

Gácsér Vera¹ – Lakatos Mónika² – Molnár Ágnes³¹ Pannon Egyetem, Környezettudományi Intézet² Országos Meteorológiai Szolgálat³ MTA-PE Levegőkémiai Kutatócsoport

Változik-e éghajlatunk?

Magyarországi trendek, szélsőségek

Ma már az átlagember is meggyőződéssel állítja, hogy változik éghajlatunk. De valóban kimutathatóak-e a változás jelei, vagy az emberi emlékezet, esetleg az időjárási eseményekhez fűződő személyes érintettség alkot bennünk csalóka képet?

Cikkünkben – az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) elemzéseire alapozva – ezekre a kérdésekre keressük a választ.

A klíma alakulását a meteorológiai mérések elemzésével követhetjük nyomon, ezek alapján érhetjük tetten a változásokat. Az OMSZ éghajlati archívumában főként a 20. század elejétől állnak rendelkezésre jó minőségben, hosszú, hőmérséklet- és csapadék-adatsorok. A továbbiakban az OMSZ adatbázisában rögzített, ellenőrzött, homogenizált (Szentimrey, 1999) mérési adatokon alapuló tendencia-elemzések segítségével bemutatjuk az 1901-től tapasztalt változásokat, mind az átlagos viszonyok, mind pedig a szélsőségek tekintetében. Megjegyezzük, hogy a bemutatott országos átlag-idősorok rácshálóra interpolált (Szentimre, és Bihari, 2007) mérések átlagai, ezáltal reprezentatívabbnak tekinthetők, mint csupán a mérőállomásokból származtatott átlagok.

1. táblázat. Az utóbbi évek kiemelkedő hőmérsékletű és csapadéku időszakai (a helyezések az utóbbi 114 év rangsorában értendők)

2009/10.	tél	6. legcsapadékosabb	181,8 mm
2010.	év	1. legcsapadékosabb	959,0 mm
	tavas	1. legcsapadékosabb	260,0 mm
	nyár	9. legcsapadékosabb	280,4 mm
	ősz	7. legcsapadékosabb	233,2 mm
2011.	év	1. legszárazabb	407,4 mm
		12. legmelegebb	10,9 °C
	tavas	8. legszárazabb	90,4 mm
	nyár	11. legmelegebb	21,0 °C
	ősz	2. legszárazabb	51,1 mm
2012.	év	10. legszárazabb	470,4 mm
		4. legmelegebb	11,4 °C
	tavas	11. legszárazabb	96,4 mm
		8. legmelegebb	12,2 °C
	nyár	11. legszárazabb	128,6 mm
		2. legmelegebb	22,4 °C
	ősz	4. legmelegebb	12,1 °C

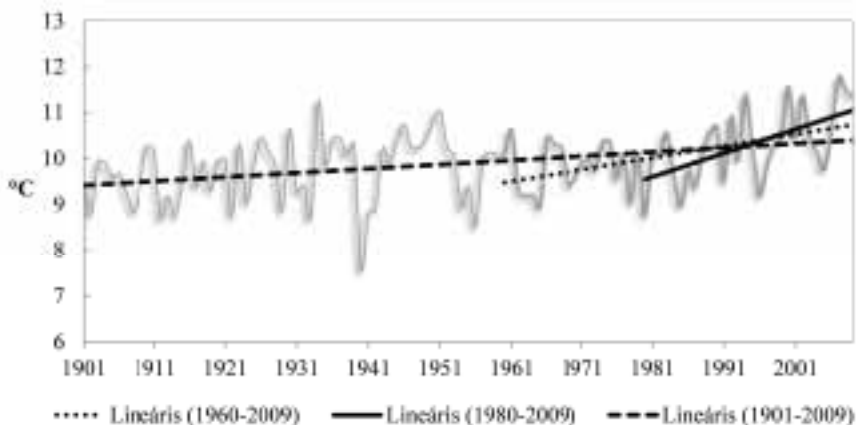
2012/13.	tél	3. legcsapadékosabb	190,7 mm
2013.	év	9. legmelegebb	11,1 °C
	tavaszi	2. legcsapadékosabb	230,3 mm
	nyár	9. legszárazabb	116,7 mm
		10. legmelegebb	21,4 °C
2013/14.	tél	3. legmelegebb	2,7 °C

A megfigyelések szerint a 21. század első évtizede a legmelegebb tízéves időszak volt a mérések kezdete óta mind hazánkban, mind Földünk egészét tekintve. Ebben az évtizedben sorra dőltek meg korábbi hőmérsékleti csúcok; Magyarországon új abszolút hőmérsékleti rekord is született: 2007. július 20-án, Kiskunhalason 41,9 °C-ot mértek. A csapadék mennyiségében a tendenciák nem egyértelműek, a változékonyság mértéke azonban az utóbbi évtizedekben, években erősödni látszik. Jó példa erre 2010 és 2011, amikor egymást követő évek hoztak rekordot a csapadék mennyiségében. 2010-ben a mérések kezdete óta országos átlagban a legnagyobb (959 mm), 2011-ben a legkisebb (407,4 mm) mennyiségű csapadék hullott (1. táblázat). Az ezredforduló óta is több áradást, valamint aszályos időszakot élhettünk meg, és volt, hogy egy éven belül fordult elő belvív, árvív, illetve szárazság.

Hőmérsékleti tendenciák

A középhőmérséklet változása, évszakos jellemzők

Az éghajlatváltozás egyik legjellemzőbb és talán legközismertebb következménye térségünkben a melegedés, ami a minimum, a maximum és a középhőmérséklet értékekben egyaránt megmutatkozik. Az 1. ábrán az éves középhőmérséklet értékek alakulása követhető nyomon a rendszeres meteorológiai megfigyelések kezdetétől (1901) napjainkig. A mérési adatok – különösen az utóbbi évtizedekben – az éves középhőmérséklet emelkedését jelzik, amelyet alátámasztanak a teljes vizsgált időszakra, illetve a rövidebb periódusokra számított hőmérsékleti trendek is (Lakatos, 2010). Az évi középhőmérséklet a múlt század elejétől 2009-ig 0,99 °C-ot emelkedett (részletesen lásd 2. táblázat), és ahogy az 1. ábrán is látható, az utóbbi 50, illetve 30 év adataira illesztett trendvonalak meredeksége egyre nagyobb. A melegedés tehát az elmúlt több, mint száz év alatt gyorsult, az emelkedés trendje a hatvanas évek elejétől számított időszakra 1,30 °C/50 év, 1980 és 2009 közötti időtartamra vonatkoztatva pedig 1,51 °C/30 év.



