

Horváth Zsófia¹ – Kőrösiné Molnár Andrea²

Mikor hat a napfolttevékenység az időjárásra?

ABSZTRAKT

A napfolttevékenység évi középhőmérsékletre, a hőségnapok és fagyos napok számára, valamint az évi csapadékmennyiségre gyakorolt hatását vizsgáltuk az Országos Meteorológiai Szolgálat Szegedre vonatkozó adatbázisának 1901 és 2000 közötti napi adatainak felhasználásával. Először az 1901 és 2000 közötti éveket vizsgáltuk, majd ezt a periódust kettéválasztottuk az erős antropogén hatások megjelenése előtti és alatti időszakokra. Végül csak a napfoltmaximumhoz és -minimumhoz tartozó értékekkel számoltunk. Mindhárom esetben nemcsak az azonos évi, hanem az egy-két évvel későbbi időjárásra gyakorolt hatást is elemeztük. A terület időjárása és a napfoltciklusok között nem találtunk kapcsolatot, az egész, 100 éves időszakra vonatkozólag, de a modern kor előtti és az ahhoz tartozó időszakot külön vizsgálva, már $r=0,3$ körüli korrelációs érték mutatható ki a napfoltszám és a különböző időjárási elemek között. A napfoltminimum és -maximum éveket kiemelve az évi középhőmérséklet, a hőség- és fagyos napok száma szignifikáns kapcsolatban van a napfoltszámmal ($r=0,5$ és $0,8$ közötti, $p \leq 0,05$). A hőségnapok kialakulását felerősíti az intenzív napfolttevékenység a 20. század végén, amikor az emberiség környezetre gyakorolt hatása globális méretűvé növekedett. Ebben az időszakban a napfolttevékenység nemcsak az adott évben, hanem egy és két évvel később is befolyásolta a hőségnapok számát.

Kulcsszavak: napfolt, hőmérséklet, csapadék, hőségnap, modern kor

¹ 12. osztályos tanuló, Gödöllői Református Líceum Gimnázium, Gödöllő Szabadság tér 9.

E-mail: horvath.zsofia@grl.hu

² Tanár, Gödöllői Református Líceum Gimnázium, Gödöllő Szabadság tér 9. E-mail: korosimolnar.andrea@gmail.com
Hálás köszönet dr. Molnár Ágnesnek (tudományos főmunkatárs, Pannon Egyetem) segítségéért, a szakmai útmutatásáért, a tanulmány átnézéséért. Nagy köszönet Borbáth Gábornak a cikk gondos átnézéséért és javításáért.

BEVEZETÉS

A napfoltok a Nap felszínén, a fotoszférán elhelyezkedő, környezetüknél sötétebb jelenségek, melyek száma ciklikusan, nagyjából 11 éves periódusokban változik. A napfoltok a fotoszférából ki- és belépő mágneses erővonalhurkoknál alakulnak ki. A mágneses erővonalcsövekben az erős mágneses tér akadályozza a Napban termelődött energia konvektív áramlással történő kiszállítását a felszínre (Wikipédia, 2024). Ott, ahol a konvektív áramlás megszűnik, a gáz lehül, ezért a napfoltokban közel 2000 fokkal alacsonyabb a hőmérséklet, mint a napfolton kívüli felszínen, ezért látszanak sötétebbnek. A lehült gáz térfogata is kisebb lesz, ezért ez a felszín mélyebbre kerül a Nap környező felszínéhez képest. A Nap mágneses erővonalainak egyensúlyvesztése okozhatja, hogy a napkorona térszerkezete hirtelen megváltozik, ami jelentős energiefel szabadulással és a korona anyaga egy részének kidobódásával (napkitörés) jár. A napkitöréseket okozó mágneses erővonalak kapcsolódnak a napfoltok kiváltó mágneses erővonalakhoz (Bodnár, 2024). Ez magyarázza, hogy a szoláris maximum idején sok napfolt alakul ki, és gyakoriak a napkitörések (flerek, protuberanciák, koronakidobódások).

A napfoltciklus minimuma idején hetekig vagy akár hónapokig nincs megfigyelhető napfolt, míg napfoltmaximum idején több kisebb-nagyobb folt, foltcsoport is tarkítja a Nap látható felszínét. A maximumok és minimumok mértéke is változó, például az előttünk álló 25-ös napfoltciklus, amelynek maximuma 2025 júliusában várható, az eddig ismert legnagyobbak egyike lesz (McIntosh et al., 2020). Ennek megfelelően a Nap energia- és részecske-kisugárzása is változik. Amíg a napfény erősségében 0,1 %-os, addig például az UV-sugárzásban 10 %-os vagy ennél nagyobb arányú változás mérhető a napfoltciklus során (Phillips, 2013). A kisugárzás mértékének változása a földi időjárásra is hatással van. A különböző természeti jelenségek, így a napfolttevékenység időjárásra gyakorolt hatásainak vizsgálata egyre fontosabb a klímaváltozás súlyossága miatt. Ez a jelenség ezen kívül figyelembe vehető a klímamodellezésben és a különböző időjárási események bekövetkezésének előrejelzésben is. A napfoltciklus változásából (napfoltminimum és -maximum) előre lehet jelezni, hogy mely években lehet hosszabb aszályra vagy több csapadékra és árvizekre, hosszabb hőségidőszakra (orvosmeteorológia), illetve hosszabb fagyos időszakra (fagykár) számítani.

A napfolttevékenység és a földi éghajlatban megnyilvánuló változások közötti összefüggést korábbi kutatások eredményei is szemléltetik: Az egyik legszemléletesebb példa a Maunder-minimumnak nevezett időszak, amikor hosszú időn keresztül nagyon alacsony volt a napfoltok száma (Eddy, 1976), ami az úgynevezett kis jégkorszak (1645–1715) kialakulásához vezetett. A napsugárzás a Maunder-minimum alatt körülbelül 3 W/m^2 értékkel csökkent (Lean et al., 1992), ami a teljes sugárzás 0,24 %-a. Azonban ez a sugárzáscsökkenés Európában és Észak-Amerikában már $1,0\text{--}1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ -kal alacsonyabb hőmérsékletet okozott. Ez a hőmérsékletcsökkenés befagyott folyókat (Duna, Rajna), hosszú, hideg teleket, hűvös nyarakat, a gleccserek növekedését eredményezte (National Geographic, 2004).

