



Hőségperiódusok vizsgálata Magyarországon a XX. század elejétől napjainkig

Bokros Kinga, Lakatos Mónika

Országos Meteorológiai Szolgálat, bokros.k@met.hu

DOI: 10.56474/légkor.2022.3.2

A klímaváltozás nyilvánvaló jele térségünkben a magas hőmérsékletekkel kapcsolatos szélsőségek gyakoribbá válása, a hőhullámok tartósságának és intenzitásának növekedése. A változások nyomon követésére általában különböző szélsőséges éghajlati klímaindexeket használnak. Ezekből válogattunk meg és számoltunk ki néhányat, olyanokat, mint a hőségnapok, forró napok és trópusi éjszakák. Az elemzésekhez homogenizált, interpolált napi méréseket használtunk az 1901–2021 időszakból. Lineáris trendmodellel becsültük a változásokat, annak szignifikáns voltát is megvizsgáltuk. Többféle hőhullám definíciót alapul véve származtattuk a hőhullámos napokat. Az OMSZ veszélyjelzései, a Nemzeti Népegészségügyi Központ hőségriasztási rendszere, valamint a Copernicus program „European Health Service” szolgáltatásban Magyarországra elérhető indikátorok alapján összehasonlító elemzéseket végeztünk a hőségperiódusokra vonatkozóan.

Analysis of hot spells in Hungary from the early 20th century to the present

Climate change causes increasing frequency of extremes associated with high temperatures, and the increasing persistence and intensity of heat waves in our region. Various extreme climate indices are recommended and commonly used to detect the impact of climate change. Some of these indices have been implemented and calculated, such as hot days, warm days and tropical nights. For the analyses, we used homogenized, interpolated daily measurements from the period 1901–2021. A linear trend model was used to estimate the changes, and its significance was also tested. Heat wave days were derived using several definitions of heat wave. Comparative analyses of heatwave periods were carried out based on the OMSZ warnings, the National Public Health Centre's heat alert system and the indicators available for Hungary in the Copernicus programme's European Health Service.

Bevezetés

Térségünk klímaváltozásnak való kitettsége igen jelentős, mely megmutatkozik a hőhullámok növekvő számában, tartósságában és intenzitásában egyaránt. Ezen kiugróan meleg időjárás

események kialakulásának megannyi oka ismert. Közrejátszanak a mediterrán, illetve trópusi területekről érkező, vagy éppen az erős, atlanti-óceáni eredetű, nagy kiterjedésű, lassú mozgású, s így tartós anticiklonokhoz kapcsoló leszálló meleg

légtömegek. Fontos szerepe van a kisebb skálájú jelenségeknek is, mint az éjszakai magasszintű felhőzet, mely visszatartja a kisugárzott hőmennyiséget, s amely magával hozza a nagyobb mértékű nappali felmelegedést. Nem elhanyagolhatók továbbá az orografikus hatások, úgymint hazánk éghajlatának egy fontos karakterisztikája, a medence-jelleg. Ennek egyik következménye, hogy a térségünkbe érkező szelek a környező hegységeken átjutva fön jelleggel és alacsonyabb szélsőértékekkel rendelkeznek. A kisebb szélsőérték, illetve a szélcsendes időjárási helyzetek pedig kedveznek a hőhullámok kialakulásának. Emellett hatással van a hőhullámok alakulására a talajnedvesség és a levegő relatív nedvessége is, ezen kívül a városi környezet beépítettsége. A városi hősziget hatás nagyban felerősíti ezen kiugróan meleg időszakokat.

Évszakaink közül nyáron tapasztalható a legnagyobb mértékű melegedés, mind az átlaghőmérséklet, a minimum- és a maximumhőmérséklet tekintetében. A nyári középhőmérséklet 121 év alatt 1,6 °C-kal, míg a maximum-, és a minimumhőmérséklet 1,8, illetve 1,7 °C-kal nőtt 1901 óta országosan. Ez a nagymértékű emelkedés olyan hőmérsékleti extrémításokat eredményez, amely komoly károkat okozhat a vegetációban, a mezőgazdasági termelésben. A komoly hőhullámok rendszerint aszályal párosulnak, s ez hatással lehet az élelmiszerellátásra, illetve az élelmiszer árak növekedését okozhatja. A hőségperiódusok fokozzák a városi hősziget mértékét, ezáltal a hőség egészségügyi hatásait, ami a hőhullámok okozta többlethalálozásban is megnyilvánul (Bihari et al., 2015). A klímaváltozás várhatóan befolyásolni fogja egyes, állati közvetítők (rovarok, rágcsálók) által terjesztett fertőző betegségek térbeli és időbeli megjelenését. Hazánkban elsősorban a kullancsok által terjesztett Lyme-kór fog gyakoribbá válni, de megjelennek egyes szúnyogok által behurcolt betegségek is (Trájer, 2022). A növekvő hőmérséklet hatására gyakoribbá válhatnak egyes mikrobiális eredetű élelmiszer-fertőzések és -mérgezések. Számolni kell az allergén növények változó elterjedésével, növekvő pollenzórásával is. (Páldy et al., 2018). A magas hőmérséklettel

kapcsolatos események vizsgálata így elengedhetetlen az eredményes alkalmazkodási folyamat megvalósításához.

Ebben az írásban a 121 évet felölelő hőségvizsgálatok elvégzéséhez részben olyan mutatókat használtunk, melyek megjelennek az éghajlatváltozás hazai hatásainak feltérképezését szolgáló KEHOP-1.1.0: KlímAdat projektben is¹. A projekt eredményeképp 1971-től elérhető olyan szélsőséges éghajlati indexek, mint a *hőségnapok*, *másodfokú hőhullámos napok*, *trópusi éjszakák*, *hőhullámos napok száma*. Cikkünkben az itt felsoroltakon kívül szerepel a *forró napok számának* elemzése is. Az elemzések kezdete a múlt század elejéig visszanyúlik, így ezzel az anyaggal kiegészítjük a KlímAdat projekt időtávját.

A tartós hőségre, hőhullámokra vonatkozóan háromféle definíciót alkalmazunk. Összehasonlítjuk az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) veszélyjelzésben használt, valamint a Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNK) által szakmailag támogatott hőségriasztási 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” területén (<https://climate.copernicus.eu/european-health-service>) Magyarországra elérhető hőhullámos napokat (Hooyberghs et al., 2019).

