

I.5. Klimatikus viszonyok

Budapest éghajlati viszonyainak alakulásában is egyértelműen megjelenik a globális klímaváltozás. 1901 és 2019 közötti időszakban mintegy 1,45 °C-os emelkedés mutatható ki Budapest évi középhőmérsékletének alakulásában. Ezzel párhuzamosan a napfénytartam évi összege az 1970-es évek kezdetétől nő.

Az átlagérték emelkedése mellett legalább annyira fontos a szélsőséges időjárási események gyakoriságának alakulása. Az Országos Meteorológiai Szolgálat éghajlati adatbázisában végzett elemzések szerint a nyári középhőmérséklet emelkedett a legnagyobb mértékben a múlt század eleje óta, ami a hőség hullámok sűrűbb előfordulásában is tükröződik; ezek gyakorisága az utóbbi 25 évben jelentősen nőtt.

A klimatikus jelenségek közül kiemelendő a nagymértékű városi hősziget-hatás. 2019-ben az évi átlagos felszínhőmérséklet-alapú hősziget-intenzitási érték, mely a városi és a városkörnyéki átlaghőmérséklet különbsége, délelőtt 1,12 °C, este 1,91 °C volt. A júniusi átlagos felszínhőmérséklet-alapú hősziget-intenzitási érték kiemelkedő: délelőtt 3,22 °C volt. A nyári időszakban a hősziget kiterjedése és intenzitása is jelentős: a főváros pesti oldalának meghatározó részén 3-7 °C-kal magasabb az átlaghőmérséklet, mint a városkörnyéki területeken.

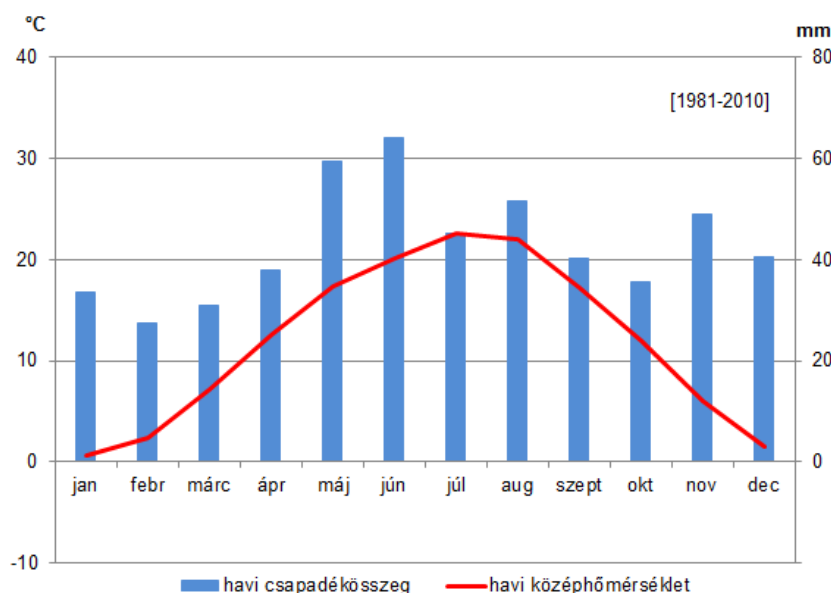


A városklíma állapotának leírása, jellemzése

Budapest éghajlati képének meghatározó vonása az **átmeneti éghajlat**, ami abból **adódik, hogy** az **alföldi** és a **középhegységi területek határán** fekszik. Ez nagymértékben befolyásolja a város klímáját.

Csapadék

Budapest átlagos évi csapadékösszege 516 mm, amelyen belül két esős (május-június és november-december), és két szárazabb időszak (február-március és szeptember-október) váltja egymást (lásd 1. ábra). A két szélsőérték között a különbség nagyjából kétszeres. Az alábbi ábráról leolvasható, hogy a július-augusztus időszak nem tekinthető a legszárazabb időszaknak, ugyanakkor ezek a hónapok – a magas átlaghőmérsékletből fakadó nagy párolgási veszteség miatt – aszályosak.

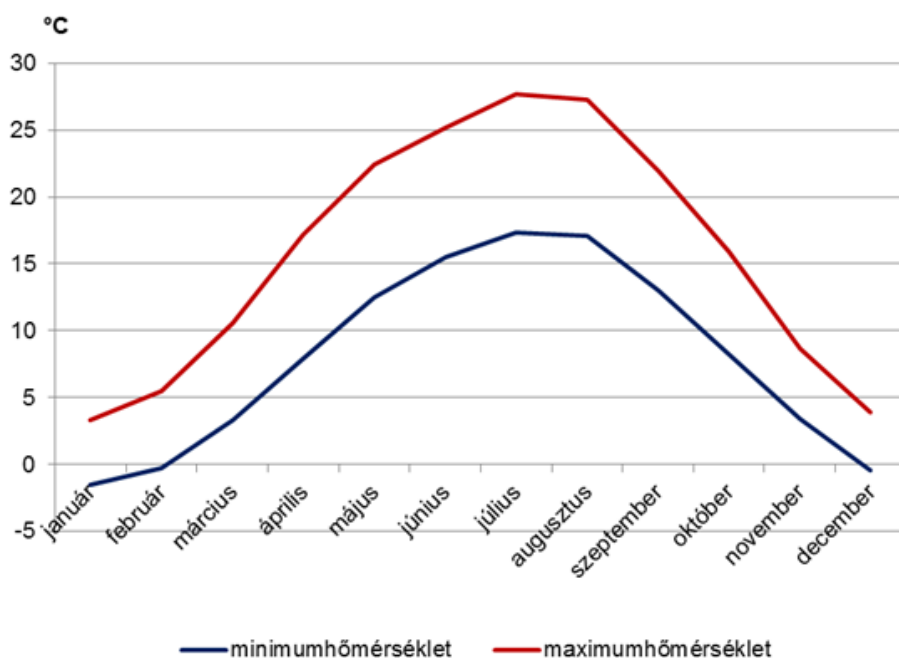


1. ábra: A havi csapadékösszeg Budapest belterületén szembesítve a havi középhőmérséklettel. Ezen az ún. Walter-Lieth diagramon a két mennyiség függőleges léptéke olyan, hogy a hőmérséklet egyszersmind a lehetséges párolgást is jellemezze átlagos mérsékeltövi viszonyok között. 1981-2010 között, homogenizált adatok alapján – lásd a Függelékben. (Forrás: OMSZ)

Hőmérséklet

A napi hőmérséklet átlagosan július végén és augusztus elején a legmagasabb, míg januárban a legalacsonyabb. A nyári hónapok havi értékei 22 °C körülnek adódnak, míg a leghidegebb hónapok átlaghőmérséklete fagypont közelében alakul.

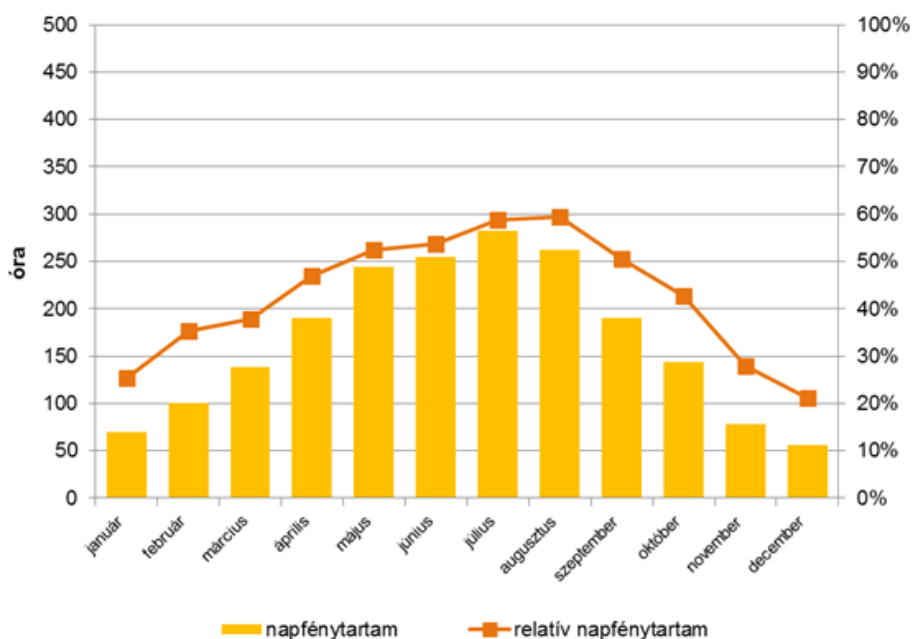
A hőmérséklet napi menetét érdemes a **legmagasabb nappali hőmérséklet** és a **legalacsonyabb éjszakai hőmérséklet** alakulásával is jellemezni (lásd 2. ábra). A szélső értékek e mutatókban is a július-augusztusi, illetve a december-februári időszakokra esnek. A két görbe eltérése, azaz a napi hőmérsékleti ingás májustól augusztusig a legnagyobb, november és január között pedig a legalacsonyabb. A legnagyobb ingás meghaladja a 10 °C-ot, míg a legkisebb ingás ennek körülbelül a fele.



2. ábra: A legmagasabb nappali hőmérséklet (maximumhőmérséklet) és a legalacsonyabb éjszakai hőmérséklet (minimumhőmérséklet) átlagos évi menete Budapest belterületén, 1981-2010 között, homogenizált adatok alapján. (Forrás: OMSZ)

Napsütés

A 3. ábra a napsütéses órák számának havi értékeit mutatja be, együtt ábrázolva az ún. **relatív napfénytartammal**, ami a **megfigyelt** napos órák számának és a csillagászatilag **lehetséges napütéses órák számának** (a nappalok hosszának összege) **hányadosa**. Ez az érték akkor lenne 100 %, ha soha nem takarná felhő a Napot. A nappalok közismert módon júniusban a leghosszabbak, és decemberben a legrövidebbek. A relatív napfénytartam maximuma júliusra és augusztusra (59%), a minimuma decemberre (21%) esik. A nappal hosszának és a felhőzetnek az összjátéka júliusban adja a legtöbb (282 óra), míg decemberben a legkevesebb (55 óra) napos órát. A napsütéses órák évi száma Budapest belterületén, az 1981-2010-es időszak átlagát tekintve 2010 óra, míg a magyarországi nagyvárosokban az átlagos évi napsütéses órák száma a 1981-2010-es időszakban 2002 óra volt.