Friis-Christensen és Lassen (1991) mintegy 130 éves időtartamot vizsgálva, szoros kapcsolatot mutattak ki a földfelszín hőmérsékletével, az Izland környéki tengerjég kiterjedésével és a napfoltok számával, illetve a napfoltciklus hosszával. Eddy (1976) adatai szerint a tengervíz felszíni hőmérsékletének változása hasonló ciklust mutat, mint a napfoltok számának ciklikussága. Meehl et al. (2009) szerint napfoltmaximum idején a megnövekedett sugárzás növeli az ózon mennyiségét és az

ózon melegítő hatását, ami befolyásolja a léghőmérsékletet és a konvekciós feláramlás erősségét a Csendes-óceán trópusi régióiban. A megnövekedett besugárzás hatására a térítőknél a tenger felszínén megnő a párolgás, aminek következtében több csapadék hullik a trópusi összeáramlási zónában (ITCZ: Inter-Tropical Convergence Zone).

Európa különböző tájain a csapadékmennyiség és napfoltszám közötti korreláció nagyon tág határok között mozog. Laurenz et al. (2019) közleményében Közép-Európában a napaktivitás és a csapadékmennyiség között nagyjából pozitív korreláció van, Nyugat- és Közép-Európában a februári csapadékhullás mutatja a legerősebb korrelációt ($r=0,61$). Czymzik et al. (2013) ezzel ellentétes véleményen vannak, mert a Holocén hidroklimájának tanulmányozásához németországi tavakat és vizenyős területeket (wetland) vizsgálva azt tapasztalták, hogy a nedves periódusok egybeestek a napfolt minimum időszakával. Műholdakról vizsgálva megállapították, hogy a napfolttevékenység okozta sugárzaskibocsátás 3–4 %-kal változtatja meg a globális felhőborítottságot (Svensmark & Friis-Christensen, 1996). Véleményük szerint a felhőtakaró növekedése (függetlenül a felhőzet típusától) hűtő hatással van a Földre.

Célkitűzésünk, hogy a Kárpát-medence központi területére, az Alföldre vonatkozólag megvizsgáljuk, hogy a napfolttevékenységnek milyen mértékű hatása van az időjárásra. A nemzetközi szakirodalom eredményei arra utalnak, hogy elsősorban a felhővel való borítottság miatt a csapadékmennyiség, továbbá az évi középhőmérséklet, a légnyomás változásában mutathatók ki a napfolttevékenység hatásai, ugyanakkor nem történt vizsgálat a hőségnapok és a fagyos napok számának alakulásával kapcsolatban (Le Mouel et al., 2009; Laurenz et al., 2019; Nazari-Sharabian & Karakouzia, 2020). Nazari-Sharabian & Karakouzia (2020) eredményei arra utalnak, hogy a napfoltmaximum után egy–három évvel később a csapadék mennyiségében kimutatható növekedés következik be, de a szerzők nem végeztek konkrét (pl. korrelációs) számítást arra vonatkozólag, hogy a napfoltciklus hat-e az egy-két, illetve három évvel későbbi időjárásra. Munkánkban megvizsgáltuk, hogy az évi középhőmérséklet, a csapadék mennyisége, a fagyos és hőségnapok száma milyen mértékben módosul a napfoltok számának változása miatt.

Az általunk tanulmányozott szakirodalmak közül néhány (Le Mouel et al., 2009; Nazari-Sharabian & Karakouzia, 2020) megjegyezte, hogy a 20. század közepétől figyelembe kellene venni az antropogén hatásokat is (pl. a fosszilis tüzelőanyag égetése, a földhasználat jelentős megváltozása, városok hőszigeteléseinek kialakulása). Nem találtunk azonban olyan vizsgálatot, amelyben elkülönítették, illetve összehasonlították volna a modern korunk előtti és alatti időszakokban a napfolttevékenység hatását az időjárási elemekre. Továbbá nem találtunk olyan irodalmi forrást sem, amelyben kiemelték volna a csak napfoltmaximum- és -minimuméveket, és kizárólag ezeknél vizsgálták volna meg az időjárásra gyakorolt hatást. Célunk ezért arra is irányult, hogy megvizsgáljuk az adott évi, illetve az egy-két évvel későbbi időszak időjárására (évi középhőmérséklet, csapadék, fagyos napok és hőségnapok száma) gyakorolt hatást is.

MÓDSZEREK

Az Országos Meteorológiai Szolgálat nyilvános adatbázisából azokat a magyarországi településeket választottuk ki, ahol a legkorábban kezdték meg a meteorológiai adatgyűjtést. Ez 1901-től történt Budapesten, Debrecenben, Pécsen, Szegeden és Szombathelyen. A kutatás színhelyül végül Szegedet választottuk. A napfolttevékenység időjárásra gyakorolt hatásának vizsgálatához az éves csapadék mennyiségét, az évi középhőmérsékletet, a hőségnapok és a fagyos napok számát használtuk. Hőségnapnak az tekinthető, amely napokon a napi maximum-hőmérséklet meghaladja a 30°C-ot, és azt nevezik a meteorológusok fagyos napnak, amikor a napi minimum-hőmérséklet 0°C alá esik. A Szegedre vonatkozó adatbázisból (Hungaromet, 2024) 1901 és 2000 között a napi adatokból kiszámoltuk az adott évre vonatkozó évi középhőmérsékletet, a havi és éves csapadékmennyiséget, valamint a hőség- és fagyos napok számát (1. táblázat).

