

LÉGKÖR

70. ÉVFOLYAM 4. SZÁM

**A FELHŐK ÉGHAJLATBEFOLYÁSOLÓ
HATÁSA**

**A VÁROSI HŐTÖBBLET MÉRSÉKLÉSE
BUDAPESTEN**

VÍZTÖLCSÉREK, TORNÁDÓK A BALATONNÁL

**A MÁJUSI ÉS AUGUSZTUSI
KÖZÉPHŐMÉRSÉKLETEK KAPCSOLATA**

2025. OKTÓBER



*Mátrai záporfüggöny a lemenő nap fényében
Kovácsné Balogh Krisztina, ViharVonal, Sirok, 2025. szeptember 29.*



*Zivatarfelhő romokban
Makó Emese, MET-ÉSZ, Miskolc, 2025. szeptember 7.*

LÉGKÖR

70. évfolyam 4. szám
2025. október

A HUNGAROMET MAGYAR METEOROLÓGIAI
SZOLGÁLTATÓ NONPROFIT ZRT. ÉS
A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG
SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

Kiadja a
HUNGAROMET MAGYAR METEOROLÓGIAI
SZOLGÁLTATÓ NONPROFIT ZRT.
1024 Budapest, Kitaibel Pál u. 1.

A kiadásért felel:
a HUNGAROMET NZRT. vezérigazgatója

Készült:
PREMIER Nyomda

Felelős vezető:
Hlinka Károly

ISSN 0133-3666

Készült 500 példányban

Éves előfizetési díja: 3600 Ft
A Magyar Meteorológiai Társaság
tagjai számára ingyenes.
Megrendelhető a legkor@met.hu címen.



Főszerkesztő: Fejes Edina
Főszerkesztő-helyettes: Tóth Róbert

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

ELNÖK:
Dr. Haszpra László

TAGOK:
Dr. Barcza Zoltán, Dr. Bartholy Judit,
Bíróné Dr. Kircsi Andrea, Dr. Bonta Imre,
Dr. Dobi Ildikó, Dr. Gál Tamás, Kolláth Kornél,
Dr. Lakatos Mónika, Dr. Leélössy Ádám,
Péliné Dr. Németh Csilla, Dr. Sarkadi Noémi,
Dr. Somfalvi-Tóth Katalin, Dr. Szépszó Gabriella,
Dr. Szintai Balázs, T. Puskás Márta

Olvasószerkesztő: Fritz Petra
Tervezszerkesztő, grafikus: Szabó Dorottya

TARTALOM

GERESDI ISTVÁN: Hogyan befolyásolják a felhők az éghajlatot? <i>How do clouds affect the climate?</i>	190
ALLAGA-ZSEBEHÁZI GABRIELLA, SZÉPSZÓ GABRIELLA: A városi hőöblet mérséklésére vonatkozó érzékenységvizsgálatok Budapestre <i>Sensitivity studies for reduction of the urban heat island in Budapest</i>	200
KURCSICS MÁTÉ, KOMJÁTI KORNÉL: Vízölcsérek, tornádók a Balatonnál <i>Waterspouts at Lake Balaton</i>	208
BABOLCSAI GYÖRGY: A május és a rákövetkező augusztus átlaghőmérséklete közötti kapcsolat Magyarországon (1976-2025) <i>The relationship between the average temperatures of May and the following August in Hungary (1976-2025)</i>	216
MARTON ANNAMÁRIA, SZENTES OLIVÉR, SZOLNOKI- TÓTIVÁN BERNADETT: 2025 nyarának időjárása	220
ERDŐDINÉ MOLNÁR ZSÓFIA, KOVÁCS ATTILA VIKTOR: A 2025-ös nyár időjárása agrometeorológiai szempontból	226
MEGEMLÉKEZÉS PER KALLBERGRÖL	228
ELHUNYT FEJES ISTVÁN	228
ZÁRBOK ZSOLTRA EMLÉKEZÜNK	229
HÍREK	230
A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI	236
ÉVES TARTALOMJEGYZÉK	240

SZERZŐKNEK SZÁNT ÚTMUTATÓ

A LÉGKÖR meteorológiai tárgyú, a légkörtudományhoz kapcsolódó tudományos és ismeretterjesztő írásokat, szakmai beszámolókat és rövid ismertetőket, híreket közöl magyar nyelven. A kéziratokat anonim szaklektorok véleménye alapján a szerkesztőbizottság fogadja el. A közlésre szánt írások elektronikus formában nyújthatók be a legkor@met.hu e-mail címen. A cikkekkal kapcsolatos formai elvárásokat a www.met.hu/ismeret-tar/kiadvanyok/legkor/ oldalon részletezzük.



Hogyan befolyásolják a felhők az éghajlatot?

Geresdi István

Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajzi és Földtudományi Intézet, geresdi@gamma.ttk.pte.hu

DOI: 10.56474/legkor.2025.4.1

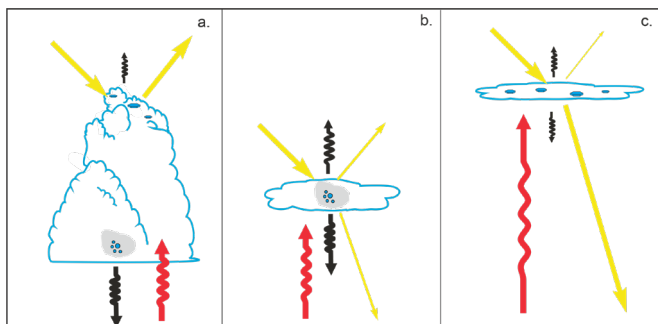
A felhők fontos részei az éghajlati rendszernek. Hatással vannak olyan meghatározó éghajlati jellemzőkre, mint a hőmérséklet és a csapadék. Nem csak szerepet játszanak az éghajlat alakításában, de érzékenyen reagálnak az éghajlati rendszer egyes elemeiben bekövetkező változásokra is. A felhők szerepének tisztázását nehezíti, hogy a tulajdonságaikat (pl. optikai tulajdonság, csapadék mennyisége és halmazállapota, fel- és leáramlások) meghatározó folyamatok rendkívül széles méretskálán – a mikrométerestől a kilométeres nagyságrendig – játszódnak le, továbbá képződésüket és jellemzőiket erősen befolyásolja a felszín és a légkör olyan, lokális (néhány kilométeres kiterjedésű) változékonysága, amelyek nehezen tanulmányozhatóak – akár megfigyelések, akár modellek segítségével – a globális rendszerek vizsgálata során. Noha az elmúlt évtizedekben a mérési eljárások és a numerikus modellek fejlődésének köszönhetően sokat javultak az ismereteink a felhőknek az éghajlat alakításában játszott szerepét illetően, még mindig számos fontos, nem tisztázott kérdés vár megválaszolásra.

How do clouds affect the climate?

Clouds play an important role in the climate. They influence the key climate characteristics, such as temperature and precipitation. However, they not only play a role in shaping the climate, but also respond sensitively to changes in individual climate elements. The processes that impact the characteristics of the clouds (e.g. optical and precipitation properties, updraft and downdraft) take place on an extremely wide scale, from micrometers to kilometers, and their formation and characteristics are strongly influenced by local variability of the surface or the atmosphere (several kilometers in extent). Such small-scale variabilities are extremely difficult to study using global observation and modelling systems. Although our knowledge of the role of clouds in shaping the climate has improved significantly in recent decades due to advances in measurement methods and numerical models, many important questions remain unanswered.

Átlagosan a Föld 60%-át fedi különböző vastagságú és magasságban elhelyezkedő felhőzet. A felhők vertikális kiterjedésüktől és mikrofizikai jellemzőiktől függő mértékben visszaverik a Naptól érkező rövidhullámú sugárzást, továbbá hosszuhullámú sugárzást bocsátanak ki, amelynek egy része a Föld felszíne fele

irányul (1. ábra). A két hatás eredője hozzávetőlegesen -20 Wm^{-2} (Stephens et al., 2012), azaz a felhőzet összességében hűti a felszínt és a légkör felszínközeli rétegét. Mivel ezen hűtő hatás néhány százalékos változása is jelentősen befolyásolhatja a jelenleg megfigyelhető melegezési trend nagyságát, vagy akár előjelét is,



1. ábra. A zivatarfelhők (a), a vertikálisan kis kiterjedésű, alacsony vagy középmagas felhők (b), valamint a magas szintű cirrus felhők (c) hatása a rövid- és hosszuhullámú sugárzás terjedésére. A sárga nyilak a rövidhullámú sugárzásra gyakorolt hatást mutatják. A piros, hullámos nyilak a felszín által kibocsátott, a fekete hullámos nyilak a felhő által kibocsátott hosszuhullámú sugárzást mutatják. A nyilak vastagsága arányos a sugárzás intenzitásával.

ezért nagyon fontos, hogy megértsük, hogy a felhőzet összetétele és kiterjedése hogyan reagál a környezeti jellemzők (pl. hőmérséklet, relatív páratartalom, légköri szennyezőanyagok koncentrációja) változására, illetve hogyan hat vissza ezekre a változásokra (pozitív vagy negatív visszacsatolások). Ezen visszacsatolások hatásának vizsgálatát nehezíti, hogy mértéke függ a földrajzi helyzettől (pl. óceánok vagy szárazföld), a felhő vertikális kiterjedésétől (pl. zivatarfelhő vagy rétegfelhő), a vertikális elhelyezkedéstől (pl. alacsony vagy magas szintű felhőzet), napszaktól (éjszaka vagy nappal), vagy a felhő mikrofizikai jellemzőitől (pl. vízcseppek méret szerinti eloszlása). A fentiekén túl a felhők gyors időbeli és kis térbeli skálán mutatózó változékonysága is hozzájárul ahhoz, hogy napjainkig nem sikerült egyértelműen tisztázni a felhőzet és a globális felmelegedés közötti kölcsönhatás jellegét és mértékét (Forster et al., 2021).

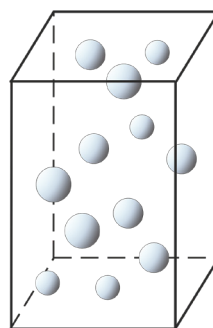
Jelen tanulmányban áttekintjük a felhők azon legfontosabb jellemzőit, amelyek meghatározóak lehetnek az éghajlatra gyakorolt hatás szempontjából. Ezen belül elsősorban a rövid- és hosszuhullámú sugárzás terjedésére gyakorolt közvetlen és közvetett hatásokról lesz szó.

A felhők hatása a sugárzásegyenlegre

A felhők hatása a rövidhullámú sugárzás terjedésére

Mindennapi megfigyeléseink is alátámasztják, hogy a felhők visszaverik a Napnak a látható tartományban (kb. 0,3 – 0,8 μm) kibocsátott sugárzását. A felhőket alkotó vízcseppek és jégkristályok azonban nemcsak

a látható tartományban, hanem a közeli infravörös tartományban (0,8 – 2,5 μm) is jelentős mértékben visszaverik a Naptól érkező sugárzást. A visszaverődés mértékének jellemzésére az albedót használjuk. Ez a mennyiség általában függ a hullámhossztól is, de az alábbiakban ettől eltekintünk. A látható és a közeli infravörös tartományban a visszaverődés mértéke arányos a felhőt alkotó részecskék egységnyi alapterületű oszlopra vonatkoztatott összfelületével, pontosabban a vízcseppek és jégkristályok keresztmetszetének összegével (2. ábra). Így, egy több kilométer vastag esőrétegfelhő vagy zivatarfelhő jóval nagyobb arányban veri vissza a Naptól érkező sugárzást, mint egy néhány-szor száz méter vastag altostratus felhő, vagy a felszín-



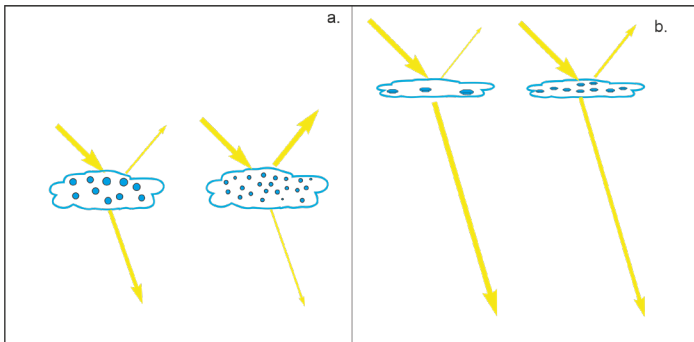
$$E_{\text{shortw}} \approx \sum n_i r_i^2$$

$$E_{\text{longw}} \approx \sum n_i r_i^3$$

2. ábra. A felhők mikrofizikai jellemzőinek hatása a rövidhullámú albedóra (E_{shortw}) és a kibocsátott hosszuhullámú (E_{longw}) sugárzásra. n_i az r_i méretű vízcsepp koncentrációját jelenti. Az összegzést a felhő teljes magasságában, egy egységnyi alapterületű oszlopban található összes vízcsepre kell elvégezni.

közeli kód. Míg a zivatarfelhők a beérkező sugárzás több mint 90%-át verik vissza, addig az alacsony és közép szintű réteges felhőzet albedója 40 és 60% között változik. A néhány-szor száz méter vastagságú réteges, vagy gomolyos felhők albedóját befolyásolja a vízcseppek és a jégkristályok kialakulásához nélkülözhetetlen kondenzációs magvak (angolul Condensation Nuclei, röviden CN), illetve jégképző magvak (angolul Ice Nucleating Particle, röviden INP) koncentrációja. Ez a hatás elhanyagolható a vertikálisan jelentős kiterjedésű zivatarfelhők vagy esőrétegfelhők esetében.

Feltételezve, hogy a kondenzálódott víz mennyisége nem változik, a kondenzációs magvak koncentrációjának növekedésével ugyan csökken az átlagos cseppméret, de ezt kompenzálja a nagyobb cseppkoncentráció miatt megnövekedett összkörmetszet (3a. ábra). Bebizonyítható, hogy állandó kondenzálódott vízmennyiséget és felhővastagságot feltételezve az albedó a vízcseppek koncentrációjának köbgyökével arányos. Az aeroszol részecskék ezen hatását hívják



3. ábra. Az aeroszol részecskék hatása a felhők rövidhullámú albedójára (első indirekt hatás). A kondenzációs magvak (a.) és a jégképző magvak (b.) koncentrációjának növekedése jelentősen befolyásolja a vertikálisan nem nagy kiterjedésű (max. 1 km) réteges vagy gomolyos felhők albedóját.

első indirekt, vagy Twomey-féle hatásnak (Twomey, 1974). Ezt a hipotézist mérések és modellszámítások is alátámasztják. Például Krüger és Graßl (2002) műholdas mérések alapján, Geresdi és munkatársai (2006) pedig modellszámítások segítségével kimutatták, hogy a múlt század 90-es éveiben jelentősen visszaeső SO_2 -kibocsátás olyan mértékben csökkentette a szulfáttartalmú kondenzációs magvak koncentrációját, hogy a közép-európai régióban 2–3%-kal csökkent a felhők albedója. Fontos megjegyezni, hogy a vízcseppek koncentrációja nem egyenesen arányosan változik az aeroszol részecskék koncentrációjával. Ugyanis függ az aeroszol részecskék méret szerinti eloszlásától és kémiai tulajdonságaitól, valamint a felhő dinamikai jellemzőitől (pl. feláramlási sebesség) is. A kondenzációs magvak koncentrációjának változása nemcsak a felhők optikai tulajdonságait módosítja, hanem a csapadék mennyiségét és a felhő élettartamát is (Albrecht, 1989). A nagyobb kondenzációs mag-koncentrációval járó kisebb átlagos vízcseppméret hatására csökken a vízcseppek egymás közötti, illetve a vízcseppek és a jégkristályok közötti ütközések gyakorisága. Így a csapadékképződés folyamata lelassul, a lehulló összcsapadék mennyisége csökken, a felhő élettartama pedig megnő. Ez, az ún. második indirekt hatás a felhővel fedett területek nagyságát is befolyásolhatja.