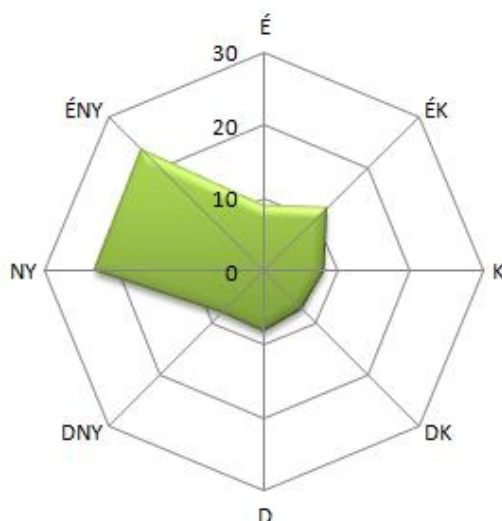


3. ábra: A napsütéses órák számának alakulása óra/hónap értékben, szembesítve ezen értékek és a csillagászatilag (derült időben) lehetséges napfénytartam hányadosával (%). Homogenizált adatok, 1981-2010. (Forrás: OMSZ)

Szélviszonyok

Budapesten két helyi szélrendszerrel kell számolni. Az egyik a városi hőszigetrel összefüggő városi cirkuláció, ami akkor figyelhető meg leginkább, amikor a belváros és a külterületek közötti hőmérséklet különbség számottevő. A másik eleme a fővárosi cirkulációs rendszernek a Budai-hegységhez kapcsolódó hegy-völgyi szél. Ez nappal a völgy felől, éjszaka viszont a hegy felől fúj. Ez a helyi levegőáramlás is csak akkor érvényesül, mikor fronthatás nem érvényesül.

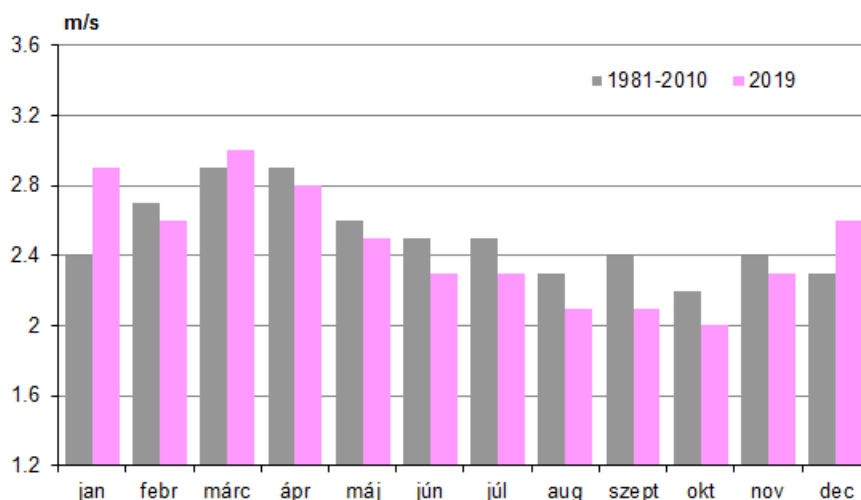
A nagytérségű cirkulációval is összefüggő, a 8 szélirány szektorra számított szélirány-gyakoriságot a 4. ábra mutatja be.



4. ábra: A fő szélirányok átlagos relatív gyakoriságát (%) tükröző szélrózsa Budapest belterületén (1981-2010). (Forrás: OMSZ)

A budapesti térség **uralkodó széliránya** az **északnyugati (kb. 24%)** az 1981-2010-es normál időszak alapján. Ezt követi jelentőségben a nyugati (kb. 23%) és az északkeleti (12%) szélirány. A délies és a keleties szelek részaránya alacsony (egyenként 7-8%). A **szélcsendes időszakok** aránya mintegy **2%**. Az **északnyugati szélirány** túlsúlya máshol is igen gyakori a Kárpát-medencében, ezért nem a két fent említett helyi szélrendszer eredménye; **nem budapesti sajátosság**.

Az átlagos **szélsebesség** éves menetét az 5. ábra tükrözi, melyen feltüntettük a korábbi, 2019-es évet annak érzékeltetésére, hogy egy-egy évben a szélsebesség alakulása nagyon eltérhet a sokévi átlagtól.

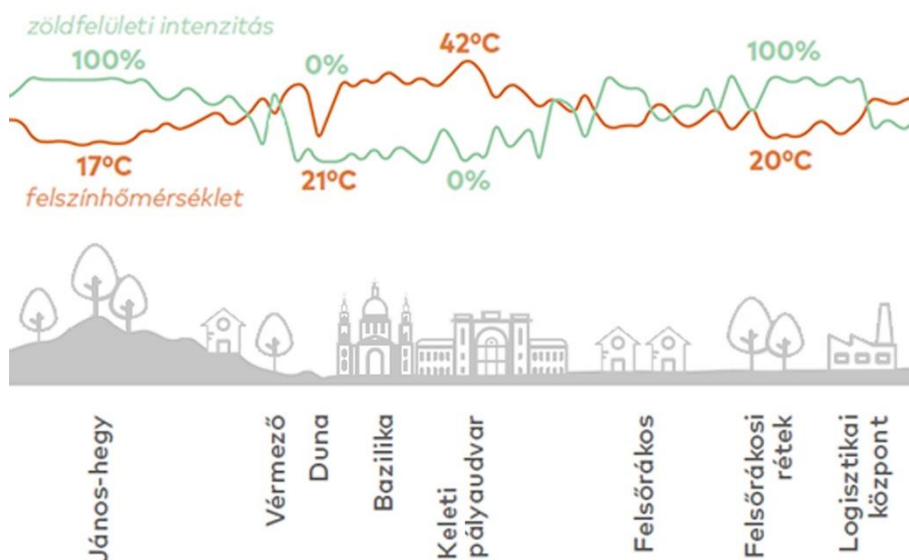


5. ábra: A szélsebesség változása Budapest belterületén – a példaként kiválasztott 2019-es évben a havi középértékek is erősen eltértek a sokévi átlagtól. (Forrás: OMSZ)

Hősziget-hatás

A városklíma szempontjából kitüntetett figyelmet érdemel a **hősziget-jelenség** és az ehhez kapcsolódó, az előző fejezetben említett sajátos légköri rendszer. Az előbbi a **városi területek magasabb hőmérsékletét**, az utóbbi pedig a **melegebb területek fölött feláramlást**, illetve a **város hűvösebb pereme felől a központ felé mutató felszín-közel légmozgást** jelenti.

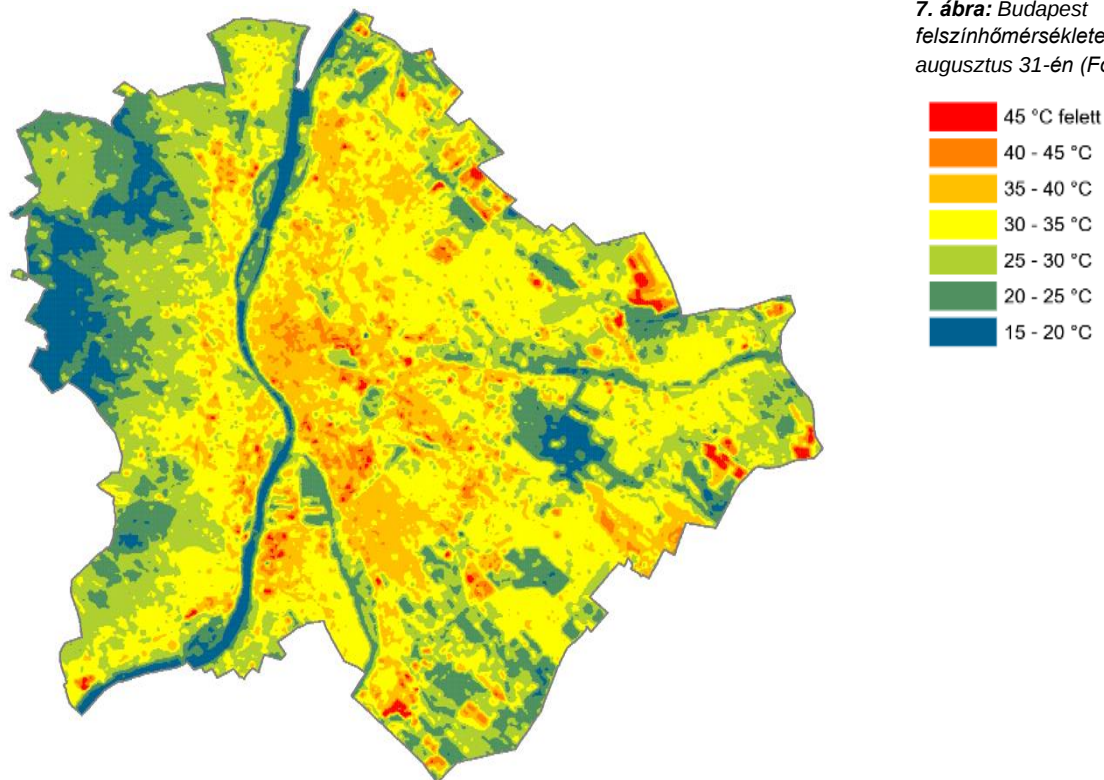
A hőmérsékletet a sugárzási viszonyok, a felszín tulajdonságai és a légköri folyamatok együttesen alakítják ki. A **sűrűn beépített területek hőmérséklete több fokkal magasabb** a jelentős zöldfelületekkel rendelkező külső területeken mérhető értéknél. A sötétebb, azaz több napfényt elnyelő burkolt és beépített felületek kisugárzó hatása a felület melegedési folyamatait elnyújtja, ezáltal nagymértékben befolyásolja a felszín hőmérsékletét. Emellett a lehulló csapadék nagy része is elfolyik a csatornarendszerbe, vagyis a nagyvárosi felszínek párolgás útján nem tudnak hőt leadni. Ezt a nagyvárosokban kialakuló jelenséget nevezik városi **hősziget-hatásnak**.