1. ábra. Országos éves középhőmérséklet alakulása a három különböző időszakhoz illesztett lineáris trenddel (forrás: OMSZ)

Az éves középhőmérséklet mellett érdemes a különböző évszakok átlaghőmérsékletének változását is vizsgálni. A tavasz középhőmérséklete az 1971–2000 feldolgozások alapján 10,4 °C. A tavaszok átlaghőmérsékletének emelkedése hasonló mértékű volt, mint éves szinten, és az utóbbi évtizedekben ebben az évszakban is egyre meredekebb tendencia rajzolódik ki. A fokozódó melegedés azonban legmarkánsabban a nyarak középhőmérsékletében jelenik meg: az utóbbi évtizedek tendenciája már csaknem 2 °C/30 év (2. táblázat). Természetesen a közelmúltban is előfordult egy-egy hűvösebb nyár, de a „hidegebb” nyarak (18 °C körüli átlaghőmérséklet) inkább a múlt század első felét jellemzik (3. táblázat). Az 1971–2000 normál időszak nyári átlaghőmérséklete már ennél jóval magasabb: 19,7 °C. Ősszel és télen a középhőmérséklet emelkedése csekélyebb mértékű, mint az év többi részében vagy a teljes évre vonatkozóan (2. táblázat), sőt az utóbbi 30 évben nem is mutatható ki egyértelmű változás (Lakatos, 2010).

2. táblázat. Az átlaghőmérséklet változásának becslése az 1901–2009, 1961–2009 és 1980–2009 közötti időszakokra (a statisztikailag szignifikáns változás vastagon kiemelve), illetve az 1971–2000 közötti átlaghőmérséklet (forrás: OMSZ)

	Országos átlaghőmérséklet változása (°C)			Országos átlaghőmérséklet (°C)
	1901–2009	1961–2009	1980–2009	1971–2000
Év	0,99	1,30	1,51	10,0
Tavasz	1,08	1,42	1,75	10,4
Nyár	1,17	1,79	1,93	19,7
Ősz	0,68	0,19	0,89	9,9
Tél	0,65	1,35	0,90	0,0

Legmelegebb és leghidegebb évek, évszakok

A fentiek alapján elmondhatjuk, hogy a vizsgált időszakban – főként annak utolsó 3 évtizedében – egyre erőteljesebb melegedés jelei mutatkoznak, bár a változás mértéke az ország különböző területein igen eltérő lehet. Természetesen a melegedés nem egyenletes: hidegebb és melegebb évszakok, évek, illetve periódusok követik egymást.

3. táblázat. A legmelegebb és leghidegebb évszakok és évek rangsora 1901 és 2013 között
(az 1990 utáni évszámok vastagon kiemelve) (forrás: OMSZ)

Legmelegebb évek, évszakok									
Tavaszi		Nyári		Őszi		Téli		Év	
	°C		°C		°C		°C		°C
1934	13,3	2003	22,6	1926	12,6	2006/07	3,8	2007	11,8
2007	12,9	2012	22,4	2006	12,2	1997/98	2,7	2000	11,6
1946	12,6	2007	22,2	2000	12,2	1950/51	1,9	2008	11,5
1920	12,5	1992	22,0	2012	12,1	1909/10	1,8	2012	11,4
2000	12,3	1946	21,6	1923	12,0	1901/02	1,6	1994	11,4
2009	12,3	1950	21,5	1961	11,9	1935/36	1,6	2002	11,4
2002	12,2	1952	21,5	2009	11,8	1987/88	1,5	2009	11,3
2012	12,2	2002	21,5	1963	11,8	1915/16	1,5	1934	11,3
1983	12,0	1994	21,4	1932	11,7	1993/94	1,4	2013	11,1
1947	11,9	2013	21,4	1982	11,6	2000/01	1,4	1951	11,0

Leghidegebb évek, évszakok									
Tavaszi		Nyári		Őszi		Téli		Év	
	°C		°C		°C		°C		°C
1987	8,0	1913	17,4	1912	6,8	1939/40	-5,6	1940	7,6
1955	8,2	1926	17,9	1908	7,2	1928/29	-5,2	1956	8,5
1902	8,3	1978	17,9	1920	7,4	1962/63	-5,1	1912	8,7
1929	8,3	1940	18,0	1922	7,9	1953/54	-4,9	1933	8,7
1980	8,3	1919	18,1	1915	7,9	1963/64	-4,9	1914	8,8
1940	8,4	1984	18,3	1941	8,0	1941/42	-4,7	1922	8,8
1919	8,5	1918	18,3	1988	8,2	1984/85	-4,3	1980	8,8
1932	8,5	1914	18,4	1931	8,3	1946/47	-3,9	1902	8,8
1942	8,7	1965	18,4	1914	8,4	1931/32	-3,3	1941	8,8
1956	8,7	1949	18,5	1902	8,5	1908/09	-3,3	1908	8,8

Az utóbbi évtizedekben is előfordultak hűvösebb nyarak vagy hidegebb telek, a 3. táblázat alsó részében azonban – ahol a tíz leghidegebb év szerepel az egyes évszakok, illetve a teljes év tekintetében – nem találunk 1990 utáni évszámokat. Ugyanakkor a táblázat felső részében meglehetősen sok az 1990, és főként a 2000 utáni évszám, sőt az éves középhőmérséklet rangsorában az első hét helyen csak ilyen évszámokat találunk. Az új évezred első évtizede pedig a hét legmelegebb évből hatot adott. Az évszakok közül elsősorban a nyarak, valamint a tavaszok bizonyultak az utóbbi időszakban kiemelkedően melegeknek. Az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársainak egyik legfrissebb feldolgozása szerint a 15 legmelegebb nyár rangsorában tíz 2000 utáni, kettő 1990 és 1999 közötti év szerepel, és mindössze három a múlt század közepének melegebb időszakából.

