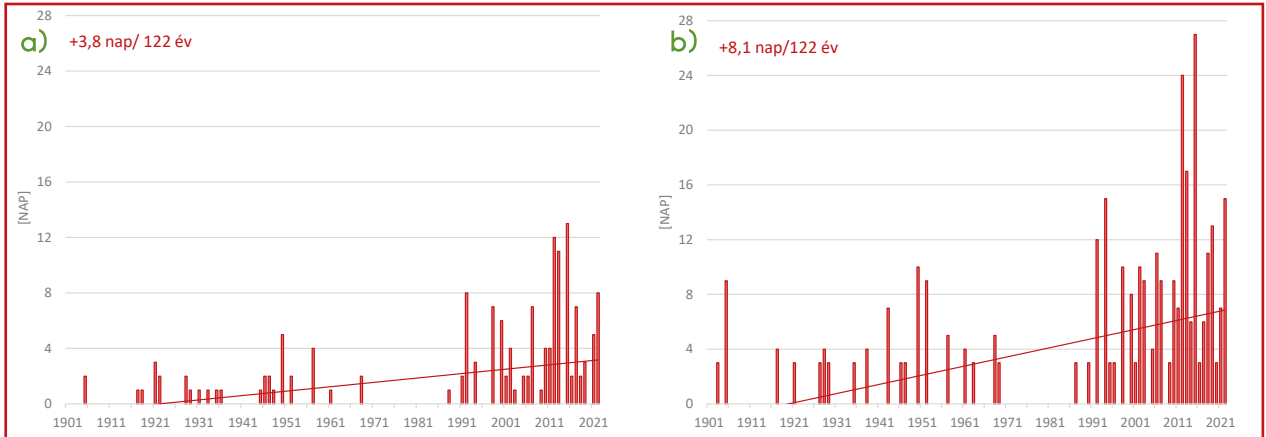
szerint 2015-öt 2019 és 1992 követte 38 és 34 nappal, de 2022 sem maradt le a legtöbb másodfokú riasztást tartalmazó évek listájában, a maga 32 napjával 5. a sorban.

A harmadfokú figyelmeztetéssel, illetve riadóval jellemezhető napok éves száma 1901–2022 között a 6. ábrán jelenik meg. Akár a 29 fokos átlaghőmérsékletet elérő, illetve meghaladó napok éves számát,

akár a legalább 3 napig fennálló és legalább 27 °C középhőmérsékletet meghaladó napokat vizsgáljuk, egyértelműen látszik a növekedés, mely kifejezetten az 1980-as évek végétől jelentős. A 30 éves átlagokat tekintve is jól látszik a tendencia, ugyanis az 1991–2020 időszakban tapasztalunk csupán magasabb átlagértékeket mindkét harmadfokot leíró meghatározás esetén (5. táblázat).

A legtöbb harmadfokú figyelmeztetést, illetve riasztást tartalmazó év mindkét definíció szerint 2015 volt (OMSZ veszélyjelzés: 13 nap, tisztifőorvosi riasztás: 27 nap). Hasonlóan megegyezik a 2., 3. és 4. hely is a sorban, ezt szemlélteti a 6. táblázat.

A C3S European Health Service által Magyarországra alkalmazott definíció (NNK/C3S European Health Service) szerinti hóhullámos napok évi számának meghatározásához az 1981–1990 május 16. és szeptember 15. közti időszakra eredményül kapott napi átlaghőmérsékletek 90. percentilis értéke **25,34 °C**, melyet legalább 3 egymást követő napon kell meghaladni a napi



6. ábra. Harmadfokot kielégítő napok éves száma Budapest belterület állomáson az OMSZ veszélyjelzési rendszere szerint (a) és a tisztifőorvosi hőségriasztás meghatározás szerint (b) 1901 és 2022 között.