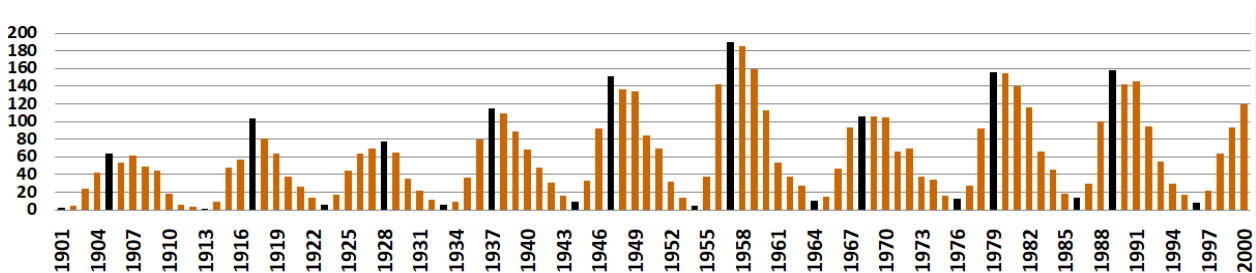
1. táblázat: A napfoltok száma és a szegedi időjárási adatok

	Napfoltok száma (db)	Éves csapadék (mm)	Évi középhőmérséklet (°C)	Hőségnapok száma (db)	Fagyos napok száma (db)
1901	2,7	613,7	10,4	9,0	93,0
1902	5,0	594,4	10,0	15,0	90,0
1903	24,4	560,1	11,1	18,0	64,0
1904	42,0	564,4	11,1	29,0	92,0
1905	63,5	550,2	10,8	38,0	91,0
1906	53,8	575,8	10,8	18,0	107,0
1907	62,0	346,1	10,7	17,0	106,0
1908	48,5	572,0	10,1	23,0	112,0
1909	43,9	525,5	11,0	23,0	83,0
1910	18,6	666,4	11,6	14,0	67,0
1911	5,7	431,1	11,6	35,0	76,0

Adatok forrása: Hungaromet, 2024

A napfoltok számadatait (The Bureau of Meteorology, 2024) Excel segítségével diagramon ábrázoltuk, melyen jól látszik a kb. 11 éves periódusú ciklikussága (1. ábra). Ennek megfelelően a napsugárzás mennyiségének ciklikussága alapján az időjárási adatok alakulásában is hasonló változásokra számítottunk.

1. ábra: Napfoltok száma (db), a minimum- és maximumértékek kiemelésével



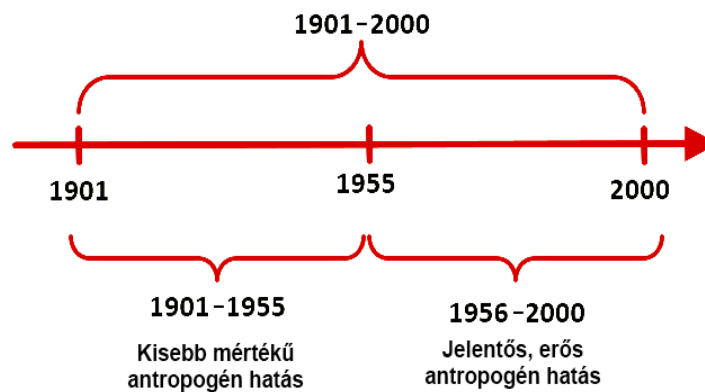
Forrás: The Bureau of Meteorology, 2024

A napfoltok számadatait összevetettük az azonos évek időjárási adataival, majd megvizsgáltuk, hogy milyen erős hatással van az egy és a két évvel későbbi időjárásra. Különböző adatsorokat használtunk a napfolttevékenység időjárási elemekre gyakorolt feltételezett hatásának kimutatásához:

- Először az egész, az 1901 és 2000 közötti időszakot vizsgáltuk.
- Ezt követően az adatsorokat szétválasztottuk az erős antropogén hatások feltételezett megjelenésének időpontjától (1955). Ezt követően külön az 1955-ös év előtti és az 1956 utáni években vizsgáltuk a napfolttevékenység hatását az időjárási elemekre (2. ábra).
- Végül csak a napfoltmaximumhoz és -minimumhoz tartozó értékekkel számoltunk.

Mindhárom esetben nemcsak az azonos évi, hanem az egy és két évvel későbbi időjárási adatokra való hatást is vizsgáltuk.

2. ábra: A vizsgált időszakok felosztása



A napfolttevékenység és a kiválasztott időjárási adatok közötti összefüggés erősségének vizsgálatához a Pearson-féle korrelációs számítását használtuk, ahol $r=0,0-0,2$: elhanyagolható, $r=0,2-0,4$: gyenge, $r=0,4-0,7$: jelentős, $r=0,7-0,9$: markáns, $r=0,9-1,0$: nagyon erős kapcsolatot jelez (Balázs, 2024). Az összefüggések statisztikai megerősítéséhez a Student-féle t-próbát is alkalmaztuk: szignifikáns hatásnak tekintettük a $p \leq 0,05$ értéket.

EREDMÉNYEK

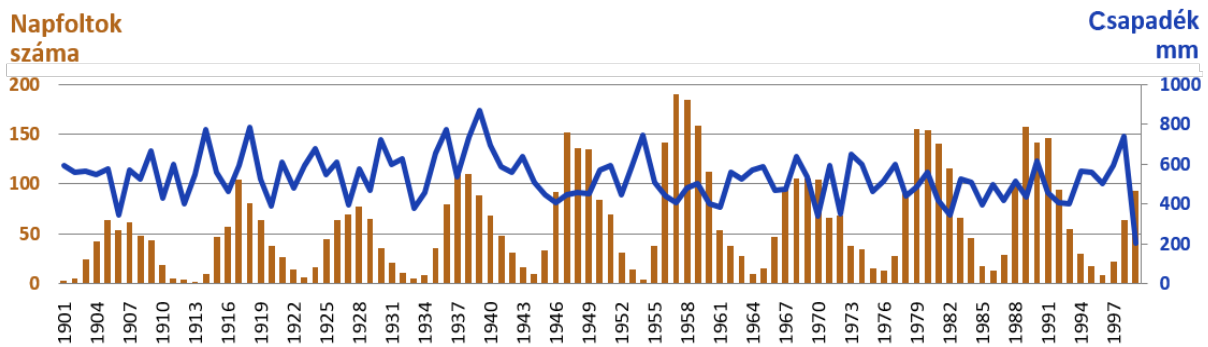
A napfolttevékenység hatása a százéves időszak időjárására

A napfoltok évenkénti számát 1901-től 2000-ig vizsgáltuk, mivel erről az időszokról már rendelkezésre állnak meteorológiai adatok is. A napfoltok számának évenkénti eloszlásából Excel segítségével diagramot készítettünk, melyen jól látszik a napfoltok körülbelül 11 éves ciklushossza (1. ábra). A 1. ábrán feketével kiemeltük a napfoltminimum- és -maximuméveket. Ezekből az adatokból megfigyeltük, hogy a napfoltok maximumának kialakulása gyorsabb ütemben, általában 3–4 év alatt, a napfoltminimum elérése viszont hosszabb, 6–7 év alatt történik. Ezt követően ezzel az ábrával szemléltetjük a napfoltok számának változását.