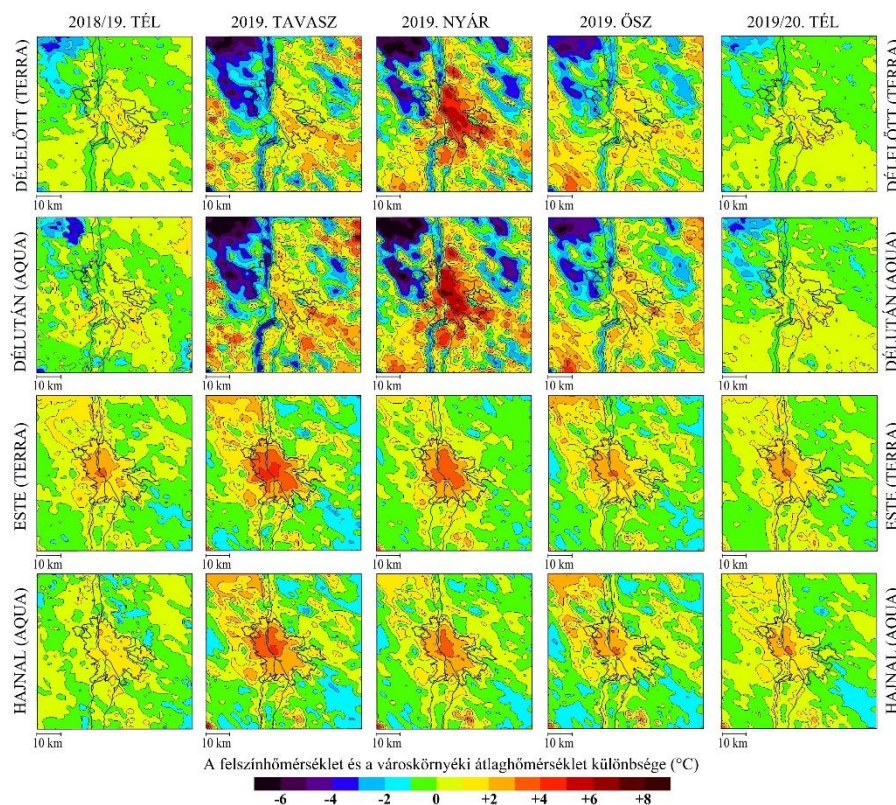
6. ábra: A felszínhőmérséklet és a zöldfelületi intenzitás összefüggése Budapesten a felszínhőmérsékleti a zöldfelület intenzitási térképek egy adott metszetén felmérve

A budapesti hősziget jelentőségét illusztrálja a 7. ábra. **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**, amely a Landsat 8 műholdfelvétel és terepi mérések alapján mutatja a földfelszín becsült hőmérsékletét Celsius fokban, egy kiragadott időpontban, 2016. augusztus 31-én 11:00 és 12:00 között, zavartalan, napfényes időszakban, amikor a léghőmérséklet a város több területén végzett mérés alapján árnyékban 28-29°C intervallumban míg a napon 32-34°C intervallumban mozgott. Budapest hőterképén kirajzolódnak a magas növényborítottsággal rendelkező területek, ahol a felszínhőmérséklet alacsony.

Az erdős területeken (pl. Budai Tájvédelmi Körzet erdői, Kamaraerdő, rákoskeresztúri erdő) alacsonyabb volt a hőmérséklet (15-25 °C). Mindeközben a belvárosban, a jellemzően burkolt területeken 35-40 °C volt a mérvadó, de volt, ahol 40-45 °C fölé is emelkedett a felszínhőmérséklet.



Budapest hősziget-intenzitásának vizsgálatához további, az ELTE Meteorológiai Tanszékének kutatási eredményeit is felhasználtuk, melynek keretében a Terra és az Aqua műholdak MODIS műszereivel mért felszínhőmérsékletre vonatkozó adatokat térképezték és elemezték (lásd 8. ábra). Az 1 km² körüli felbontásban is jól látható, hogy az év során hogyan alakult a nappali és éjszakai hősziget erőssége a fővárosban. Megjegyezzük, hogy ezeket az értékeket a vízszintes felületek kisugárzásából lehet meghatározni, de csak a felhőmentes időszakokban. Így ezek az értékek nem reprezentálják az összes időjárási helyzetet, továbbá nem azonosak a levegő szokásosan – a felszíntől 2 méterre – mért hőmérsékletével sem. A jelentős térbeli felbontás miatt mégis érdemesek a tanulmányozásra.



8. ábra: Budapest felszínhőmérsékleti anomáliáinak átlagos évszakos szerkezete a négy áthaladási időszakra (délelőtt, délután, este, hajnal), 2019. évre (Forrás: Bartholy-Pongrácz²)

A nappali mezőket vizsgálva megállapítható, hogy a városi hősziget a főváros pesti oldalán a legjelentősebb; íves alakban helyezkedik el, lefedve a belvárost. A nyári időszakban a hősziget kiterjedése és intenzitása is jelentős: a városkörnyéki átlaghőmérsékletet 3-7 °C-kal meghaladó terület a főváros pesti oldalának nagy részére kiterjed, míg a budai oldalon a hősziget csak egy kisebb területet fed le. Itt a domborzat és a zöldfelületek nagyobb aránya mérsékeli a városi hősziget erősségét. A tavaszi-nyári időszakban a Budai-hegység legmagasabb részeinek felszínhőmérséklete 4-7°C-kal alacsonyabb, mint a városkörnyéki átlaghőmérséklet, így ebben az időszakban a fővárosban a hegyvidék és a belváros között néhány kilométeres távolságon belül 10 °C-ot meghaladó hőmérséklet-különbség alakul ki.

A térképeken jól kirajzolódik a Duna vonala, a Népliget, valamint a X., XVII. és XVIII. kerületek közé beáramló Városerdő, melyek felszínhőmérséklete alacsonyabb a beépített területekénél.

A környezetüknél melegebb felület például a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér, amelynek felszínhőmérséklete nyáron, derült időben 6°C-kal meghaladja a városkörnyéki átlagot.

A műholdak 2001 óta szolgáltatnak adatokat a hősziget intenzitásának vizsgálatához. Az elmúlt időszak és a tárgyév hősziget-intenzitási értékeinek adatait a

Indikátor megnevezése	2001-2013-as időszak átlaga	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Évi átlagos felszínhőmérséklet alapú hősziget-intenzitási érték délelőtti időpontra	1,2 °C	1,28 °C	1,36 °C	0,94 °C	1,58 °C	1,35 °C	1,49 °C	1,12 °C
Évi átlagos felszínhőmérséklet alapú hősziget-intenzitási érték esti időpontra	1,8 °C	1,47 °C	1,47 °C	1,74 °C	1,63 °C	1,74 °C	1,75 °C	1,91 °C

Júniusi átlagos felszínhőmérséklet alapú hősziget-intenzitási érték délelőtti időpontra	2,9 °C	3,30 °C	2,92 °C	2,50 °C	4,07 °C	2,77 °C	3,86 °C	3,22 °C
---	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

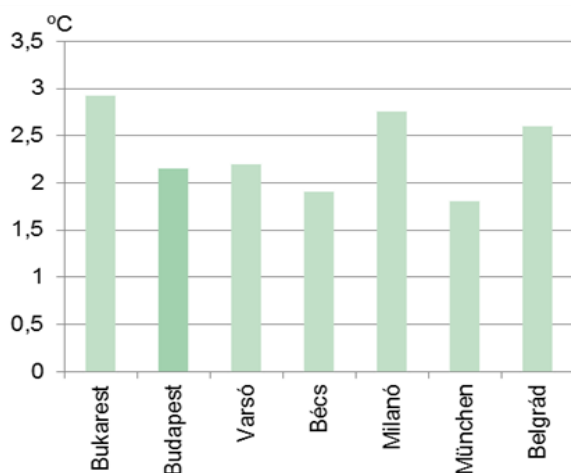
1. táblázat tartalmazza. A hősziget-intenzitási érték a városi és a városkörnyéki átlaghőmérséklet különbsége.

Indikátor megnevezése	2001-2013-as időszak átlaga	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Évi átlagos felszínhőmérséklet alapú hősziget-intenzitási érték délelőtti időpontra	1,2 °C	1,28 °C	1,36 °C	0,94 °C	1,58 °C	1,35 °C	1,49 °C	1,12 °C
Évi átlagos felszínhőmérséklet alapú hősziget-intenzitási érték esti időpontra	1,8 °C	1,47 °C	1,47 °C	1,74 °C	1,63 °C	1,74 °C	1,75 °C	1,91 °C
Júniusi átlagos felszínhőmérséklet alapú hősziget-intenzitási érték délelőtti időpontra	2,9 °C	3,30 °C	2,92 °C	2,50 °C	4,07 °C	2,77 °C	3,86 °C	3,22 °C

1. táblázat: A városi hősziget elsődleges indikátorainak mértéke 2013-2017-ben és a 2001-2013 időszak átlagában (Forrás: Bartholy-Pongrácz)

Az évi átlagos intenzitásértékek idősorában az intenzitásértékek nagy szórása miatt nem beszélhetünk egyértelmű csökkenésről vagy növekedésről.

A budapesti hősziget mértékének megítéléséhez megbízható adatokat nyújt a közép-európai nagyvárosokra készített hősziget-intenzitás vizsgálat (lásd 9. ábra). Jól látható, hogy **a budapesti hősziget intenzitása a vizsgált európai nagyvárosok sorában közepesnek számít.**

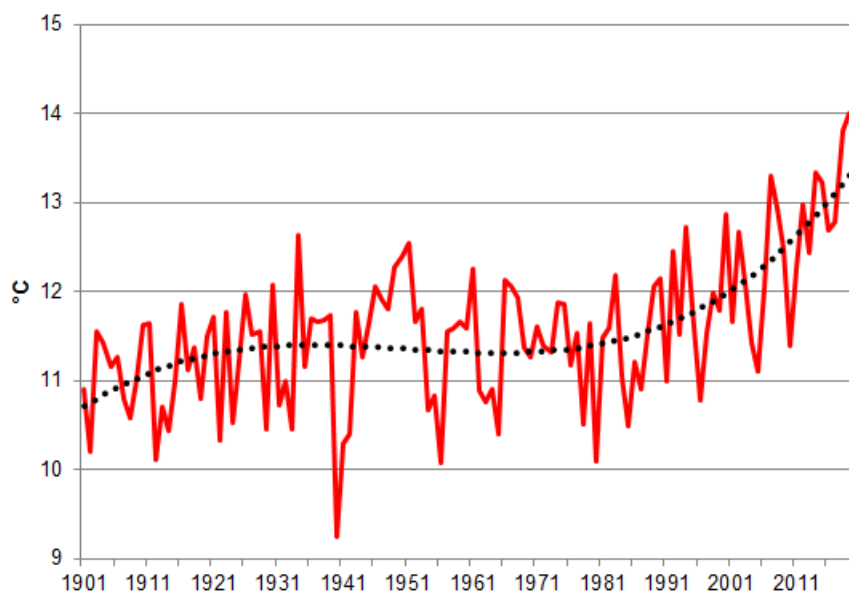


9. ábra: Évi átlagos felszínhőmérséklet alapú hősziget-intenzitás érték az esti órákban a 2001-2005 közötti időszakban (Forrás: Pongrácz-Bartholy-Dezső³)

Éghajlatváltozás és az időjárási szélsőségek vizsgálata

Az éghajlatváltozás korunk egyik legjelentősebb kihívása, mely hatással van az emberi egészségre, a természeti és épített környezetre, a társadalomra és a gazdaságra is.