Felhasznált adatok és módszerek

Elemzéseinkhez az Országos Meteorológiai Szolgálat MASH rendszerrel homogenizált (Szentimrey, 2008) és MISH módszerrel interpolált (Szentimrey és Bihari, 2007) HuClim adatbázisát használtuk. A HuClim egy térben és időben is reprezentatív, a hazai éghajlati változások nyomán követésére ajánlott adatbázis (Izsák et al., 2021). Az országot lefedő, 10 km-es rácsávolságú háló pontjaira tartalmaz becslést a napi középhőmérsékletre és a napi hőmérsékleti szélsőértékekre, valamint a napi csapadékösszegre a múlt század elejétől. A HuClim előállítás és évenkénti frissítése

¹ <https://www.met.hu/klimadat/hu/kezdo/index.php>

az OMSZ Éghajlati Osztályán történik (Izsák *et al.*, 2022). Az itt bemutatott hőségindexeket és a hőhullámok jellemzőit a napi átlaghőmérséklet, napi minimum, és maximumhőmérséklet adatsorokból származtattuk. A trendelemzés során lineáris trendmodellt alkalmaztunk, a trend szignifikanciájára vonatkozó hipotézisvizsgálatot t-próbával végeztük $\alpha=0,05$ valószínűségi szintre.

Bár a hőségre, illetve a hőhullámokra vonatkozóan nincs egységes, pontos, hivatalos definíció sem a Meteorológiai Világszervezet (WMO), sem az Egészségügyi Világszervezet (WHO) részéről, mégis megfogalmazznak javaslatokat és küszöbértékeket erre vonatkozóan. A WMO CCI/CLIVAR/JCOMM az éghajlatváltozás detektálásával és az arra szolgáló indexek meghatározásával foglalkozó szakértői munkacsoportja (ETCCDI) számos szélsőség indexet definiált. Több nemzetközi kutatási projektben ezeket meg is valósították (Klein Tank and Konnen, 2003; Karl *et al.*, 1999). A hazai gyakorlatban is alkalmazzuk ezek egy részét a megfigyelt változások nyomon követésére (Lakatos *et al.*, 2021). Ilyen indexek például a fix küszöbökön alapuló, hazai gyakorlatban is régóta használt hőségnapok és forró napok. Ezek mellett a trópusi éjszakák azonosítása is fontossá vált az intenzív melegedéssel. Ezen hőségmutatók definíciói láthatók az 1. táblázatban.

| | |
|-----------------|--|
| 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. Hőségindexek definíciói.

Az egyedi küszöbátlépés mellett a hőség tartósságát, 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.

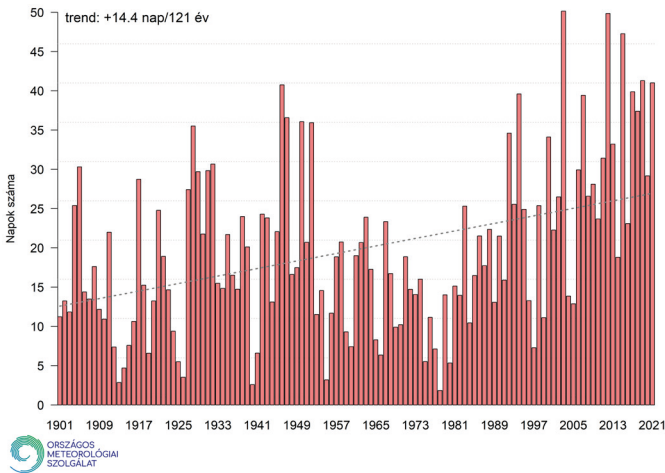
A C3S European Health Service Magyarországra elérhető szolgáltatásának alapja az NNK szakértői által javasolt hőhullám definíció (Páldy és Bobvos, 2014). Ebben a definícióban térben nem állandó érték a hőhullám küszöbértéke, ugyanis az 1981–1990 évtizedre vonatkozó, május 16. és szeptember 15. közötti időszakban értelmezett napi átlaghőmérsékletek 90. percentilisével veszi alapul (T_{90} (1981–1990)), mely taggal egy dinamikus definíció áll elő, területenként eltérő T_{90} (1981–1990) értékkel, így eltérő gyakorisággal, s tartammal rendelkező hőhullámokkal. A felsorolt hőség- és hőhullám meghatározásokat a 2. táblázat tartalmazza.

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

2. táblázat. Hőhullám figyelmeztetés és riasztás kritériumai.

Hőségindex vizsgálatok eredménye

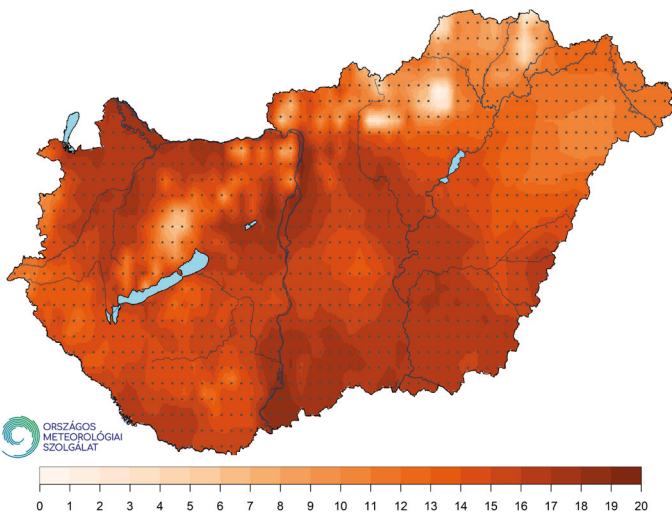
Hőségnapról akkor beszélünk, ha a napi maximumhőmérséklet eléri, illetve meghaladja a $30 \text{ }^\circ\text{C}$ -t. A hőségnapok évi számának országos átlagát szemlélteti az 1. ábra 1901 és 2021 között, melyben szignifikáns pozitív trend (+14,4 nap) tapasztalható. A 30 éves normálidőszakokat tekintve az 1991–2020-as normál (28,6 nap) majdnem kétszerese a 1901–1930 (15,9 nap) és 1961–1990 normálidőszakok (14,7 nap) értékeinek. A 30 fokot meghaladó maximumok gyakoriságának növekedése tehát szembevetendő, az 5 legtöbb hőségnapot számláló év a 3. táblázatban látható. Ebből megállapítható, hogy a legtöbb hőségnap az elmúlt két évtizedből származik.



1. ábra. Hőségnapok számának országos átlaga 1901 és 2021 között.