Hőmérsékleti szélsőségek változása

A melegedés természetesen nem csupán a hőmérséklet középértékének változásában mutatkozik meg (lásd: *Molnár és Gácsér, 2014*), hanem a hőmérsékleti szélsőségek gyakoriságának alakulásában is. Ezeket a változásokat az úgynevezett extrém klímaindexek

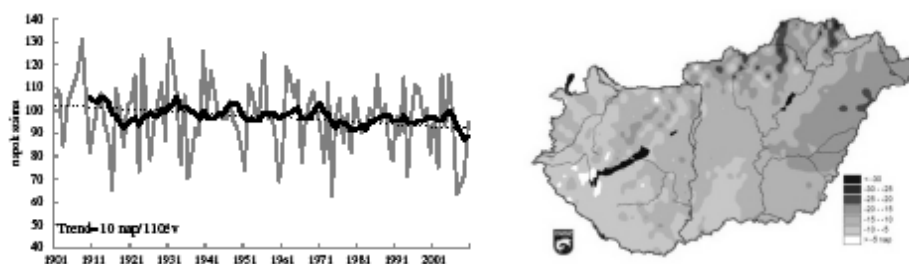
segítségével jellemezhetjük, melyek közül a leggyakrabban használt, többnyire valamilyen küszöbérték átlépéséhez kapcsolódó hőmérsékleti extrém indexeket gyűjtöttük össze a 4. táblázatban.

4. táblázat. A leggyakrabban használt extrém hőmérsékleti indexek

Meghatározás	Egység
Nyári napok száma (napi maximum >25 °C)	nap
Hőségnapok száma (napi maximum >30 °C)	nap
Forró napok száma (napi maximum >35 °C)	nap
Trópusi éjszakák (napi minimum >20 °C)	nap
Hőhullámos napok száma (napi középhőmérséklet >25 °C)	nap
Fagyos napok száma (napi minimum <0 °C)	nap
Hideg napok száma (napi minimum <-5 °C)	nap
Zord napok száma (napi minimum <-10 °C)	nap
Téli napok száma (napi maximum <0 °C)	nap

Hideg szélsőségek

Az ősztől tavaszig terjedő időszak hőmérsékleti viszonyait jól jellemzi a fagyos napok száma, ami azt mutatja, hogy az éjszakai lehülés következtében hány esetben volt fagy. A tél keménységét jól szemlélteti, hogy hány éjszaka süllyed -5 °C (hideg napok száma), illetve -10 °C alá (zord napok száma), valamint hány napon marad napközben is fagyponnalatt a hőmérséklet (téli napok száma). A több, mint 110 éves adatsorok elemzése szerint e hideg szélsőségeket jellemző indexek mindegyikénél csökkenő tendencia figyelhető meg; az alacsonyabb hőmérsékletre kapcsolódó indexek (hideg és zord napok száma) esetén nagyobb mértékű csökkenéssel.

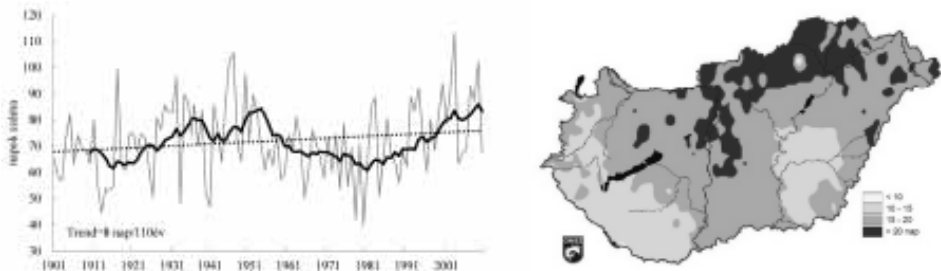


2. ábra. Fagyos napok rácsponti átlagának időszora a tízéves mozgó átlaggal és a becsült lineáris trenddel az 1901–2010 közötti időszakban, valamint az 1981–2010 közötti változás térbeli eloszlása

A fagyos napok számának időszora (2. ábra) ugyancsak a melegeledést támasztja alá, amelyet erősített az új évezred első évtizede is (lásd 3. táblázat). A fagyos napok 1981 és 2010 között bekövetkezett változásának térbeli eloszlását figyelhetjük meg a 2. ábra térképén. Ebben a három évtizedben országos átlagban 13-mal csökkent azon napok száma, amikor éjjel fagyponnal alá süllyedt a hőmérséklet. A fagyos napok fogyása az északi, északkeleti országrészben a legszembetűnőbb, az Északi-középhegység egyes körzeteiben akár egy havi csökkenéssel is találkozhatunk (Lakatos és mtsai, 2012).

Meleg szélsőségek

A fentiek alapján elmondhatjuk, hogy a hideg szélsőségek gyakoriságának csökkenése alátámasztja az általános melegedési tendenciát, de a meleg szélsőségek gyakoribbá válna talán még jobban érzékelteti e változások mértékét. A tavasztól őszig terjedő időszak hőmérsékleti viszonyait jól jellemzi a nappali felmelegedés során a 25 °C-os hőmérsékleti küszöb átlépése, azaz a nyári napok száma. A nyár forróságát további két küszöbnappal szokták jellemezni: a 30, illetve a 35 °C-os maximum hőmérséklet átlépésével, ami a hőségnap, valamint a forró nap meghatározása.



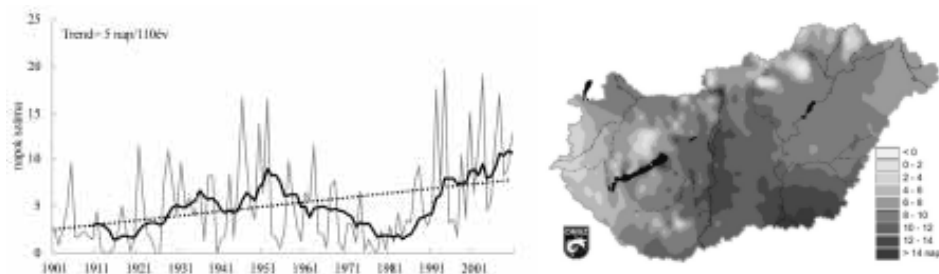
3. ábra. Nyári napok rácspontri átlagának időszora a tízéves mozgó átlaggal és a becstlt lineáris trenddel az 1901–2010 időszakban, valamint az 1981–2010 közötti változás térbeli eloszlása

Az ötvenes évek átlagosnál melegebb periódusa után az 1980 előtti időszak az itt vizsgált extrém hőmérsékleti indexek esetén átmeneti csökkenést mutatott. Az utolsó három évtizedben azonban egyértelmű melegedési tendencia tükröződik az adott hőmérsékleti küszöbök egyre gyakoribb átlépésével. A 3. ábra grafikonján a nyári napok számának alakulása követhető nyomon 1901 és 2010 között. Országos átlagban 110 év alatt 8 nappal nőtt a nyári napok száma, az utolsó 30 év azonban – a nyolcvanas évek hűvösebb nyarai után – ennél meredekebb emelkedést mutat. Az ország túlnyomó részén 30 év alatt 10–15 nappal több nyári napot regisztráltak, míg a magasabban fekvő vidékeken a 20, sőt helyenként a 25 napot is elérte a növekedés mértéke. A 30 °C, illetve a 35 °C fokot meghaladó csúcshőmérsékletű napok számánál egyelőre kisebb léptékű a növekedés, és még kevésbé érinti a hegyvidéki területeket, inkább a közép-magyarországi és a dél-alföldi régiókat (Lakatos és mtsai, 2012).