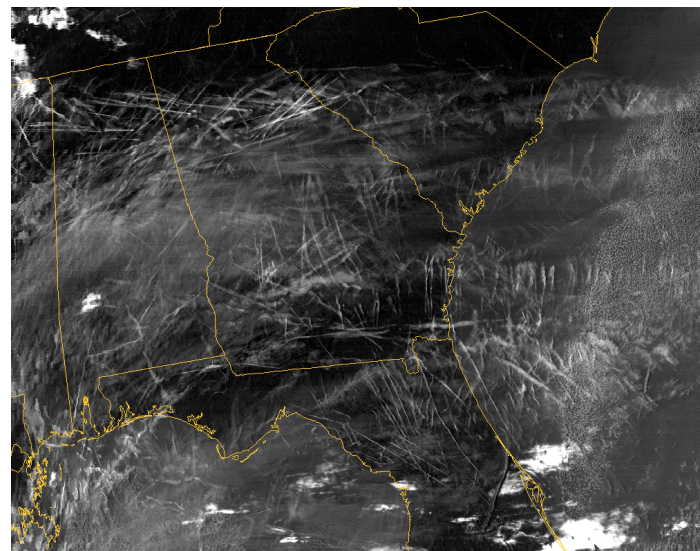
A magas szintű (cirrus) felhők albedóját döntően a felhőt alkotó jégkristályok koncentrációja és alakja határozza meg. A jégkristályok koncentrációja a jégképző magvak koncentrációjától és a levegő hőmérsékletétől függ. A cirrus felhők szintjén a hőmérséklet általában -40 – (-50) °C. Ilyen alacsony hőmérsékleten, természetes körülmények mellett közel 100 jégkristály alakul ki literenként a jégképző magvakra lecsapódó vízgőzből. Összehasonlításképpen, az alacsonyabb szintű

felhőkben a vízcseppek koncentrációja néhány millió literenként. Ez a négy nagyságrendbeli különbség megmagyarázza, hogy miért jóval kisebb a cirrus felhők rövidhullámú albedója, mint egy középszintű rétegfelhőé. A jégképző magvak koncentrációjának hatása jól megfigyelhető, ha a cirrus felhők albedóját a repülőgépek kondenzcsíkjának albedójával hasonlítjuk össze. A repülőgépek által, nagy koncentrációban kibocsátott szilárd halmazállapotú részecskéken – megfelelő vízgőztartalom esetén – jóval nagyobb számban alakulnak ki jégkristályok (3b. ábra) mint természetes körülmények között.

A felszínről azért látjuk fehérnek a kondenzcsíkokat, mert nem csak a Nap direkt sugárzását verik vissza a világűr irányába (4. ábra), de a földfelszínről visszaverődő, illetve a légköri részecskéken szóródó rövidhullámú sugárzást is visszaverik a felszín irányába.

A felhők hatása a hosszuhullámú sugárzás terjedésére

A felhők nem csak a Naptól érkező rövidhullámú sugárzás terjedését befolyásolják, de hatnak a hosszuhullámú ($4,0 - 100 \mu\text{m}$) sugárzásra is. A felhőket alkotó vízcseppek és jégkristályok egyrészt részben elnyelik a felszín és a légkör által kibocsátott hosszuhullámú sugárzást, másrészt hőmérsékletüktől függően sugárzást bocsátanak ki a hosszuhullámú tartományban. Ennek a sugárzásnak a mértéke a vízcseppek és jégkristályok hőmérsékletétől és térfő-



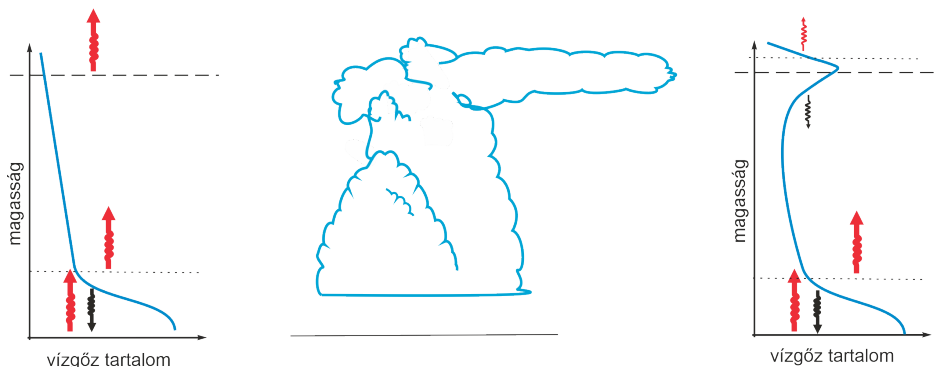
4. ábra. Kondenzcsíkokról készült műholdfelvétel az Egyesült Államok délkeleti vidékén. A kép forrás: NASA Earth Observatory. (https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/4000/4435/contrails_southeast_lrg.gif)

gategységre vonatkoztatott tömegkoncentrációjától függ. Mivel a zivatarfelhők, vagy az esőrétegfelhők esetében 40–60 °C-os különbség is lehet a felhő alapjának és tetejének hőmérséklete között, ezért ezen felhőtípusok esetében a felszín fele irányuló hosszuhullámú sugárzás intenzitása jóval nagyobb, mint a felhő teteje által kibocsátott, felfele irányuló sugárzás intenzitása (1a. ábra). A vertikálisan maximum néhány száz méteres kiterjedésű réteges, vagy gomolyos felhők esetében nincs jelentős különbség a felhő alapjának és tetejének hőmérséklete között, így a felfele és a lefele irányuló sugárzás nagysága közel azonos (1b. ábra). Ezen felhőtípusok estén a kibocsátott hosszuhullámú sugárzás a felhőréteg átlagos hőmérséklete mellett döntően az egységnyi területre vonatkoztatott, függőlegesen összegzett víztartalomtól (angolul liquid water path, röviden LWP) is függ (2. ábra). Hasonló módon lehet értelmezni a döntően jégkristályokból álló cirrus felhők hosszuhullámú sugárzásra gyakorolt hatását. Ebben az esetben a függőlegesen összegzett jégtartalomtól (angolul ice water path, röviden IWP) függ a cirrus felhőzet által kibocsátott hosszuhullámú sugárzás. Az LWP értéke széles határok között változik. Míg a legfeljebb néhány száz méter vastagságú köd esetében az LWP értéke 10–50 gm^{-2} , addig az ugyanilyen vastagságú stratus felhőzet esetében az LWP jellemzően 250 és 500 gm^{-2} között változik. A cirrus felhőkre és a kondenzcsíkokra jellemző IWP érték pedig rendszerint kisebb, mint 1 gm^{-2} . Mivel a felhők által kibocsátott hosszuhullámú sugárzás intenzitása a kondenzálódott víz mennyiségétől függ, ez a mennyiség kevésbé érzékeny a kondenzációs, vagy a jégképző magvak koncentrációjának megváltozására. A felhők hosszuhullámú sugárzását meghatározó kondenzálódott víz

mennyisége döntően a feláramlási sebesség nagyságától és a felszínközeli, illetve cirrus felhők esetében a felső troposzférikus levegő relatív páratartalmától függ.

A fentiekben a felhő alapjától lefele irányuló hosszuhullámú sugárzás hatásairól volt szó. Azontúl, hogy a felfele irányuló sugárzás melegítheti a troposzféra felső régióját, fontos szerepe van a felhők és a köd vertikális kiterjedésének alakulásában. Mivel a felhőtetőnél kibocsátott hosszuhullámú sugárzás csökkenti a felhő tetejének hőmérsékletét, növeli a felhőrétegben az instabilitást, elősegítve a felhő vertikális terjedését.

A vízgőzt gyakran emlegetik, mint legfontosabb üvegházgáz. Szerepe a hosszuhullámú sugárzás terjedésében azonban jóval összetettebb, mint a nagyságrendekkel hosszabb tartózkodási idejű szén-dioxid vagy metáné. Míg az üvegházgázok többsége, így a szén-dioxid és a metán is, közel egyenletesen keveredik el a troposzférában, addig a vízgőztartalom vertikális profilja estében jelentős különbség figyelhető meg a troposzféra alsó és felső tartománya között. Jellemzően a felszín közelében jóval magasabb a vízgőz keverési aránya, mint a magasabb régiókban (5. ábra). Ezt a profilt változtatják meg a felhők, különösen a zivatarfelhők (Wang, 2003). Ez a változás döntően annak tudható be, hogy a felhőket alkotó vízcseppeknek és jégreszciskéknek csak egy része hullik vissza a felszínre. A másik része elpárolog, aminek hatására növekszik a vízgőz mennyisége a felszíntől számított nagyobb magasságokban is (5. ábra). Így a felhőzet, különösen a zivatarfelhők nem csak közvetlenül befolyásolják a hosszuhullámú sugárzás egyenlegét, de közvetett hatásuk is jelentős lehet. Miért érdekes, hogy a zivatarfelhők jelentős mennyiségű vízgőzt juttatnak a légkör felső régióiba? Az üvegházgázok által kibocsátott hosszuhullámú sugárzás energiájának



5. ábra. Jellemző vertikális vízgőzprofil a zivatarfelhő kialakulása előtt (bal oldali profil) és a zivatarfelhő megszűnését követően (jobb oldali profil). A piros és a fekete nyilak a felfele és lefele irányuló hosszuhullámú sugárzást jelölik. A nyilak vastagsága a sugárzás intenzitásával arányos. A legfelső, felfele mutató piros nyíl a légkört elhagyó hosszuhullámú sugárzást jelöli.

nagysága az adott gáz hőmérsékletétől függ. Ha a légkört rétegekre osztjuk, és minden egyes rétegre felírjuk a ki- és beérkező hosszuhullámú sugárzást, akkor könnyű belátni, hogy a Föld-légkör rendszerből kilépő hosszuhullámú sugárzás energiáját a felső szint által kisugárzott energia és az egyes szintek által elnyelt energia fogja meghatározni (Haszpra, 2025). A határretegben lévő vízgőzrétegen áthaladó, és a vízgőzréteg által kibocsátott hosszuhullámú sugárzás energiájának összege csak nagyon kis mértékben függ a relatív páratartalomtól. Ennek magyarázata a következő: mivel a felszinközei vízgőz hőmérséklete közel ugyanakkora, mint a felszín hőmérséklete, nincs lényeges különbség a felszín által kibocsátott és a vízgőzrétegen áthaladó (alacsony RH esetén meghatározó) és a vízgőzréteg által elnyelt és újra kibocsátott (magas RH esetén meghatározó) hosszuhullámú sugárzás energiája között. A lefele irányuló hosszuhullámú sugárzás energiája természetesen függ a planetáris határretegben lévő vízgőz koncentrációjától. Például 100%-os RH esetén (köd) a lefele irányuló sugárzás teljesen kompenzálhatja a kisugárzás okozta energiavesztéséget. A zivatarok hatására megváltozhat a vízgőz koncentrációjának vertikális profilja (5. ábra jobb oldala).

Ebben az esetben a vízgőzkoncentráció nagyobb magasságban is összemérhetővé válik a szén-dioxid koncentrációjával, így a vízmolekulák ebben a magasságban is jelentősen befolyásolják a hosszuhullámú sugárzás terjedését. Csökken a troposzférát elhagyó hosszuhullámú sugárzás energiája, és megnő a lefele irányuló hosszuhullámú sugárzás energiája. Mivel az intenzív, a troposzféra tetejéig emelkedő zivatarok gyakorisága – trópusok vidékétől eltekintve – kicsi, ezért a vízgőz általában a felszín közelében fordul elő nagyobb koncentrációban. Így a vízgőz jellemzően csak a felszín energiamérlegét befolyásolja, kevésbé hat a határreteg felett elhelyezkedő szabadlégkör energiamérlegére.

A felhők hatása a nettó sugárzásegyenlegre

Mint azt a fentiekben is láttuk, a felhőknek a rövid- és hosszuhullámú sugárzás terjedésére gyakorolt hatása függ az adott felhőtípus vertikális és horizontális kiterjedésétől és élettartamától, a felhőréteg hőmérsékletétől és mikrofizikai jellemzőitől (kondenzálódott víz tömege, a vízcseppek és jég-részecskék koncentrációja). Mielőtt a nettó hatás számszerűsítésének nehézségeit áttekintjük, egy rövid kvalitatív összegzést készíthetünk: (i) Mivel az éjszakai órákban csak a hosszuhullámú sugárzás hatásával

kell számolnunk, ebben az időszakban minden felhőtípus melegíti a felszínt és a felszinközei levegőt. (ii) A nappali órákban a nettó hatás már függ a felhő típusától. Míg a cirrus felhők összességében melegítik a felszínt és a légkört, addig a többi felhő estében inkább a hűtő hatás a jellemző.

A felhőknek a sugárzásegyenlegre gyakorolt hatásának számszerűsítését nehezíti, hogy mind megfigyelések, mind a modellszámítások esetében nagy a bizonytalanság. Loeb és munkatársai (2021) műholdakra szerelt CERES szenzorok mérési adatait elemezve megállapították, hogy a kétezres évek első két évtizedében a felhők albedójának csökkenése miatt a felszínt elérő rövidhullámú sugárzás teljesítménye globális átlagot tekintve $0,40 \pm 0,18 \text{ Wm}^{-2}$ -el nőtt évtizedenként. Ezt a hatást némileg kompenzálja, hogy a mérések szerint csökkenő trend mutatható ki a felhők által kibocsátott, lefele irányuló hosszuhullámú sugárzás esetében (globális átlagot tekintve $0,18 \pm 0,10 \text{ Wm}^{-2}$ évtized⁻¹). Noha az adatok bizonytalansága meglehetősen nagy, a felhőzet változására visszavezethető, csökkenő mértékű hűtő hatás szignifikánsnak tekinthető. A tendenciára vonatkozó viszonylag alacsony globális átlagérték nagy földrajzi változékonyságot takar. Míg az északi féltekén három régióban is (Csendes-óceán keleti, az Atlanti-óceán nyugati területei, és Európa nagy része felett) jelentős a hűtő hatás mérséklődése, kb. $2\text{--}4 \text{ Wm}^{-2}$ évtized⁻¹, addig a déli féltekén a Csendes-óceán keleti területein, illetve Afrika trópusi területein a nettó hűtő hatás növekszik néhány Wm^{-2} évtized⁻¹-del. Arra nem térnek ki a szerzők, hogy ez a változás mivel magyarázható. Lehetséges magyarázatként szolgálhat a felhők optikai tulajdonságainak változása (pl. a kondenzációs magvak koncentrációjának megfigyelt csökkenése miatt), vagy felhővel fedett területek, illetve a felhőzet vastagságának csökkenése.