A 3. ábra a napfoltok száma és az éves csapadékmennyiség közötti kapcsolatot szemlélteti. A napfoltok számával az egy évvel későbbi csapadékadatok mutatnak kicsit nagyobb, negatív korrelációs

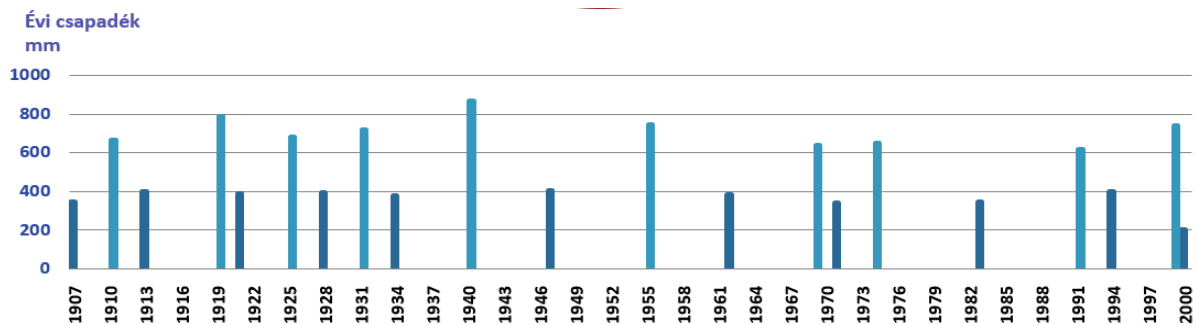
értéket ($r=-0,219$). Ez azt jelenti, hogy vagy az erős napfolttevékenység hatására a következő évben kevesebb csapadék hullik, vagy azt, hogy a napfoltminimumokhoz bőségesebb csapadék társul. Az 4. ábra jól szemlélteti, hogy a napfoltokhoz hasonlóan a csapadékeloszlásban is egy bizonyos szabályosság figyelhető meg: nevezetesen az, hogy a legcsapadékosabb évek után rövidebb idő alatt következnek be a legszárazabb évek, mint a száraz évek után a csapadékosak.

3. ábra: A napfoltok száma és az éves csapadékmennyiség Szegeden (egy évvel később)



Adatok forrása: Hungaromet, 2024

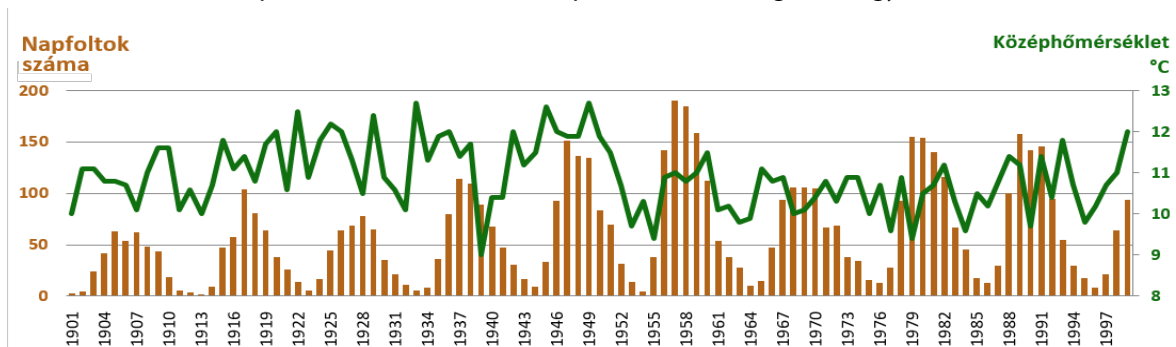
4. ábra: A legcsapadékosabb és legszárazabb évek kiemelése



Adatok forrása: Hungaromet, 2024

A középhőmérséklet és napfolttevékenység összefüggését vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy az egy évvel későbbi időszak középhőmérsékleti értékeivel (5. ábra) kaptuk a relatíve nagyobb korrelációt, de ez is olyan gyenge ($r=0,112$), hogy az összefüggés nem tekinthető szignifikánsnak.

5. ábra: A napfoltok száma és az évi középhőmérséklet Szegeden (egy évvel később)



Adatok forrása: Hungaromet, 2024

A százéves időszakot véve alapul, a naptevékenységnek a *hőségnapokra* sincs különösebb hatása ($r=0,112$), és itt is – az éveket összehasonlítva – az egy évvel későbbi adatokkal korrelált jobban a hőségnapszám. A *fagyos napok* esetében az „r-érték” negatív előjelű, és szintén nem jelez szignifikáns kapcsolatot ($r=-0,115$).

A napfolttevékenység hatásának összehasonlítása a gyenge (1901–1955) és az erős antropogén (1956–2000) hatású időszakok időjárására

Az egész időszakot vizsgálva nem található statisztikailag alátámasztott kapcsolat az időjárás elemek és a napfoltok száma között, ezért ezt a százéves periódust kettéválasztottuk: az erős antropogén hatások feltételezett megjelenése előtti és utáni szakaszokra (2. ábra). A két időszakban külön-külön elemeztük, hogy van-e erősebb kapcsolat az időjárás alakulása és a napfoltok száma között. Ezzel a szétválasztással erősebb korrelációs értékeket kaptunk (6. ábra).

A napfoltok száma és a *hőségnapok száma* között $r=0,319$, a napfoltok és a *középhőmérsékleti értékek* között $r=0,336$ korrelációt számoltunk. Ez a két időjárás elem 1955 előtt, a modern korunk előtt mutatott szorosabb kapcsolatot a napfolttevékenységgel (6. ábra). Ezzel szemben a *csapadék* adatai ($r=-0,261$) és a *fagyos napok száma* ($r=-0,367$) jobban korrelált a napfoltszámmal az erős antropogén hatások megjelenése után (1956 után). A 6. ábra adataiból megállapítható az is, hogy az 1956 utáni időszakban a legerősebb korreláció az 1 vagy 2 évvel későbbi időjárással volt, míg az 1955 előtti periódusban az azonos évek időjárásával.