	OMSZ harmadfok	Tisztifőorvosi harmadfok
1.	2015 (13 nap)	2015 (27 nap)
2.	2012 (12 nap)	2012 (24 nap)
3.	2013 (11 nap)	2013 (17 nap)
4.	2022, 1992 (8 nap)	2022, 1994 (15 nap)
5.	1998 (7 nap)	2019 (13 nap)

6. táblázat. Harmadfokú figyelmeztetések, illetve hőségriasztások átlagos éves száma és a legmagasabb értékek 1901-2022 időszakból.

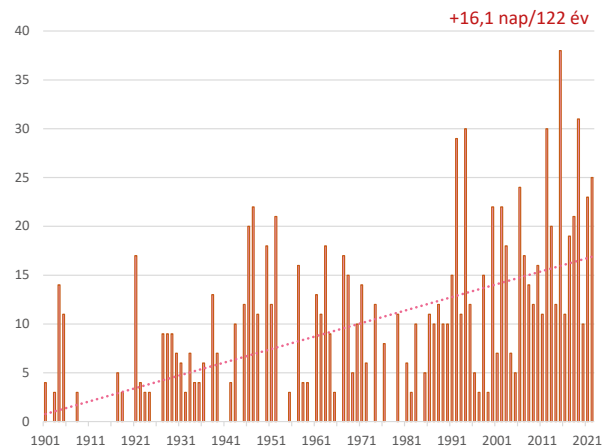
középhőmérsékletnek Budapesten, hogy hőhullám kialakulásáról beszéljünk. Az ekképp számított hőhullámos napok évi számát 1901 és 2022 között a 7. ábra szemlélteti. Mivel a fővárosra számítva a  $T_{90(1981-1990)}$  érték közel esik a 25 fokok kritériumhoz, az NNK/C3S European Health Service hőhullám-definíció alkalmazásával számított hőhullámos napok évi száma nagyban megegyezik a tisztifőorvosi másodfokú hőségriasztások éves számával. 122 éves változásuk is hasonló mértékű, a trendje +16,1 nap/122 év.

Budapesten a legtöbb ekképp számított hőhullámos nap 2015-ben fordult elő (38 nap), melyet 2019 (31) és 2012, valamint 1994 követett 30–30 nappal. 2022 sem marad el sokkal a rekord évektől, a maga 25 hőhullámos napjával az 5. a 122 év közül.

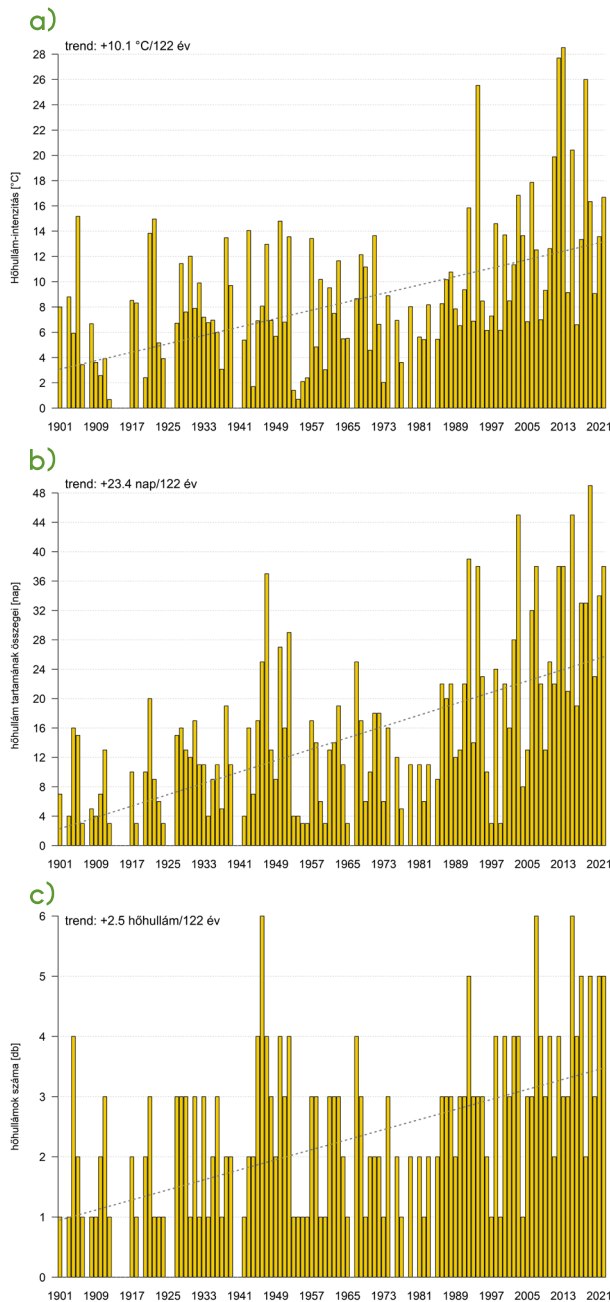
A hőhullám vizsgálatainkat az *Ouzeau et al.* (2016) nyomán kifejlesztett, összetettebb hőhullám-detektálási módszer hazánkra optimalizált változatával (*Simon, 2021*) zárjuk. Ezen hőhullám