Gyakran lehet olvasni, illetve tudományos előadásokon is hallani arról, hogy a globális felmelegedés hatására jelentősebbé váló felszíni párolgás elősegíti a felhőképződést. A felhőtakaró kiterjedésének növekedése pedig, mint egy negatív visszacsatolás, csökkenti a felmelegedést. Sajnos a helyzet nem ennyire egyszerű. Ugyanis a felhőképződést nem az abszolút vízgőztartalom, hanem a relatív páratartalom határozza meg. Az utóbbi pedig fordítottan arányosan függ a hőmérséklet exponenciális függvényétől. Így hiába nő a levegő vízgőztartalma, a növekvő hőmérséklet hatására a relatív páratartalom akár jelentősen csökkenhet is (Cséplő et al., 2022). Természetesen a relatív páratartalom változása erősen függ a felszíni

viszonyoktól. Vízfelszín vagy a trópusi esőerdők felett a párolgás mértékének növekedése részben, vagy akár teljesen is kompenzálni tudja a levegő hőmérsékletének növekedéséből származó hatást. A mérsékelt öv nagy kiterjedésű kontinensei felett ez a kompenzáció már kevésbé hatékony. A felszínközeli vízgőztartalom nagyságát jelentősen befolyásolja a talaj nedvességtartalmától függő felszíni párolgás. *Almendra-Martín és munkatársai* (2022) egy, 1991-től 2020-ig tartó adatsort elemezve megállapították, hogy Európában, és azon belül különösen Közép- és Kelet-Európában jelentősen csökkent a felszínközeli talajréteg nedvességtartalma. Az adatok havi bontásban történő elemzésével kimutatták, hogy a csökkenés mértéke áprilisban a legjelentősebb, ekkor szinte egész Európára kiterjedően csökkent a talaj nedvessége a vizsgált időszakban. Ez a megállapítás összhangban van a magyarországi vizsgálatok eredményeivel, miszerint az elmúlt hatvan évben a tavaszi és a nyári hónapokban jelentősen csökkent a felszínközeli levegő relatív pártartalma (*Cséplő et al.*, 2022). Ezen csökkenésnek az egyik lehetséges következménye a felhővel fedett területek csökkenése, ami magyarázatot adhat az albedó megfigyelt csökkenésére.

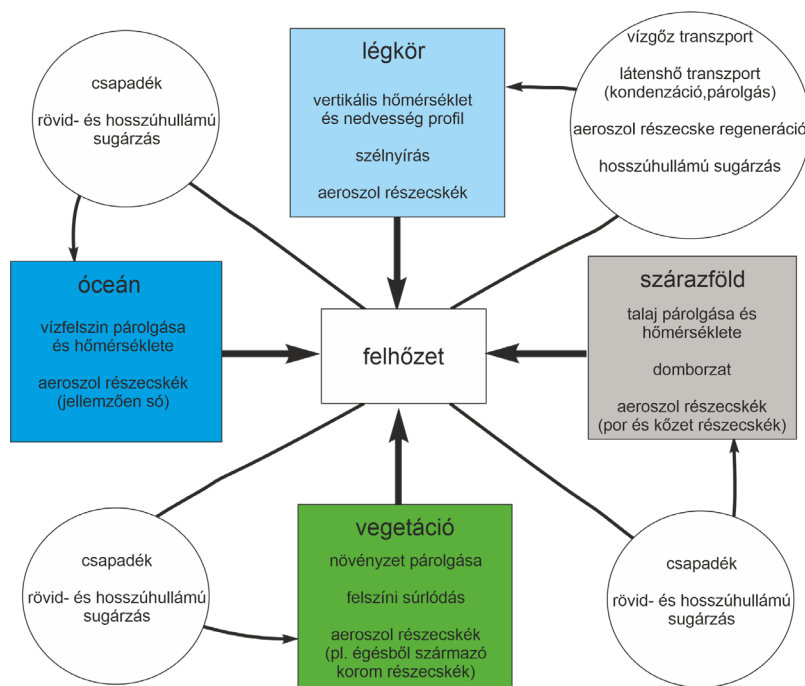
Kísérletek a felhők sugárzásra gyakorolt hatásának mesterséges megváltoztatására

Napjainkban egyre nagyobb teret kapnak azok az elképzelések, miszerint a légkör vagy a felszín jellemzőinek mesterséges, előre megtervezett módosításával lehetővé válik az éghajlat szabályozása, csökkentve az üvegházgázok koncentrációjának növekedése okozta negatív hatást. Széles körben elterjedt, elfogadott magyar kifejezés még nincsen erre tevékenységre. Sokan az angol 'geoengineering' kifejezés egy kicsit furán hangzó, és körülírás nélkül akár félre is érthető szószerinti fordítását, a bolygómérnökséget használják.

A felhők optikai jellemzőinek mesterséges megváltoztatása az egyik legszélesebb körben kutatott témának számít a számos, többnyire csak gondolat-kísérlet szintjén vizsgált lehetőség közül. Több kutatócsoport által vizsgált elméleti lehetőség az óceánok felett nagy területen kialakuló stratus felhőzet albedójának mesterséges növelése (angolul cloud brightening). Az elképzelésnek az a lényege, hogy tengervizet porlasztanak az óceánok felszínéhez közeli levegőrétegbe. Az apró vízcseppek elpárolgását követően mikrométeres vagy annál is kisebb sórészecskék maradnak a légkörben. Ezek a vízben

jól oldódó részecskék a feláramló levegővel magasba emelkedve hatásosan segítik elő újabb vízcseppek kialakulását. Az aeroszol részecskék első és második indirekt hatását is figyelembe kell venni, amikor ennek a kísérletnek a hatásait és a kockázatait szeretnénk megbecsülni (*Feingold et al.*, 2024). A megnövelt kondenzációs-mag-koncentráció elvileg növeli a Föld óceánjai felett nagy területen kialakuló stratocumulus felhőzet albedóját (első indirekt hatás). De mint arról a fentiekben szó volt, a második indirekt hatás miatt csökkenhet a felszínre lehulló csapadék mennyisége, ami egyrészt hatással lehet a lokális ökoszisztémára, másrészt befolyásolhatja a légköri áramlási viszonyokat. Egy másik javaslat, amiről gyakran lehet olvasni, az a cirrus felhők kiterjedésének, illetve a vastagságának csökkentése (angolul cirrus cloud thinning). Mint arról a fentiekben szó volt, a cirrus felhők nettó hatása a rövid- és a hosszuhullámú sugárzás terjedésére a légkör és a felszín melegedését eredményezi. Ezért indokolt lehet a cirrus felhők kiterjedésének, vagy legalább vastagságának csökkentése (a hosszuhullámú sugárzást meghatározó IWP csökkentése), ami mérsékli a lefele irányuló hosszuhullámú sugárzást. A beavatkozás akkor tekinthető hatékonynak, ha hatására a felhőt alkotó jégkristályok kiesnek a felhőből, és lefele haladva elszublimálnak. Ez csak úgy érhető el, ha meg tudjuk növelni a jégkristályok méretét. Ennek egyik megvalósítási lehetősége, ha növeljük a jégkristályok koncentrációját, aminek hatására elvileg növekszik a kristályok közötti ütközések gyakorisága. Ezzel a hipotézissel az a probléma, hogy az alacsony hőmérséklet miatt (kb. -40 – (-60) °C) az ütköző jégkristályok csak kis valószínűséggel tapadnak össze. Így előfordulhat, hogy a beavatkozás a kívánt cél helyett a cirrus felhők melegítő hatását fokozza, mivel a több jégkristály hatására növekszik az IWP értéke.

Mint az a fenti két példából is látható, a felhőképződésbe – és ez valószínűleg igaz más, az éghajlatot befolyásoló folyamatra is – történő beavatkozás hatékonyságának megítélésakor nagyon körültekintően kell eljárni, mielőtt a gyakorlati alkalmazásra vonatkozó első kísérletek megtörténnek. A felhőfizikai tudományos közösség jelenleg úgy látja, hogy a feltételek egyelőre nem adottak a hatások korrekt megítélésre. Ennek az a legfőbb oka, hogy a klíma-modellek napjainkban még nem alkalmasak arra, hogy a felhőkben lejátszódó folyamatok és a globális éghajlatváltozás közötti kölcsönhatást minden részletében pontosan előre tudják jelezni. Ennek okairól a következő fejezetben lesz szó.



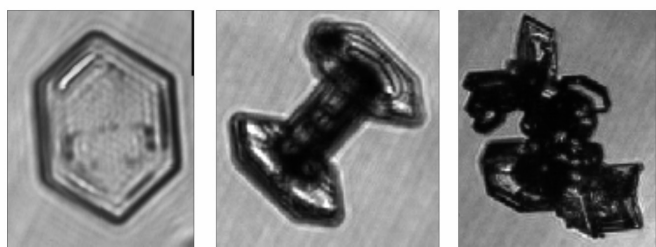
6. ábra. A felhők és az éghajlati rendszer egyes elemei közötti legfontosabb kölcsönhatások. A négyszög alakú dobozokban szereplő jellemzők és folyamatok azt mutatják, hogy az éghajlati rendszer egyes elemei hogyan hatnak a felhőképződésre. A körökkel határolt szövegrészek a felhők hatását jelölik.

A felhők numerikus modellezése a klímamodellekben

A klímaváltozással kapcsolatos kutatások elengedhetetlen feltétele, hogy a Föld-légkör rendszer egészére kiterjedő adatgyűjtést tudjunk megvalósítani, és olyan numerikus modelleket fejlesszünk ki, illetve használjunk, amelyek képesek az éghajlati rendszer egyes elemeiben lejátszódó folyamatok, továbbá az egyes elemek közötti kölcsönhatások korrekciós előrejelzésére. Az alábbiakban azokról a kihívásokról és nehézségekről lesz szó, amelyekkel akkor szembesülünk, amikor a felhőkben lejátszódó folyamatoknak a klímára gyakorolt hatását szeretnénk modellezni. A felhők jellemzői, illetve a felhőkben lejátszódó folyamatok szorosan kapcsolódnak, az éghajlati rendszer egyes elemeihez (légkör, óceán, szárazföld, vegetáció), kölcsönhatnak az azokban lejátszódó folyamatokkal. A 6. ábra sematikus összefoglalja, hogy az éghajlati rendszer egyes elemeiben lejátszódó folyamatok, illetve az elemek jellemzői hogyan hatnak a felhőképződésre, valamint, hogy a felhők hogyan hatnak vissza ezekre a folyamatokra és jellemzőkre.

Minden egyes folyamat részletes elemzése messze túlmutatna a jelen cikk keretein. Így az alábbiakban csak az ún. felhő-aeroszol kölcsönhatás egyes aspek-

tusairól lesz szó részletesebben. Mint azt a fentiekben láttuk, a felhők optikai tulajdonságát, valamint a csapadékképződés hatékonyságát jelentősen befolyásolja a kondenzációs magvak koncentrációja. Azonban önmagában a koncentrációra vonatkozó információ nem elég a cseppképződés megbízható előrejelzésére, mivel ténylegesen a részecskék méret szerinti eloszlása és kémiai összetétele együttesen határozza meg, hogy adott feltételek mellett hány vízcsepp alakul ki. Ezért az éghajlati modellek esetében figyelembe kell venni azt, hogy a természetes és mesterséges folyamatok hatására légkörbe kerülő gázok hogyan befolyásolják a légköri aeroszol részecskék képződését. Az aeroszolképződést leíró kémiai reakcióegyenletek felírása (ez különösen igaz a szerves molekulák esetében) és azok numerikus megoldása azonban komoly kihívást jelent. A legújabb globális klímamodellek már képesek arra, hogy becslést adjanak a különböző méretkategóriába (Aitken, finom és durva) tartozó aeroszol részecskék koncentrációjára és a vízben való oldhatóságot leíró higroszkopicitásukra (pl. *Ginoux et al.*, 2001). Természetesen erre csak nagyon erősen leegyszerűsített, számos empirikus paramétert tartalmazó egyenletrendszer adta keretek között van lehetőség. A vízcseppek, illetve a jégkristályok kialakulását elősegítő aeroszol részecskék azonban nemcsak a levegőben lejátszódó



7. ábra. Felhőkben készült nagyfelbontású (kb. 2 μm -es) fénykép különböző, a környezeti feltételektől függően kialakult jégkristály formákról. A jégkristályok mérete 1–2 mm. (Forrás: W. Hall, NCAR)

kémiai folyamatok eredményeként alakulhatnak ki, de jelentős koncentrációban keletkezhetnek az erdő- vagy bozóttüzek során (pl. Pósfai et al., 2003), az óceánokról a szél hatására felemelkedő, és a levegőben elpárolgó vízcseppekből, valamint a sivatagi területekről magasba jutó porrészecskékből (pl. DeMott et al., 2010). Így ezen folyamatok hatását is figyelembe kell venni, ha pontosan előre akarjuk jelezni a felhők optikai tulajdonságát és a kihulló csapadék mennyiségét.

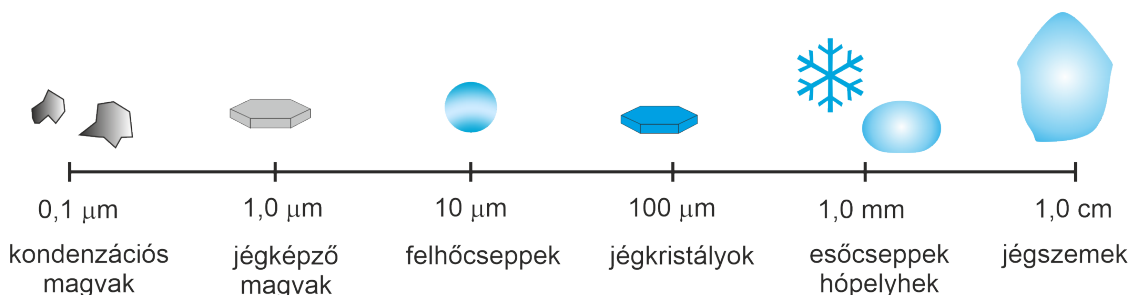
Azonban nemcsak az aeroszol részecskék hatnak a felhőképződésre, hanem a felhőkben lejátszódó folyamatok is hatnak az aeroszol részecskék tulajdonságaira. A kondenzációs magvak egy része a csapadékkal együtt kihullik a felszínre, egy másik része azonban a vízcseppek elpárolgását követően a légkörben marad. Ez utóbbi folyamatot nevezzük regenerációnak (6. ábra). Mivel egy kondenzációs magként viselkedő aeroszol részecske átlagosan ötször vesz részt a felhőképződésben, mielőtt véglegesen kimosódna a légkörből (Pruppacher and Jeanicke, 1995), a keletkezéskor jellemző tulajdonságai jelentősen megváltoznak, általában nagyobb lesz a méretük, és megnő a higroszkopicitásuk (Schmeller and Geresdi, 2019). Ez a változás hatással lehet a csapadékképződésre (Xue et al., 2010) és a ködképződés folyamatára is (Bodaballa et al., 2022). A regenerációs folyamatok korrekt numerikus modellezése még az időjárás-elő-

rejelzés céljából kifejlesztett modellek esetében sem megoldott, többnyire kutatási célú fejlesztések történnek még napjainkban is ezen a területen.

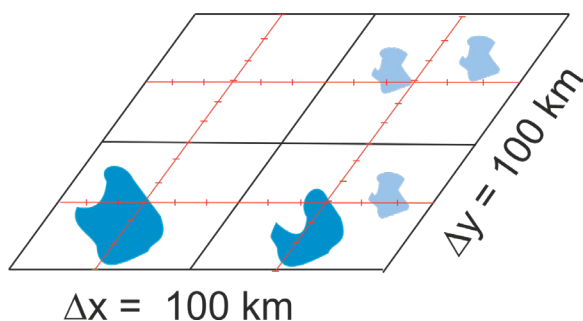
A csak jégkristályokat tartalmazó cirrus felhőzet – a vízcseppeket is tartalmazó felhőktől eltérően – a rövid- és hosszuhullámú sugárzás terjedésre gyakorolt nettó hatása eredményeként melegíti a troposzférát és a felszínt. A többi felhőtípus esetén a jégkristályoknak az optikai tulajdonságra gyakorolt hatása nem ilyen jelentős, de a mérsékelt és poláris övek felhőiben, illetve a trópusi zivatarokban fontos szerepet játszanak a csapadékképződésben. Ezért fontos, hogy a felhőkben kialakuló jégkristályok jellemzőit, szerepüket a csapadékképződés folyamatában minél pontosabban meg tudjuk határozni. A jégkristályok kialakulásának rendkívül változatos módjai és az alakjuk sokszínűsége miatt (7. ábra) a jégképződés és a csapadékképződési folyamatok modellezése még az időjárás-előrejelzés céljára kifejlesztett modellek esetében is csak erősen egyszerűsített formában lehetséges (Geresdi, 2004).