Hőhullámok

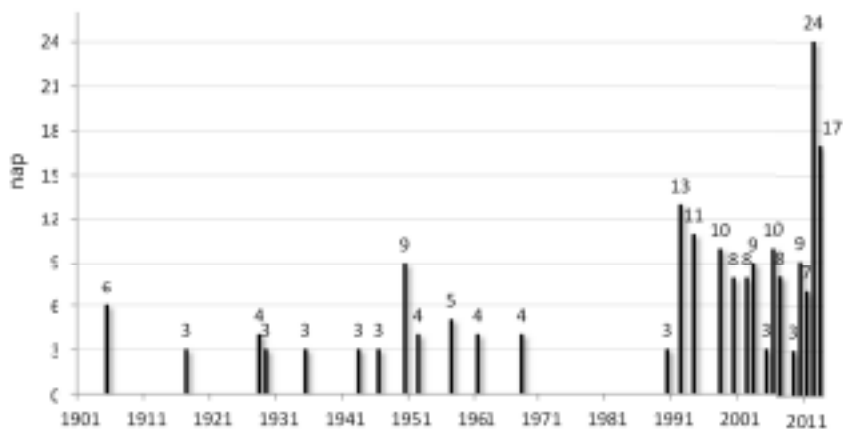
A hőség még árnyaltabb jellemzésére szolgál a hőhullámok vizsgálata. Hőhullámos napról akkor beszélünk, amikor már nem csak a csúcshőmérséklet, hanem a napi középhőmérséklet is eléri vagy meghaladja a 25 °C-ot (hőségriasztás I. fokozata). Ezek a napok általában azért kiemelt fontosságúak, mert a 25 °C feletti átlaghőmérséklet nem csak napközben jár forrósággal, hanem ilyenkor általában az éjszakák is rendkívül melegek, úgymond trópusiak. Amennyiben éjjel nem süllyed 20 fok alá a hőmérséklet, az emberi szervezet nem tud felfrissülni, regenerálódni, és az esetleg tartósabban fennálló ilyen időszakok – főként a nagyvárosokban – fokozott megterhelést jelentenek. A hőségriasztás II. fokozatának kiadására akkor kerül sor, amikor a napi középhőmérséklet legalább három napon át eléri vagy meghaladja a 25 °C-ot. A 4. ábra alapján elmondhatjuk, hogy az elmúlt 110 év alatt országos átlagban 5 nappal növekedett a hőhullámos napok száma, az utóbbi harminc év trendvonala pedig ebben az esetben is jóval meredekebben fut. A terü-

leti eloszlást tekintve talán ennél a hőmérsékleti indexnél láthatjuk a legnagyobb eltéréseket. A hegyvidéki területeken többfelé még ebben a rendkívül erős melegedést hozó időszakban sem nőtt a hóhullámos napok száma, és a nyugati, délnyugati határvidéken is kevesebb, mint 4 napos növekedést tapasztaltak (Lakatos és mtsai, 2012). Ugyanakkor az ország nagy részén legalább 6–8 nappal több a hóhullámos nap, a közép-magyarországi területeken és az Alföld déli vidékein pedig a 12–14 napot is meghaladta a növekedés mértéke harminc év alatt.



4. ábra. Hóhullámos napok rácsponti átlagának időszora a tízéves mozgó átlaggal és a becült lineáris trenddel az 1901–2010 időszakban, valamint az 1981–2010 közötti változás térbeli eloszlása

E jelentős növekedés a főváros térségére is jellemző, sőt az utóbbi időszakban már nem csak a 25 °C-ot, hanem a 27 °C-ot is egyre több alkalommal haladta meg a napi középhőmérséklet. Amennyiben az előrejelzések szerint legalább három napig fennáll a 27 fok feletti átlaghőmérsékletű periódus, sor kerül a hőségriasztás III. (legmagasabb) fokozatának kiadására. Az 5. ábrán nyomon követhető, hogy a kilencvenes évektől ugrásszerűen megnőtt a legalább 27 °C-os középhőmérsékletű napok száma, és mára tulajdonképpen éghajlatunk velejárói lettek az ilyen erősségű hóhullámok. A megfigyelések szerint nem csak az erős hóhullámokhoz köthető napok száma mutat erőteljes növekedést az utóbbi évtizedekben, hanem ezeknek a komoly hóhullámoknak a hossza is. A közép-európai térségben a hóhullámok 10 évenként legalább két nappal hosszabbodnak, de több helyen jellemző a 4–6 napos növekedés is (Bartholy és Pongrácz, 2005).