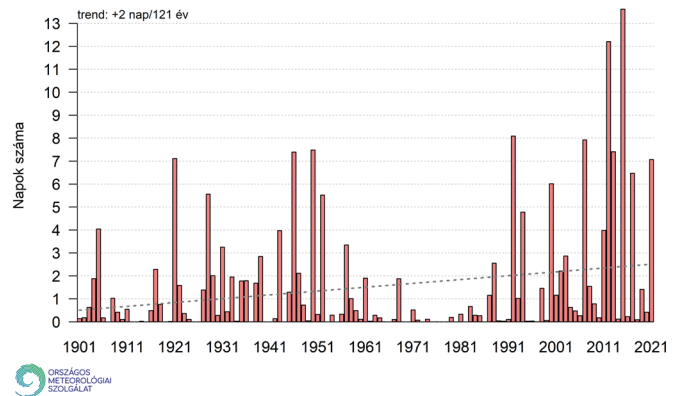
| | Év | Hőségnapok számának országos átlaga [nap] |
|----|------|---|
| 1. | 2003 | 50,2 |
| 2. | 2012 | 48,9 |
| 3. | 2015 | 47,3 |
| 4. | 2019 | 41,3 |
| 5. | 2021 | 41,0 |

3. táblázat. Az 5 legtöbb hőségnapot számláló év listája, 1901-2021 között.



2. ábra. Hőségnapok ($T_{max} \geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$) évi összegének napokban kifejezett változása 1901 és 2021 között. A 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns változást pöttyök jelölik.

A hőségnapok 121 éves változásának területi eloszlását jeleníti meg a 2. ábra, mely napokban fejezi ki a változás mértékét. Országosan – az Északi-középhegység egyes pontjait leszámítva – mindenhol szignifikánsan növekvő tendencia mutatkozik. A legnagyobb növekedés a Kisalföld és az Alföld déli, délkeleti területein következett be, ezeken a tájakon 16–19 nappal nőtt a hőségnapok éves összege a múlt század elejétől. Hasonlóan magas értékek jelennek meg a főváros környékén is, Pest megye Dunától keletre eső területein. Kisebb mértékben növekedett a hőségnapok száma az ország északi, északkeleti régióiban, valamint az Alpokalja területén. Előbbi esetén megközelítőleg 8–12 napos, míg Nyugat-Magyarországon 10–13 napos trend mutatkozik. A legkisebb növekedés a közép-hegységeinkben volt, a Dunántúli-középhegység területén 4–9 nap az Északi-középhegység és a Zempléni-hegység legmagasabb pontjain nem volt tapasztalható szignifikáns változás.



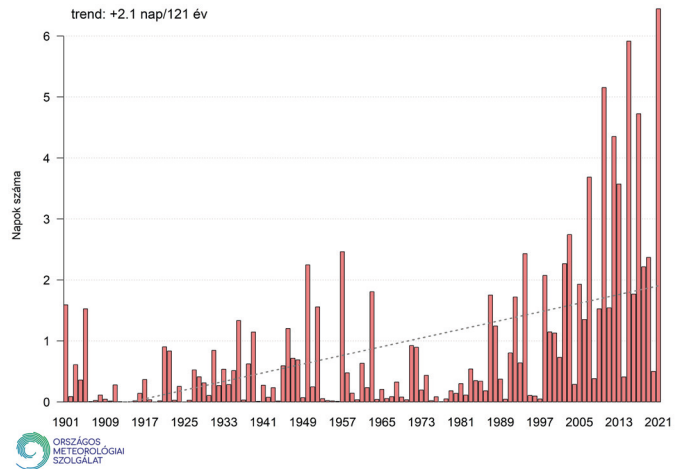
3. ábra. Forró napok éves számának országos átlaga 1901 és 2021 között a lineáris trendvonalal.

| normál időszakok | forró napok országos átlaga [nap] |
|------------------|-----------------------------------|
| 1901-1930 | 1,0 |
| 1931-1960 | 1,6 |
| 1961-1990 | 0,4 |
| 1991-2020 | 2,9 |

4. táblázat. Forró napok országos átlaga 30 éves normálidőszakokban.

A forró napok éves számának országos átlagát illusztrálja az elmúlt 121 évben a 3. ábra. A hőségnapokhoz képest kisebb esetszámok jelennek meg, leginkább a 1960–70-es években fordultak elő 1-nél kisebb országos átlagok. A teljes időszakot pozitív, szignifikáns trend jellemzi: országosan 2 nappal nőtt a 35 fokot meghaladó napi maximumhőmérsékletek száma. A 4. táblázat szemlélteti, hogy a normálidőszakok közül az elmúlt 30 év átlaga a legnagyobb országosan (2,9 nap). A legtöbb forró napot számláló év 2015 volt, országos átlagban 13,6 nappal. Ezt 2012 (12,2 nap), majd 1992 követte 8,1 nappal, azaz jól látható, hogy az elmúlt 30 évben fordult elő a legtöbb forró nap.

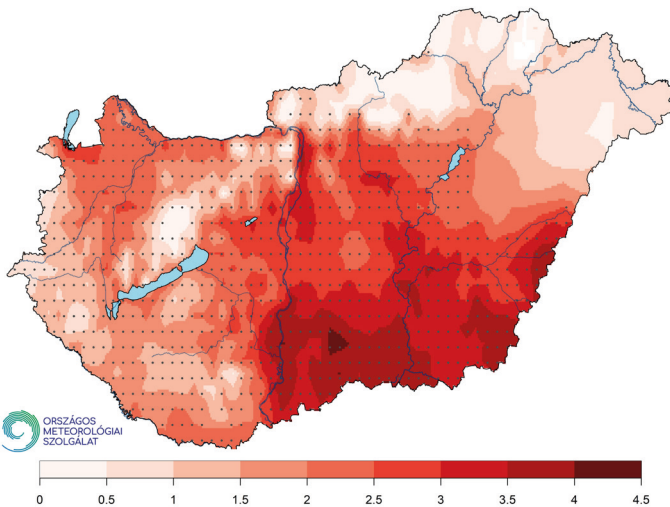
Az országos átlag mellett sokatmondó a forró napok éves változásának területi eloszlása (4. ábra), mely nagyban hasonlít a hőségnapok változásának országos eloszlásához. Hasonlóan a 2. ábrához, a forró napok esetén is az Alföld, a Kisalföld és a főváros környékén volt tapasztalható a legnagyobb növekedés. Az Alföld déli régióiban, illetve délkeleten a Körös-Maros köze, a Bihari-síkság és a Kis-Sárrét vidékén 3–4,5 nappal nőtt a 35 fokot elérő, illetve meghaladó csúcshőmérsékletű napok száma 121 év alatt, míg a Kisalföldön valamelyest kisebb, ám statisztikailag szignifikáns növekedés volt jellemző (+2–3 nap). Az ország középső részén és Pest



5. ábra. Trópusi éjszakák éves számának országos átlaga 1901 és 2021 között.

megye keleti, sík vidékén történt nagyobb mértékű, 2,5–4 napos növekedés. A Dél-Dunántúlon kismértékű változás látható, 1,5–2 nappal lett több a forró napok száma. A 4. ábráról leolvasható, hogy a legkisebb mértékben keleten, északkeleten változott a 35 fokos maximumot meghaladó napok száma. Az Északi-középhegység területén, valamint a Nyírségben és a Nagykunság legészakibb területein szignifikáns változás nem történt, s ugyanez igaz további hegységeink, a Dunántúli-középhegység és a Mecsek magasabb pontjaira.