A sok bizonytalanság miatt a különböző kutatóműhelyekben kifejlesztett klímamodellek eltérő közelítéseket alkalmaznak a jégképződést és a jégkristályok növekedését leíró egyenletek felírásakor, ami ahhoz vezet, hogy jelentősen eltérő eredményt adnak a felhők optikai tulajdonságát meghatározó átlagos jégkristálméretre (pontosabban az optikai tulajdonságot meghatározó átlagos effektív sugárra). Az eredmények validálásához szükséges műholdas mérési eljárások még nem állnak rendelkezésre (Wang et al., 2020).

A felhők hatásainak pontos figyelembevételét az is nehezíti, hogy a felhőkben lejátszódó folyamatok nagyon széles méretskálán játszódnak le. A csapadékképződésben részt vevő részecskék és a közöttük lejátszó kölcsönhatás folyamatainak méretskálája a mikrométeres nagyságrendtől a centiméteres nagyságrendig terjed (8. ábra).



8. ábra. A felhőképződésben szerepet játszó és a felhőt alkotó, különböző halmazállapotú és alakú részecskék méretskálája.



9. ábra. A hagyományos klímamodellek horizontális térbeli felbontása (fekete négyzetek), valamint a szuperparametrizáció adta lehetőség a térbeli felbontás növelésére (piros vonalak). A piros vonalak a globális modellrácsba (fekete vonalak) illesztett vertikális síkok irányát mutatják. A késsel jelölt tartományok a különböző méretű felhőrendszereket jelölik.

Az ezen a méretskálán lejátszódó folyamatok (pl. kondenzáció során felszabaduló látens hő, vagy az olvadás hűtő hatása) jelentősen befolyásolják a méteres nagyságrendtől a kilométeres nagyságrendig terjedő légköri áramlást a felhőkben, illetve azok közvetlen környezetében. Ahhoz, hogy a felhők életciklusát meghatározó, felfele, illetve lefele irányuló áramlások kialakulását és fejlődését modellezni lehessen, továbbá, hogy figyelembe lehessen venni a felhőképződést meghatározó felszíni változékonyságot, a modellek térbeli felbontásának el kell érnie a néhány kilométeres horizontális felbontást. Ezt a térbeli felbontást az időjárás-előrejelzés céljaira kifejlesztett mezoskálájú modellekben is csak a 1990-es évek második felében sikerült elérni. Egy jellemző példa a térbeli felbontás fontosságára a magas hegyeknek a felhőképződésre gyakorolt hatásának vizsgálata. Mivel a domborzat hatását jellemzően a felszín mereksége határozza meg, ezért a magashegységek környezetében az elvárt horizontális felbontás 1–2 km. A globális klíma modellek 100 km-es nagyságrendű térbeli felbontása messze nem teljesíti ezt a feltételt, de még a regionális klímamodellek 5–10 km-es felbontása is rosszabb a kívánatosnál. Az elmúlt években jelentős erőfeszítések történtek annak érdekében, hogy a globális klímamodelleket is alkalmassá tegyék a felhőképződés explicit szimulálására (Randall *et al.*, 2019). A sok próbálkozás közül az egyik legsikeresebbnek az ún. szuperparametrizációs eljárás bizonyult (9. ábra). A módszernek az a lényege, hogy a 9. ábrán látható módon kétdimenziós függőleges síkokat illesztnek a rendszerbe. Ezekben a síkokban a horizontális felbontás akár néhány kilométerre is növelhető (sok modell-

ben használnak 4 km-es felbontást, de a 250 m-es felbontásra is van példa). Ezen módszer alkalmazása lehetővé teszi, hogy globális szinten tudjuk vizsgálni a felhők szerepét a klíma szabályozásában, és azt, hogy a lokális változások a klímában milyen hatással vannak a felhőképződésre. A módszer hátránya, hogy a lokális, horizontális áramlások kialakulása (pl. zivatarfelhők kifutószele) és hatásainak figyelembevétele csak korlátozottan lehetséges. Emiatt a felhőknek a globális szintű horizontális levegőáramlásra gyakorolt hatását nem is veszik figyelembe ebben a modelltípusban. A térbeli felbontás további javulását illetően optimisták lehetünk, ugyanis már léteznek olyan globális modellek (pl. Seiki *et al.*, 2022), amelyeknek 1 km-es felbontású rácsból lehetőséget ad, hogy a felhőkben lejátszódó folyamatokat a mezoskálájú modellekben elvárt megbízhatósággal jelezzük előre. Természetesen ezt a térbeli felbontást csak néhány, nagyon nagy teljesítményű számítógép tudja biztosítani, és ezek használata is csak rövid, kb. 1 éves időszak tanulmányozását teszi egyelőre lehetővé.

Összegzés

A mérési módszerek és a numerikus modellek területén végbement fejlődésnek köszönhetően az elmúlt évtizedekben jelentősen növekedtek ismereteink arról, hogy az éghajlati rendszer egyes elemeiben lejátszódó folyamatok hogyan hatnak a felhőképződésre, valamint, hogy a felhők hogyan hatnak vissza ezekre a folyamatokra. Ennek ellenére még mindig nagy a bizonytalanság annak megítélésében, hogy a felhők mikrofizikai és dinamikai jellemzőinek változása hogyan hat a nettó sugárzásegyenlegre, valamint a lehullott csapadék mennyiségére, annak térbeli és időbeli eloszlására. Ennek egyik oka, hogy a kondenzációs magvak és a felhők közötti kölcsönhatásnak még számos részletét nem ismerjük pontosan, és a globális éghajlati modellek csak korlátozottan képesek ezen folyamatok hatásait figyelembe venni. Különösen hiányosak az ismereteink a jégképző aeroszol részecskék és a jégkristályok szerepét illetően. Ezen okokkal magyarázható, hogy a különböző globális vagy regionális klímamodellek eredményeit összehasonlítva szembetűnő, hogy a csapadék változására vonatkozó eredmények esetében milyen nagyok az eltérések. Meggyőződésem, hogy amíg a felhőknek a klímaváltozásban játszott szerepét nem sikerül tisztázni, minden olyan mesterséges beavatkozás, ami a felhők optikai jellemzőinek megváltoztatásán keresztül próbálja mérsékelni a klímaváltozás negatív hatásait, előre nem látható kockázattal jár.

Irodalomjegyzék

- Albrecht, B.A., 1989: Aerosols, Cloud Microphysics, and Fractional Cloudiness. *Science*, 245 (4923): 1227–30.
- Almendra-Martín, L., Martínez-Fernandez, J., Piles, M., Gonzalez-Zamora, A., Benito-Verdugo, P., Gaona, J., 2022: Analysis of soil moisture trends in Europe using rank-based and empirical decomposition approaches. *Global and Planetary Change*.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2022.103868>
- Bodaballa, J.K., Geresdi, I., Ghude, S.D. and Salma, I., 2022: Numerical simulation of the microphysics and liquid chemical processes occur in fog using size resolving bin scheme. *Atmospheric Research*, 266, 105972.
<https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2021.105972>
- Cséplő, A., Izsák, B., Geresdi, I., 2022: Long-term trend of surface relative humidity in Hungary. *Theoretical and Applied Climatology* 149, 1629–1643,
<https://doi.org/10.1007/s00704-022-04127-z>
- DeMott, P. J., Prenni, A. J., Liu, X., Kreidenweis, S. M., Peters, M. D., Twohy, C. H., et al., 2010: Predicting global atmospheric ice nuclei distributions and their impacts on climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(25), 11,217–11,222.
- Feingold, G., et al, 2024: Physical science research needed to evaluate the viability and risks of marine cloud brightening, *Science Advances*. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adi8594>
- Forster, P., Storeymo, T., Armour, K., Collins, W., Dufresne, J.-L., Frame, D., Lunt, D. J., Mauritsen, T., Palmer, M. D., Watanabe, M., Wild, M., and Zhang, H., 2021: The Earth's energy budget, climate feedbacks, and climate sensitivity, edited by: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Pean, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekci, O., Yu, R., and Zhou, B., 923–1054, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021.
- Geresdi, I., 2004: Felhőfizika, 1st ed. Dialóg Campus Kiadó, Budapest; Pécs.
- Geresdi, I., Mészáros, E. and Molnár, A., 2006: The effect of chemical composition and size distribution of aerosol particles on droplet formation and albedo of stratocumulus clouds, *Atmospheric Environment*, 40, 1845–1855.
- Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J.M., Holben, B., Dubovik, O., Lin, S., 2001: Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 106, 20255–20273. 1762 <https://doi.org/10.1029/2000jd000053>
- Haszpra L., 2025: A légkör szerepe az éghajlati rendszerben, *Légkör* 70, 134–142p
- Krüger, O. and Hartmut Graßl, H., 2002: The indirect aerosol effect over Europe. *Geophysical Research Letters*, 29, p 1925, <https://doi.org/10.1029/2001GL014081>
- Loeb, N. G., Johnson, G. C., Thorsen, T. J., Lyman, J. M., Rose, F. G., Kato, S., 2021: Satellite and ocean data reveal marked increase in Earth's heating rate. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL093047.
<https://doi.org/10.1029/2021GL093047>
- Pósfai, M., R. Simonics, J. Li, P. V. Hobbs, and P. R. Buseck, 2003: Individual aerosol particles from biomass burning in southern Africa: Compositions and size distributions of carbonaceous particles, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D13), 8483.
<https://doi.org/10.1029/2002JD002291>.
- Pruppacher, H.R., Jeanicke, R., 1995. The processing of water vapor and aerosols by atmospheric clouds, a global estimate. *Atmospheric Research*, 38, 283–295
- Randall, D. A. et al., 2019: 100 years of earth system model development. *Meteorological Monograph*, 59, 12.1–12.66.
- Schmeller, G., Geresdi, I., 2019. Study of interaction between cloud microphysics and chemistry using coupled bin microphysics and bin aqueous chemistry scheme. *Atmospheric Environment*, 198, 366–380.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.10.064>.
- Seiki, T., Roh, W., and Satoh, M., 2022: Cloud Microphysics in Global Cloud Resolving Models. *Atmosphere-Ocean*, 60(3–4), 477–505.
<https://doi.org/10.1080/07055900.2022.2075310>
- Stephens, G. L., Li, J., Wild, M., Clayson, C. A., Loeb, N., Kato, S., L'ecuyer, T., Stackhouse, P. W., Lebsock, M., and Andrews, T., 2012: An update on earth's energy balance in light of the latest global observations, *Nature Geoscience*, 5, 691–696,
<https://doi.org/10.1038/ngeo1580>, 2012.
- Twomey, S., 1974: Pollution and the Planetary Albedo. *Atmospheric Environment*, 8, 1251–56.
- Wang, P. K., 2003: Moisture plumes above thunderstorm anvils and their contributions to cross-tropopause transport of water vapor in midlatitudes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108, D6,
<https://doi.org/10.1029/2002JD002581>
- Wang, Y., Su, H., Jiang, J. H., Xu, F., and Yung, Y. L., 2020: Impact of cloud ice particle size uncertainty in a climate model and implications for future satellite missions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125, e2019JD032119. <https://doi.org/10.1029/2019JD032119>



A városi hőtöbblet mérséklésére vonatkozó érzékenységvizsgálatok Budapestre

Allaga-Zsebeházi Gabriella, Szépszó Gabriella

HungaroMet Nonprofit Zrt., zsebehazi.g@met.hu

DOI: 10.56474/legkor.2025.4.2

A SURFEX felszíni modell segítségével egyszerűsített kísérletekben megvizsgáltuk, hogy különböző alkalmazkodási intézkedéseknek milyen hőmérsékletmódosító hatása lehet városi környezetben. A városi hősziget mérséklésére irányuló intézkedések közül a szürke módszerek családjába tartozó felszíni albedó változtatás, illetve a zöld infrastruktúra megváltoztatásának hatását teszteltük Budapestre. Az eredmények alapján ezekkel a módszerekkel nagy hatást lehet elérni a felszíni hőmérséklet mérséklésében.

Sensitivity studies for reduction of the urban heat island in Budapest

In this study, the impact of different adaptation actions on urban heat island was assessed using the SURFEX surface model for Budapest. In the simulations, the modification of the surface albedo of the urban areas as well as changing the green area and the included tree fractions were explored in detail. The results proved that these actions are able to significantly reduce the surface temperature in the city.

A városoknak módosító hatása van a meteorológiai állapothatározókra, így a beépített területeket speciális, ún. *városi klíma* jellemzi, amelynek kialakulását a természetes területektől eltérő felszínborítás és felszíni tulajdonságok okozzák. A városi klíma legjellemzőbb jelensége a városi hősziget (urban heat island, UHI; Oke, 1982), amelyet a városi és a környező területek közötti hőmérsékletkülönbséggel definiálhatunk. Kialakulásának legfőbb oka, hogy napközben az épületek és a mesterséges burkolatok a beérkező sugárzás nagyobb részét tárolják a növényzethez képest; valamint a kevés vagy hiányzó vegetáció miatt a párolgás mértéke igen kicsi. Naplemente után a városi területek így lassabban hűlnek le, kialakítva ezzel az UHI maximumát az éjszaki

kai órákban (Oke, 1987). Ezek a lokális jellemzők kölcsönhatásban állnak a regionális klímával oly módon, hogy a klímaváltozás miatti bizonyos légköri változások (pl. minimum-hőmérséklet emelkedése, hóhullámos napok számának növekedése) jóval fokozottabban jelentkeznek a városokban. Például míg Magyarországon a trópusi éjszakák¹ száma az 1901–2023 időszakban átlagosan 2 nappal növekedett, Budapesten a változás mértéke 19 nap volt [1]. A szélsőséges hőmérsékleti események a jövőben is várhatóan fokozottabban növekednek a városban, mint a vidéki területeken

¹Trópusi éjszaka: amikor a napi minimum-hőmérséklet nem csökken 20 °C alá

(pl. *Allaga-Zsebeházi*, 2021; *Göndöcs*, 2018). A klímaváltozás hatásaival szemben a sűrűn lakott, nagy népességű települések sérülékenyek (például az extrém magas hőmérsékletnek negatív hatása van a városi infrastruktúrára, a nem klimatizált helységekből dolgozók munkaképességére, a kardio-vaszkurális megbetegedésekre (*IPCC*, 2022; *NÉS-2*, 2018)).

A jövőben várható éghajlatváltozás vizsgálata regionális klímamodellek segítségével valósul meg, azonban a jellemzően 10–25 km felbontású modellek túl durvák és nem alkalmasak a városi folyamatok részletes leírására. Ugyanakkor a városi parametrizációval kiegészített felszíni modellek költséghatékony megoldást jelentenek kilométeres (vagy az alatti) skálájú modellezésre, és így az adaptációs lehetőségek vizsgálatára is (*Allaga-Zsebeházi*, 2024).

Szakirodalom alapján a városi hősziget mérséklésére tett intézkedések két kategóriára oszthatók: szürke módszer, valamint a zöld infrastruktúra alakítása. A szürke módszerbe tartozik az utcák, épületek és burkolatok geometriai vagy fizikai tulajdonságainak megváltoztatása. Olyan burkolatok, amelyeknek nagyobb az albedója, vagyis a rövidhullámú sugárzás-visszaverő képessége, alkalmazhatók tetőkön és utakon is. Az ún. *hideg tető* alkalmazásával a felszín hőmérséklete akár 20 °C-kal csökkenthető, de a nyári 2 m-es átlaghőmérsékletre és maximum-hőmérsékletre is van néhány tized fokos hőmérséklet-csökkentő hatása (*Zuvela-Aloise et al.*, 2017; *Han et al.*, 2022). Ugyanakkor a tetők hőmérsékletének csökkenése jelentősen visszaszorítja nyáron az épületek energiafelhasználását (*Akbari et al.*, 2016). Az utakon alkalmazott albedónövelés szintén 10 °C körüli felszíni hőmérséklet-csökkentést eredményezhet (*Han et al.*, 2022; *Hayes et al.*, 2022), valamint a 2 m-es hőmérsékletben évszaktól függően 0,5–1 °C-os változást (*Qi et al.*, 2019).