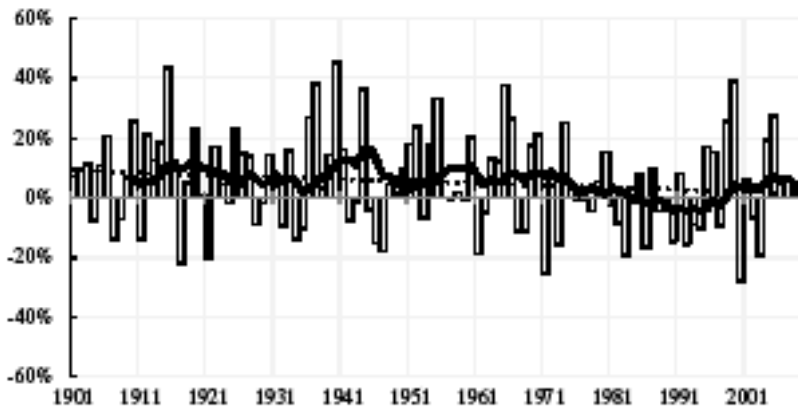


5. ábra. A legalább 27 °C-os hóhullámos napok éves összege Budapesten a 1901–2013 közötti időszakban (forrás: OMSZ)

Csapadék-tendenciák

Csapadékösszeg változása, évszakos jellemzők

A 6. ábrán az országos évi csapadékmennyiség 1971–2000 közötti átlagához viszonyított eltéréseinek sorát láthatjuk az 1901 és 2009 közötti időszakra vonatkozóan. Eszerint a csapadék éves mennyisége csökken, a csökkenés mértéke 7 százalék (5. táblázat) 1901-től. Csapadékosabb évek inkább a múlt század első felében fordultak elő, az utóbbi 50–60 évben pedig gyakoribbá váltak az átlagosnál szárazabb évek. Hasonló tendencia a megfigyelések szerint a dél-európai térséget jellemzi (Lakatos, 2010).



6. ábra. Az évi csapadékösszegek országos átlagainak anomáliái 1901–2009 között – az 1971–2000-es átlaghoz viszonyítva, a tízéves mozgó átlaggal és a trenddel (forrás: OMSZ)

A hosszú távú változásokat illetően, az évszakok tekintetében (5. táblázat) a legnagyobb mértékű csökkenés tavasszal következett be, 109 év alatt 20 százalékkal lett kevesebb az átlagos csapadékmennyiség, ami a vegetációs időszak kezdetén nagy jelentőséggel bír. A tendencia-elemzések alapján a csapadékmennyiség tavaszi csökkenése az egyetlen szignifikánsnak (statisztikailag igazoltnak) tekinthető változás. A nyári csapadék mennyisége növekedni látszik, az őszi időszakban azonban csaknem a tavaszihoz hasonló mértékű csapadék-csökkenés jelentkezik. A téli csapadék esetében gyenge pozitív tendencia figyelhető meg, ami segíthet az őszi csapadékhiány pótlásában. A téli csapadék mezőgazdasági hatékonysága azonban valamelyest gyengül, ugyanis az utóbbi időszak tendenciái alapján a felszínre érkező csapadék egyre gyakrabban eső formájában hullik, ami kevésbé szivárog be a talajba, mint a lassan olvadó hó (Lakatos, 2010).

5. táblázat. Az országos csapadékmennyiség változásának becslése különböző időszakokra exponenciális trendillesztéssel (a szignifikáns változás vastagon kiemelve) (forrás: OMSZ)

	1901–2009	1961–2009	1980–2009
Tavasz	-19,8	-5,3	-3,7
Nyár	8,9	2,1	22,0
Ősz	-16,6	3,1	7,1
Tél	1,4	-2,9	21,3
Éves	-7,0	-0,3	10,3

Az utóbbi 50 év adatsorai alapján a csapadék éves mennyiségében hazánk nagy részén nem rajzolódik ki egyértelmű változás. Enyhe növekvő tendencia az ország északkeleti, keleti szélén jelenik meg, csökkenő trendet az amúgy csapadékosabb nyugati területeken tapasztalhatunk (Bihari, 2010). Az egyes évszakok ezen belül eltérő változásokat hoznak. A közepesen csapadékosnak tekinthető átmeneti évszakokban a csökkenő tendencia a Dunántúl nyugati és középső vidékeit érinti, emellett tavasszal a déli országrészben, ősszel az északi területeken tapasztalható visszaesés a csapadékösszegben. A legcsapadékosabb évszakunkban, nyáron jelenik meg a legkisebb területen a csökkenő tendencia (elsősorban a Dunántúl középső és délnyugati tájain), és az ország nagy részén növekedés jellemző. Ez azonban nem feltétlenül jelent pozitív változást, hiszen a nyári csapadék nagyrészt záporos jellegű, egyre gyakrabban zivatarokhoz kapcsolódik, és nem ritka a felhőszakadás, illetve a jégeső sem. A legkevesebb csapadék télen hullik, és ebben az évszakban az elmúlt 50 év tendenciája alapján az ország túlnyomó részén további csökkenés jellemző.

Legszárazabb és legcsapadékosabb évek, évszakok

A megfigyelt változások természetesen a csapadék esetében sem jelentenek monoton növekedést vagy csökkenést, sőt e meteorológiai paraméter évről-évre vagy akár évszakról-évszakra nagyobb eltéréseket, szélsőségeket mutathat, mint a hőmérséklet. Ezzel összhangban, a tíz legszárazabb és legcsapadékosabb évet, illetve évszakokat felsoroló táblázat alapján (6. táblázat) annyit állapíthatunk meg, hogy a csapadékos évek, évszakok sorában több az 1960 előtti dátum, a száraz évszakok és évek között pedig több 1990 utáni évszám szerepel, bár ahogy a táblázatból is kitűnik, az aszály térségünkben nem új keletű jelenség.

6. táblázat. A legszárazabb és legcsapadékosabb évszakok és évek rangsora 1901 és 2013 között (az 1990 utáni évszámok vastagon kiemelve) (forrás: OMSZ)

<i>Legszárazabb évek, évszakok</i>									
<i>Tavas</i>		<i>Nyár</i>		<i>Ősz</i>		<i>Tél</i>		<i>Év</i>	
	<i>mm</i>		<i>mm</i>		<i>mm</i>		<i>mm</i>		<i>mm</i>
2003	64,7	1952	99,2	1986	43,6	1948/49	38,6	2011	407,4
1934	68,9	1950	103,3	2011	51,1	1989/90	48,8	2000	408,7
1992	81,7	2000	104,3	1920	60,4	1904/05	51,8	1971	425,6
1968	85,2	1911	110,8	2006	61,5	1991/92	53,2	1917	446,0
1993	86,6	1904	111,3	1947	65,8	1913/14	54,2	1921	454,6
1981	87,9	1935	114,0	1959	68,4	2001/02	58,3	2003	459,0
1943	90,3	1917	114,8	1978	68,7	1924/25	58,3	1983	459,4
2011	90,4	1947	115,7	1924	69,2	1974/75	60,1	1961	462,0
2009	90,5	2013	116,7	1953	69,7	1972/73	60,2	1947	466,6
1948	96,4	1967	123,1	1907	71,4	1931/32	61,4	2012	470,6