Budapest hőmérsékleti idősorát 1901-től nézve (10. ábra **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**) egyértelmű képet kapunk. Az adatokhoz illesztett görbe némi hullámmal 1981-től egyértelműen emelkedik. Az emelkedő hőmérséklet azonban valószínűleg **nemcsak a globális éghajlatváltozásnak** tudható be, hanem a **fokozódó városhatásnak is**.



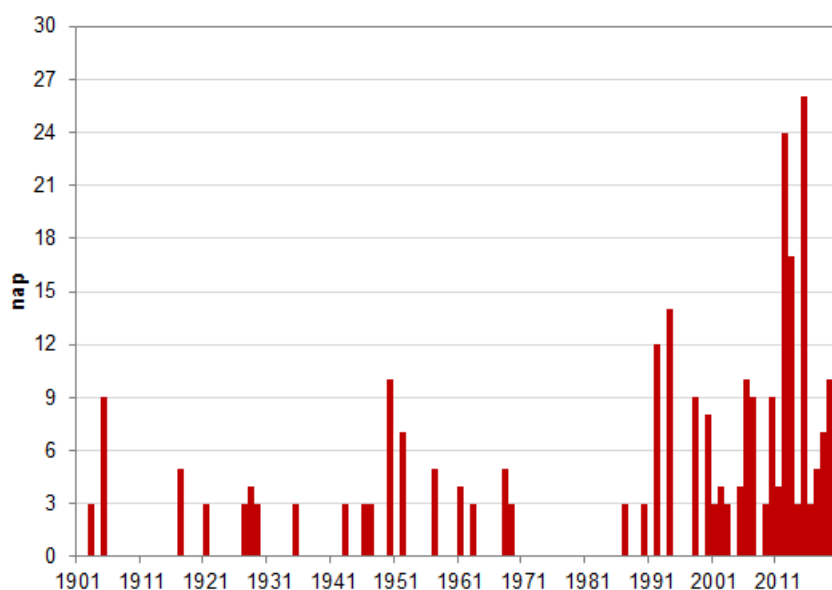
10. ábra: Az évi középhőmérséklet változása Budapest belterületén 1901-2019 között °C-ban (Forrás: OMSZ)

Az éves középhőmérsékletek sorozatát tekintve jelentős ingadozást is tapasztalunk a 20. század folyamán. Az 1940-es évek közepéig emelkedett a hőmérséklet, majd enyhén csökkent. Az újabb melegedési folyamat az 1970-es évek vége felé kezdődött, és azóta is egyre nagyobb mértékben tart. A 2019-es év középhőmérséklete **elérte a 14°C-ot Budapest belterület állomáson, és a legmelegebbnek bizonyult az ellenőrzött és homogenizált, 1901-től kezdődő éghajlati idősorban**.

A napi abszolút hőmérsékleteket elemezve Budapesten a legmelegebb értéket 2007. július 20-án (40,7 °C), a leghidegebbet 1942. január 24-én (-27,1 °C) mérték az OMSZ állomásain.

A felmelegedés mellett legalább annyira fontos a szélsőséges időjárási események gyakorisága. A hóhullámos, kánikulai napokon jelentősen megnő a halálesetek száma. Budapesten 2005 és 2014 között a küszöbhőmérséklet feletti napok átlagos többelhalálása 15-20% között volt (Forrás: KRITÉR⁴).

Hőségperiódusok régebben is voltak, ugyanakkor az utóbbi **25 évben rendszeresen előfordultak**. Az OMSZ éghajlati adatbázisában végzett elemzések szerint a nyári középhőmérséklet emelkedett leginkább a múlt század eleje óta, amely a hőség hullámok (legalább három napig 27 fokot meghaladó napi középhőmérséklet) egyre gyakoribb előfordulásában is megmutatkozik (11. ábra).

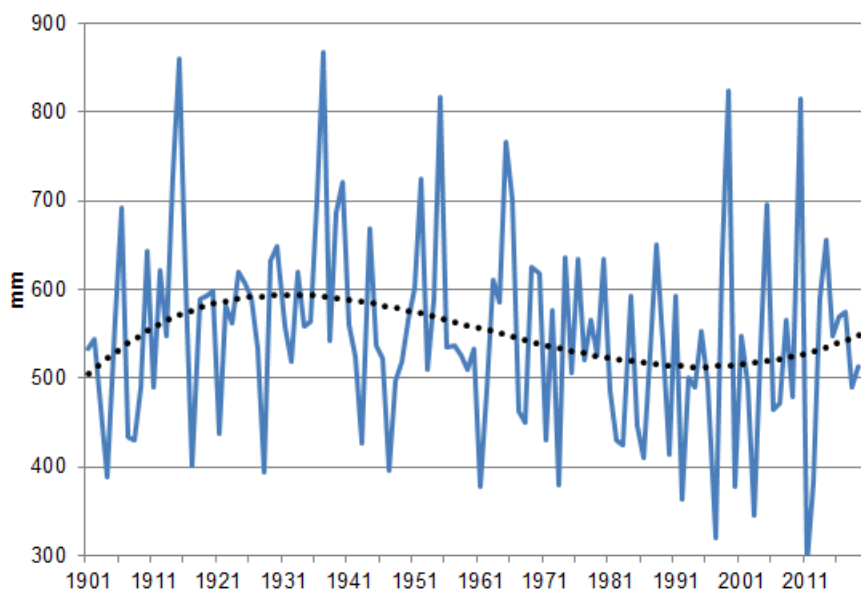


11. ábra: A legalább 3 napig legalább 27 °C napi közép-hőmérsékletű hóhullámos napok évi száma Budapest belterületén 1901-2019 között, homogenizált adatok alapján (Forrás: OMSZ)

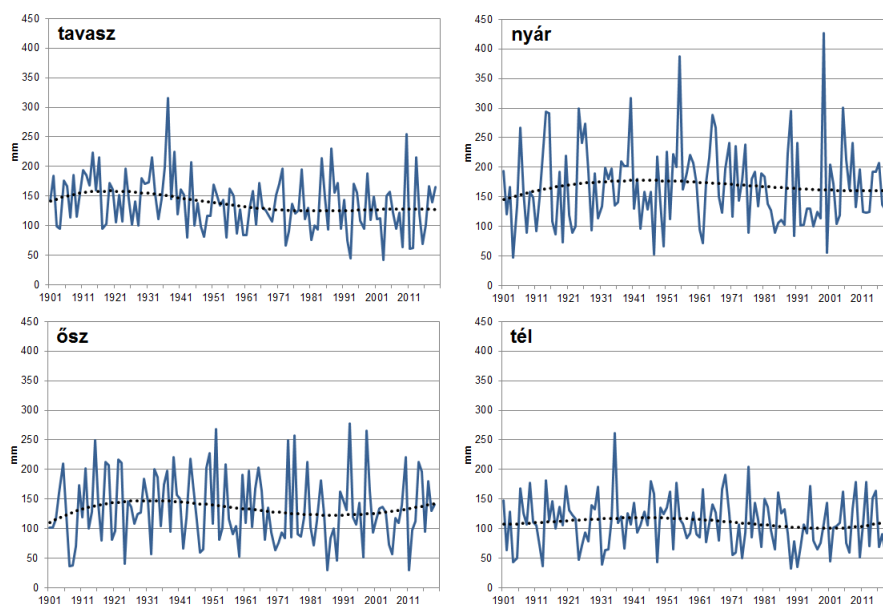
A Budapesten hullott **csapadék évi összegében** csökkenés mutatható ki 1901 és 2019 között (**12. ábra**), azonban az 1980-as évektől inkább a csapadék változékonysága a jellemző. A csökkenés ellenére nagy csapadékhozamú évek az időszak végén is előfordultak. Az aszályos évek a múlt század első felében is jellemzőek voltak, azonban a legszárazabb év Budapesten 2011 volt (290 mm), de az utóbbi 119 év három szárazabb éve is az elmúlt 20 évre esett.

Az évszakok közül a nyári csapadékösszeg a legváltozékonnyabb évről évre (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.. ábra**), az elmúlt években a nyári összeg a sokévi átlag közelében alakult. Csupán tavasszal figyelhető meg jelentősebb csökkenő tendencia Budapest belterület állomáson, a többi évszakban nincs egyértelmű változás.

A csapadék évi összegének változása mellett a Duna vízhozamában (és ezzel összefüggésben a jellemző vízállásokkal kapcsolatban) is megfigyelhető egy tendencia a hosszú idősoros vízjárási adatok elemzése alapján. Lásd részletesebben az **I.4 Vizek állapota** c. fejezet.