A zöld infrastruktúra a városi zöld és kék felületeket foglalja magában: füves és fás parkokat, fákat az utcák mentén, zöld tetőket, növényzettel borított falakat, vízfelületeket. A növényzet egyrészt az árnyékoló hatása miatt (fák esetében) és a párologtató hatása által képes csökkenteni a hőmérsékletet. Legnagyobb hűsítő hatás fákkal, legkisebb pedig füvesítéssel érhető el (*Balany et al.*, 2020; *Gál et al.*, 2021). A fás területek hatása napközben csak lokálisan jelentkezik, az éjszaka folyamán azonban térben kiterjedtebb (*Gál et al.*, 2021), így szerepet játszik az UHI maximumának csökkentésében. A városi parkok lokálisan napi átlagban 1 °C-kal hűvösebbek a beépített területeknél, ami napközben néhány fokos (legfeljebb 10 °C) különbséget jelent (*Akbari et al.*, 2016; *Han et al.*, 2022),

de ez függ a park paramétereitől (a méretétől, az elhelyezkedésétől, a vegetáció típusától), valamint a terület éghajlatától is. A fák arányának növelése a beépített területeken néhány tized fokos - néhány fokos csökkenést eredményezhet a nyári időszakban (*Balany et al.*, 2020). A zöldterületek öntözésével 2 °C-os csökkenés érhető el, míg az utak és a járdák locsolásával kb. 1 °C-os hatás várható (*Daniel et al.*, 2018). A városon belüli vízfelületek párologtató felületekként funkcionálnak. Nagy hőkapacitásuk miatt a napközbeni hőmérsékletcsökkentésben játszanak nagy szerepet, ugyanakkor emiatt az esti órákban emelhetik a hőmérsékletet (*Zuvela-Aloise et al.*, 2016), ami nem kedvező az UHI szempontjából.

Jelen cikk célja, hogy a SURFEX felszíni modellel végzett kísérletek eredményei alapján bemutassa, hogy néhány kiválasztott adaptációs stratégia milyen hatással járna Budapest jövőbeli hőmérsékleti viszonyaira. A következő fejezetben részletesen bemutatjuk az alkalmazott modellt és az elvégzett kísérleteket. Ezután áttekintjük és értelmezzük az érzékenységvizsgálatok eredményeit, majd a cikket összefoglalással és kitekintéssel zárjuk.

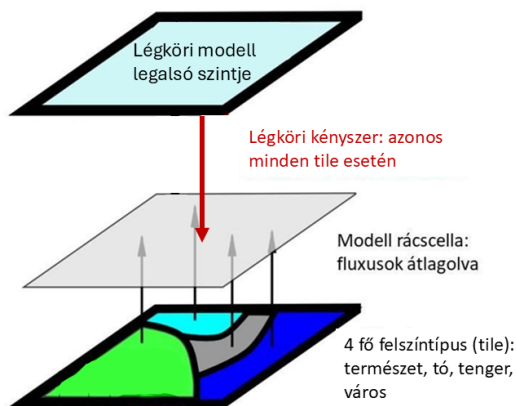
Modellek és módszerek

A SURFEX felszíni modell

A SURFEX felszíni modell (*Masson et al.*, 2013) (1. ábra) feladata a felszín és a légkör közötti kölcsönhatások, valamint a felszínt jellemző folyamatok részletes leírása. A modell négy fő felszíni kategóriát különböztet meg (1. ábrán tile): természetes földfelszín (növényzet, csupasz talaj, szikla), város, óceán és szárazföldi vízfelszín (tó, folyó). A modell a vizsgált tartomány rácscelláihoz felszíntípusokat rendel az 1 km x 1 km-es horizontális felbontású ECOCLIMAP-I felszínborítási adatbázis (*Masson et al.*, 2003) alapján, mely 255 felszíntípust tartalmaz. Ez azt jelenti, hogy az ECOCLIMAP megadja, hogy az egyes rácscellák hány százalékát borítja a négy fő felszíni kategória, valamint a további, számításához szükséges paramétereket (pl. a növényzet esetén a levélfelületi indexet², a városok esetén az épületek magasságát).

A fő felszíni kategóriákhoz tartozó számításokat külön almodulok végzik, majd ezek eredményeinek súlyozott összege adja a rácscellára vonatkozó átlagot

²A levélfelületi index megadja, hogy 1 m² földfelszínre hány m² levélfelület jut úgy, hogy a leveleknek csak az egyik oldalát tekintjük. Az index a felszín-légkör kölcsönhatás modellezése során a növényállomány sűrűségének becslésére szolgál.



1. ábra. A kísérletekben alkalmazott SURFEX felszíni modell felépítése és alapvető működése. (Masson et al., 2013 nyomán).

(pl. 2 m-es hőmérséklet és nedvesség, hő-, momentum- és nedvességfluxus). A természetes földfelszín folyamatait a SURFEX-ben az ISBA (Interaction Soil-Biosphere-Atmosphere; Noilhan és Planton, 1989), míg a városi felszín folyamatait a TEB (Town Energy Balance; Masson, 2000) almodul írja le. A TEB az ún. *kanyon* közelítést alkalmazza, mely a városi geometriát szemben álló, azonos magasságú és szélességű épületekre és ezek között húzódó útra bontja. A modell külön-külön számítja ki az energiaegyenletet az útra, a tetőre és a falra. Minden területen keresztüli hővezetést leírja. A TEB ezenkívül figyelembe veszi az épületek árnyékoló hatását, valamint a sugárzás visszaverődését, többszöri elnyelődését is. Az ISBA a természetes szárazföldi felszínnek folyamatait az ún. *force-restore* módszerrel (Bhumralkar, 1975; Blackadar, 1976; Deardorff, 1977) közelíti, mely szerint a talaj három rétegre osztott (egy vékony felszíni rétegre, valamint a gyökérszónára és a mélytalaj rétegre). A modell e talajrétegek közötti hővezetés, nedvességfluxus egyszerű közelítésével számítja többek között a felszíni hőmérsékletet és nedvességet.

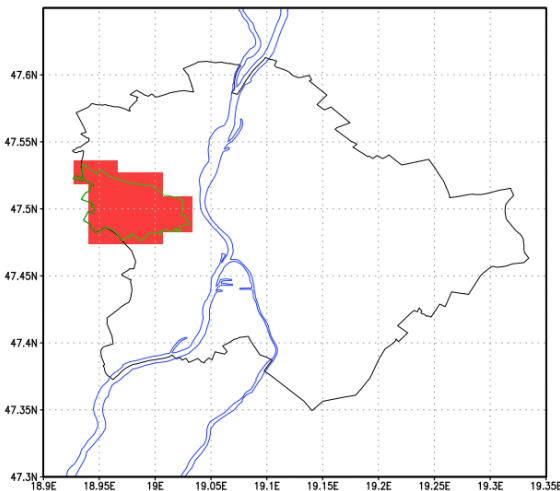
A SURFEX számára szükséges légköri kényszereket (lefelé irányuló rövid- és hosszuhullámú sugárzást, hőmérsékletet, szélesebséget, szélirányt, specifikus nedvességet, légnyomást, csapadékot) a SURFEX az ALADIN regionális klímamodell 10 km-es felbontású eredményeiből (Bán et al., 2021), egy előre definiált magasságban (esetünkben 30 m-en) kapja meg. Mind a négy felszíntípus folyamatait leíró almodul ugyanezeket a légköri kényszereket használja a számításokhoz.

A SURFEX-et offline módban használtuk, ami azt jelenti, hogy a felszíni és a légköri modell közötti kapcsolatot egyirányú, a SURFEX nem hat vissza az ALADIN-ra.

Érzékenységvizsgálatok

A SURFEX modellel három érzékenységvizsgálat készült a következő témákban:

1. Az első kísérlet során azt vizsgáltuk, hogy milyen hatása van külön az utak és a tetők albedó-növelésének Budapest teljes területén. Mindkét felszín esetén +0,5-tel módosított albedó értéket alkalmaztunk, így az utak albedója az alapértelmezett 0,08-ról 0,58-ra, a tetőké 0,15-ről 0,65-re változott. A változtatás mértéke megegyezik azzal, mintha utak esetén aszfaltot gránitra vagy betonra, tetők esetén pedig piros betoncserepet fehér PVDF-fel bevont fém felületre cserélnének. A szimulációkat egy 10-éves időszakra, 2046–2055-re végeztük el azért, hogy a felszínmódosítás hatását éghajlati szempontból is értékelni tudjuk. Az emberi tevékenység bizonytalanságát két antropogén forgatókönyv (RCP4.5 és RCP8.5) alkalmazásával vettük figyelembe.
2. A második kísérletben a zöldterület-arány növelésének és csökkentésének hatását vizsgáltuk (zöldterület alatt növényzettel borított felszínt értünk). A vizsgált terület Budapest XII. kerületének azon része, amely a modell felszínborítása alapján 100% városi kategória (2. ábra). Az ilyen rácspontok 60%-a városi, 40%-a természetes felszín. A kísérletek során az arányok módosításának hatását vizsgáltuk: a természetes felszín arányát növeltük 70%-ra a városi felszín terhére, illetve 10%-ra csökkentettük annak javára. A felszínnek aránya mellett a növényzet típusa is megváltoztatásra került. A referencia kísérletben a fás és a (bokrokkal, pázsittal és néhány elszórt fával jellemzett) parkos terület 50–50%-ban volt jelen, míg ez a megnövelt zöldterületű kísérletben 100%-ban fás, a csökkentett zöldterületű kísérletben 100%-ban parkos területre módosult. Előbbi esetén a növényzetet 5 m magas fák, és vastagabb gyökérszóna jellemzi, emiatt nagyobb a vegetációs hatása, utóbbi esetén pedig kisebb a gyökérmélység és nagyobb a levélfelületi-index. A zöldterület-arány megváltoztatásának hatását különösen a késő tavasztól korai őszig terjedő időszakban érdemes vizsgálni (amikor a lombhullató fák levelesek), ezért a szimulációk egy héthónapos időszakra, 2045. április–októberre készültek az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvek alapján.
3. A harmadik kísérlet célja annak meghatározása volt, hogy a városi növényzet öntözése és a burkolat locsolása Budapest területén milyen hőmérsékleti hatáshoz vezet attól függően, hogy a vizet a nap melyik időszakában juttatjuk ki ezekre a fel-



2. ábra. A vizsgált terület: Budapest XII. kerület (ábrán zöld vonallal jelölve) területére eső azon rácsponatok (pirossal jelölve), amelyek a modellbeli felszínborítás alapján 100% városi kategóriába tartoznak.

színekre. Feltételezzük, hogy a hatásnak elsősorban száraz és meleg időjárás esetén van jelentősége, ezért a vizsgálatokhoz egy-egy 4-napos, csapadégmentes, mérsékelt meleg és meleg nyári időszak került kiválasztásra az RCP8.5 forgatókönyvvel készült referenciakísérlet eredményei alapján 2045 augusztusából: az augusztus 1–4. időszak átlaghőmérséklete 22,9 °C, míg az augusztus 18–21. időszaka 24,5 °C. Mindkettőre 8 kísérlet készült, amikor az időszak minden napján a locsolás és az öntözés 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 vagy 21 UTC-kor történt. Adott időponthoz tartozó locsolás és öntözés során 3 óra alatt minden rácsponthan egyenletes intenzitással összesen 1 mm víz kijuttatásával történtek a számítások, amit technikailag 1 mm/3h csapadék a kényszerekhez való hozzáadásával valósítottunk meg. (Habár technikailag adott időpontban történt a csapadéktöbblet hozzáadása a kényszerekhez, az adat az előző 3 órában lehullott vízmennyiséget reprezentálja. A szövegben a továbbiakban csak a kényszer időpontjával hivatkozunk a különböző kísérletekre.) Ez a vízmennyiség egy reális felső becslés arra, ami zöld- vagy útfelületek locsolásakor általában kikerül a környezetbe, ennél kevesebb víz esetén viszont kérdéses a hatás megjelenése. Minden kísérletben az RCP8.5 kibocsátási forgatókönyvre támaszkodtunk, mert a tesztidőszak kiválasztását ennél a vizsgálatnál az időjárási körülmények határozták meg, s ilyen rövid időtávon az antropogén tevékenység hatása nem érvényesül.

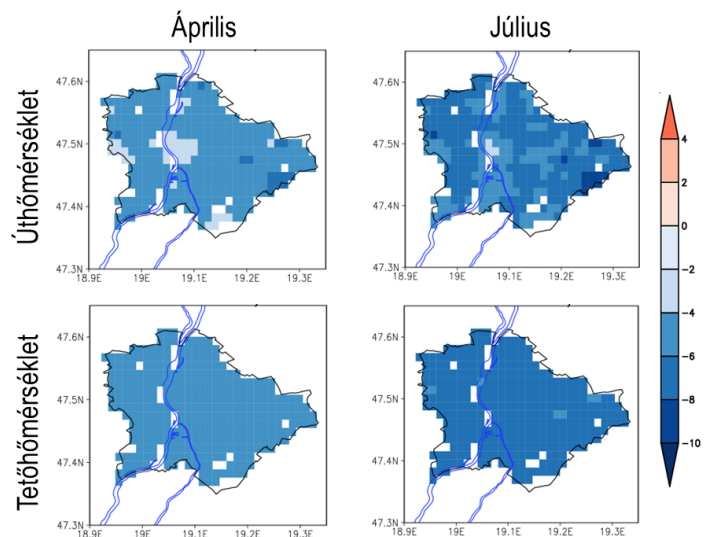
A módosítások hatását különböző hőmérsékleti értékekre és azokon alapuló éghajlati indexekre számszerűsítettük. Az eredmények minden esetben a referenciától való eltérésre vonatkoznak (azaz az új szimuláció és a referencia különbségére), ahol a referencia a vizsgálandó módosításokon kívül megegyező beállításokkal futtatott szimuláció.

Eredmények és diszkusszió

Utak és tetők albedójának növelése

A városi felületek albedójának növelése elsősorban tavasszal és nyáron az utak és tetők felszínhőmérsékletében okozott jelentősebb hatást. Ezenkívül a maximumhőmérsékletben látott változás mértéke jóval meghaladta a minimumhőmérsékletét, tehát a módosítás főként nappal érvényesült.

Az első kísérletben áprilistól augusztusig az utak napi átlagos felszínhőmérséklete a belvárost kivéve 4–6 °C-kal alacsonyabb a referenciához képest, míg a belvárosban kisebb, 2–4 °C-os volt a hőmérséklet-csökkenés (3. ábra). Ugyanakkor megjegyezzük, hogy a teljes városra vonatkozóan áprilistól augusztusig az útburkolat maximum-hőmérséklete átlagosan több, mint 10 °C-kal csökkent. A belvárosi és külvárosi területek közötti különbség azzal magyarázható, hogy a SURFEX-ben a belvárosi rácsponatok épületmagassága jóval nagyobb (30 m a belvárosban, 10 m

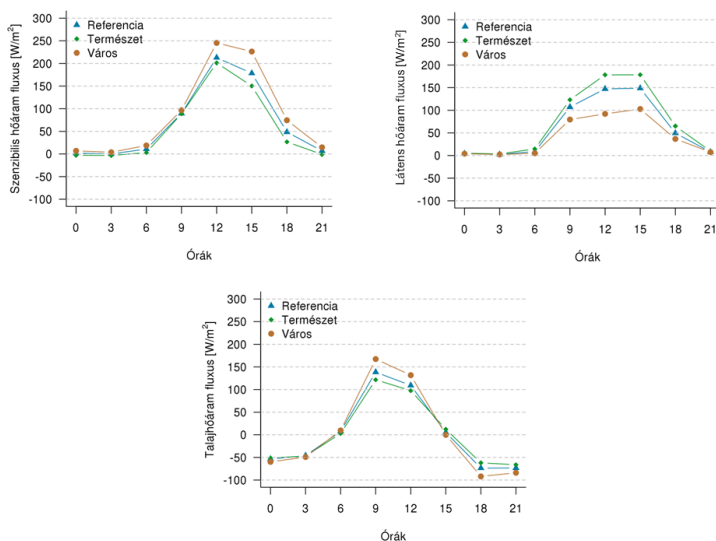


3. ábra. A módosított (utak esetén 0,08-ról 0,58-ra, a tetők esetén 0,15-ről 0,65-re növelt) albedóval kapott napi átlagos felszínhőmérséklet (első sor: utak, második sor: tetők) havi átlagának eltérése (°C-ban) a referencia-kísérlettől áprilisban (első oszlop) és júliusban (második oszlop) a 2046–2055 időszakra az RCP8.5 szcenárió alapján.

a külvárosban) és az utcák szűkebbek (az épületmagasság és az utcaszélesség aránya a belvárosban 1, a külvárosban 0,5), tehát csak magasabb napállásnál éri direkt napsütés a belvárosi utakat. Ezek az eltérések a felszíni karakterisztikákban megmagyarázzák azt is, hogy a repülőtér területén a nyári hónapokban 8-10 °C-os csökkenés volt látható (hiszen a repülőtér a SURFEX-ben is nyílt terület; pl. az épületmagasság mindössze 6%-a az utcaszélességnek).