detektálási módszer az adott hőhullám tartamát, intenzitását és tetőzését is jellemzi. Ezek mellett vizsgálja, mikor tekinthető egy hőhullámnak két egymást követő hőségperiódus. Azon időszakokat, amikor az átlaghőmérséklet legfeljebb 2 nap erejéig csökken  $25\text{ °C}$  alá és nem süllyed  $21\text{ °C}$ -ig azonos hőségperiódusnak tekinti.

A hőhullámok intenzitása megegyezik a 25 fokot meghaladó hőösszeggel. Az adott évben bekövetkezett hőhullámok intenzitásának átlagát szemlélteti a 8/a ábra 1901 és 2022 között, melyet jelentős növekedés jellemez:  $10,1\text{ °C}$  fokkal nőtt átlagosan a hőhullámok intenzitása a fővárosban a XX. század eleje óta, s mely a 1980-as évektől nagyobb ütemben növekszik. A legintenzívebb hőhullámos évek közé tartozik 2013, 2012, 2018, 1994 és 2015.



7. ábra. Az NNK/C3S European Health Service definícióval meghatározott hőhullámos napok éves száma Budapest belterületen 1901 és 2022 között.

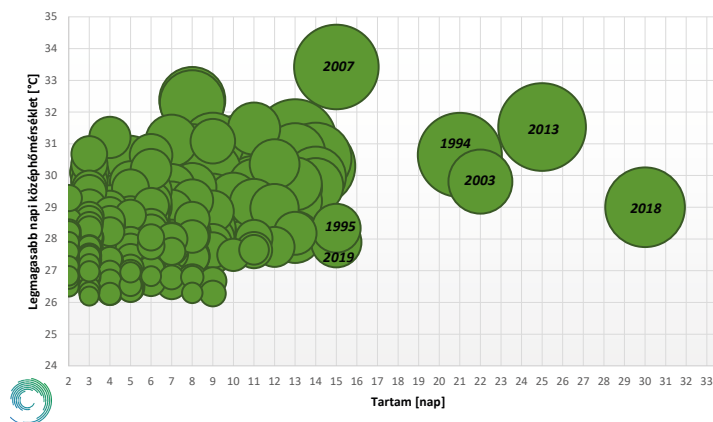


8. ábra. Átlagos hőhullám-intenzitás (a), hőhullámok tartamának éves összegei (b) és a hőhullámok éves gyakorisága (c) 1901-2022 között Budapest belterületen.