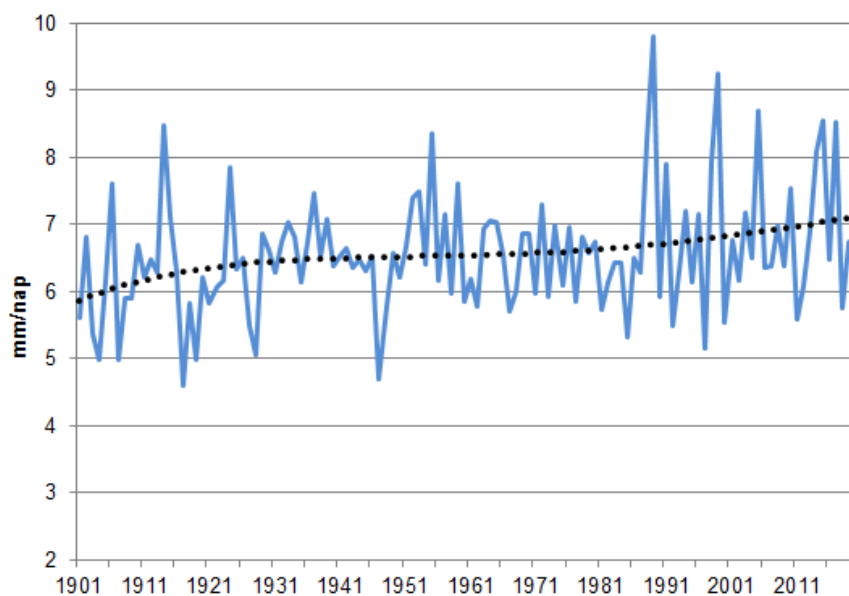
12. ábra: A csapadék évi összegének változása Budapest belterületén 1901 és 2019 között mm-ben (Forrás: OMSZ)



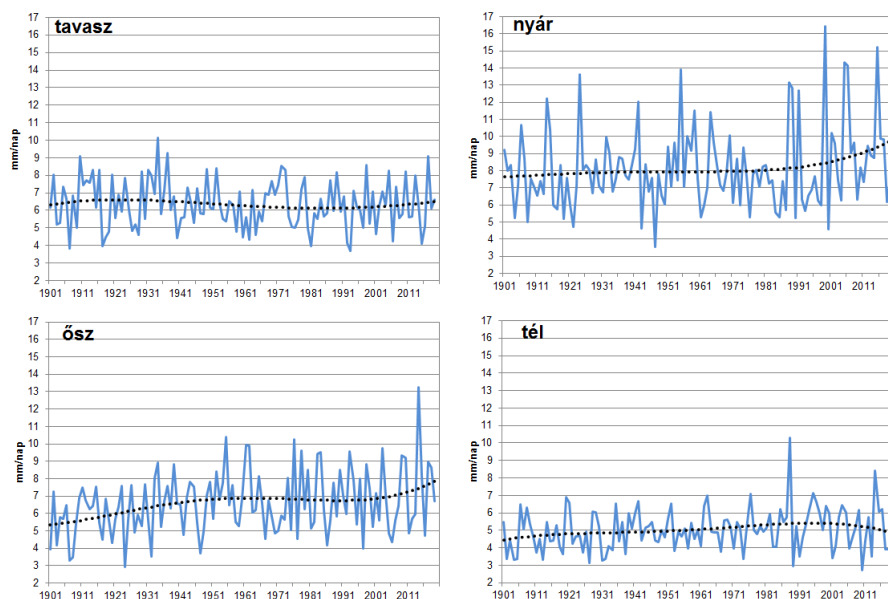
13. ábra: A csapadék évszakonkénti összegének változása Budapest belterületén 1901 és 2019 között mm-ben (Forrás: OMSZ)

Az időjárási szélsőségeket több mutatóval is jellemezhetjük: **az egyik az éves átlagos napi csapadékinintenzitás**; a másik a 20mm-t meghaladó csapadékú napok száma, illetve a **17 m/s-t** (gyakorlatilag 61 km/h-t) **meghaladó széllesekkel** jellemezhető **napok gyakorisága**.

Az éves átlagos napi **csapadékinintenzitás** (egy év alatt lehullott csapadékösszeg és a csapadékos napok számának hányadosa) a hosszú idősoros elemzések szerint enyhén növekszik (lásd 14. ábra). A csapadék évi összegének csökkenő folyamatával összefüggésben megállapítható, hogy Budapesten **egyre ritkábban, de egyre nagyobb intenzitású csapadékesemények** jellemzőek.

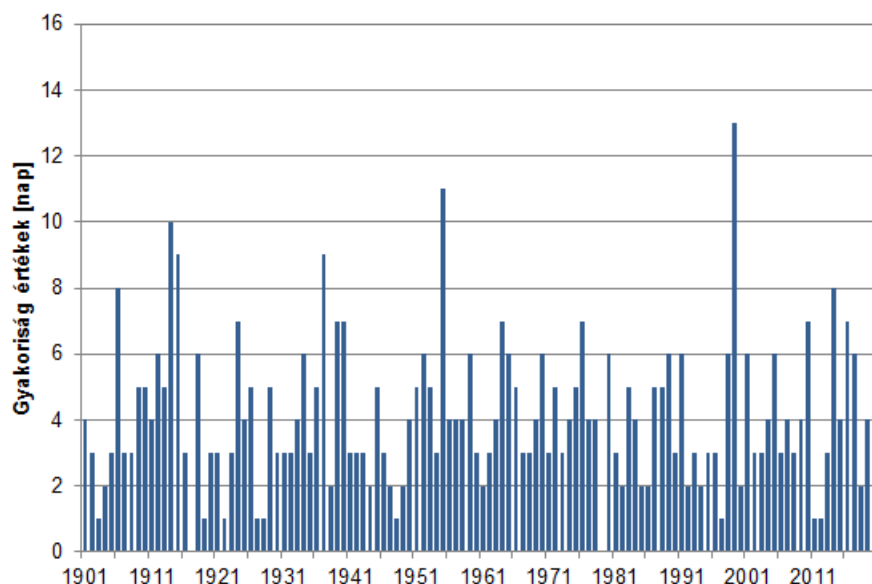


14. ábra: Az éves átlagos napi csapadékinintenzitás (napi csapadékösszeg) Budapest belterületén 1901 és 2019 között (Forrás: OMSZ)



15. ábra: A tavaszi, nyári, őszi és téli átlagos napi csapadékkéntesség (napi csapadékoság) Budapest belterületén 1901 és 2019 között (Forrás: OMSZ)

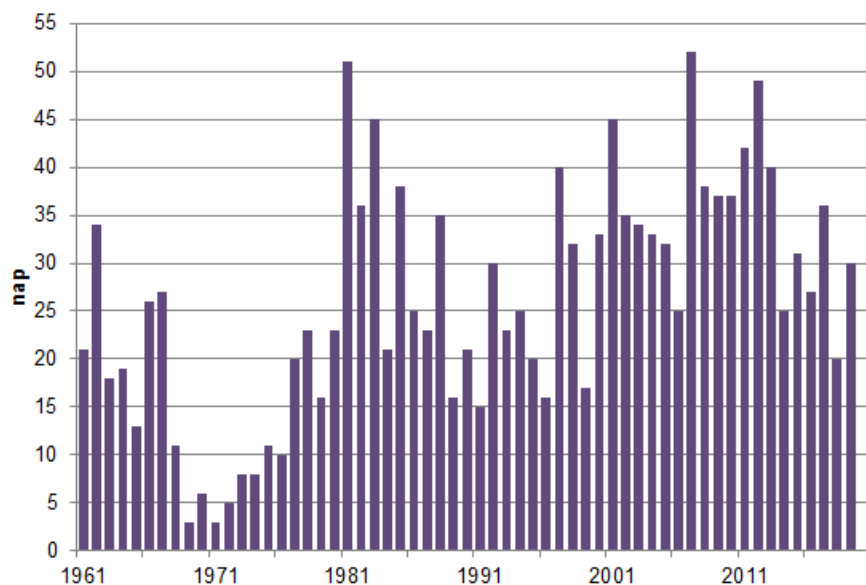
A **15. ábra** az évszakos átlagos napi csapadékkéntességet hivatott bemutatni. A hosszú idősoros elemzések alapján 1901 és 2019 között a nyári, és az őszi napi csapadékkéntesség növekszik a leginkább, míg a tavaszi csapadékkéntesség enyhén csökkenő tendenciát mutat. Az 1980-as évektől azonban a növekvő tendencia a nyári és őszi csapadékkéntesség értékekre vonatkozóan markánsabb, míg a téli inkább enyhe csökkenést mutat. A 20 mm-t meghaladó csapadékos napok száma 1901 és 2019 között is enyhén növekvő tendenciát mutat (lásd **16. ábra**) Budapest belterület állomáson.



16. ábra: A 20 mm-t meghaladó csapadékos napok gyakorisága Budapest belterület állomásra vonatkozóan 1901-2019 között éves bontásban (Forrás: OMSZ)

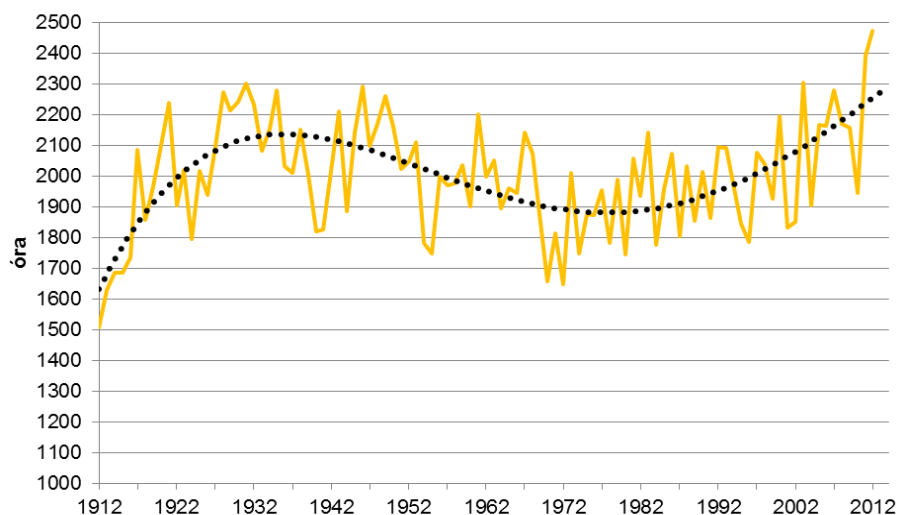
A **viharos széllesek** gyakorisága az 1970-es évekhez képest nagymértékben megnövekedett: évente 26 napon következik be ilyen esemény. Ez a szélsőség a **leggyakoribb decembertől márciusig** (együtt 11,1 nap, átlagosan 2,8 nap/hó, azaz kb. tíz naponként), s a legritkább augusztustól októberig (együtt 4,3 nap, átlagosan 1,4 nap/hó, azaz kb. húsz naponként). Az évi menet két szélső pontja között itt is kb. kétszeres a gyakorisági hányadok eltérése. A széllesek sebessége hozzávetőleg kétszerese az óránkénti átlagos szélsőségeknek. A viharos napok számának **hosszú**

idősoros változása egyértelműen növekszik az elmúlt 59 évben (lásd 17. ábraHiba! A hivatkozási forrás nem található.).



17. ábra: A viharos napok (17m/s ~ 60 km/h értéket meghaladó szélhőkésések előfordulásának) gyakorisága Budapest belterület állomásra vonatkozóan 1961 és 2019 között éves bontásban (Forrás: OMSZ)

A **napfénytartam** mérése Budapesten 1912-ben kezdődött. Az éves összeg teljes időszakra vonatkozó átlaga 2000 óra. A legkevesebbet, 1505 órát a mérés kezdetének évében, 1912-ben sütött a nap (lásd 18. ábraHiba! A hivatkozási forrás nem található.). Ennek oka az, hogy az alaskai Katmai Nemzeti Park területén lévő Novarupta vulkán kitöréséből jelentős mennyiségű por került a légkörbe, ami világszerte csökkentette a besugárzást. Azóta a trendet nagyjából két hullámmal írhatjuk le: maximuma az 1930-as évekre esett, majd ezt az 1970-es évek elejéig tartó visszaesés követte.