6. ábra: A napfoltok száma és a különböző időjárás elemek kifejeződése közötti korreláció a modern korban és az azt megelőző időszakban

1901–1955		1956–2000
Azonos év $r=-0,066$	Csapadék →	+1 év $r=-0,261$
Azonos év $r=0,366$	← Középhőmérséklet	+1 év $r=0,253$
Azonos év $r=0,319$	← Hőségnapok	+2 év $r=0,193$
Azonos év $r=-0,229$	Fagyos napok →	+1 év $r=-0,367$

A napfolttevékenység hatásán kívül azt vizsgáltuk, hogy a *különböző időjárás elemek kifejeződése* között tapasztalható-e valamilyen kapcsolat. A csapadékhullás semmilyen összefüggést nem mutatott a léghőmérsékleti elemekkel: évi középhőmérséklettel, a fagyos és hőségnapok számával. A hőmérséklettel összefüggésben lévő adatok között azonban erősebb összefüggést találtunk (2. táblázat). Az évi középhőmérséklet és a fagyos napok száma között erős negatív korreláció volt az egész időszakban. Ennek értéke: $r=-0,61$. Az erős antropogén hatások megjelenése előtti és utáni időszakok között nem tapasztalható különbség az „r-értékben”. A középhőmérséklet és a hőségnapok között a korrelációs érték $r=0,444$, és itt sincs különbség a két időszak között (2. táblázat).

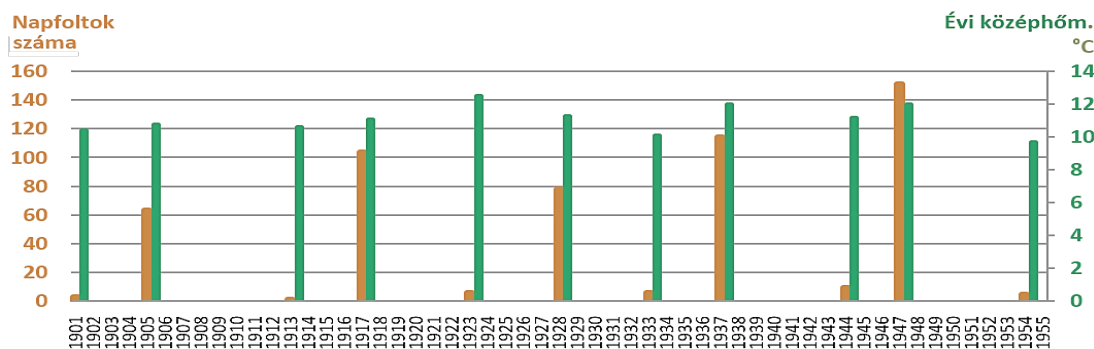
2. táblázat: Korrelációs értékek az évi középhőmérséklet és a fagyos, illetve a hőségnapok száma között a modern korban és az azt megelőző időszakban

	Évi középhőmérséklet és a hőségnapok közötti korreláció	Évi középhőmérséklet és a fagyos napok közötti korreláció
1901–2000 közötti időszakban	$r=0,444$	$r=-0,608$
1901–1955 közötti időszakban (erős antropogén hatások előtt)	$r=0,442$	$r=-0,574$
1956–2000 közötti időszakban (erős antropogén hatások érvényesülése idején)	$r=0,465$	$r=0,520$

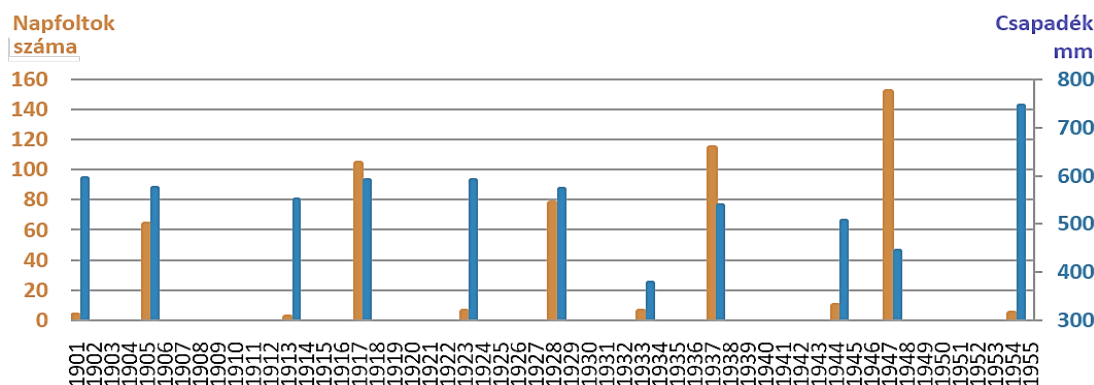
A napfoltok számának hatása az időjárási elemekre napfoltmaximum és napfoltminimum idején

A napfoltadatokból kiemeltük a minimum- és maximuméveket, és csak ezekkel az adatokkal hasonlítottuk össze az ebben az évben, illetve az egy és a két évvel később mért időjárási adatokat (évi középhőmérséklet, csapadék, hőség- és fagyos napok száma). A 7. ábrán csak azokat az éveket ábrázoltuk, amelyekben a legerősebb korrelációs értékeket kaptuk. Az 1901 és 2000 közötti időszakban a napfoltok száma és az évi középhőmérséklet között elhanyagolható a kapcsolat ($r=0,142$). Az éves csapadékmennyiséggel már szorosabb ($r=-0,321$), hasonlóan a fagyos napok tekintetében ($r=-0,367$). A hőségnapok kialakulásának számával kaptuk a legnagyobb korrelációs értéket ($r=0,478$).