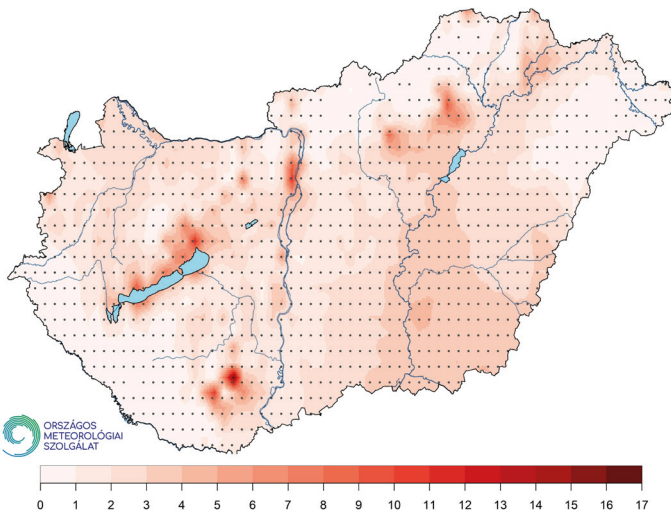
A napi maximumhőmérsékletekhez kötődő mutatók mellett vizsgáltuk a napi minimumhőmérsékletekre vonatkozó indexeket is, ilyen a trópusi éjszakák száma, mely a 20 °C-t elérő, illetve azt meghaladó minimumhőmérsékletű napokat adja meg. Az 5. ábra szemlélteti ezen napok 121 éves összegeinek országos átlagát. Hazánk területén átlagosan 2,1 napos növekedés tapasztalható, mely szignifikáns változásnak tekinthető.



4. ábra. Forró napok ($T_{max} \geq 35 \text{ °C}$) évi összegének napokban kifejezett változása 1901 és 2021 között. A 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns változást pöttyök jelölik.

| | Év | trópusi éjszakák országos átlaga [nap] |
|----|------|--|
| 1. | 2021 | 6,5 |
| 2. | 2015 | 5,9 |
| 3. | 2010 | 5,2 |
| 4. | 2017 | 4,7 |
| 5. | 2012 | 4,4 |

5. táblázat. Az 5 legtöbb trópusi éjszaka éves száma.



6. ábra. Trópusi éjszakák ($T_{\min} \geq 20\text{ °C}$) évi összegének napokban kifejezett változása 1901–2021 között. A 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns változást pöttyök jelölik.

Ahogy a forró napok és a hőségnapok előfordulására, úgy a trópusi éjszakákra is jellemző, hogy az elmúlt 1–2 évtizedben volt a legnagyobb az évi esetszámuk. Az 5 legtöbb trópusi éjszakát számláló év 2010 óta következett be, s ezek közül országos átlagban a legtöbb 2021-ben lépett fel (5. táblázat).

A trópusi éjszakák 121 éves változásának területi eloszlását szemlélteti a 6. ábra, mely a hőség- és forró napok változásának országos eloszlásától merőben eltérő mintázatot mutat. Észak-Magyarország és a Nyírség szűkebb régióit leszámítva az egész országot pozitív, szignifikáns trend jellemzi. Általánosságban elmondható, hogy a magasabb tengerszint feletti magasságú régiókban jelentősebb a változás, illetve a hegységek lábánál. A Balaton környékén, a Keszthelyi-hegység és a Balaton-felvidék területén az átlagoshoz képest nagyobb mértékű volt a növekedés, megközelítőleg 5–12 nap. Pest megye Duna vonalától nyugatra fekvő területein 6–11 nappal nőtt a 20 foknál magasabb minimumhőmérsékletű napok száma. Nagy mértékben, 6–8 nappal nőtt a trópusi éjszakák száma az Északi-középhegység környékén is, de Soproni- és a Kőszegi-hegység csúcsain is ehhez hasonló változást tapasztalunk. A legnagyobb mértékű növekedés a Dél-Dunántúlon, a Mecsek vidékén történt, mely területről 15–17 napos trend olvasható le.

Az országos átlagnak megfelelő a trópusi éjszakák számának növekedése a Kisalföldön (+2–3 nap), míg az Alföld délkeleti régióiban bekövetkezett változás (3–5 nap), mely északkelet felé egyre csökken. Északkelet-Magyarországhoz hasonlóan délnyugaton, a Dunántúli-dombság vidékén is az országos átlag alatti, 1 nap körüli változás következett be.