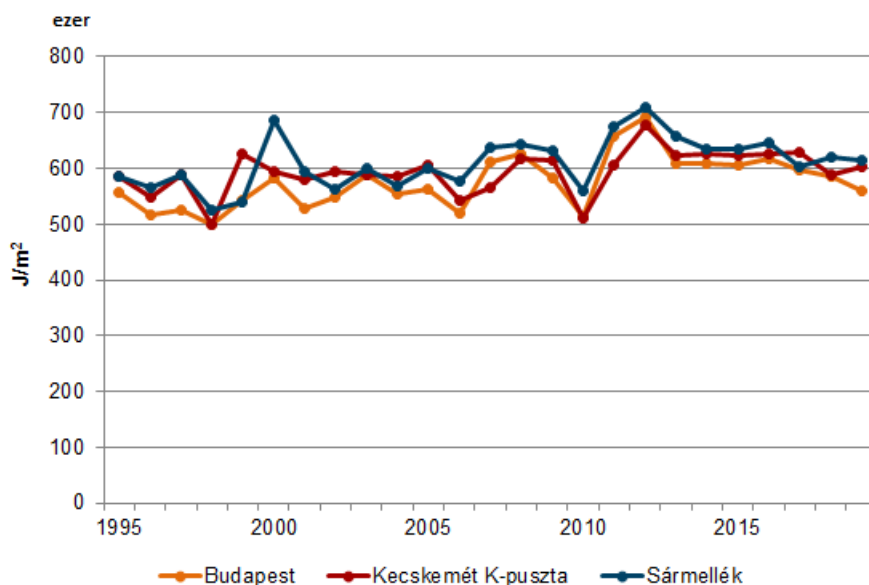


18. ábra: A napfénytartam évi összegének változása Budapest belterületén 1912 és 2012 között (Forrás: OMSZ)

Azóta a napfénytartam évi összege folyamatosan nő, értéke immár meghaladja az első hullám maximumát. (A napfénytartam mérését 2013-ban sajnos beszüntette az Országos Meteorológiai Szolgálat, elsősorban a közvetlen globálisugárzás-mérés elterjedése okán.)

Említést érdemel még a napsugárzás **UV-B sugárzási** tartománya, amely alapvetően jótékonyan hat az emberi szervezetre (D-vitamin képződés), de nagy dózisban káros hatású. Lehetséges negatív hatásai: bőrgégés, bőrbetegségek. Az UV-B sugárzás Budapesten is **emelkedett** az elmúlt évtizedekben (**19. ábra**), hasonlóan más, nem

nagyvárosi állomásokhoz. Ez a tendencia összhangban van a felhőzet csökkenésével (ill. a napfénytartam növekedésével).



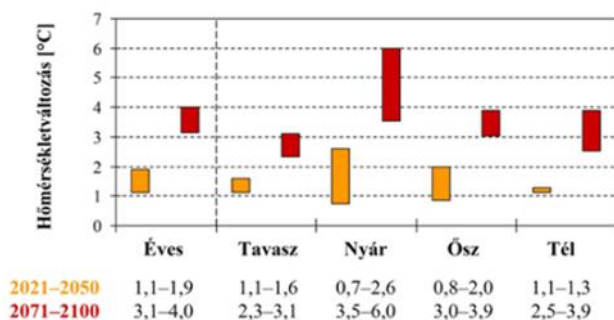
19. ábra: A biológiailag effektív UV sugárzás évi összegeinek változása Budapesten és két másik településen (1995-2019) (Forrás: OMSZ)

Várható változások a főváros éghajlatában

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem és az Országos Meteorológiai Szolgálat 2011-ben megjelent közös kutatása⁵ meghatározza az ország várható éghajlati állapotát a közeljövőre (2021-2050), valamint a távoli jövőre (2071-2100) nézve. A kutatás referenciaidőszaka az 1961-től 1990-ig terjedő időszak, melynek adatai alapján négy különböző klímamodellt állítottak fel. Az országra szóló előrejelzéseket a fővárosra is lehet vonatkoztatni.

A közeljövőben az országos **éves átlaghőmérséklet** várhatóan 1-2 °C-kal, míg a távoli jövőben 3-4 °C-kal emelkedik. A **fagyos napok száma** a közeljövőben várhatóan átlagosan 18 nappal, a távoli jövőben 42 nappal csökken. A **meleg és szélsőségesen meleg napok száma** a közeljövőben átlagosan 12 nappal, a távoli jövőben 37 nappal nő.

A hőmérsékleti változások a növényzet életciklusát is megváltoztatják. A **növények vegetációs időszaka** várhatóan 2021-2050-re 24 nappal, míg 2071-2100-ra 51 nappal növekszik.

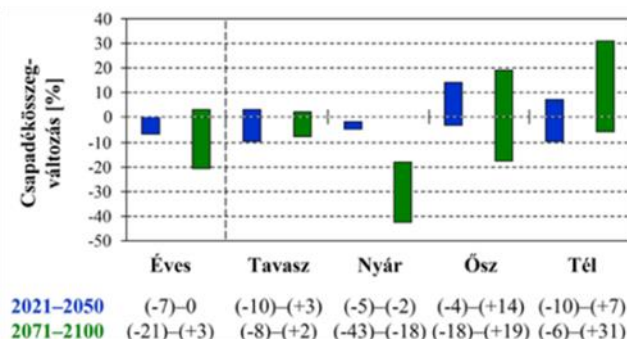


20. ábra: A magyarországi átlaghőmérséklet várható változása (°C) 2021-2050-re (narancssárga) és 2071-2100-ra (piros) az 1961-1990 időszakhoz képest a hazai regionális klímamodellek eredményeit figyelembe véve. (Forrás: Bartholy-Bozó-Haszpra⁵)

A csapadék változásának előrejelzésében nagyobb bizonytalanságok jelentkeznek, mint a hőmérséklet változásában. Hazánkban a század első felében csak kismértékű, majd a század végére akár 20%-os **csapadékcsökkenés** várható. Nyáron várhatóan

kevesebb lesz a **csapadékösszeg** és jelentősen megnövekszik a csapadékmentes időszakok hossza.

A **10 és 20 mm-t meghaladó (szélsőséges) napi csapadékmennyiségek** emelkedése várhatóan a közeljövőben 2-17%, a távoli jövőben 3-25%. A nyarat leszámítva a többi évszakban valószínű az emelkedés, különösen ősszel és télen.



21. ábra: A magyarországi átlagos csapadékösszeg relatív változása (%) 2021–2050-re (kék) és 2071–2100-ra (zöld) az 1961–1990 időszakhoz képest a hazai regionális klímamodellek eredményeit figyelembe véve. (Forrás: Bartholy-Bozó-Haszpra⁵)

A városklíma állapotának okai, hatótényezői

A városklímát befolyásoló hatótényezők vizsgálatára – annak összetettsége és sokrétűsége miatt – az állapotértékelés nem terjed ki. Az alábbiakban csak a meghatározó hatótényezőket nevezzük meg.

A városklíma függ az éghajlati, makroklimatikus környezettől, amelybe a város beágyazódik. A Föld éghajlata és így Budapesté – bizonyíthatóan – mindig változott és változni is fog. Hidegebb, melegebb, szárazabb és nedvesebb időszakok váltogatták egymást. A globális klímaváltozás folyamatában azonban **megbomlott** ezen **ingadozások egyensúlya**, és világszerte minden évszakban **eltolódott a melegebb szakaszok irányába**. A csapadék ugyanakkor helytől és időtől függő előjel szerint változik. Mindezen változások fő oka minden bizonnyal az üvegházhatású gázok kibocsátása, amelynek mérséklésében a főváros is szerepet vállalt (lásd a *A budapestiek véleménye a klimatikus viszonyokról*

A budapestiek klimatikus viszonyokról alkotott véleménye telefonos, reprezentatív közvélemény-kutatás alapján került felmérésre a MEDIÁN Közvélemény- és Piackutató Kft. közreműködésével. A módszertan részletes bemutatását II.9. *Környezeti nevelés, tájékoztatás, szemléletformálás* c. fejezet tartalmazza.

A felmérés szerint a budapestiek elsősorban az egyre melegebb nyarakat, a hirtelen, heves viharok károkozását, valamint a hirtelen lezúduló nagy esőket érzékelik a legfőbb problémaként a fővárosban.

23. ábra: A klímaváltozás hatásainak megítélése

A klímaváltozás különféle következményeinek megítélése erősen összefügg egymással, vagyis aki valamelyiket jellemzőnek tartja, nagy valószínűséggel ugyanígy vélekedik a többiről is. A hatások megítélése összefügg a nemmel és az életkorral: a klímaügyekre érzékenyebbek a nők, mint a férfiak, valamint a fiatalabbak, mint az idősebbek.

Klímavédelmi intézkedések részben).



22. ábra: A városi éghajlatot meghatározó tényezők (Forrás: Városklíma Kalauz, 2011⁶)

A globális éghajlati tényezők mellett meghatározóak a helyi klímát befolyásoló hatótényezők is. A természetestől eltérő városi felszíni formák (a zöldfelület alacsony aránya), a felhasznált építő- és burkolóanyagok a természetes felszínektől eltérő fizikai tulajdonságai, a városi légkör eltérő szerkezete és megváltozott összetétele, valamint a városokban fokozottan jelenlévő antropogén hőkibocsátás együttesen felelősek a hősziget-jelenség kialakulásáért.

A beépített területeken már nem lehet nagymértékben alakítani a hősziget-hatás mértékén, viszont a jövőben beépítésre, vagy jelentős átalakításra szánt területeken, illetve a barnamezős területeken lehet érvényesíteni azokat a városrendezési szempontokat, amelyek által mérsékelhető a hősziget-hatás erősödése.

A budapestiek véleménye a klimatikus viszonyokról

A budapestiek klimatikus viszonyokról alkotott véleménye telefonos, reprezentatív közvélemény-kutatás alapján került felmérésre a MEDIÁN Közvélemény- és Piackutató Kft. közreműködésével. A módszertan részletes bemutatását II.9. *Környezeti nevelés, tájékoztatás, szemléletformálás* c. fejezet tartalmazza.

A felmérés szerint a budapestiek elsősorban az egyre melegebb nyarakat, a hirtelen, heves viharok károkozását, valamint a hirtelen lezúduló nagy esőket érzékelik a legfőbb problémaként a fővárosban.