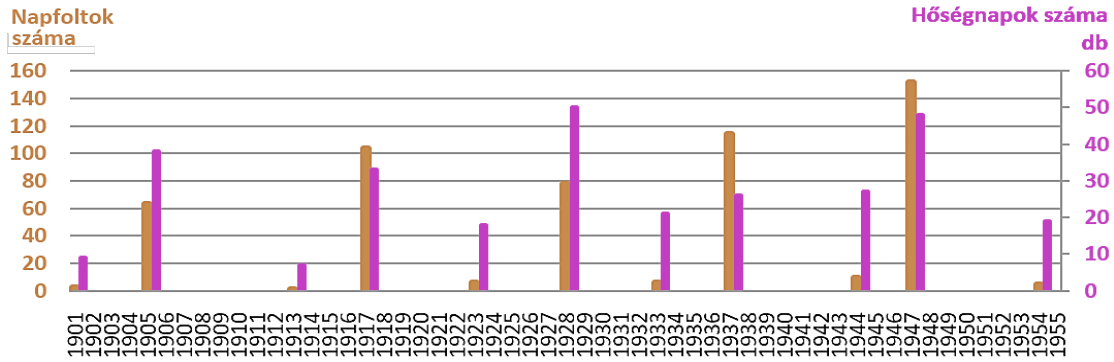
7. ábra: A napfoltok száma és a vizsgált időjárási elemek értékei (a, b, c, d) napfoltmaximum és napfoltminimum idején



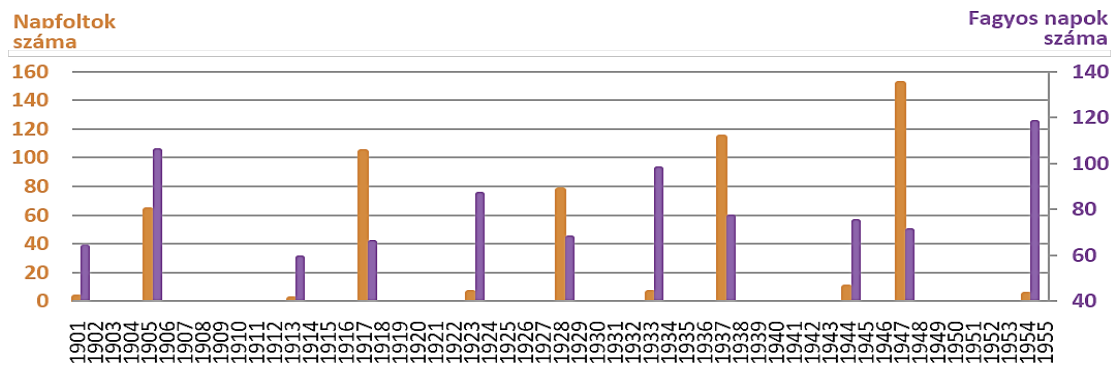
Adatok forrása: Hungaromet, 2024



Adatok forrása: Hungaromet, 2024



Adatok forrása: Hungaromet, 2024



Adatok forrása: Hungaromet, 2024

Azokat az éveket vizsgálva, amikor a legkevesebb (csapadékminimum), illetve a legtöbb csapadék (csapadékmaximum) hullott, havi lebontásban is összesítettük a csapadék mennyiségét (3. táblázat), narancssárgával kiemelve az adott évben a legcsapadékosabb és zölddel a legszárazabb hónapot. A legcsapadékosabb évek adatai (3a táblázat) azt mutatják, hogy ezekben az években jól elkülönülnek azok a hónapok, amelyekben a legtöbb, illetve a legkevesebb csapadék hullott. Az adatokból az látszik, hogy június és július hónapokban esik a legtöbb csapadék, és a január–február hónapok a legszárazabbak. A csapadékminimumos években azonban nem különíthetők el a leginkább, illetve a legkevésbé csapadékos hónapok (3b táblázat).

3. táblázat: A csapadékmaximumos (a) és –minimumos (b) években a csapadékhullás havi eloszlása Szegeden (mm/hó)

	jan	feb	márc	ápr	máj	jún	júl	aug	szp	okt	nov	dec	összes
1910	42,6	36,1	2,4	64,2	97,5	125,2	33,8	50,3	49,2	32,7	101,5	30,9	666,4
1919	31,7	28,4	72,1	110,4	78,3	61,5	81,2	51,1	38,4	75	81,8	75,9	785,8
1925	5,9	28,4	43,8	36,6	96,5	111,9	100,2	28,4	94,9	15,3	48,2	69,5	679,6
1931	43,6	36,4	67,5	37,1	47,6	106,8	19	82,9	126,9	72	56,3	23,9	720
1940	49,9	65,4	53,9	41,3	71,7	87,9	111,2	85	107,9	80	76,1	37	867,3
1955	36,9	56,2	40,8	65,7	26,7	41,1	182,1	68,3	55,1	73,5	42	57,9	746,3
1959	29,4	2,2	30,4	36	40,8	59,7	86,6	22,6	26	4	58,5	47,4	443,6
1974	14,1	18,7	17,2	33	88,8	167,6	40,7	76,9	25	110,2	27,3	30,5	650
1991	9,7	26,6	26	63,2	109,5	29,2	99,1	67,3	25,7	113,1	32	16	617,4
1999	22,3	77,6	8,6	58,1	65,1	52,9	169,2	47,1	49,2	16,2	106	65,9	738,2
átlag	28,61	37,6	36,27	54,56	72,25	84,38	92,31	57,99	59,83	59,2	62,97	45,49	691,46

	jan	feb	márc	ápr	máj	jún	júl	aug	szp	okt	nov	dec	összes
1907	16,2	12,6	7,5	97,3	20,2	46,5	35,9	16,8	22,3	3,3	13,7	53,8	346,1
1913	40,3	7,7	16,9	40,5	71,9	77,9	40,1	31,4	22,6	17,7	15,7	16	398,7
1921	18,7	35,2	2,7	31,2	24,4	46,1	17,3	81,4	4,2	8,6	100,1	17,6	387,5
1928	4,4	33,8	15,2	25,4	29,9	52,8	9,8	44,7	48,7	52,9	26	49,8	393,4
1934	15,3	11,1	15,6	29,7	15,6	78,7	64,8	18,7	26,9	9,9	77,6	14,5	378,4
1947	49,1	76	33,8	24,6	28,5	30,6	72,3	9,7	4	24,7	24,6	27,9	405,8
1962	22,1	33,2	70,7	19,8	9,4	10,2	88,4	28,3	20,2	4,9	57,4	18,3	382,9
1970	47	43,3	58,3	29,7	40,8	65,6	53,8	98,5	23,3	18,3	27,6	28,2	534,4
1983	17,3	14,1	22,6	32,2	39,4	45,3	27,4	50,5	58,3	15,9	13,7	10,7	347,4
1994	40,3	44	16,9	51,3	46,1	16,5	43,1	38,6	21,7	33,4	13,8	30,9	396,6
2000	1,6	4	35,6	40,5	12,6	7,1	36,8	8	4,6	2,7	16,5	33,3	203,3
átlag	24,75	28,64	26,89	38,38	30,80	43,39	44,52	38,78	23,35	17,48	35,15	27,36	379,50