<i>Legcsapadékosabb évek, évszakok</i>									
<i>Tavaszi</i>		<i>Nyári</i>		<i>Őszi</i>		<i>Téli</i>		<i>Évi</i>	
	<i>mm</i>		<i>mm</i>		<i>mm</i>		<i>mm</i>		<i>mm</i>
2010	260,0	1999	318,9	1952	284,6	1935/36	199,4	2010	959
2013	230,3	2005	314,6	1905	255,8	1976/77	199,0	1940	824,1
1987	220,8	1940	313,4	1944	255,3	2012/13	190,7	1915	814,0
1912	218,0	1913	303,8	1922	253,5	1909/10	190,6	1999	789,3
1937	213,2	1926	299,3	1998	253,4	1969/70	183,1	1937	784,1
1919	205,3	1955	290,3	1950	245,0	2009/10	181,8	1965	781,6
1916	205,3	1975	287,1	2010	233,2	1914/15	175,6	1944	774,9
1965	202,2	1970	280,5	1974	232,7	1946/47	174,2	1955	757,1
1951	198,4	2010	280,4	1960	227,8	1954/55	170,9	2005	722,7
1954	196,6	1920	279,9	1939	226,2	1950/51	168,4	1936	720,8

Csapadék-szélsőségek változása

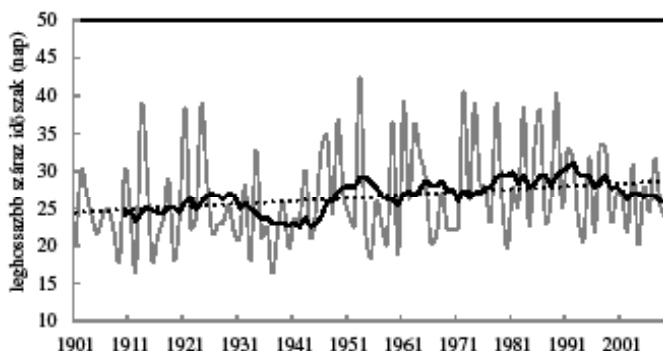
Mint láthattuk, a csapadék terén kevésbé nyilvánvalóak a változások, mint a hőmérsékletnél, és ez a bizonytalanság a szélsőségekre is igaz. Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC, 2012) által a csapadékkal kapcsolatban megfogalmazott állítások szerint térségünkben egyrészt az aszály által sújtott területek, másrészt a nagy csapadékhoz kapcsolódó események gyakoriságának növekedésével kell számolnunk. Az átlagosnál bőségesebb csapadékkal vagy tartós szárazsággal járó események gyakoriságában bekövetkező változásoknak – a csapadék természetéből adódóan – talán még nagyobb jelentősége van, mint hőmérsékleti szélsőségek esetén. A leggyakrabban előforduló csapadékindexeket jelölésükkel és meghatározásukkal együtt a 7. táblázatban foglaltuk össze. Ezek tendencia-elemzésével érhetjük tetten a változásokat.

7. táblázat. A leggyakrabban használt extrém csapadékindexek

<i>Meghatározás</i>	<i>Egység</i>
Az egymást követő száraz napok maximális száma (amikor a napi csapadék < 1 mm)	nap
Csapadékos napok száma (amikor a napi csapadékösszeg > 1 mm)	nap
Legalább 5 mm csapadéku napok száma	nap
Legalább 10 mm csapadéku napok száma	nap
Legalább 20 mm csapadéku napok száma	nap
A legnagyobb egy nap alatt lehullott csapadék mennyisége	mm
A legnagyobb öt nap alatt lehullott csapadék mennyisége	mm
Napi csapadékintenzitási index (éves csapadékösszeg/csapadékos napok éves száma)	mm/nap

Csapadékos napok, száraz időszakok

Az aszály szempontjából fontos tényező, hogy mennyire egyenletes a csapadék eloszlása, és milyen hosszú időszakok telnek el csapadék nélkül. Csapadékos napról beszélünk, amikor az adott napon számottevő mennyiségű, azaz legalább 1 mm* csapadék hullik. Ennek megfelelően az egymást követő, ennél kisebb csapadéku napok sorát száraz időszaknak tekintjük.



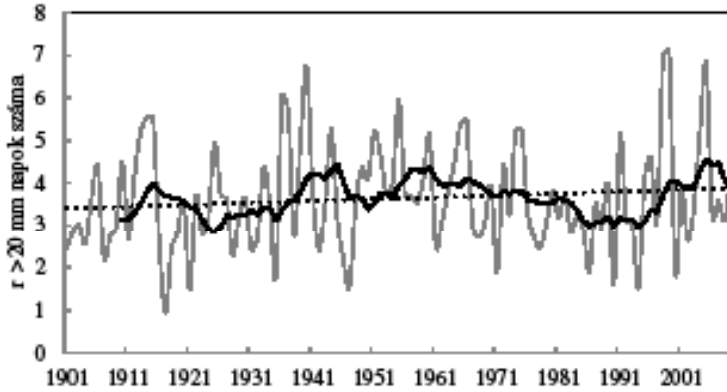
7. ábra. A száraz időszak maximális hosszának alakulása, tízéves mozgó átlaggal és becstelt lineáris trenddel, 1901–2009 (forrás: OMSZ)

Lakatos (2010) vizsgálatai szerint a múlt század elejétől országos átlagban 4 százalékkal csökkent a csapadékos napok száma, és a száraz időszakok hossza ezzel összhangban növekedett (7. ábra). Az évszakos idősorok is mind a hosszabbodó száraz időszakok irányába mutatnak, bár az itt megjelenő tendenciák nem szignifikánsak. A legnagyobb (4 nap/109 év) növekedés ősszel figyelhető meg, ami azt eredményezi, hogy manapság az őszi időszakban országos átlagban akár 22 napos száraz periódusok is előfordulhatnak.