Az adott évben bekövetkezett összes hőhullámos nap (8/b ábra) is rendkívül nagymértékű, +23,4 napos növekedést mutat 1901 óta. Emellett szemléletes a különálló hőhullámok éves számának, azaz a hőhullámok gyakoriságának vizsgálata, melyet a 8/c ábra tartalmaz. Ebből leolvasható, hogy 1984 óta nem volt hőhullám-mentes

év, valamint 2004 után minden évben minimum 2 hőhullám fordult elő a fővárosban, s azóta gyakorivá vált az évi 5–6 különálló hőhullám is. A legtöbb különálló hőhullámot számláló év 2015, 2007 és 1946 volt 6–6 hőhullámmal, melyet évi 5 hőhullámmal követett 2022, 2021, 2019, 2017 és 1992. Jól látható a hőhullámok gyakoriságának növekedése, 122 éves trend statisztikailag szignifikáns, +2,5 hőhullámmal nőtt éves számuk 1901 óta.

A hőhullámok egyes karakterisztikáinak elemzése mellett fontos látni a karakterisztikák egymással való kapcsolatát, viszonyát. Ennek szemléltetésére hivatott a 9. ábra, mely a hőhullámok tartama és a hőhullám során fennállt legmagasabb napi középhőmérséklet mellett a hőségperiódusok intenzitását is mutatja, ahol az intenzitás mértékét a körök mérete fejezi ki. A diagramon külön fel vannak tüntetve a 15 napnál hosszabb tartamú hőhullámot tartalmazó évek. Eszerint a leghosszabb hőhullám 2018-ban fordult elő 30 nappal, melynek intenzitása sokkal kisebb, mint a rövidebb tartamú, de intenzívebb 2013-as, vagy a 2007-es hőhullámok esetén.

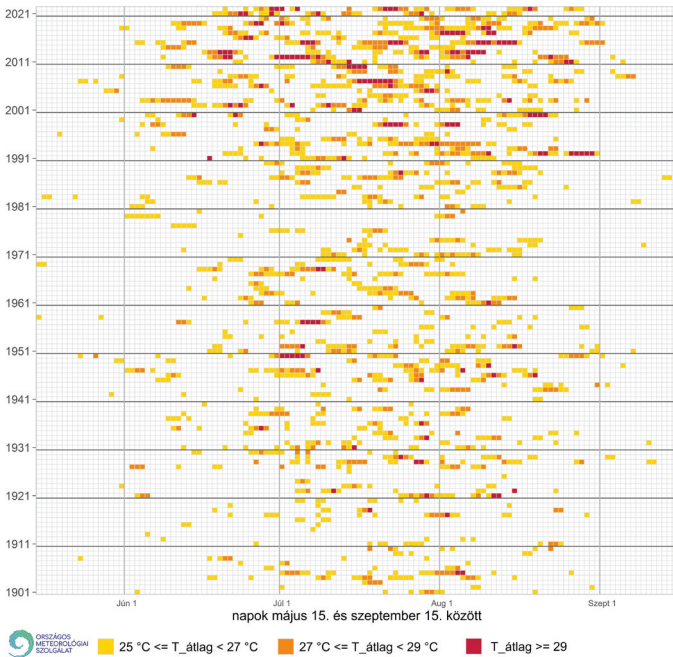


9. ábra. Hőhullámok jellemzői Budapest belterület allomáson 1901 és 2022 között. A hőhullám intenzitást a körök mérete fejezi ki.

### Klímaszöttek

Új produktumunkon, a klímaszötteken keresztül nem csupán az egyes évekre jellemző fővárosi hőség- és hőhullámtrendeket tekinthetjük át, de napi szinten is nyomon követhetjük az egyes évek hőségperiódusait, gyakoriságuk és tartamuk alakulását. A 10. ábra szemlélteti a május 15. és