A modern kor előtti és a modern korhoz tartozó időszakot külön vizsgálva a hőmérséklethez kötődő adatok, mint az évi középhőmérséklet, a hőség- és fagyos napok száma jelentős ($r=0,8$ körüli) vagy erős ($r=0,5$ körül) kapcsolatot mutattak a napfoltok megjelenésével, míg a csapadék adatainak vizsgálata során ez esetben is gyenge ($r=-0,3$ körüli) korrelációs értéket kaptunk. A 4. táblázatban összefoglaltuk, hogy a vizsgált időjárási elemek változása, változásuk mértéke milyen statisztikai valószínűséggel függ a napfoltok számától napfoltmaximum és napfoltminimum idején. Fontos kiemelni, hogy csak a napfoltmaximumhoz és -minimumhoz kötődő adatokra érvényesek a fenti megállapítások. A csapadék mennyisége ebben az esetben sem kötődött a napfoltok számához. A 4. táblázat szemlélteti, hogy az évi középhőmérséklet alakulása viszont statisztikailag alátámasztható kapcsolatot jelez a napfoltokkal mind a modern korban ($p\leq 0,01$), mind az ezt megelőző időszakban ($p\leq 0,05$). A hőségnapok kialakulását felerősíti az intenzív napfolttevékenység abban az időszakban, amikor az emberiség környezetre gyakorolt hatása globális méretű. A napfolttevékenység plusz antropogén hatás nemcsak az adott évben, hanem egy és két évvel később is megnyilvánul. Ezzel ellentétben a fagyos napok számát az erős antropogén hatások megjelenése előtti periódusban befolyásolta statisztikailag is alátámasztva a napfolttevékenység (4. táblázat).

4. táblázat: Napfoltmaximum és -minimum idején a napfoltok száma és az időjárási elemek kifejeződése közötti kapcsolat a gyenge és erős antropogén hatású időszakokban

	Napfoltminimum/maximum évhez viszonyítva	1901–1955 közötti időszak gyenge antropogén hatás	1956–2000 közötti időszak erős antropogén hatás
Évi csapadék mennyisége $r=-0,227$ és $r=-0,372$	Azonos évben	NS	NS
	Egy évvel később	NS	NS
	Két évvel később	NS	NS
Évi középhőmérséklet $r=0,526$ és $r=0,852$	Azonos évben	$p\leq 0,05$	$p\leq 0,01$
	Egy évvel később	$p\leq 0,05$	$p\leq 0,01$
	Két évvel később	$p\leq 0,05$	$p\leq 0,01$
Hőségnapok száma $r=0,507$ és $r=0,765$	Azonos évben	NS	$p\leq 0,05$
	Egy évvel később	$p\leq 0,05$	$p\leq 0,05$
	Két évvel később	NS	$p\leq 0,05$
Fagyos napok száma $r=-0,256$ és $r=-0,780$	Azonos évben	$p\leq 0,05$	NS
	Egy évvel később	$p\leq 0,05$	NS
	Két évvel később	NS	NS

NS: nem szignifikáns = nincs statisztikailag alátámasztott kapcsolat a vizsgált elemek között. A $p\leq 0,05$ és $p\leq 0,01$ kifejezés azt mutatja, hogy a napfoltok számát 95, illetve 99 %-os valószínűséggel követi az adott időjárási elem.

KÖVETKEZTETÉSEK

A napfolttevékenységnek az Alföld időjárására gyakorolt hatását vizsgáltuk meg különböző időszakokban. A szakirodalmakhoz hasonlóan először egy hosszabb, 100 éves periódust vizsgáltunk meg. Majd tudva azt, hogy a 20. század második felében olyan mértékű volt az emberiség éghajlatra gyakorolt hatása, hogy ezt a hatást ki kell „szűrni” a vizsgálatból, ezért kettéválasztottuk ezt a periódust az 1956 előtti és utáni időszakokra. Több szakirodalomban megjegyzik, hogy az antropogén hatás jelentősen módosíthatja a napfoltokkal kapcsolatos vizsgálatuk eredményét, de nem találtunk olyan munkát, amely külön elemezte volna a modern kor előtti és az alatti naptevékenység időjárásra gyakorolt hatását.

Az adatokból megfigyelhető, hogy napfoltciklus nem hirtelen alakul ki, hanem pár év kell, amíg a felfutás és a csökkenés bekövetkezik, tehát a változás nem pillanatszerűen, nem egyik évről a másikra alakul ki. Ez a jelenség egy „haranggörbével” leírható jelenség. A napfoltciklusok hossza, a maximumok és minimumok mértéke is eltérő. Ezek a tényezők okozzák, hogy nincsenek tiszta összefüggések a napfolttevékenység és az időjárás alakulása között, ha a teljes időszakban minden évet elemzünk. Ezt a nehézséget csökkentendő, kiválasztottuk csak a napfoltmaximumhoz és -minimumhoz tartozó éveket, és a hozzájuk kötődő adatokkal számoltunk.

A vizsgált terület időjárásának változása és a napfoltciklusok között nem találtunk kapcsolatot az egész, 100 éves időszakra vonatkozólag, de a modern kor előtti és az ahhoz tartozó időszakot külön vizsgálva, már $r=0,3$ körüli korrelációs érték mutatható ki a napfoltszám és a különböző időjárási elemek között (7. ábra). Figyelemre méltó, hogy 1955 előtt, amikor még nem volt számszerűsíthető az emberiség hatása a földi éghajlatra, a napfolttevékenység ugyanabban az évben hatott legjobban az időjárásra, míg 1955 után ez 1–2 évvel eltolódott (6. ábra).