Nagy csapadéku napok, csapadékinzentiás

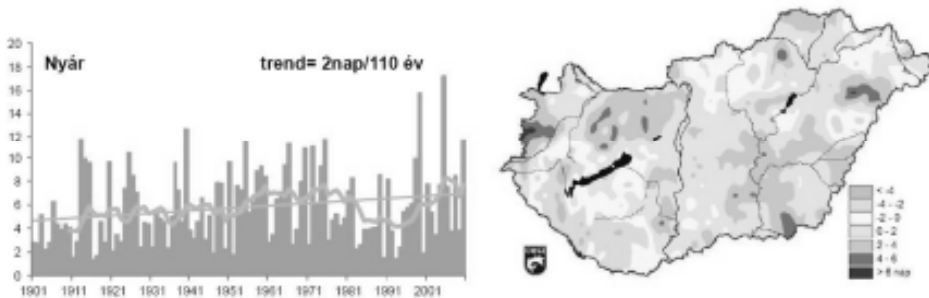
Az elemzések alapján az a tendencia rajzolódik ki, hogy kevesebb napon hullik csapadék, mint korábban, és a csapadékos napokon az ún. nagy csapadékok aránya növekszik (8. ábra). Az évszakok vizsgálata során a nyári időszakban találták a legnagyobb mértékű növekedést, a 110 éves tendencia 2 nap volt (Lakatos és mtsai, 2012), és a 9. ábrán jól látható, hogy az ezredforduló táján a korábbiaknál jóval magasabb értékek is megjelentek (országos átlagban 16, 18 nap). A területi eloszlást illetően az utóbbi ötven évben hazánk túlnyomó részén 2–4 nappal növekedett a 20 mm-nél nagyobb csapadékot adó napok száma, és kisebb körzetekben 4, sőt több, mint 6 napos növekedés is megjelent. Ugyanakkor északon és keleten is előfordulnak csökkenő tendenciát mutató térségek, de nagyobb területen csupán a délnyugati országrészben tapasztalható visszaesés.

* A csapadék mennyiségét mm-ben fejezzük ki: 1 mm négyzetméterenként 1 liter csapadékot jelent.



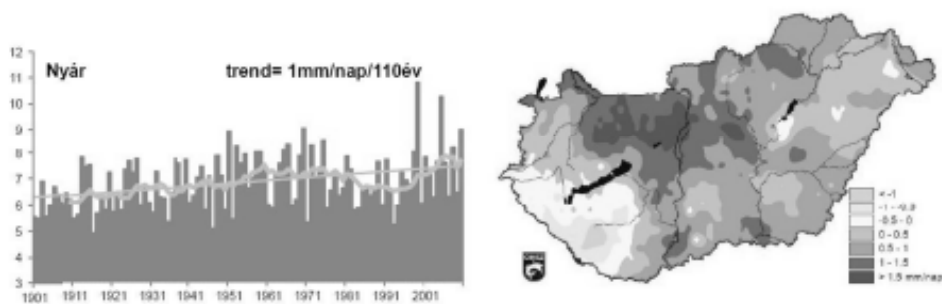
8. ábra. A nagy csapadéku (>20 mm) napok számának változása, 1901–2009 (forrás: OMSZ)

A nagy csapadéku események gyakoribbá válásával összefüggésben hosszú távon a napi csapadékontenzitási indexben is egyértelmű növekedés mutatható ki. Éves viszonylatban 110 év alatt 0,5 mm-rel nőtt a csapadékos napokra jutó csapadék mennyisége (Lakatos, 2010). Természetesen az egyes évszakok jelentősen eltérést mutatnak, ugyanis a napi csapadékontenzitási index az adott időszak csapadékösszegének és a csapadékos napoknak a hányadosa, vagyis azt fejezi ki, hogy a teljes csapadékmennyiség hány napon oszlik el.



9. ábra. A nagy csapadéku napok számának időbeli (1901–2010) és térbeli változása (1960–2010) nyáron

A korábban leírtak alapján a csapadékontenzitás szempontjából a nyár érdemel külön figyelmet, hiszen ebben az évszakban a múlt század elejétől a száraz időszakok maximális hossza 2 nappal nőtt (Lakatos, 2010), és az immár kevesebb napra jutó csapadék mennyisége 9 százalékkal lett több.



10. ábra. A nyári napi csapadékintenzitás időbeli (1901–2010) és térbeli változása (1960–2010)

A várakozásoknak megfelelően ebben az időszakban fordul elő a legnagyobb mértékű változás a napi csapadékintenzitásban: 110 év alatt 1 mm/nap (10. ábra). A délnyugati országrész ezúttal is csökkenő tendenciát mutat, az ország más területein azonban a napi

csapadékintenzitás mértékének növekedése jellemző. A legnagyobb mértékű intenzitás-növekedés a Dunántúl északkeleti részén és a főváros térségében tapasztalható.

Ezek a változások arra utalnak, hogy a nyári csapadék egyre nagyobb hányada érkezik rövid idejű, intenzív záporok, zivatarok formájában (Lakatos és mtsai, 2012). Az ilyen események során lehulló csapadékmennyiség a napi csapadékösszegekben jelenik meg. Ennek megfelelően a legnagyobb egy nap alatt lehulló csapadék mennyisége is növekvő tendenciát mutat nemcsak a nyári időszakban, hanem a teljes évet tekintve is.

Az aszály

Magyarországon feltehetően az aszály az egyik legnagyobb kárt okozó természeti csapás. Általában hosszabb ideig tart és nagyobb területre terjed ki, mint a többi természeti katasztrófa. Lassan fejlődik ki – ahogy a rendelkezésre álló vízkészlet foko-

Az aszály által okozott kár nem csak az aszály mértékétől, illetve időtartamától függ, hanem az adott terület érzékenységétől is. Egy terület érzékenységét befolyásoló alapvető tényezők a lejtőszög, a napfénytartam (globál sugárzás) és a csapadék, valamint a felszínborítottság, a talajtípus, az öntözési lehetőségek és a relatív talajvízszint is. Figyelembe véve az említett tényezőket, hazánk nagy része aszály szempontjából az érzékeny, illetve a nagyon érzékeny területek közé tartozik

zatosan csökken –, és többnyire lassan is szűnik meg. Komplex jellege miatt az aszálynak nincs általánosan elfogadott definíciója. A fentiek alapján fogalmazhatunk úgy, hogy az aszály az éghajlatilag rendelkezésre álló, hasznosítható vízmennyiség időszakos csökkenése, ami a természet, a gazdaság és a társadalom különböző szektoraiiban károkat okozhat. Az aszály által okozott kár nem csak az aszály mértékétől, illetve időtartamától függ, hanem az adott terület érzékenységétől is. Egy terület érzékenységét befolyásoló alapvető tényezők a lejtőszög, a napfénytartam (globál sugárzás) és a csapadék, valamint a felszínborítottság, a talajtípus, az öntözési lehetőségek és a relatív talajvízszint

is. Figyelembe véve az említett tényezőket, hazánk nagy része aszály szempontjából az érzékeny, illetve a nagyon érzékeny területek közé tartozik.