23. ábra: A klímaváltozás hatásainak megítélése

A klímaváltozás különféle következményeinek megítélése erősen összefügg egymással, vagyis aki valamelyiket jellemzőnek tartja, nagy valószínűséggel ugyanígy vélekedik a többiről is. A hatások megítélése összefügg a nemmel és az életkorral: a klímaügyekre érzékenyebbek a nők, mint a férfiak, valamint a fiatalabbak, mint az idősebbek.

Klímavédelmi intézkedések

Az 1992. júniusában aláírt **ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény**⁷ (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC, rövidebben FCCC, a továbbiakban: Egyezmény) célja

„az üvegház-gázok légköri koncentrációinak stabilizálása olyan szinten, amely megakadályozná az éghajlati rendszerre gyakorolt veszélyes antropogén⁸ hatást. Ezt a szintet olyan időhatáron belül kell elérni, ami lehetővé teszi az ökológiai rendszerek természetes alkalmazkodását az éghajlatváltozáshoz, továbbá, ami biztosítja, hogy az élelmiszer-termelést az éghajlatváltozás ne fenyegetse, valamint, ami módot nyújt a fenntartható gazdasági fejlődés folytatódására”.

Az **Egyezmény legfelsőbb testülete a Részes Felek Konferenciája** (Conference of the Parties, rövidebben: COP), amelyet évente tartanak meg⁹.

A 3. konferencia 1997-ben Kiotóban fogadta el az **Egyezmény kiegészítő jegyzőkönyvét**¹⁰ (protokollját), melyben Magyarország – 1985–1987-es időszak átlagos kibocsátásához képest – 6%-os csökkentést vállalt. A jegyzőkönyv magyarországi kihirdetését követően törvényben határozták meg a hazai végrehajtási keretrendszert¹¹.

A következő, 2015 decemberében rendezett párizsi **COP21 konferencián** megkötöttek egy új **globális éghajlatvédelmi megállapodást (Párizsi Megállapodás)**, amelynek előkészítése 2011-ben indult (COP17-Durban, Dél-Afrika, COP18-Doha, Katar, COP19-Varsó és COP20-Lima).

A megállapodás főbb elemei¹² (2020 utáni hatállyal):

- hosszú távú terv szerint a globális éves átlaghőmérséklet emelkedését az iparosodást megelőző szinthez képest jóval 2 °C alatt tartják, és erőfeszítéseket tesznek annak érdekében, hogy a hőmérséklet-emelkedés mindössze 1,5 °C legyen,

- a jelenlegi kötelező és nem kötelező vállalásokat egy új, átfogó rendszerben kell összefogni,
- a Kiotói Jegyzőkönyv második kötelezettségvállalási időszakát (2013-2020) váltja fel,
- az új egyezményben valamennyi Részes Fél kiveheti a részét a klímaváltozás elleni globális összefogásból (az is, aki nem tagja a Kiotói Jegyzőkönyvnek).

A megállapodást jelenleg 195 ország fogadta el, amelyből 153 ország, köztük Magyarország is ratifikálta. (Forrás: ENSZ¹³). E döntések lényege, hogy az illető ország további vállalásokat tegyen az üvegházhatású gázok kibocsátásának mérséklésére, mert amit eddig vállaltak, az nem lenne elég a végső cél, az üvegházhatású gázok légköri mennyiségének állandó értéken tartásához.

A klímaváltozással kapcsolatos legmagasabb szintű hazai szakpolitikai dokumentum a **Második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia** (NÉS-2)¹⁴, mely a klímapolitika, a zöldgazdaság-fejlesztés és az alkalmazkodás átfogó keretrendszere – meghatározza az éghajlatvédelem céljait és cselekvési irányait ágazati és területi dimenziókban. A stratégia két fő célja: „*Fennmaradás és tartamos fejlődés egy változó világban*” és „*Adottságaink, lehetőségeink és korlátaink megismerése*”. E két átfogó célon belül négy tematikus alcélt határoz meg:

- dekarbonizáció (kis CO₂-kibocsátású gazdaság, ÜHG kibocsátás csökkentés, nyelők elősegítése);
- éghajlati sérülékenység vizsgálata (térinformatikai adatrendszer a döntéshozás, és a tervezés segítésére);
- alkalmazkodás és felkészülés (erőforrások megóvása, rugalmas válaszok a problémákra);
- éghajlati partnerség (széleskörű partnerség, tájékozottság, példamutatás).

A stratégia alapját a Láng István professzor vezetésével 2003 és 2006 között zajló VAHAVA (Változás-hatás-válaszadás) projekt¹⁵ jelentette, melyben több száz kutató, illetve az összes érintett szakterület tudományos képviselője részt vett. A projekt meghatározta a magyarországi klíma változásának várható irányát, elemezte ennek az egyes ágazatokra és szakterületekre valószínűsíthető hatását.

A fenti globális és hazai célkitűzésekhez Budapest az alábbiak szerint (az energiagazdálkodási fejezetben részletezett módon) járul hozzá:

- A Fővárosi Önkormányzat 2008-ban csatlakozott a **Polgármesterek Szövetségéhez** (Covenant of Mayors), ennek keretében elkészítette Budapest Fenntartható Energia Akció Programját (SEAP), melyben Budapest 2020-ig a **CO₂-kibocsátás legalább 21%-os csökkentését** tűzte ki célul (a 2018. évi adatok után a jelenlegi CO₂-kibocsátás mintegy 8%-os csökkenési szintnek felel meg). Részletesebb adatokat a *II.2. Energiagazdálkodás* című fejezet tartalmaz.
- Fenti folyamattal párhuzamosan Budapest 2015 decemberében csatlakozott az **Under 2 Szövetséghez** is, amelynek – nevében is utalást tartalmazó – célja, hogy a globális felmelegedés mértékét 2 °C alatt tartsák, továbbá az üvegházhatású gázok kibocsátása 2050-re egy év alatt legfeljebb 2 tonna/fő lehet. A csatlakozó felek az egyetértési nyilatkozat (Memorandum of Understanding – MOU) aláírásával vállalhatták, hogy 2050-re legalább 80%-kal csökkentik az ÜHG-kibocsátásukat az 1990-es értékekhez képest, vagy 2050-ig kevesebb, mint 2 tonna/fő/év kibocsátási szintre csökkenti az üvegházhatású gázok helyi kibocsátását.
- Budapest 2016 januárjában csatlakozott a **Polgármesterek Paktuma** (Compact of Mayors) szövetséghez is, amely hasonló célokat tűzött ki, mint a Polgármesterek Szövetsége az Európai Unióban; azaz az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodást, az üvegházhatású gázok csökkentését. A szervezet célja, hogy ezeket a környezetvédelmi célkitűzéseket és eredményeket globálisan is láthatóvá tegye közös és nemzetközileg elfogadott szabványok alkalmazásával.

- Budapest Főváros Önkormányzata KEHOP pályázati forrásból elkészítette **Budapest klímastratégiáját**¹⁶, továbbá annak hatékony megvalósítása érdekében Éghajlatváltozási Platformot hozott létre a vonatkozó kormányhatározat¹⁷ és az ezzel összhangban hozott fővárosi önkormányzati döntések¹⁸ tartalmának megfelelően. Az Éghajlatváltozási Platform keretében széleskörűen egyeztetett fővárosi klímastratégia részletes helyzetértékelés alapján határozza meg a szükséges beavatkozásokat az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése, az alkalmazkodás és a szemléletformálás területén. A stratégia a fővárosi SEAP-hoz és a tervezett SECAP-hoz igazodva 2020-ra 6%, 2030-ra 15% kibocsátás-csökkentést tűzött ki célul 2015-ös bázisértéken számolva. Jelenleg a klímastratégia felülvizsgálata zajlik, amelynek keretében egy SECAP is készül, amely a klímastratégiai célkitűzésekhez részletesen meghatározott intézkedéseket tartalmaz.

További javasolt feladatok

Egy 2014-ben indított (Mayors Adapt nevű) kezdeményezés eredményeképp az Európai Bizottság 2015 októberében a Polgármesterek Szövetségének megújításával a Polgármesterek Klíma- és Energiaügyi Szövetsége (Covenant of Mayors for Climate & Energy) nevű szervezetet hozta létre¹⁹. A kezdeményezéssel **egységesített, megújított szervezet** az eredeti – a szén-dioxid-kibocsátás csökkentéssel kapcsolatos – célja mellé felvette **az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodást és a biztonságos és fenntartható energiagazdálkodást** is.

Az aláírók a hivatalos aláírást követő két éven belül benyújtják a Fenntartható Energia- és Klímaakciótervüket (Sustainable Energy and Climate Action Plan - **SECAP**), amelyben **a csökkentés és az alkalmazkodás is szerepel**. A SECAP az Alapbocsátási jegyzéken és a Klímaváltozási kockázat és veszélyeztetettség-értékelésen alapul. Az aláírók két évente jelentést tesznek a haladásról.

Azok előtt, akik korábban elkötelezték magukat a 2020-as célkitűzések iránt (mint Budapest is), jelenleg nyitva áll a lehetőség, hogy ismét csatlakozzanak a Polgármesterek Klíma- és Energiaügyi Szövetségéhez, vállalva a 2030-as célkitűzések teljesítését, valamint az együttműködést a 2050-re vonatkozó közös elképzelésekért:

- az 1990-es szinthez képest 2030-ra a szén-dioxid, és lehetőség szerint az egyéb üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának **legalább 40%-os csökkentése, energiahatékonyságot javító** intézkedéseken és **a megújuló energiaforrások használatának növelésén keresztül**;
- az éghajlatváltozással szembeni **ellenállóképesség javítása**, az éghajlatváltozás során az **alkalmazkodási képesség megerősítése**;
- megnövelt együttműködés a társult helyi és regionális önkormányzatokkal az EU-n belül és azon túl, a biztonságos, **fenntartható és elérhető energiához való hozzáférés javítása** érdekében, az energiahatékonyság és a megújuló energiaforrások használatának növelésével.

A Fenntartható Energia- és Klímaakciótervre (SECAP) való átállással egyidejűleg – a múltbéli és jelenlegi adatok előállítási, becslési korlátaira tekintettel – válhat biztosíthatóvá Budapest további klímaügyi kötelezettségeinek teljesítése is (Polgármesterek Paktuma és az Under 2 Szövetség).