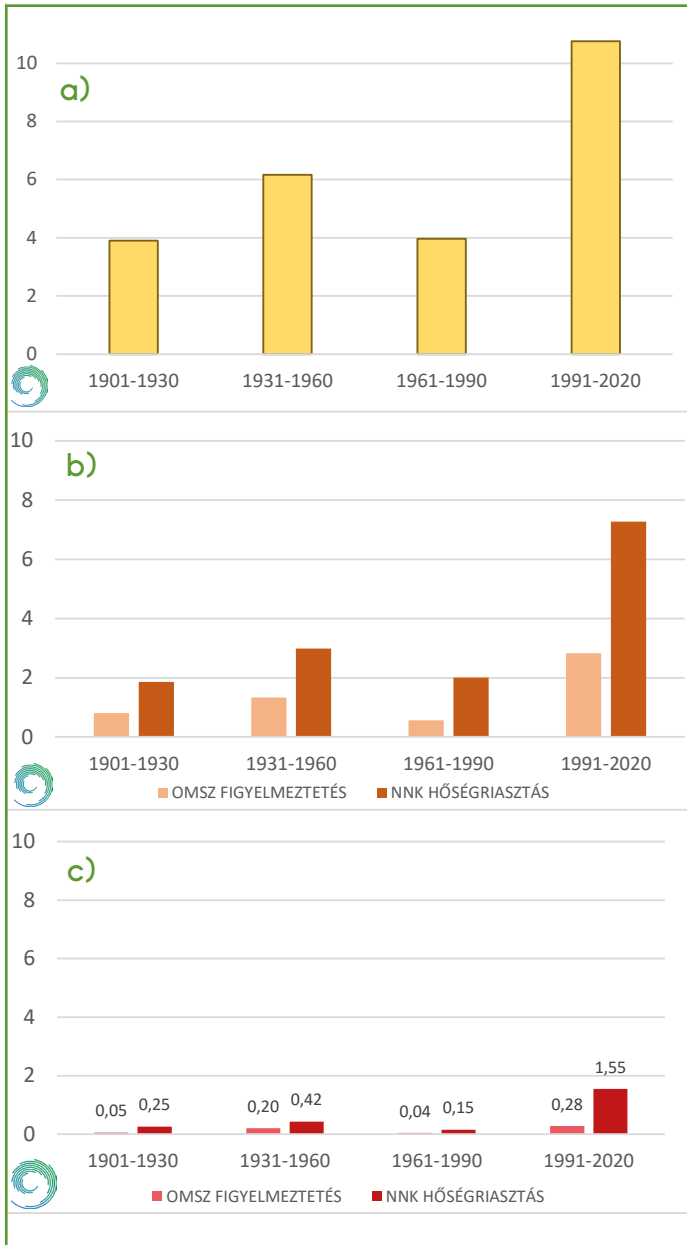
Hőhullám vizsgálatok eredménye

A szélsőértékekhez köthető indexek bemutatása mellett a magas napi átlaghőmérsékleteken alapuló mutatók vizsgálata is elengedhetetlen, hisz ezek jól kifejezik az egész napos hőterhet. Az elemzéseink során felhasznált, s a 2. táblázatban definiált három hőhullámfogalom mindegyike a napi átlaghőmérsékletre fogalmaz meg feltételeket.

Az OMSZ három szintű veszélyjelzése 1–1 nap előrejelzett átlaghőmérsékletén alapul, majd ez alapján ad ki figyelmeztetést hőségre a Szolgálat három küszöb szerint (25, 27 és 29 °C).

A Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNK) szakmai támogatásával készülő, az országos tisztifőorvos által kiadott hőségrisztások az OMSZ veszélyjelzéseit is figyelembe veszik, belső konzultáción alapulnak. Ezeknek a kritériumoknak legalább 3 egymást követő napon fenn kell állniuk a másod- és harmadfokú riasztások esetén (2. táblázat).

Megvizsgáltuk, hogy az OMSZ figyelmeztetés, illetve NNK hőségrisztás kritériumait kielégítő napok száma hogyan alakult 1901-től országos átlagban. A 7. ábra az első-, másod- és harmadfokú OMSZ figyelmeztetéseknek, illetve NNK hőségrisztásoknak a 30 éves normálidőszakokra vonatkozó, rácsponti értékeken alapuló országos átlagait tartalmazza a két fent említett módszer szerint számítva. Jól látható, hogy mindkét esetben és mindhárom fokozatot szemlélve az elmúlt harminc évben volt tapasztalható országos szinten a legtöbb hőségsperiódus. Az elsőfokú riasztás kritériumának megfelelő napok átlaga az 1991–2020-as időszakban több mint 10,8 nap volt (7/a ábra). A legnagyobb mértékű változás is ebben az esetben, a 25 °C napi középhőmérsékletet meghaladó napok évi számában volt tapasztalható hazánkban



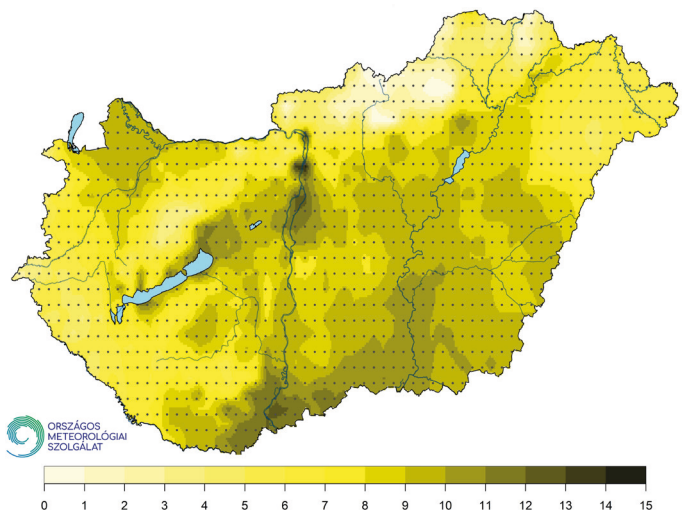
7. ábra. Első (a)-, másod (b)- és harmadfokú (c) hőségriasztások kritériumát kielégítő napok számának 30 éves átlagai.

(+7,7 nap/121 év). Az egyes éveket vizsgálva 2015-ben (28,8 nap), majd 2012-ben (24,1 nap) és 2021-ben (21,1 nap) volt a legtöbb ilyen nap Magyarországon. Megjegyezzük, hogy az elsőfokú küszöbértéke azonos a két rendszerben.

A 7. ábra b) része a másodfokú figyelmeztetésnek, illetve riasztásnak megfeleltethető napok éves, országos átlagát jeleníti meg 30 éves átlagok

formájában az OMSZ veszélyjelzése ($T_{\text{átl}} \geq 27 \text{ }^\circ\text{C}$) és az NNK hőségriasztások ($T_{\text{átl}} \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$ minimum 3 napig) módszerével számítva. Utóbbi esetén magasabbak az esetszámok mindegyik normálidőszakban. Az átlaghőmérsékletek növekedését mutatja az 1991–2020-ra vonatkozó, a megelőző normálidőszakokhoz képest megközelítőleg 3–4-szeres átlagérték (7,27 nap). A 121 éves trend is szignifikánsan növekvő: 6,5 nappal nőtt az NNK kritérium rendszerrel számított másodfokú hőségriasztások száma. A $27 \text{ }^\circ\text{C}$ átlaghőmérsékletet meghaladó napok száma kisebb mértékben, ám szintén szignifikánsan változott (+2,5 nap/121 év) országos átlagban. Az OMSZ veszélyjelző rendszere szerinti másodfokú figyelmeztetéseknek megfeleltethető napok az elmúlt 30 évben fordultak elő legtöbbször, a maga 2,8 napos országos átlagával kiemelkedik az előző normálidőszakok értékei közül, melyek egyike sem érte el a 2 napot.

2015-ben kiemelkedően sok hóhullámos nap fordult elő. A másodfokú hőségriadónak megfeleltethető napok országos átlaga 2015-ben volt a legnagyobb (25,8 nap), melyet 2012 (21,1 nap) és 2021 (16,3 nap) követett. Az OMSZ veszélyjelzése szerinti másodfokú figyelmeztetés kategóriájába sorolható napok országos átlagait tekintve 2012-ben fordult elő a legtöbb $27 \text{ }^\circ\text{C}$ -nál nagyobb átlaghőmérsékletű nap (11,5), míg 2015-ben és



8. ábra. A hóhullámos napok ($T_{\text{átl}} \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$) éves számának változása 1901 és 2021 között. A 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns változást pöttyök jelölik.