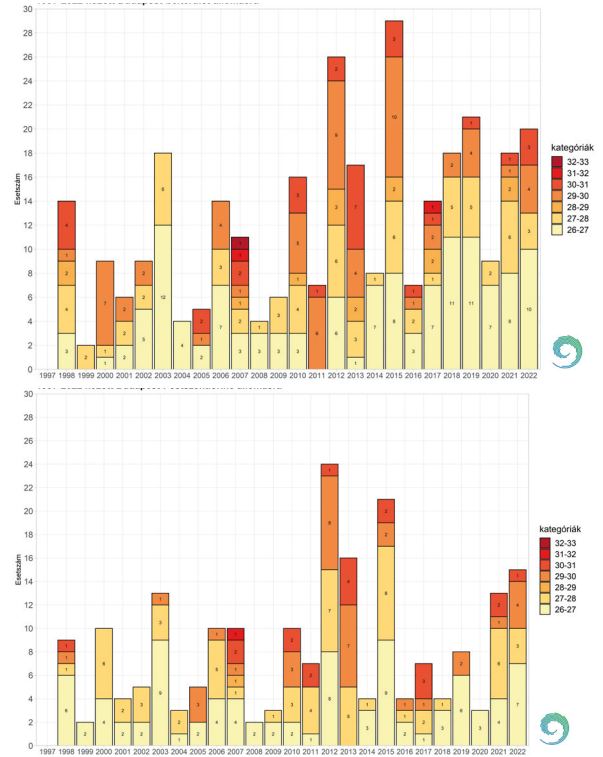
10. ábra. A hőségperiódusok Budapest belterület állomáson 1901 és 2022 között, a klímászottes.

szeptember 16. közötti napokat 1901-től 2022-ig. A napokat jelölő négyzeteket citromsárga szín tölti ki, ha a napi átlaghőmérséklet 25–27 fok közti, narancssárgával vannak jelölve azon napok, amikor a középhőmérséklet 27 °C és 29 °C között alakul, s piros színt kaptak a 29 fokot elérő, illetve meghaladó átlaghőmérsékletű napok. Egy sor egy évet jelenít meg. Ha az egyes hónapokat tekintjük, melyeket vastagabb, függőleges vonal választ el egymástól – jól kivehető, hogy míg az 1980-as évekig bezárulva júniusban alig jelentek meg 27 fokot meghaladó napi átlagértékek, addig az 1990-évektől egyre több piros négyzet tartkítja a júniusi napokat.

Jól kivehető a gyakoriság növekedése mind a narancssárgával jelölt, mind az erősebb hőstressz szemléltető piros négyzetek tekintetében, mely növekedés jellemzően a 90-es évektől felerősödik.

### UTCI humán komfortindex alakulása Budapesten

A humán komfortindex kategóriák szerinti éves összegeit szemlélteti a 11. ábra Budapest belterület (11/a ábra) és a pestszentlőrinci Observatórium területén (11/b ábra) található állomás adatai



11. ábra. Közepes és erős hőstresszes napok évi összegei az UTCI humán komfort index hőstressz-kategóriák szerint 1997-2022 között Budapest belterület (a) és Budapest Pestszentlőrinc (b) állomásokon.