Függelék

Homogenizálás

A meteorológiai mérések a különböző skálájú légköri folyamatok hatásának összességét regisztrálják. Az esetek többségében azonban bennünket a regionális és globális folyamatok érdekelnek, a lokálisak kevésbé. Ennek jegyében a meteorológiai állomások elhelyezése és környezete a Meteorológiai Világszervezet ajánlásai szerint világszerte nagyjából egységes.

Ennek ellenére egy több évtizedes adatsorban fellelhetők olyan hatások is, melyek a mérés körülményeinek változását tükrözik. Az évek során megváltozhatott a mérőállomások helye és környezete, a mérések időpontja, a mérőeszközök fajtája és elhelyezése stb.

Ezek a tényezők mind zavaró hatások, és így az általuk okozott inhomogenitás összemérhető lehet az éghajlati adatsorokban rejlő tényleges változások nagyságával. Ezért ezeket valamilyen módon az adatsorokból ki kell szűrni.

A feladat tehát az adatsorokból – az éghajlatváltozás tetszőleges jelének megőrzése mellett – a mérésre ható, zavaró környezeti változások korrigálása. Ez a tevékenység az adatsorok klimatológiai homogenizálása.

A nemzeti meteorológiai szolgálatok többsége foglalkozik a homogén adatsorok létrehozásának problémájával. Hazánkban, az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) is készült egy szigorú matematikai alapokon nyugvó homogenizáló eljárás és számítási programrendszer, a MASH (Multiple Analysis of Series for Homogenization), amelynek szerzője Szentimrey Tamás. Hosszabb időszakot átfogó éghajlati vizsgálatokat ma már csak olyan adatsorokon végzünk el, melyeket a MASH módszerrel előzetesen homogenizáltunk (Izsák és Szentimrey, 2020).

Érzett hőmérséklet (PET)

Az emberi egészség és életminőség egyik meghatározója a termikus komfort. Ennek jellemzésére az egyik legismertebb mérőszám a fiziológiailag ekvivalens hőmérséklet (PET). Számításának alapja az ún. MEMI-model (Munich Energy-balance Model for Individuals), mely az emberi szervezet hőáramlási viszonyait viszonylag egyszerűen írja le. Definíciója szerint a PET annak a standardizált, fiktív szobának a hőmérséklete, ahol az emberi test ugyanolyan fiziológiai válaszreakciókat (pl. verejtékezés, bőrhőmérséklet) ad, mint a valós termikus környezetben. Ez a fiktív környezet a következő feltételeknek felel meg:

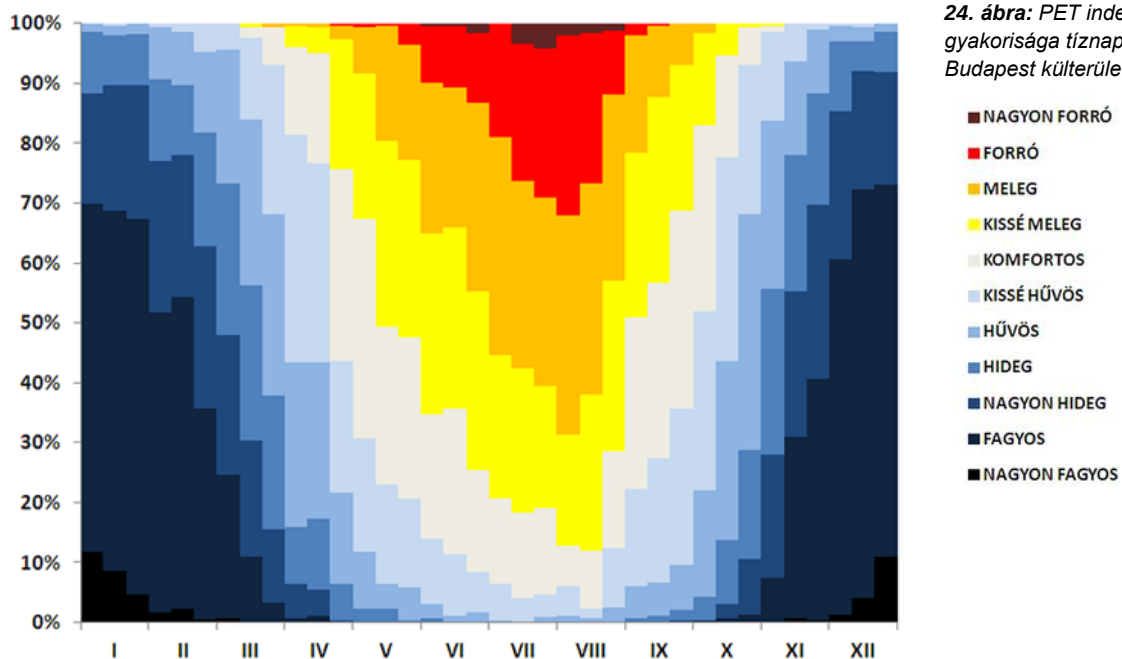
- az átlagos sugárzási hőmérséklet a levegő hőmérsékletével egyezik meg;
- a vízgőznyomás értéke 12 hPa;
- a légmozgás sebessége 0,1 m/s.

A PET meghatározásához nem csak egy referencia környezetet kellett bevezetni, hanem egy fiktív alanyt is definiáltak. Ez a fiktív alany, „akire” az indexet kiszámoljuk, 35 éves, 180 cm magas, 75 kg testtömegű férfi, aki könnyű ülő tevékenységet végez, ruházata pedig egy vékony öltöny hőszigetelésének felel meg.

A PET számításához felhasznált meteorológiai elemek: a levegő hőmérséklete és relatív páratartalma, a szélesebb és a sugárzási viszonyok. Ha a PET értéke 18 és 23°C között alakul, az emberek túlnyomó részében (legalább 95%) szubjektív komfortérzet alakul ki. Ilyenkor a szervezet a megtermelt hőt könnyen leadja, a bőr hőmérséklete a kellemes tartományban van. A 23°C feletti PET egyre jelentősebb hőterhelést jelent, amit a szervezet hőszabályozó rendszere egyre kevésbé tud kompenzálni. Ugyanez igaz a 18°C alatti PET értékek esetében is. A különböző fiziológiai hatásokhoz, illetve a termikus stresszhez rendelhető PET

értéktartományokat alapvetően a mérsékelt övre határozták meg, ezt az értéktartományt alkalmazzuk a hazai vizsgálatokban is.

A 24. ábra ennek az érzet hőmérsékletnek az alakulását mutatja a Budapest külterületén mért adatok alapján, az 1981-2010-es évek átlagában. A léghőmérséklet júliusi maximumának hatását itt még inkább fokozza a napfénytartam ugyanekkor fellépő maximuma, számottevő gyakoriságúvá téve a mérsékeltövi ember számára forró, sőt nagyon forró napokat. Ezt, a külterületen számszerűsített hatást tovább fokozza a nagyváros hősziget hatása!



A fejezet hivatkozásai

- ¹ Budapest Zöldinfrastruktúra Konceptiója (2017)
- ² Bartholy Judit, Pongrácz Rita: Városi hősziget elemzés Budapest városra, 2019. évre műholdas felszínhőmérsékleti adatok alapján (NovaSyl Kft., 2020)
- ³ Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. (2009): Application of remotely sensed thermal information to urban climatology of Central European cities. *Physics and Chemistry of Earth*
- ⁴ A klímaváltozás okozta sérülékenység vizsgálata, különös tekintettel a turizmusra és a kritikus infrastruktúrákra (KRITÉR):
(http://www.met.hu/downloads.php?fn=/KRITeR/doc/zaro/KRITER_zaro_final.pdf)
- ⁵ Bartholy J., Bozó L., Haszpra L. (szerk.): Klímaváltozás – 2011, Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Budapest, 2011.
- ⁶ Városlíma Kalauz, 2011: Városlíma Kalauz. Döntéshozóknak és döntés-előkészítőknak. Magyar Urbanisztikai Tudásközpont, 25 o. (letölthető: www.mut.hu/?module=news&action=getfile&fid=182647)
- ⁷ az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény kihirdetéséről szóló 1995. évi LXXXII. törvény 2. § 2. cikkely
- ⁸ Az ember által kiváltott, az ember tevékenységéből eredő, ahhoz kapcsolódó.
- ⁹ 1995. évi LXXXII. törvény 2. § 7. cikkely 2. és 4. pont.
- ¹⁰ az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezményben Részes Felek Konferenciájának 1997. évi harmadik ülésszakán elfogadott Kiotói Jegyzőkönyv kihirdetéséről szóló 2007. évi IV. törvény
- ¹¹ az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye és annak Kiotói Jegyzőkönyve végrehajtási keretrendszeréről szóló 2007. évi LX. törvény; a keretrendszer hatályos: részben 2007. június 27-től, teljes körűen 2008. január 1-től.
- ¹² Hevesi Zoltán Ajtony zöldgazdaság fejlesztéséért, klímapolitikáért és kiemelt közszolgáltatásokért felelős helyettes államtitkár 2014 novemberi előadása alapján: <http://konferencia.piacprofit.hu/2014-11-19-Magyar-Fenntarthatosagi-Csucs-2014/Hevesi-Zoltan-Ajtony.pdf>
- ¹³ https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&lang=en
- ¹⁴ [a 2018-2030 közötti időszakra vonatkozó, 2050-ig tartó időszakra kitekintést nyújtó második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiáról szóló 23/2018. \(X. 31.\) OGY határozat](http://real.mtak.hu/103152/1/2006-Klima_Vahava-MTA-KvM.pdf)
- ¹⁵ http://real.mtak.hu/103152/1/2006-Klima_Vahava-MTA-KvM.pdf
- ¹⁶ 348/2018.(04.25.) Főv. KGy. határozattal elfogadta
- ¹⁷ a Környezeti és Energiahatékonysági Operatív Program éves fejlesztési keretének megállapításáról szóló 1084/2016. (II. 29.) Korm. határozat 2. melléklet 32. sor
- ¹⁸ 1003/2016.(06.08.) és 1004/2016.(06.08.) Főv. KGy. határozatok
<http://infoszab.budapest.hu:8080/akl/tva/Tir.aspx?scope=kozgyules&sessionid=6786&agendaitemid=91622>, továbbá
<http://infoszab.budapest.hu:8080/akl/tva/Tir.aspx?scope=kozgyules&sessionid=6829&agendaitemid=92678>
- ¹⁹ http://www.polgarmesterekszovetsege.eu/about/covenant-of-mayors_hu.html
Izsák, B., Szentimrey, T. To what extent does the detection of climate change in Hungary depend on the choice of statistical methods?. *Int J Geomath* **11**, 17 (2020).
<https://doi.org/10.1007/s13137-020-00154-y>