A tetők felszínhőmérsékletének változása térben jóval homogénebb az utakhoz képest. A napi átlagban néhány fokos (adott hónaptól függően 3-6 °C-os; 3. ábra), míg a maximum-hőmérsékletben áprilistól augusztusig 10 °C-ot meghaladó csökkenést kaptunk (ábrán nem mutatjuk be). Az utak és tetők hőmérséklet csökkenését összevetve elmondható, hogy a maximum-hőmérsékletcsökkenés szeptembertől áprilisig a tetők esetében volt nagyobb, míg májustól augusztusig az utaké (az utak albedója kisebb, mint a tetőké, de tavasztól ősziig az alacsonyabb napállás miatt kevesebb direkt napsugárzás éri az utakat).

A felszíni értékekhez képest a 2 m-es maximum-hőmérsékletben jóval kisebb, mindössze néhány tized fokos csökkenés volt látható (városi átlagban a nyári hónapokban maximum 0,16 °C, de az egyes rácspontokban is csak 0,2-0,3 °C). A minimum-hőmérsékletben, és az ezen alapuló trópusi éjszakák számában pedig alig mutatkozik változás. A két antropogén forgatókönyv nem okozott jelentős eltérést az eredményekben.

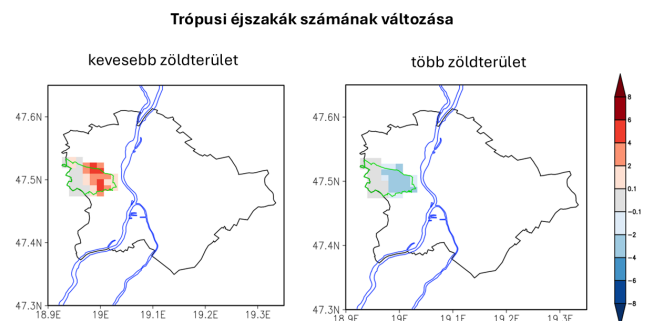


4. ábra. A szenzibilis, latens és talajhőáram átlagos napi menete (W/m^2 -ben) a referencia (kék), valamint a megnövelt (zöld) és csökkentett (barna) zöldterület kísérletben 2045. április-október időszakban az RCP8.5 szcenárió alapján.

Zöldterület arányának és összetételének megváltoztatása

A természetes terület és benne a fák arányának növelésével a hőmérsékleti értékek csökkentek, csökkentésével pedig növekedtek. A továbbiakban zárójelben adjuk meg a zöldfelület-csökkentéssel kapcsolatos hatásokat. A legnagyobb hatás a napi minimum-hőmérsékletre és az abból származtatott trópusi éjszakák számára volt. Ez a felszíni energiaegyenleg tagjainak átlagos napi meneteiben bekövetkezett változásaival is magyarázható (4. ábra). A megnövelt (csökkentett) zöldfelület-arány hatására nappal a látens hőfluxus nőtt (csökkent) a referencia-kísérlethez képest, míg a szenzibilis hőáram és a talajhőáram csökkent (nőtt). A talajhőárambeli változások közvetlenül kihatnak a minimum-hőmérséklet alakulására, hiszen ha nappal több hőt kap a talaj, illetve a városi felszín, akkor éjjel többet is sugároz ki, tehát a minimum-hőmérséklet növekszik.

A természetes terület és fa arány növelésének (csökkentésének) hatására a minimum-hőmérséklet területi átlagban 0,3–1,2 °C-ot csökkent (0,6–1,2 °C-ot növekedett), a trópusi éjszakák száma pedig a kerület keleti felében legfeljebb 4 nappal csökkent (6 nappal növekedett) (5. ábra). A fluxusok nappali módosulása csak igen kis mértékben hatott a nappali 2 m-es hőmérséklet alakulására. Ennek oka részben az, hogy nappal, amikor nagyobb a turbulencia, ezek a változtatások kevésbé érvényesülnek a jobb átkeveredés miatt; másrészt az általunk használt SURFEX verzióban a városi és természetes területek feletti fizikai folyamatok elkülönítve kerülnek kiszámításra az egyes rácscellákban, emiatt a városi fák árnyékoló, párologtató hatása nincs figyelembe véve. Ennélfogva a napi maximum-hőmérséklet mindössze néhány tizedfokot változott mindkét

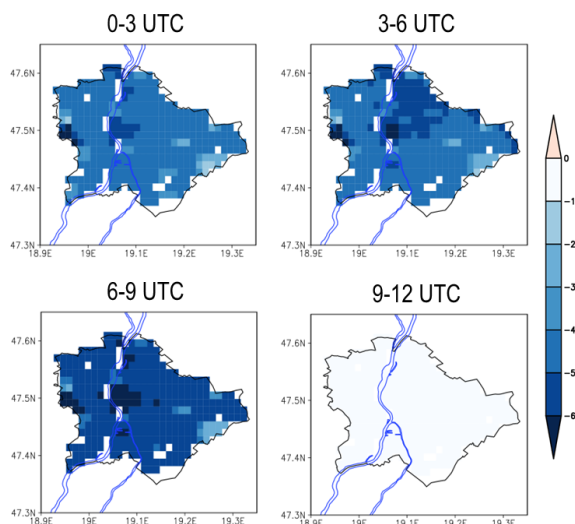


5. ábra. A meleg éjszakák számának változása (nappal) a referencia-kísérlethez képest a XII. kerület természetes terület csökkentésének (balra) és növelésének (jobbra), valamint a növényzet módosításának hatására 2045. augusztusára az RCP8.5 forgatókönyv alapján.

kísérletben, s a napi átlaghőmérséklet területi átlaga sem érte el az 1°C-ot. Az elsőfokú és a másodfokú hóhullámos napok³ számában néhány napos változás mutatkozott. Hasonlóan a trópusi éjszakákhoz, a fa arány növelésével kisebb módosulást értünk el az index értékében, mint csökkentésével. A két antropogén forgatókönyv alkalmazása ebben a kísérletcsoportban sem okozott jelentős eltérést.

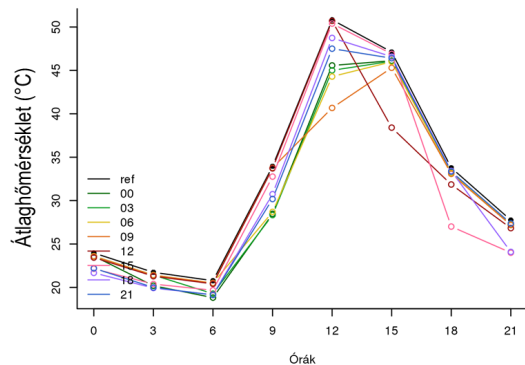
Öntözés és locsolás napon belüli időpontjának hatása

A locsolási és öntözési időpontok két csoportra oszthatók hatás szempontjából: nappali locsolás/öntözés 6, 9, 12 és 15 UTC-kor és éjszakai locsolás/öntözés 18, 21, 0 és 3 UTC-kor. Nappali locsolás/öntözés esetén a folyamatnak közvetlen, nagymértékű felszíni és kisebb 2 m-es hőmérsékletcsökkentő hatása van, amely nem marad fenn hosszú távon. Az éjszakai vízkijuttatás ezzel szemben elnyújtottan fejti ki hatását, amelynek mértéke kisebb, mint a nappali esetekben. Az értékek 15 UTC-re állnak vissza a referencia szintjére, addig mind a felszíni, mind a 2 m-es hőmérsékleti értékek a referencia alatt maradnak. A meleg és a mérsékelt meleg időszakokra vonatkozó kísérletek között nem volt jelentős különbség, azonban a legtöbb esetben a meleg időszak kísérletében volt nagyobb eltérés a referenciától (elsősorban a minimum-hőmérséklet tekintetében).



6. ábra. Az utak napi átlagos maximum-hőmérsékletének változása (°C-ban) a 0 és 3, a 3 és 6; a 6 és 9; valamint a 9 és 12 UTC között történő öntözés/locsolás hatására a 2045. augusztus 18–21. időszakra az RCP8.5 forgatókönyv használatával.

A locsolási és az öntözés az időszaktól függetlenül a hőmérsékleti értékek csökkenését eredményezte, de a napi átlagértékek nem mutattak érzékenységet arra, hogy melyik időpontban történt a víz kijuttatása. A napi maximum-hőmérsékletekben akkor érhető el a legnagyobb csökkenés, ha a locsolás és az öntözés a maximum beállta előtt, tehát 12 UTC-ig történik. Ez 2 m-es magasságban közvetlenül előtte, a felszínen pedig a megelőző néhány órában értendő. A teljes területre vonatkozó átlagos maximum-hőmérséklet csökkenése előbbi esetén 0,01–0,7 °C, utak és tetők felszíni hőmérsékletében pedig 0,01–5,55 °C (6. ábra az utakra). A nappali – különösen a 12 és 15 UTC-kor történő – öntözés és locsolás hőmérsékletmódosító hatása szinte azonnal jelentkezik, de 3 óra elteltével már lényegében nem érzékelhető (7. ábra). A napi minimum-hőmérsékletek esetén akkor érhető el a legnagyobb csökkenés, ha a locsolás és az öntözés a minimum beállta előtti időszakban történik, jellemzően este vagy éjszaka. A csökkenés mértéke a 2 m-es hőmérséklet esetén a teljes területre vonatkozó átlagban 0,05–0,29 °C, míg az utak és tetők felszíne esetén 0,02–1,95 °C. A kevésbé intenzív hőmérsékletmódosító hatás akár az esti órákig is kitarthat (7. ábra).



7. ábra. Az utak Budapest területére számított 3-óránkénti átlaghőmérséklete (°C-ban) a referenciakísérletben (fekete), valamint a különböző időpontokban történő öntözéssel, illetve locsolással számoló kísérletekben (színes görbék) a 2045. augusztus 18–21. időszakra az RCP8.5 forgatókönyv használatával.

Összefoglalás

A bemutatott vizsgálatokban a városi hősziget-intenzitás csökkentésére irányuló lehetőségeket és azok hatását modellkísérletek segítségével térképeztük

³Elsőfokú és a másodfokú hóhullámos napok: amikor a napi átlaghőmérséklet eléri, illetve 3 egymást követő napon eléri a 25 °C-ot.

fel a szakirodalom ajánlásai alapján. A szimulációkhoz a SURFEX felszíni modellt használtuk Budapest területére 1 km-es rácsfelbontással.

Az első szimulációs csoportban a tetők és az utak egész városra kiterjedő albedó-növelésének hatását vizsgáltuk, amit egy városban ezek átszínezésével illetve a burkolatuk cseréjével lehet elérni. A módosításnak a nyári hónapokban, és elsősorban a nappali órákban volt számottevő hatása: a napi felszínhőmérséklet maximumában 10 °C közeli, míg a 2 m-es hőmérsékletben kb. 0,2 °C csökkenés volt elérhető. Az eredmények felhívják a figyelmet arra, hogy a felszín burkolatának és/vagy színének megváltoztatása jelentősen csökkentheti például a kötőpályás közlekedés esetén a sínek hőterhelését vagy a lakásokban a tetőterek hűtésigényét.

A második szimulációs csoportban a természetes területek és benne a fák arányának megváltoztatásának hatását vizsgáltuk Budapest XII. kerületének egy részén. A füves és fás területek növelésének hatására a hőmérséklet csökkent, míg ezen területek megszüntetésével nőtt. A változtatás a napi minimum-hőmérsékletre és az abból számított trópusi éjszakák számára volt a legnagyobb hatással: 30%-os zöldterület növeléssel a meleg éjszakák száma legfeljebb 4 nappal csökkent, ugyanakkor 30%-os zöldterület csökkentéssel legfeljebb 6 nappal növekedett a vizsgált április-október időszakban. Tehát a csökkentés nagyobb negatív hatást eredményezett, mint a növeléssel elérhető pozitív hatás, ami kiemeli a meglévő zöldterületek megővésének fontosságát.

A zöldterületek hőmérséklet-csökkentő hatásukat csak megfelelő öntözés mellett tudják kifejteni. A harmadik szimulációs csoport célja ezért ennek napon belüli optimális időpontjának meghatározása volt. A nappali öntözés esetén a víznek nincs ideje beszivárogni a talajba, így az eredmények alapján a kiváltott intenzívebb hőmérséklet-csökkenés rövid ideig érvényesül. Éjszakai locsolás esetén a hatás intenzitása kisebb, de kitart a délutáni órákig, csökkenthető vele a jellemzően éjszakai órákban maximalizálódó városi hősziget. A legnagyobb hatás akkor érhető el, ha a víz kijuttatása a szélsőérték (a napi minimum- vagy maximum-hőmérséklet) beállta előtt történik. A megállapítások mind a felszíni, mind a 2-méteres hőmérsékletre érvényesek, ugyanakkor – az előző két kísérletcsoporthoz hasonlóan – ismét a felszíni hőmérsékletben mutatkozik csak jelentősebb, néhány fokkal csökkenés.

Összességében megállapíthatjuk, hogy a kutatás során Budapestre kapott eredmények összhangban vannak a nemzetközi tapasztalatokkal. Mindazonáltal a következtetések felhasználók, döntéshozók felé való interpretálásánál fontos kiemelni, hogy mint minden

modell, a SURFEX felszíni modell közelítésekkel írja le a valós folyamatokat, továbbá a különböző adaptációs opciókat is egyszerűsített módon próbáltuk ki a szimulációkban. A legfrissebb modellverzió több lehetőséget ad a beállítások változtatására, ezért a további vizsgálatokhoz célszerű áttérni a használatára. Ugyanakkor napjainkban városi modellezés esetén a cél a néhány száz méteres térbeli felbontás elérése, melyhez elengedhetetlen a hasonlóan finom felbontású felszíni adatbázisok létrehozása.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben bemutatott eredmények a Városi Eső (LIFE20 CCA/HU/001774 azonosítószámú) projekt támogatásával készültek. A szerzők hálás köszönetüket fejezik ki *Zempléni Zsuzsannának* a vizsgálatok során végzett munkájáért. Továbbá köszönet illeti *Rózsa Zoltánt* és a projekt többi munkatársát, akik kérdéseikkel és észrevételeikkel nagyban hozzájárultak az eredmények hasznosíthatóságának meghatározásához.