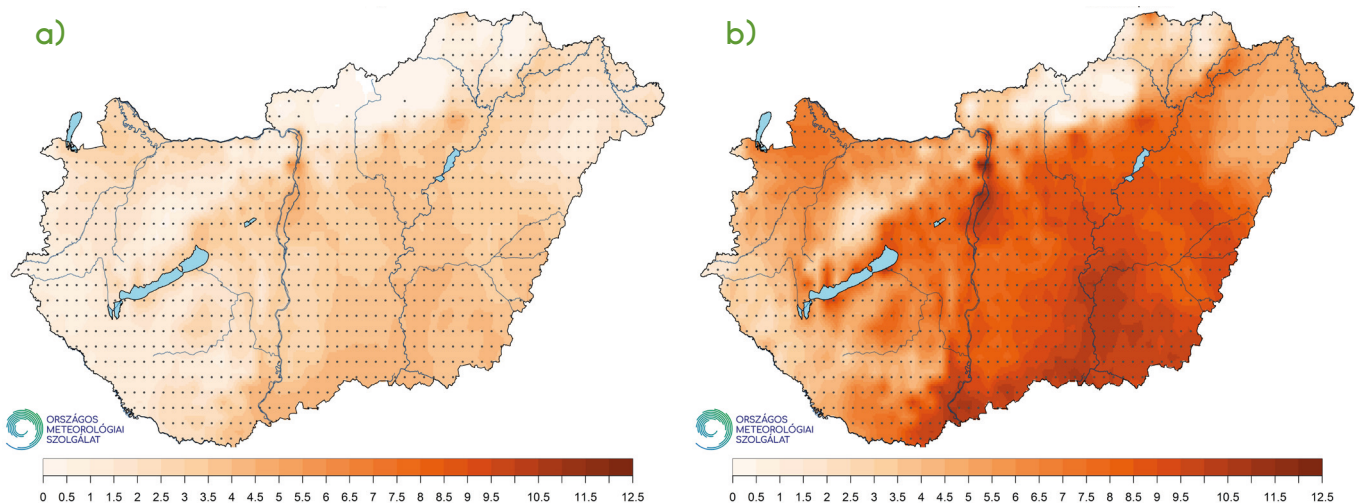
2021-ben is rekordmennyiségben fordultak elő: 10,9 és 8,14 nap. Emellett 2013 (8,13 nap) és 2007 (7,56 nap) is nagy értékekkel szerepel.

A legkisebb eltérés a legmagasabb szintű hőség tekintetében tapasztalható az OMSZ figyelmeztetés és az NNK riasztások küszöbszámai alapján (7/c ábra). Az 1901-től 1990-ig szereplő 3 normálidőszak egyikében sem haladja meg az 1 napot ez az érték országos átlagban. A legnagyobb eltérés az elmúlt 30 évre jellemző, amikor legalább 3 napig fennálló, és a 27 °C átlaghőmérsékletet elérő, illetve meghaladó napok, hőségperiódusok számának országos átlaga (1,6 nap) több mint 5-szörösen meghaladja a 29 °C átlaghőmérsékletű napok számának országos 30 éves átlagát (0,3 nap). Utóbbinak a XX. század elejétől számított trendje a legkisebb: +0,3 nap / 121 év, mely változás statisztikailag szignifikáns 0,05-ös valószínűségi szint mellett. Az NNK küszöb figyelembevételével a legkomolyabb hőségperiódusok trendje nagyobb mértékű, országos átlagban 1,6 napos a növekedés 121 év alatt. Magas országos átlag jellemezte 2013 (7,9 nap) 2015 (7,4 nap) és 2007 (6,6 nap) éveket az NNK riasztási rendszer szerinti meghatározás szerint.

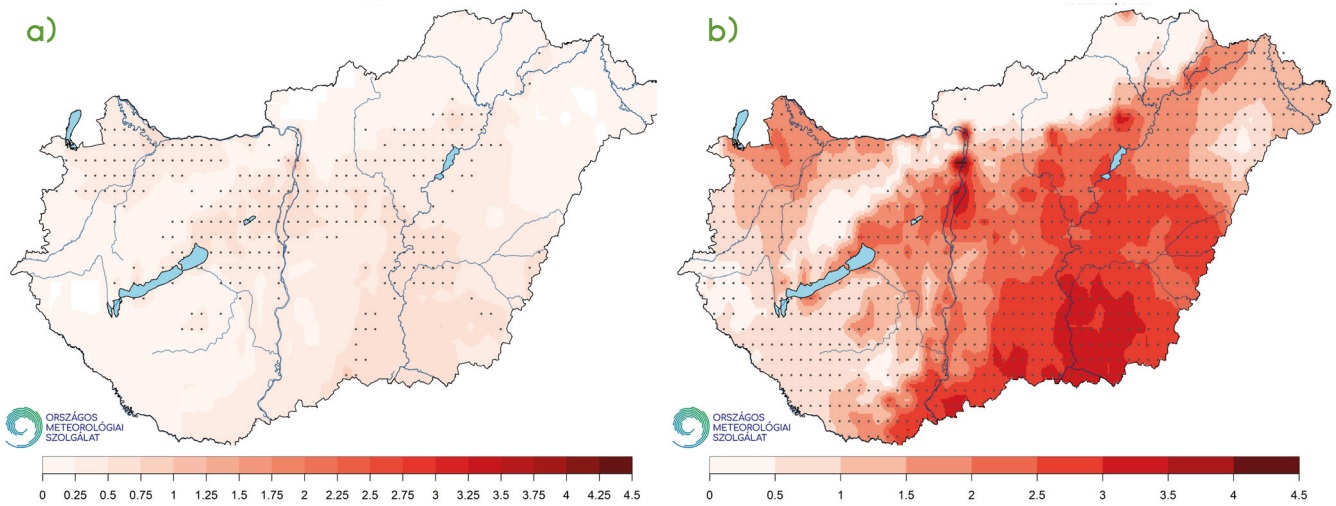
Tovább árnyalja a képet a 8–10. ábrák sorozata, ahol ugyanezen módszerek szerint számított hóhullámos napok 121 éves változását tekinthetjük át területi eloszlásban. A hóhullámos napok,

vagyis elsőfokú figyelmeztetéseknek, illetve hőségriasztásoknak megfelelő napok évi számának XX. század elejétől vett változása a főváros környékén, Pest megyében a legnagyobb (+14–15 nap/121 év), de magas értékeket láthatunk a 8. ábrán Dél-Magyarországon, valamint délkeleten (+8–13 nap/121 év). Az ország középső területein, az Alföldön, Kisalföldön és a Dunántúl Duna menti, keleti régióiban is nagymértékű, 8–11 napos pozitív változás fedezhető fel. Az országos átlagnak megfelelő növekedés tapasztalható Északkelet-Magyarországon, a Dunántúl nyugati-délnyugati tájain, a Dunántúli-középhegységben, valamint a Dunántúli-középhegységben. Az országos átlagnál kisebb növekedés az Északi-középhegységben fordult elő, a legmagasabb pontokon nem tapasztalható szignifikáns változás.