Mivel az aszálynak nincs egzakt definíciója, pontos mérőszáma sincs. Kutatók több száz aszályindexet fejlesztettek ki, az egészen egyszerű, csak csapadékatokat használó mérőszámoktól a hőmérsékletet, a párolgást, illetve a talajnedvességet is figyelembe vevő összetettebb indexekig. A hazai és a nemzetközi gyakorlatban is az egyik legelterjedtebb a standardizált csapadékindeks (Standardized Precipitation Index, SPI). Mivel csak csapadékatokat igényel, a nagy számban működő csapadékmérő állomások adatai is felhasználhatók a számításoknál, így igen árnyalt képet kaphatunk az aszály területi eloszlásáról. Általában 1, 3, 6 vagy 9 hónapos időszakra vonatkoztatják (*Szalai és Lakatos, 2010*). Negatív SPI értékeknél száraz időszokról beszélünk, melynek tartós fennállása esetén aszály alakulhat ki. Amikor az SPI pozitívrá vált, nedves időszak köszönt be, az aszály megszűnik.

Aszálytendenciák

Az évi csapadékmennyiség változása rövidebb távon csökkenő és emelkedő szakaszokból áll, hosszabb távon azonban az adatsorok csökkenő tendenciát mutatnak (6. ábra). Az éghajlatváltozás következményeként már most is megfigyelhető a csapadékintenzitás növekedése, a szélsőségek gyakoribbá válása, ami a hőmérséklet emelkedésével együtt az aszályhajlam erősödését vetíti elő (*Szalai és Lakatos, 2010*). Az éves csapadékösszeg a múlt század elejétől mintegy 7 százalékkal csökkent, ez a változás azonban még nem tekinthető szignifikáns (statistikailag igazolt) csökkenésnek (5. táblázat). A tavaszi időszakban viszont már szignifikáns és jelentős mértékű, csaknem 20 százalékos visszaesést tapasztalhatunk, ami meghatározó lehet a vegetációs időszakra nézve. A tavasszal kialakult hiányt ugyanis a nyári, nagyobb intenzitású, ritkábban előforduló csapadékesemények általában nem tudják pótolni, legfeljebb a nyár eleji Medárd-időszak hozhat átmeneti javulást.



12. ábra. A júniusi hathavi SPI értékek országos átlaga 1951–2011 között (forrás: OMSZ)

A hosszabb távú elemzések szerint az aszályok nagyságában és gyakoriságában az utóbbi évtizedekben növekvő tendencia figyelhető meg, tehát az aszályhajlam erősödni látszik. A leírt tendenciát támasztja alá az a tény is, hogy az ezredforduló óta is több aszályos évet kellett elszenvednünk. Az időszak két legszárazabb éve 2000 és 2011 (az éves csapadék-

mennyiség országos átlaga rendre 408,8 mm, illetve 407,4 mm) voltak, az aszályindexek alapján azonban 2003-ban alakult ki az utóbbi évek legnagyobb mértékű aszálya (12. ábra). Ez jól szemlélteti azt, hogy az aszály mértékét nem csak az adott év csapadék-, és hőmérsékleti viszonyai határozzák meg, hanem az előző években felhalmozott csapadék-, illetve talajnedvességi hiány is. A 2003-as év ugyanis már a harmadik csapadékban szegény év volt 2000 és 2002 után, a 2001-es év pedig csupán átmeneti javulást hozott a száraz évek sorában. Hasonló okokra, több év alatt súlyosbodó helyzetre vezethető vissza a 1993-as aszály is.

Összegzés

A bemutatott elemzések alapján hazánk területén egyértelmű és az utóbbi évtizedekben növekvő mértékű melegedés tapasztalható. A hőmérsékletben és a csapadékban is a szélsőségek gyakoribbá válása figyelhető meg, ami hosszú távon többek között az aszályhajlam erősödését vonja maga után.

Köszönetnyilvánítás

Ez a tanulmány a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0064 jelű pályázat keretében készült, ami az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

- Bartholy J. és Pongrácz R. (2005): *A Kárpát-medence extrém hőmérsékleti és csapadék indexeinek XX. századi változásai*. Előadás: Természet-, műszaki- és gazdaságtudományok alkalmazás 4. nemzetközi konferencia. Szombathely, 2005. május 28.
- Bihari Z. (2010): Térbeli statisztikai vizsgálatok, átlagos jellemzők és statisztikák Magyarországon. In: Lakatos M. (szerk.): 36. Meteorológiai Tudományos Napok, beszámolókötet. 30–41. OMSZ, Budapest. <http://www.met.hu/pages/seminars/metnap36/MetNapok2010.pdf>
- IPCC (2012): *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK – New York, NY, USA.
- Lakatos M. (2010): Hazai megfigyelt hőmérsékleti és csapadék tendenciák, szélsőségek alakulása a múlt század elejétől. In: Lakatos M. (szerk.): 36. Meteorológiai Tudományos Napok, beszámolókötet. 42–59. OMSZ, Budapest. <http://www.met.hu/pages/seminars/metnap36/MetNapok2010.pdf>
- Lakatos M. és Szalai S. (2010): Aszályindex számítás és térképezés Magyarországra a DMCSEE keretében. *Agróforum*, 21. 8. sz. 49–51.
- Lakatos M., Szépszó G., Bihari Z., Krüzselyi I., Szabó P., Bartholy J., Pongrácz R., Pieczka I. és Torma Cs. (2012): Éghajlati szélsőségek változásai Magyarországon: közelmúlt és jövő. Országos Meteorológiai Szolgálat – Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest.
- Molnár Á. és Gácsér V. (2014): Szélsőséges éghajlat – szeszélyes időjárás. *Iskolakultúra*, 24. 11–12. sz.
- Szalai S. és Lakatos M. (2010): Az éghajlatváltozás és az aszály. In: Lakatos M. (szerk.): 36. Meteorológiai Tudományos Napok, beszámolókötet. 147–155. OMSZ, Budapest. <http://www.met.hu/pages/seminars/metnap36/MetNapok2010.pdf>
- Szentimrey, T. (1999): Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). In: *Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, Budapest, Hungary*. WMO, WCDMP. 41. 27–46.
- Szentimrey, T. és 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.