Irodalomjegyzék

- Akbari, H., Cartalis, C., Kolokotsa, D., Muscio, A., Pisello, A.L., Rossi, F., Santamouris, M., Synnef, A., Wong, N.H., and Zini, M., 2016: Local climate change and urban heat island mitigation techniques – the state of the art. *Journal of civil engineering and management*, 22, 1–16. <https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1111934>
- Allaga-Zsebeházi, G., 2021: Az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvekkel készített SURFEX városi éghajlatváltozási kísérletek kiértékelése. *KlimAdat (KEHOP-1.1.0) projekt beszámoló*, 25p
- Allaga-Zsebeházi, G., 2024: Estimating the climate change impacts in urban areas using the SURFEX land surface model. PhD disszertáció. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest. 149 p. doi: 10.15476/elte.2024.087
- Balany, F., Ng, A.W., Muttill, N., Muthukumaran, S., and Wong, M.S., 2020: Green Infrastructure as an Urban Heat Island Mitigation Strategy - A Review. *Water*, 12, 3577. <https://doi.org/10.3390/w12123577>
- Bán, B., Szépszó, G., Allaga-Zsebeházi, G., and Somot, S., 2021: ALADIN-Climate at the Hungarian Meteorological Service: from the beginnings to the present day's results. *Időjárás* 125, 647–673. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.4.6>
- Bhumralkar, C.M., 1975: Numerical experiments on the computation of ground surface temperature in an atmospheric general circulation model. *Journal of Applied Meteorology* 14, 1246–1258. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1975\)014<1246:-NEOTCO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1975)014<1246:-NEOTCO>2.0.CO;2)

- Blackadar, A.K., 1976: Modeling the nocturnal boundary layer. In: Proceedings of the Third Symposium on Atmospheric Turbulence, Diffusion, and Air Quality. *American Meteorological Society, Rayleigh*, 46–49.
- Daniel, M., Lemonsu, A., and Viguié, V., 2018: Role of watering practices in large-scale urban planning strategies to face the heat-wave risk in future climate. *Urban Climate*, 23, 287–308. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.11.001>
- Deardorff, J.W., 1977: A Parameterization of ground-surface moisture content for use in atmospheric prediction models. *Journal of Applied Meteorology* 16, 1962–1982. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1977\)016<1182:A-POGSM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1977)016<1182:A-POGSM>2.0.CO;2)
- Gál, T., Mahó, S.I., Skarbit, N., and Unger, J., 2021: Numerical modelling for analysis of the effect of different urban green spaces on urban heat load patterns in the present and in the future. *Computers, Environment and Urban Systems*, 87, 101600. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2021.101600>
- Göndöcs, J., Breuer H., Pongrácz, R. and Bartholy, J., 2018: Projected changes in heat wave characteristics in the Carpathian Basin comparing different definitions. *International Journal of Global Warming* 16, 119. doi:10.1504/IJGW.2018.094552
- Han, D., Zhang, T., Qin, Y., Tan, Y., and Liu, J., 2022: A comparative review on the mitigation strategies of urban heat island (UHI): a pathway for sustainable urban development. *Climate and Development*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/17565529.2022.2092051>
- Hayes, A.T., Jandaghian, Z., Lacasse, M.A., Gaur, A., Lu, H., Laouadi, A., Ge, H., and Wang, L., 2022: Nature-Based Solutions (NBSs) to Mitigate Urban Heat Island (UHI) Effects in Canadian Cities. *Buildings*, 12, 925. <https://doi.org/10.3390/buildings1207092512>
- IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution on Climate Change of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. *Cambridge University Press*, Cambridge (United Kingdom) and New York, NY (USA), 3056 pp. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Masson, V., 2000: A Physically-Based Scheme For The Urban Energy Budget In Atmospheric Models. *Boundary-Layer Meteorology* 94, 357–397. <https://doi.org/10.1023/A:1002463829265>
- Masson, V., Champeaux, J.-L., Chauvin, F., Meriguet, C. and Lacaze, R., 2003: A global database of land surface parameters at 1-km resolution in meteorological and climate models. *Journal of Climate* 16, 1261–1282. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)16<1261:AG-DOLS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)16<1261:AG-DOLS>2.0.CO;2)
- Masson, V., Le Moigne, P., Martin, E., Faroux, S., Alias, A., Alkama, R., Belamari, S., Barbu, A., Boone, A., Bouysse, F., Brousseau, P., Brun, E., Calvet, J.-C., Carrer, D., Decharme, B., Delire, C., Donier, S., Essauoui, K., Gibelin, A.-L., Giordani, H., Habets, F., Jidane, M., Kerdraon, G., Kourzeneva, E., Lafaysse, M., Lafont, S., Lebeaupin Brossier, C., Lemonsu, A., Mahfouf, J.-F., Marguinaud, P., Mokhtari, M., Morin, S., Pigeon, G., Salgado, R., Seity, Y., Taillefer, F., Tanguy, G., Tulet, P., Vincendon, B., Vionnet, V., and Voldoire, A. 2013: The SURFEXv7.2 land and ocean surface platform for coupled or offline simulation of earth surface variables and fluxes, *Geosci. Model Dev.*, 6, 929–960. <https://doi.org/10.5194/gmd-6-929-2013>
- MÉS-2, 2018: Second National Climate Change Strategy (in Hungarian). *Ministry of Innovation and Technology*, Budapest (Hungary), 251 p.
- Noilhan, J., Planton, S., 1989: A simple parameterization of land surface processes for meteorological models. *Monthly weather review*, 117(3), 536–549. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1989\)117<0536:A-SPOLS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1989)117<0536:A-SPOLS>2.0.CO;2)
- Oke, T.R., 1982: The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Oke, T.R., 1987: *Boundary layer climates*, 2nd ed. Routledge, New York (USA)
- Qi, J.-D., He, B.-J., Wang, M., Zhu, J., and Fu, W.-C., 2019: Do grey infrastructures always elevate urban temperature? No, utilizing grey infrastructures to mitigate urban heat island effects. *Sustainable Cities and Society*, 46, 101392. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.12.020>
- Žuvela-Aloise, M., Koch, R., Buchholz, S., and Früh, B., 2016: Modelling the potential of green and blue infrastructure to reduce urban heat load in the city of Vienna. *Climatic Change*, 135, 425–438. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1596-2>
- Žuvela-Aloise, M., Andre, K., Schwaiger, H., Bird, D.N., and Gallaun, H., 2017: Modelling reduction of urban heat load in Vienna by modifying surface properties of roofs. *Theoretical and Applied Climatology*. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-2024-2>

Internetes hivatkozások

- [1] https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_hazai_valtozasok/hosegindexek/



Víztölcsérek, tornádók a Balatonnál

Kurcsics Máté, Komjáti Kornél

HungaroMet Nonprofit Zrt., kurcsics.m@met.hu

DOI:10.56474/legkor.2025.4.3

Manapság egyre gyakrabban olvashatunk arról, hogy Európa tengerei felett a zivatarfelhőkből a vízfelszínig lenyúló igen látványos, örvénylő vízoszlop, úgynevezett víztölcsér jön létre. A jelenség különösen gyakori a Földközi- és a Fekete-tengeren, de az Atlanti-óceán partvidékén, illetve az Északi- és a Balti-tengeren is többször előfordul. A víztölcsérek nyáron és ősszel a leggyakoribbak, kialakulásuk ugyanis a meleg tengervíz feletti zivatarokhoz kötődik. A tengerek hőmérsékletének emelkedésével egyre gyakoribbá váltak az elmúlt évtizedekben, különösen a mediterrán térségben. Víztölcsérek azonban nem csak tengerek felett jönnek létre, Közép-Európa második és harmadik legnagyobb állóvizén, a Genfi-tavon és a Bodeni-tavon is visszatérő jelenségek. Ez alapján jogosan merül fel a kérdés, vajon mi a helyzet Közép-Európa legnagyobb tavánál, a Balatonnál?

Waterspouts at Lake Balaton

Nowadays there have been increasing reports of spectacular, rotating water columns, so called waterspouts over the European seas. The phenomenon is frequent over the Mediterranean and Black Seas, but it also occurs along the Atlantic coast as well as over the North and Baltic Seas. Waterspouts are most frequent during the summer and autumn months, as their formation is associated with thunderstorms over warm sea surfaces. With the rising sea surface temperatures observed in recent decades, especially in the Mediterranean region, the occurrence of waterspouts has become more frequent. However, waterspouts are not limited to marine environments. They are recurring phenomena over Central Europe's second and third largest lakes, Lake Geneva and Lake Constance. This raises a justified question: what is the situation at Central Europe's largest lake, at Lake Balaton?

Mi az a víztölcsér?

A víztölcsér egy víz feletti tornádó, amit trombának is szokás nevezni. A tornádó egy zivatarfelhőből lenyúló, örvénylő légoszlop, amelyet általában a levegőből kicsapódó vízpára, illetve a felszínről felkapott törmelék vagy víz fest meg. A tornádók

átmérője általában legfeljebb pár száz méter, ebben a keskeny sávban haladva azonban igen jelentős pusztítást végezhetnek. Két fő típusuk különíthető el. A jellemzően erősebb, különösen veszélyes tornádók egy örvénylő zivatarfelhő (szupercella) forgó feláramlásából alakulnak ki. Az általában kevésbé heves társaik akkor jönnek létre, amikor egy

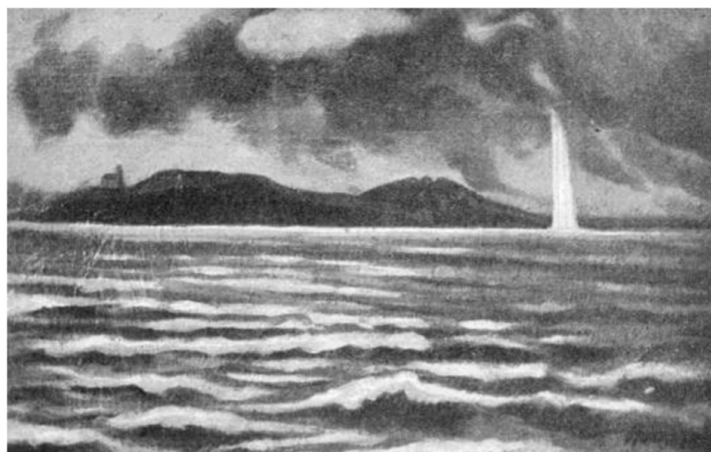
zivatarfelhő egy tartós felszíni összeáramlási zóna fölé helyeződik. Utóbbi kategóriába tartozik a víztölcsérek többsége is.

Míg a szárazföldi tornádók színe a felszínről felkapott por hatására általában sötét, a víztölcsérek világos, fehéres színű vízoszlopként jelennek meg. Ez a vízoszlop a felszín közelében látszólag meg is szakadhat, ugyanis a víztölcsérnek csak egy kisebb része származik a tengerből vagy tóból felszívott vízből, nagyobb részét a felhő adja. A tengeri hajósok már több száz éve megfigyelték, hogy a víztölcsér szétesésekor nem sós, hanem édesvíz hullik vissza rájuk. Eleinte erre még olyan elméletet is megalkottak, hogy a víztölcsér „desztillálja” a tengervizet, a 18. században viszont már rájöttek a valós magyarázatra: a víztölcsérek a felszívott vizet szökőkút-szerűen szórják ki magukból. Lehetnek egy helyben időzők vagy gyorsmozgásúak is. Bár a szárazföldre kiérve a többségük nem végez nagy pusztítást, a vízen tartózkodók számára nagy veszélyt jelenthetnek. Egy átlagos víztölcsér élettartama 5-15 perc, átmérője 10-50 méter, magassága pedig a zivatarfelhő alapjától függ, jellemzően 500 és 1000 méter között alakul. A víztölcsérek nem összekeverendők a kifutószél-front mentén kialakuló felszínközeli örvénnyel, a gustnadoval, amely nem kapcsolódik zivatarfelhő alapjához, és jóval gyakrabban előfordul a Balatonnál.

Víztölcsérek a Balatonon a XIX. században

Annak megválaszolásához, hogy a Balatonnál is kialakulnak-e víztölcsérek, a múltba kell tekintenünk. Nincs egyszerű dolgunk, ugyanis a rendelkezésre álló források sok hibát tartalmazhatnak. Gyakori, hogy száraz szélviharokra hivatkoznak balatoni tornádóként, vagy éppen apró, felszínközeli örvényeket neveznek víztölcsérnek. A rendelkezésre álló forrásokat alaposan megvizsgáltuk, a tévesen víztölcsérnek, tornádónak minősített eseteket kiszűrtük, így állt össze az az ismeretanyag, amit most bemutatunk.

A víztölcsérek rendkívül látványos, érdekes és veszélyes időjárási jelenségek, így szerencsére nyomuk maradt a sajtóban már csaknem 200 évvel ezelőtt is. Az első említés balatoni víztölcsérről még 1830-ból származik, amikor is a Magyar Hírmondó egy hatalmas tölcser útját írta le a Balaton felett, amelynek a teteje a felhőket nyaldosta. 1863-ból már részletesebb adatok is rendelkezésünkre állnak. Ekkor délnyugati irányból egy felhőtölcsér közelített Tihany felé, ami aztán a fél-szigettől keletre a vízfelszín elérté víztölcsérré alakult



1. ábra. Protiwinsky Ferenc: Víztölcsér a Balatonon c. festménye Mészöly Gyula *Balatonkultusz és a kisemberek* c. könyvéből. A bal oldali épület a Tihanyi Apátság, míg a kép jobb oldalán a víztölcsért ábrázolta a festő. Az 1900 körül készült festmény az 1863-as víztölcsért ábrázolja elbeszélések alapján.

(1. ábra). A beszámoló szerint „a fehér, papírsárkányhoz hasonlatos sáv mérföldekre hangzó zúgással haladt az akarattjai partok felé, majd a part közelébe érve elvékonyodott és feloszlott” (Mészöly, 1907). Viharos időt hozott 1875 júliusa, még a füredi Anna-bált is augusztusra kellett halasztani. Július 9-én előbb észak felől hidegfront, majd délnyugat felől zivatarok csaptak le a Balatonra. A vihar „merő tajtékká verte a vizet”, majd Tihanynál hatalmas, gyönyörű víztölcsér jelent meg (Vidék, 1875). A gyorsan haladó vízoszlop a kenesei partok közelében omlott össze, hasonló útvoalat bejárva, mint az 1863-as víztölcsér.

Rendkívül gazdag volt víztölcsérekben az 1895-1896-os időszak, mindkét esztendőben több esetet jelentettek a Balaton különböző részéről. 1895 augusztusában Balatonalmádiban két víztölcsért is megfigyeltek, az egyik egy vitorlás hajót is összetört, de a Kelén hajó is találkozott víztölcsérrel abban az évben (*Víztölcsér a Balatonon*, 1895). 1896-ban a Balaton nyugati részén alakultak ki víztölcsérek májusban és augusztusban. Augusztus 1-jén északnyugat felől intenzív villámlással, viharos széllel kísért heves zivatarok érték el a Balatont, amelyekhez kapcsolódóan négy víztölcsér is megjelent a tavon a Szigliget-Fonyód vonalon. A róluk beszámoló, Badacsonyból Balatonfüredre tartó kereskedőhajó kapitánya „csodálatos tüneményként” írta le a víztölcséreket, amelyeket azonban nem sokáig figyelhetett meg, a viharos szélben ugyanis egyik matróza a vízbe esett, akit nem tudtak kimenteni (Propper, 1899).

A következő víztölcsérre is csak két évet kellett várni, amely majdnem szintén tragédiával végződött. 1898. november 26-án délelőtt erős zivatarok

érték el a Balaton nyugati részét. Már önmagában ez is szokatlannak számít november végén, hát még az, hogy Fenékpusztja térségében, a Zala folyó torkolatánál óriási, toronymagasságú víztölcsér jelent meg. A vízoszlop gyorsan mozogva, hangos zúgással haladt a nyílt víz felé egy halász irányába, akinek a csónakját felborította, de a segítségére sietők szerencsésen kimentették a hullámozó Balatonból. A víztölcsér legalább 1 km-es utat tett meg, mielőtt szétesett (*Víztölcsér a Balatonon*, 1898).