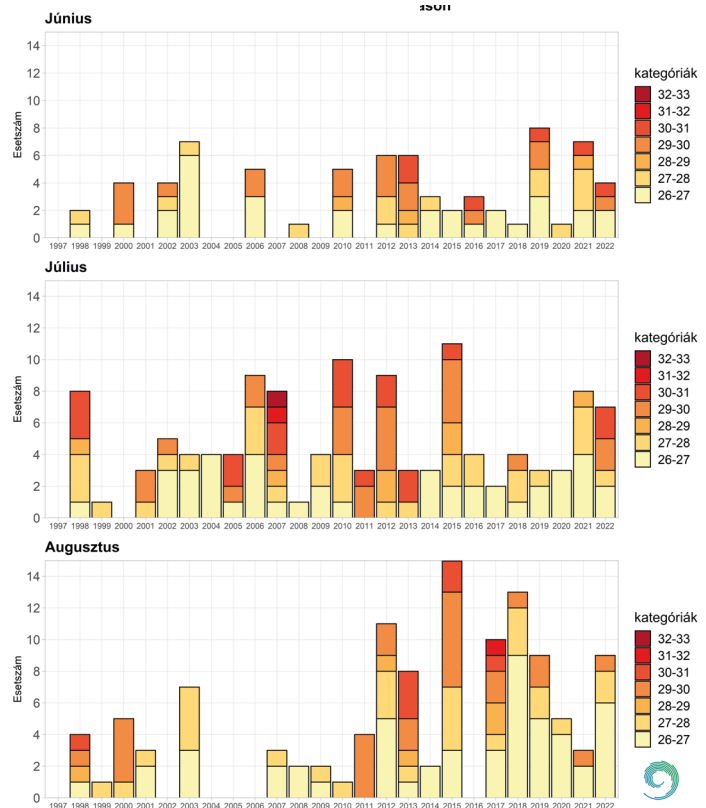
alapján. Az UTCI kategóriák az alábbiak: 46 °C fölött: extrém hőstressz; +38 °C és +46 °C között: nagyon erős hőstressz; +32 °C és +38 °C között: erős hőstressz; +26 °C és +32 °C között: közepes hőstressz; +9 °C és +26 °C között: nincs hőstressz. Ezen kategóriák szemléltetése az eddigiek során bemutatott hőség- és hóhullámmutatókat kiegészíti. Jól látható, hogy az utolsó komfortos, hőstressztől mentes év 1997 volt, azt követően minden évben legalább közepesen erős hőstressz állt fenn a nyári időszakokban (+26–32 °C UTCI). Erős hőstressz csupán a 2007 nyarán bekövetkező hóhullám során fordult elő belterületen. A főváros belterületén, illetve Pestszentlőrincen is kiemelkedő számban fordultak elő közepesen erős hőstresszes napok 2015-ben és 2013-ban, míg 2007-ben kevesebb, mint fele annyi hőstresszes nap volt tapasztalható, de a hőstressz tekintetében megjelennek magasabb kategóriák. Ugyanezt láthatjuk a 9. ábrán is, ahol a 2007-ben bekövetkezett, 15 nap tartamú hóhullám esetén nagyobb intenzitás (54,1 °C) és magasabb

csúcshőmérséklet (33,4 °C) jelenik meg, mint 2013, vagy 2018 esetén, amikor – bár a hőhullám tartama hosszabbnak bizonyult, – az intenzitása, valamint a tetőzése is alacsonyabb volt.

A bel- és külterületet közt eltéréseket tapasztalunk mind a hőstresszes napok évi összegei, mind az előforduló UTCI kategóriák között. Belterületen több hőstresszes nap jellemző, s több nap tartozik magasabb hőstressz-kategóriába, mint a pestszentlőrinci állomás adataival számolt humán komfortindex tekintetében. A hőstresszes napok számában a legnagyobb eltérés 2018-ban és 2019-ben fordult elő, amikor a belterületen 14, illetve 13 nappal több esetben fordult elő közepesen erős hőstresszes nap.

Az elmúlt 26 évben jelentősen, 13 nappal nőtt belterületen a hőstresszes napok száma, míg a főváros külterületén 1997 óta nem volt statisztikailag szignifikáns növekedés.

A humán komfortindex kategóriáinak éves áttekintése mellett a hőstresszes napok havi eloszlását is vizsgáltuk a nyári hónapokra, a főváros belterületére (12. ábra). Az egyes hónapok esetén más-más esetszámok és változás figyelhető meg. A júniusi idősor esetén mind a hőstresszes napok számában, mind a hőstressz mértékében kismértékű növekedést tapasztalunk. 2011 óta nem volt hőstressz-mentes június a fővárosban, valamint 2013 előtt nem fordult elő 5. kategóriájú hőstressz (30–31 °C UTCI), 2013-tól kezdve több évben előfordult ezen hőstressz-kategória (2016-ban, 2019-ben, 2021 és 2022 években egyaránt). A nyár eleji hőstresszes időszakok növekedésének komoly egészségügyi hatásai ismertek: a kora nyári extrém hőségek, és nagy hőstressz sokkal nagyobb mértékben járul hozzá a hőhullámoknak tulajdonítható többlethalálozáshoz, mint a késő nyári hőhullámos periódusok, ugyanis a nyár előrehaladtával az adaptációs készség megnő (Páldy, et al., 2004). A legtöbb hőstresszes nappal terhelt hónap a július, 2000 óta minden évben előfordult közepes-, vagy erős hőstresszes július. A 26 éves júliusi idősorban statisztikailag szignifikáns változás nem következett be, nem úgy, mint augusztusban: a nyár utolsó hónapjában 26 év alatt 7,5 nappal nőtt a hőstresszes napok száma.