Ahogy a 7.b ábra is szemlélteti, úgy a 9. ábrán is megfigyelhető, hogy az OMSZ veszélyjelzése szerint definiált másodfokú figyelmeztetést kielégítő napok száma, illetve annak változása (9.a ábra) kisebb mértékű növekedést jelez országosan, mint az NNK definíció (9.b ábra) felhasználásával. Ám a változás térbeli mintázata a két esetben megegyező: a legnagyobb növekedés Dél-Magyarországon, és az Alföldön, valamint a Kisalföldön és a főváros környékén tapasztalható, valamivel kisebb a Nyírségben, a Dunántúli-dombság és a Dunántúli-középhegység területén, s a legkisebb



9. ábra. Másodfokú hóhullámos napok éves számának változása 1901 és 2021 között az OMSZ veszélyjelzés (a) és az NNK hőségriasztás (b) definíciójának alkalmazásával. A 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns változást pöttyök jelölik.



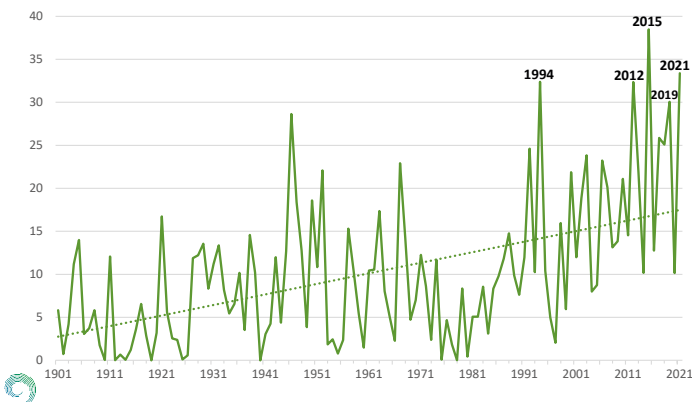
10. ábra. Harmadfokú hőhullámos napok éves számának változása 1901 és 2021 között az OMSZ veszélyjelzés (a) és az NNK hőségriasztás (b) definíciójának alkalmazásával. A 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns változást pöttyök jelölik.

mértékű növekedés az Északi-középhegység tájain következett be 121 év alatt. Továbbá szembevetendő, hogy hőhullámból származó, legalább 27 °C-os napi átlaghőmérsékletű napok éves száma nem változik jelentős mértékben Észak-Magyarországon sem, míg a legalább 3 napig 25 °C-ot elérő napok számának éves változása ezen a területen is szignifikánsan növekszik. Csupán az Északi-középhegység legmagasabb pontjaira igaz, hogy egyik szempont szerint sem történt jelentős változás.

A harmadfokú figyelmeztetések, illetve riasztások kritériuma szerinti napok éves számának változását szemlélteti a két definíció alapján a 10. ábra. A 29 °C átlaghőmérsékletet

elérő napok évi számának 121 éves változása nem haladja meg a +1 nap/121 év trendet, ebben az esetben mutatkozik a legkevesebb szignifikáns pont a rácspontokban. Főként az ország középső területén, a főváros környékén, a Dunántúl északi keleti régiójában, valamint a Kisalföldön tapasztalható, emellett az Alföld középső és északi vidékein jellemző (10/a. ábra) kismértékű, de statisztikailag szignifikáns növekedés. Nagyobb mértékben nőtt, és nagyobb területen változott szignifikánsan az NNK hőségriasztás harmadik fokozatát leíró hőségperiódusok éves száma 121 év alatt (10/b. ábra), melynek területi eloszlási mintázata nagyban hasonlít a 9.b. ábrához. A legnagyobb növekedés Dél-, és Délkelet-Magyarországon, az Alföldön, a Kisalföldön tapasztalható, illetve Budapest környezetében (+3 – 4,5 nap/121 év). Kisebb mértékű növekedés a Nyírségben és a Dunántúli-dombság területén (0,5 – 2 nap/121 év). Statisztikailag nem szignifikáns változás látható a hegységek régióiban (Dunántúli-középhegység, Mecsek, Északi-középhegység), valamint az Alpokalja egyes tájain.

A C3S European Health Service által Magyarországra alkalmazott definíció (NNK/C3S European Health Service) nem tartalmaz különböző fokozatokat a hőhullámos napok meghatározásához (2. táblázat). Az 1981–1990 nyári időszaknak adott pontra számított 90. percentiliseihez

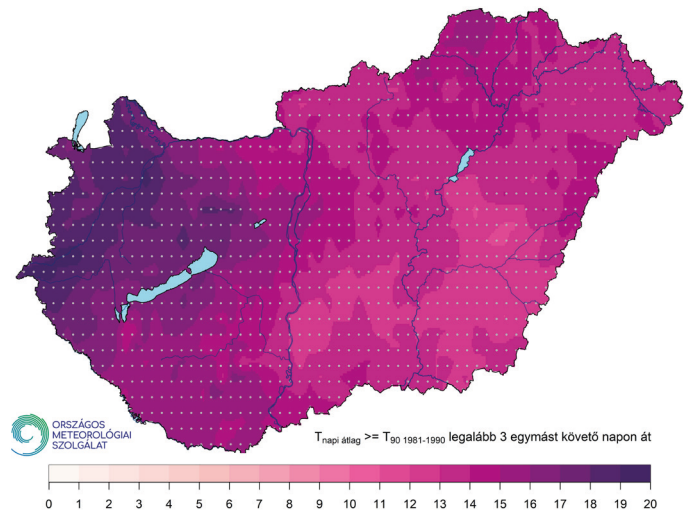


11. ábra. Az NNK/C3S European Health Service definícióval meghatározott hőhullámos napok országos átlaga 1901 és 2021 között.