A napfoltminimum és -maximum éveket vizsgálva is fontos volt a modern kor előtti és alatti időszak szétválasztása, azok elkülönített vizsgálata. Ebben a vizsgálati sorban a hőmérséklethez kötődő adatok, mint az évi középhőmérséklet, a hőség- és fagyos napok száma jelentős ($r=0,8$ körüli) vagy erős ($r=0,5$ körül) kapcsolatot mutattak a napfoltok megjelenésével, míg a csapadék ez esetben is gyenge ($r=-0,3$ körüli) korrelációs értéket adott a napfoltszámmal (4. táblázat). Az évi középhőmérséklet statisztikailag alátámaszthatóan ($p \leq 0,05$) változik a napfoltszám hatására mind a modern kor, mind az ezt megelőző időszakban. A napfoltmaximum és -minimum kialakulása az adott évhez képest egy és két évvel később is érezteti hatását az évi középhőmérsékletre. A hőségnapok kialakulását felerősíti az intenzív napfolttevékenység abban az időszakban, amikor az emberiség környezetre gyakorolt hatása globális méretűvé növekedett. A napfolttevékenység plusz az antropogén hatás nemcsak az adott évben, hanem egy és két évvel később is befolyásolta a hőségnapok számát. Ezzel ellentétben a fagyos napok számát az erős antropogén hatások megjelenése előtti periódusban befolyásolta, statisztikailag is alátámasztva, a napfolttevékenység (4. táblázat).

Az éghajlati rendszer egy komplex, nem lineáris rendszer, egyszerű összefüggéseket általában nehéz találni a visszacsatolások miatt. A napfoltok „csak” az egyik ilyen összetevő, persze nem elhanyagolható, hiszen összefügg a Nap energiakibocsátásával, a Földre érkező energia mennyiségével, de valószínűleg az a perturbáció, amit a Nap energiakibocsátásában okoz, az éghajlati rendszernek

nem a leghangsúlyosabb tényezője, és vélhetőleg a Föld különböző adottságú pontján eltérő mértékű. Az adatainkból az valószínűsíthető, hogy az Alföld évi középhőmérsékletének, a hőség- és fagyos napok számának alakulására hathat a napfolttevékenység a napfoltmaximum és a napfoltminimum idején, ezért ezeket érdemes figyelembe venni az agráriumban, és akár az orvosmeteorológiában is.

IRODALOMJEGYZÉK

- Balázs, K. (2024). *Korreláció* [PowerPoint]. Debreceni Tudományegyetem. Pszichológiai Intézet. https://psycho.unideb.hu/munkatarsak/balazs_katalin/stat1/statlora3.pdf
- Bodnár Zs. (2024. április 25.). Egyszerre négy nagy kitörés rázta meg a Napot. *Qbit*. <https://qubit.hu/2024/04/25/egyszerre-negy-nagy-kitores-razta-meg-a-napot>
- Czymzik, M., Brauer, A., Dulski, P., Plessen, B., Naumann, R., von Grafenstein, U., & Scheffler, R. (2013). Orbital and solar forcing of shifts in Mid- to Late Holocene flood intensity from varved sediments of pre-alpine Lake Ammersee (southern Germany) *Quaternary Science Reviews*, *61*, 96–110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.11.010>
- Eddy, J. A. (1976). The Maunder minimum. *Science*, *192*, 1189–120.
- Friis-Christensen, E., & Lassen, K. (1991). Length of the solar cycle: an indicator of solar activity closely associated with climate. *Science*, *254*, 698–700.
- Hungaromet. (2024). Éghajlati adatsorok 1901–2020: Szeged. https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok/Szeged/adatok/napi_adatok/index.php
- Laurenz, L., Lüdecke, H.-J., & Lüning, S. (2019). Influence of solar activity changes on European rainfall. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, *185*, 29–42. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2019.01.012>
- Le Mouel, J. L., Blanter, E., Shnirman, M., & Courtillot, V. (2009). Evidence for solar forcing in variability of temperatures and pressures in Europe. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, *71*, 1309–1321. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2009.05.006>
- Lean, J., Skumanich, A., & White, O. (1992). Estimating the Sun's radiative output during the Maunder minimum. *Geophysical Research Letter*, *19*(5), 1591–1594. <https://doi.org/10.1029/92GL01578>
- McIntosh, S. W., Chapman, S., Leamon, R. L., Egeland, R., & Watkins, N. W. (2020). Overlapping Magnetic Activity Cycles and the Sunspot Number: Forecasting Sunspot Cycle 25 Amplitude. *Solar Physics*, *295*, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11207-020-01723-y>
- Meehl, G. A., Arblaster, J. M., Matthes, K., Sassi, F., & van Loon, H. (2009). Amplifying the Pacific climate system response to a small 11 year solar cycle forcing. *Science*, *325*, 1114–1118.
- National Geographic. (2004). *A napfolttevékenység is befolyásolja éghajlatunkat?* https://ng.24.hu/fold/2004/10/29/a_napfolttevekenysege_is_befolyasolja_eghajlatunkat/

- Nazari-Sharabian, M., & Karakouzia, M. (2020). Relationship between Sunspot Numbers and Mean Annual Precipitation: Application of Cross-Wavelet Transform—A Case Study. *Multidisciplinary Scientific Journal*, 3(1), 67–78. <https://doi.org/10.3390/j3010007>
- Phillips, T. (2013). *Solar variability and terrestrial climate*. NASA Global Climate Change. https://science.nasa.gov/science-research/planetary-science/08jan_sunclimate/
- Svensmark, H., & Friis-Christensen, E. (1996). Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage—a missing link in solar-climate relationships. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 59(11), 1225–1232.
- The Bureau of Meteorology. (2024). *Yearly Mean Sunspot Numbers*. <https://www.sws.bom.gov.au/Educational/2/3/6>
- Wikipédia. (2024). *Napfolt*. <https://hu.wikipedia.org/wiki/Napfolt>

Ez a mű a Creative Commons Nevezd meg! – Ne add el! – Ne változtasd! 4.0 nemzetközi licen-
ce-feltételeinek megfelelően felhasználható. (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

This open access article may be used under the international license terms of Creative Commons
Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