12. ábra. Közepes és erős hőstresszes napok évi összegei az UTCI humán komfort index hőstressz-kategóriák szerint június, július és augusztus hónapokban 1997-2022 között Budapest belterületen.

Ugyanerre következtethetünk a klímaszöttes példájából: augusztusban nőtt a leginkább a küszöb-átlépések gyakorisága (10. ábra).

## Összefoglalás

A fővárosi nyarak nagymértékben melegek a XX. század eleje óta. A nyári átlag- és minimumhőmérséklet 1,9 °C-kal, míg a maximum 2 fokkal nőtt 122 év alatt, melyek hőmérsékleti extrémításokhoz vezetnek. Elemzésünk során Budapest magas hőmérséklettel kapcsolatos szélsőséges eseményeit vizsgáltuk. A klímaváltozás hatásainak eredményeképp a XX. század eleje óta minden hőségmutató éves gyakorisága jelentősen növekedett mind országosan (Bokros és Lakatos, 2022), mind pedig a fővárosban.

Az itt bemutatott, napi maximum-, illetve minimumhőmérséklethez köthető hőség indikátorok szerint a legnagyobb hőteher az alábbi években jelentkezett:

2015, 2012, 2010, 2007, 2003, de országos szinten 2021-re is magas értékek születtek. A fővárosi vizsgálatok szerint 2021-ben és 2022-ben is igen nagy számban fordultak elő forró napok, hőségnapok, trópusi éjszakák és hóhullámos napok is.

Egy összetettebb hóhullámdetektálási módszer segítségével bemutattuk a budapesti hóhullámok átlagos intenzitásának változását, mely több, mint 10 °C-kal nőtt a XX. század eleje óta, de a fővárosi hóhullámos napok éves száma is igen nagymértékben, több mint 23 nappal növekedett. A nyári időszak egyre emelkedő hőmérsékleti értékei, és hőségmutatónak növekedése tehát vitathatatlan. A városi lakosságot kifejezetten érintő, több meteorológiai paraméteren alapuló hőstresszes (UTCI) napok összehasonlító elemzését az 1997 és 2022 közötti időszakra végeztük el a Belterületen és Pestszentlőrincen működő automata mérések felhasználásával. Ennek eredményei összhangban állnak a hóhullámos napok, hőség-, illetve forró napok éves összegeivel, s egyértelműen rámutatnak a belterületen élő lakosság nagyobb kitettségére.