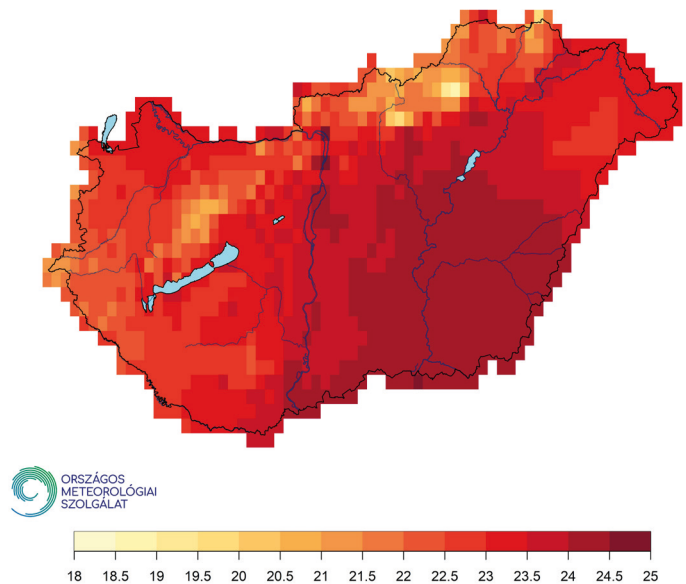
képest határozza meg a hóhullámos periódusokat, figyelembe véve az adott területen élők korábbi kitettségét, amihez már vélhetően sikeresen alkalmazkodtak. Ennek országos átlagait mutatja a 11. ábra az 5 legtöbb hóhullámos napot tartalmazó év feltüntetésével. Az országos átlag az elmúlt 121 év során 14,7 nappal növekedett. Ennek a hóhullámdefiníciónak az országos átlagaiból egyértelműen leolvasható, hogy 1980-ban csökkent utoljára 1 nap alá az országos átlag, 1997-ben volt utoljára 5 nap alatti, 2006 óta pedig nem csökkent 10 nap alá hazánkban a hóhullámos napok száma.

Az országos átlag mellett a változás területi eloszlása különösen fontos (12. ábra), ugyanis ez a definíció nem egy országos küszöböt használ, hanem helyfüggő küszöbértéket vesz alapul. Az eddig bemutatott hóhullám- és hőségperiódusok 121 éves változását vizsgálva az Alföld, Kisalföld területe volt a leginkább érintett, s a legkevésbé a hegységeink, az Alpokalja, valamint a Nyírség és Észak-Magyarország területén változott a hóhullámos napok száma e definíciót tekintve. Jelen vizsgálat után azonban az adott terület 1981–1990 referenciaidőszak szerint határozza meg a hóhullámos napok, periódusok alakulását, a 12. ábra így kiegészítésre szorul, hiszen fontos látnunk a referenciaidőszak 90. percentiliseit, melyet a 13. ábra tartalmaz rácspontonként, simítatlanul. Ezen jól látható, hogy a legalacsonyabb percentilis-értékek az ország hegységeinek területén fordultak elő, valamint a nyugati országrészben. Mindez azt jelenti, hogy a NNK/C3S European Health Service által alkalmazott hóhullám definícióval az ország legmagasabb pontjain a 18–19 fokot elérő, s legalább három napig a 18–19 fokot meghaladó napi átlaghőmérsékletű napok is hóhullámos napnak számítanak, míg az Alföld területén a 24 °C körüli kritériumérték az, melynek legalább 3 napig fenn kell állnia a hóhullám kialakulásához.

Ehhez mérten nagyobb a változás a hóhullámos napok számában Nyugat-Magyarország tájain és a Dunántúli-középhegység tájain ezzel a definícióval (12. ábra). Az ország ezen területein a +20 nap/121 év változás is előfordult, de a legcsekélyebb változás is több volt, mint 10–12 nap/121 év, mely főként délkeleten volt tapasztalható. Magasabb értékek jelentek



12. ábra. Hóhullámos napok éves számának változása 1901 és 2021 között az NNK/C3S European Health Service hóhullámdefiníció alkalmazásával. A 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns változást pöttyök jelölik.



13. ábra. 1981–1990 között, május 16. és szeptember 15. közötti időszak napi átlaghőmérsékletei alapján meghatározott 90. percentilis értékek [°C].

meg továbbá az Északi-középhegység vonulatain (Cserehát, Zempléni-hegység), ahol 14 napos növekedést láthatunk 121 év alatt. A trendvizsgálatból kiderül, hogy az ország egész területén szignifikáns növekedés volt jellemző.

Összefoglalás

Elemzésünk során Magyarország magas hőmérséklettel kapcsolatos szélsőséges eseményeit vizsgáltuk. A klímaváltozás hatásainak eredményeképp a XX. század eleje óta minden hőségmutató éves gyakorisága jelentősen növekedett az országban.

Az ország egyes területeit tekintve a legnagyobb mértékben az Alföld déli, és délkeleti tájait, a Kisalföldet és a főváros környékét terheli az extrém hőségesemények változása, akár a forró napok, hőségnapok, akár a hőhullámok számának, tartamának növekedéséről legyen szó. A legkevésbé érintett régiók a hegségek, valamint Északkelet-Magyarország és az Alpokalja tájai.

Az itt bemutatott, napi maximum-, illetve minimumhőmérséklethez köthető hőség indikátorok szerint a legnagyobb hőteher az alábbi években jelentkezett: 2015, 2012, 2010, 2007, 2003, de 2021-re is magas értékek születtek. Az Országos Meteorológiai Szolgálat elemzése szerint 2022 nyara rekordmeleg volt 1901 óta Magyarországon. Több hőhullám is kialakult. Az elsőfokú hőhullámos napok számának országos átlaga megegyezett a 2021-es országos átlaggal (21 nap), de az Alföldön a 30 napot is túllépte a 25 °C, vagy annál magasabb napi középhőmérsékletű napok száma 2022 nyarán.

Terveink szerint e cikk folytatásaként az 1901 és 2022 közötti fővárosi hőségperiódusokat bemutató elemzésünk több hőhullám-definícióval, valamint a UTCI humán komfortindex belvárosi és külterületi összehasonlításával a következő számban megjelenik.

Irodalom

- Bihari Z., Hoffmann L., Lakatos M., Marton A., Németh Á., Sábitz J., Szépszó G., Zsebeházi G., Vincze E., Wanutchné 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 infrastruktúrákra (KRITÉR).
- Hooyberghs, H., Berckmans, J., Lefebre, 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
- Izsák B., Bihari Z., és Szentes O., 2021: Éghajlatváltozás: homogenizált vagy nyers adatsorokat vizsgálják? *Léggör* 66(3). 12–15.
- Izsák B., Szentimrey T., Lakatos M., Pongracz R., and Szentes, 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
- 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:TI-IODT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<3665:TI-IODT>2.0.CO;2)
- Lakatos M., Bihari Z., Izsák B., Marton A., és Szentes O., 2021: Megfigyelt éghajlati változások Magyarországon. *Léggör* 66(3), 5–11.
- 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>
- 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.
- Szentimrey, T. and Bihari, Z., 2007: Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis). In: Proceedings from the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology, Budapest, Hungary, 2004, COST Action 719, COST Office, 17–27.
- Trájer A.J., 2022: A sárgaláz szúnyog populációk múltbeli, közelmúltbeli és jövőbeli éghajlati stabilitásának vizsgálata Európában. *Léggör* 67, 34–41. <https://doi.org/10.56474/legkor.2022.1.6>