## Irodalom

- Bihari Z., Hoffmann L., Lakatos M., Marton A., Németh Á., Sábitz J., Szépszó G., Zsebeházi G., Vincze E., Wachtel Dobi I., Páldy A., Bobvos J., Málnási T., Rudnai T., Bódi-Koós N., Czikoráné Balázs E., Bognár B., Sági G., Horváth A., Kovács A., Unger J., 2015: A klímaváltozás okozta sérülékenység vizsgálata, különös tekintettel a turizmusra és a kritikus infrastruktúrára (KRITÉR). <https://www.met.hu/KRITeR/hu/publikacio/#cikk>
- Bokros K., Lakatos M., 2022: Hőségperiódusok vizsgálata Magyarországon a XX. század elejétől napjainkig *Léggör* 67(3). 130–140.
- Hooyberghs, H., Berckmans, J., Lefebvre, F., and De Ridder, K., 2019: C3S\_422\_Lot2 SIS European Health. Spells extra documentation. (letöltés: 2022. szeptember 30.) [http://urban-climate.copernicus-climate.eu/documents/Spells\\_extra\\_documentation.pdf](http://urban-climate.copernicus-climate.eu/documents/Spells_extra_documentation.pdf)
- Izsák B., Bihari Z., és Szentés O., 2021: Éghajlatváltozás: homogenizált vagy nyers adatsorokat vizsgáljak? *Léggör* 66(3), 12–15.
- Izsák B., Szentimrey T., Lakatos M., Pongracz R., and Szentés O., 2022: Creation of a representative climatological database for Hungary from 1870 to 2020. *Időjárás* 126, 1–26. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2022.1.1>
- Karl, T.R., Nicholls, N., and Ghazi, A., 1999: CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climat. Change* 42, 3–7. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-9265-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9265-9_2)
- Klein Tank, A.M.G. and Konnen, G.P., 2003. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99. *J. Climate*. 16, 3665–3680. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<3665:TIOD-T>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<3665:TIOD-T>2.0.CO;2)
- Lakatos M., 2017: Hóhullám leltár. [https://www.met.hu/ismetret-tar/meteorologiai\\_hirek/index.php?id=1951](https://www.met.hu/ismetret-tar/meteorologiai_hirek/index.php?id=1951)
- Lakatos M., Bihari Z., Izsák B., Marton A., és Szentés O., 2021: Megfigyelt éghajlati változások Magyarországon. *Léggör* 66(3), 5–11.
- Ouzeau, G., Soubeyroux, J.-M., Schneider, M., Vautard, R., Plan-ton, S., 2016: Heat waves analysis over France in present and future climate: Application of a new method on the EURO-CORDEX ensemble. *Climate Services*, 4, 1–12.
- Páldy, A., Erdei, E., Bobvos, J., Ferenczi, E., Nádor, G., és Szabó, J., 2004: A klímaváltozás egészségi hatásai. *Egészségtudomány* 48, 220–236.
- Páldy A. and Bobvos J. 2014: Health impacts of climate change in Hungary - a review of results and possibilities to help adaptation. *Centr. Eur. J. Occup. Environ. Medc.* 20, 51–67.
- Páldy A., Bobvos J. és Málnási T., 2018: A klímaváltozás hatása egészségünkre és az egészségügyre Magyarországon. *Magyar Tudomány* 179, 1336–1348. <https://doi.org/10.1556/2065.179.2018.9.7>
- Simon Cs., 2021: Hóhullám kategóriák és trendek Magyarországon. Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Budapest (témavezető: Lakatos Mónika, Kis Anna)
- Szentimrey, T., 2008: Development of MASH homogenization procedure for daily data, Proceedings of the Fifth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases, Budapest, 2006; WCDMP-No. 71, WMO/TD-NO. 1493, 123–130.
- Tomczyk, A. M., Bednorz, E., 2019: Heat waves in Central Europe and tropospheric anomalies of temperature and geopotential heights. *International Journal of Climatology*, 39, 4189–4205. <https://doi.org/10.1002/joc.6067>

## Hivatkozások

- [1] <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate/Europe> letöltés ideje: 2022. november 8.
- [2] [https://surfobs.climate.copernicus.eu/documents/C3S\\_D311a\\_Lot4.3.1.10\\_script\\_and\\_manual\\_UTCI\\_v1.pdf](https://surfobs.climate.copernicus.eu/documents/C3S_D311a_Lot4.3.1.10_script_and_manual_UTCI_v1.pdf) letöltés ideje: 2022. november 8.
- [3] [https://surfobs.climate.copernicus.eu/dataaccess/access\\_carpacim\\_indices.php](https://surfobs.climate.copernicus.eu/dataaccess/access_carpacim_indices.php) letöltés ideje: 2022. november 8.