Víztölcsérek a Balatonon a XX. század első évtizedeiben

A Balaton egyik leglátványosabb és talán legtöbb ember által megfigyelt víztölcsére alakulhatott ki 1909. augusztus 29-én (2. ábra). Ez a nap volt a nyár utolsó vasárnapja, ami ráadásul igen meleg időt hozott, így minden bizonnyal sokan tartózkodtak a vízen vagy a parton, Almádiban pedig a népiünnepély megtartására készültek. Délután azonban kelet felől nagy vihar érkezett a Balatonhoz, ami elmosta a mulatságot. Helyette egészen más élményben volt része a közönségnek: egy hatalmas, fehér, márvány színű, forgó vízoszlop alakult ki, amely hangos zúgással haladt nyugat felé, majd Tihanyhoz közeledve, a part közelébe érve



2. ábra. Víztölcsér a Balaton keleti medencéjében 1909. augusztus 29-én. Minden bizonnyal ez a legelső, magyarországi tornádóról készített fényképl

Forrás: Zászlónk c. ifjúsági lap.

elvékonyodott és feloszlott. A beszámolók félelmetes, ugyanakkor felejthetetlen jelenséggént írták le a víztölcsért (*Víztölcsér a Balatonon*, 1909; *Futó víztorony a Balatonon*, 1909).

1930-ban két víztölcsér is kialakult a Balatonon, és egyik sem a nyári időszakban. Április 29-én tornádó pusztított Fonyódon, amely hatalmas fákat csavart ki, téglafalakat döntött le és tetőszerkezeteket tépett le (3. ábra). A zivatar délnyugat felől érte el a települést, félelmetes csattogás, recsegés közepette átvonult a belőle lenyúló tornádó a Balaton irányába. A forgószele a Balaton felett víztölcsérré vált, és 2-3 km-t még a víz fölött is megtett, mielőtt feloszlott (*Tornádó Fonyódon*, 1930). A tavaszi esetet késő ősszel, 1930. november 23-án egy újabb víztölcsér követte. A Balatonra a nyugodt, napos időt követően hirtelen csapott le a zivatar, kifutószele pedig az eleinte mozdulatlan víztükrön nagy robaj kíséretében korbácsolta fel a hullámokat. Ezt követően a Balatonszabadi előtti vízterületen egy víztölcsért is észleltek. A beszámoló szerint a gyönyörű, egyben félelmetes vízoszlop perceként keresztül megfigyelhető volt, teteje felnyúlt egészen a felhőkig, az alján pedig mint egy szökőkút, szórta maga körül a vízsugarakat (*Víztölcsér a Balatonon*, 1930).



3. ábra. Az 1930-as fonyódi tornádó pusztítása.
Forrás: Természettudományi Közöny.

Víztölcsérek a balatoni viharjelzés kezdete óta

1934-ben megkezdte működését a balatoni viharjelző szolgálat, az 1951-es, II. világháború utáni újra indulásától pedig már a vízpartról, Siófokról történt a szolgálat ellátása (a jelenlegi Siófoki Viharjelző Observatórium 1956 év végére épült meg). Emiatt egyre több szakember figyelme irányult a Balatonra,

így egyre pontosabb leírások állnak rendelkezésünkre a „magyar tenger” víztölcséreiről. 1954. július 8-án a Kárpát-medence felett egy nagy kiterjedésű ciklon helyezkedett el. A ciklon forgásából adódóan nyugati oldalán hideg, keleti oldalán meleg levegőt szállított, így míg Münchenben csak 10 fok volt, addig Bukarestben 30 fokig emelkedett a hőmérséklet. A ciklon az egész országban zivataros időjárást okozott, Siófokot is több zivatar érintette a nap folyamán. Kora este Siófok és Balatonkenese között a sötét felhőket és a Balaton vizét egy eleinte keskeny, majd alul és felül is megvastagodó víztölcsér kötötte össze. Magassága 500-600 méter lehetett és lassan, „imbolyogva”, kígyózó mozgást végezve haladt Balatonkenese irányába. Világosabb színű volt a felhőzetnél, körülötte pedig az erős szél által felkorbácsolt hullámok voltak láthatók, miközben Siófokon alig mozdult a levegő. A víztölcsér Siófokról 6 percen át volt megfigyelhető, utána eltűnt az esőfüggöny mögött (*Kallós Imréné, 1954*).

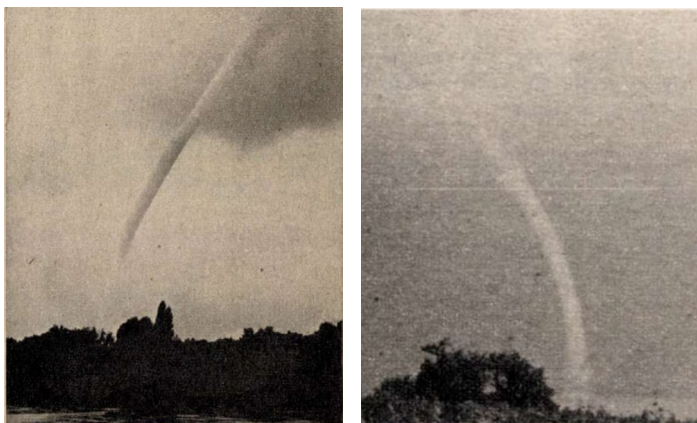
Csak egy évet kellett várni a következő balatoni víztölcsérre. A légörvény 1955. július 15-én a szárazföld felett keletkezett Badacsony közelében, onnan ért a víz fölé és alkotott több száz méter magas víztölcsért (*Hédervári, 1968*). Több információnk erről a víztölcsérről nincs, nem úgy a 8 évvel későbbiről! 1963. július 11-én egy közeledő hidegfront előtt meleg, nagy nedvességtartalmú, trópusi eredetű levegő töltötte ki a Kárpát-medencét (*Miniatűr ciklon okozta a balatoni víztölcsért, 1963*). Zivatarkepződésre hajlamos volt az időjárás, amit már reggel jeleztek a pár km-es magasságban megfigyelhető apró felhőtornyok (altocumulus castellanus felhők). A hidegfront megérkezése előtt már egy instabilitási vonal vonult át a Balaton térségén, amelyen erős zivatarok alakultak ki. Az egyik zivatarból felhőtölcsér nyúlt le, amely aztán az ábrahámhegyi strandnál földet is ért. Ott még csak a homokot kavarta fel, a Balaton fölé érve azonban teljesen kifejlődött, és 700 méter magas, igen látványos vízoszlopot alkotott (*Zách, 1963a; Zách, 1963b*). A szürkésfehér színű, a közepén 4-5 méter, az alján és a tetején 10-15 méter vastag víztölcsérről már jó minőségű fénykép is rendelkezésünkre áll (4. ábra). A víztölcsér behatolt a Balatonba is, felkavarta az iszapot és 20 méter magasról, mint egy szökőkút szórta ki magából a vizet és még kisebb halakat is felszívott. 13 perces élettartam után a vízoszlop az alsó részénél megszakadt, majd teljesen széthullott (*Aujeszy, 1963*).

Nem kellett túl sokat várni a következő víztölcsérre sem, hat évvel később, 1969. augusztus 8-án újabb látványos víztölcsér volt megfigyelhető a Balaton középső részén (*Óriási víztölcsér a Balaton fölött, 1969*).



4. ábra. Víztölcsér 1963. július 11-én a Révfülöp előtti vízterületen, Balatonboglárról fotózva. Készítette: id. Lukács Zoltán, rendelkezésünkre bocsátotta: Molnár „Storman” Ákos.

A jelenség egy közeledő hidegfront közvetlen előterében egy délnyugat felől érkező zivatarfelhőben alakult ki. A beszámolók óriási, félelmetesen gyönyörű víztölcsérről szólnak, amelyet rémülten figyeltek a vízpartról az üdülők. Pontos információk állnak rendelkezésünkre a jelenségről, egy szolgálatban lévő vízrendőr ugyanis észlelte, majd motorcsónakjával 200 méternyire meg is közelítette a víztölcsért. A vízoszlop északkeleti irányba haladt az Ábrahámhegy és Révfülöp közötti vízterületen, mintegy másfél kilométernyire az északi parttól, miközben a zivatarfelhőből csapkodtak a villámok. Becsült magassága 600-700 méter, átmérője 20-25 méter volt és fehér színével élesen kirajzolódott a sötét felhők alkotta háttérből (5. ábra). A víztölcsér 40 méteres körzetben felszippantotta a hínárt és a halakat, és még 200 méteres távolságból is érződött az erős szívóhatása. Már negyedórája megfigyelhető volt a közel függőleges vízoszlop, amikor az érkező hidegfrontból kitört az északi szél és meggörbítette azt. A tölsér vize óriási robajjal hullott bele a Balatonba és mintegy 20 perces élettartam után megszűnt (*Zách, 1969a; Zách, 1969b*).



5. ábra. Víztölcsér az Ábrahámhegy előtti vízterületen 1969. augusztus 8-án Sági István (*Élet és Tudomány*) és Járari Kornél (*Somogyi Néplap*) felvételén.

A füredi tornádó (1972)

Kevesebb, mint három év múlva, 1972. május 19-én Tihanynál alakult ki víztölcsér, amely aztán elérte a szárazföldet is és a füredi tornádó néven vált ismertté. Ezen a napon a Siófoki Viharjelző Observatórium tornyában dr. Bartha Imre, az Observatórium fiatal meteorológusa – későbbi vezetője – teljesített viharjelző szolgálatot, akivel több, mint 50 év távlatából emlékeztünk vissza az eseményekre. Ezen a napon a Balaton térsége egy mediterrán ciklon melegszekektörében helyezkedett el, amelynek középpontja Észak-Olaszország felett volt (Bartha, 1972). A felszín közelében délies áramlással még meleg levegő érkezett a Balatonhoz, miközben a magasban lehűlés zajlott, ami növelte a légköri labilitás mértékét. Eközben délnyugat felől már hidegfront közelített. Ezek az időjárási körülmények a legveszélyesebbek közé tartoznak a Balatonnál, ugyanis a délnyugat felől érkező frontokból gyakran a magasban előre szaladó hideg levegő (instabilitási vonal) a rendkívül labilis légtömegbe érkezve heves, láncba rendeződő zivatarok kialakulásához vezethet. Egy közeledő instabilitási vonalat Bartha Imrének már reggel sikerült felismernie a megrajzolt meteorológiai térképeken, így az igen veszélyes időjárási helyzetre való tekintettel már kora délelőtt elrendelte a piros viharjelző rakéták fellövését.

Akkoriban az élet- és vagyonvédelmet szolgáló rakétás viharjelző rendszer életbe léptetése az egész Balatonon átlagosan 1-2 órát vett igénybe. Ma ugyanez a riasztási mód a korszerű számítógéppel vezérelt fényjelző rendszerrel már 1-2 perc alatt teljesíthető.

A délelőtti folyamán a horvát, szlovén és bosnyák területekről beérkező megfigyelésekből már kirajzolódott, hogy az instabilitási vonal mentén zivatarlanc alakult ki, amely aztán délnyugat felől belépett az országba. 1972-ben az Országos Meteorológiai Szolgálatnak még nem volt saját radarhálózata. Így a rendkívül veszélyes helyzetre való tekintettel Bartha Imre telefonon, a ferihegyi repülőtérrel, illetve a Honvédség pápai repteréről szerzett információkat a közeledő zivatarok mozgásáról az ottani radarmérések alapján. Délre a zivatarlanc elérte a Balaton nyugati részét, majd a tó keleti felében is egyre félelmetesebb képet öltött a nyugati égbolt. Miközben Siófokon Bartha Imre visszaemlékezése alapján igazi vihar előtti csend volt, egy falevél se rezdült, csak távoli morajlás hallatszott, az érkező zivatarláncból Tihanynál egy víztölcsér nyúlt le, amely az északi part irányába haladt. A beszámolók alapján a víztölcsér szélessége akár a 100 métert is meghaladhatta. A 6. ábrán látható fotók gyönyörűen megörökítették a tornádó kialakulásának fázisait. Az I. állapotban látható, ahogyan a zivatarfelhő a csapadékhullás előtti területéről egyre intenzívebben szívta



6. ábra. A Balatonfüredet elérő víztölcsér kialakulásának négy pillanata a Balaton felett 1972. május 19-én délután. A képeket készítette: Mocsán Ferenc, rendelkezésünkre bocsátotta: Lipták Gábor Városi Könyvtár, Balatonfüred.



7. ábra. Kidőlt fák a balatonfüredi Tagore sétányon az 1972-es tornádót követően. A képek forrása: Lipták Gábor Városi Könyvtár, Balatonfüred.

magába a meleg, nedves levegőt. Az ebből a levegőből kicsapódó nedvességből indult meg a zivatarfelhő ún. falfelhőjének kialakulása. A II. állapotban a forgó feláramlás erősödésével a feláramlási csatornában fokozatosan csökkent a légnyomás, és megjelent a felhőalap alól benyúló, tölcsér alakú felhőképződmény, az úgynevezett tuba. Ezzel párhuzamosan a felszín közeli örvénylés is megfigyelhető volt már. A III. és IV. állapotban pedig láthatjuk a felhőtölcser teljes kifejlődését, ahogyan a felszín közeli örvény fokozatosan összekapcsolódott a zivatarfelhő forgó feláramlásával – ezzel létrejött a víztölcser.

A tornádó Balatonfürednél érte el a szárazföldet, ahol a híres Tagore sétány fáit gyökerestől tépte ki vagy törte ketté, alig maradt ép platánfa (7. ábra). A sétányon nemhogy közlekedni, de átlátni se lehetett. Az éjszakai sötétségbe borult Balatonfüreden körülbelül 150 ház szenvedett súlyos károkat. A tornádó pusztítását dió nagyságú jég és tartós csapadék is súlyosbította. A pusztítás alapján a tornádóban a legnagyobb szélsébség 140 km/h lehetett. Ehhez képest a Tagore sétánytól alig 150 méternyire üzemelő füredi automata szélműszer csupán 40 km/h-s széllekés adatot továbbított. Ez jól mutatja, milyen keskeny sávra korlátozódott a forgószeél, mennyire lokális pusztítás kapcsolódott hozzá.

1972-ben nem a füredi volt az egyetlen tornádó a Balatonnál, július 25-én Balatonlellén is egy tornádó okozott jelentős károkat. A vihar fákat tört derékba, házak tetőszerkezetét emelte le, cserepek sokaságát

repítette levegőbe. Hiteles szemtanúk telefonos bejelentései alapján az erős forgószeél még egy kombájnt is megemelt és kb. 3-5 méterrel arrébb tett. A siófoki viharjelző szolgálat információi alapján az említett tornádó nem érte el a Balatont, mert a tóhoz közeledve már jelentősen legyengült.

A boglárlellel tornádó (1978)

Bármilyen furcsa az eddig olvasottakat követően, 1972-vel a végére értünk az ismert balatoni víztölcserék bemutatásának. Van azonban még egy eset, ami mellett semmiképp sem mehetünk el szó nélkül, ugyanis közvetlenül a Balaton mellett történt, jelentős károkat okozott és rövid ideig víztölcser is volt. 1978. június 25-én ismerete-

ink szerint a legerősebb, legnagyobb károkat okozó balatoni tornádó haladt végig több déli parti településen, a mai Balatonfenyvestől kezdődően Fonyódon, Balatonbogláron és Balatonlellén át egészen Balatonszemesig (*Tornádó tombolt a Balaton parton*, 1978). Szerencsétlen módon a tornádó a partvonallal éppen párhuzamosan haladt, nem sodródott be a Balaton fölé, így a településeken végighaladva jóval nagyobb pusztítást végzett, mint bármelyik korábban említett víztölcser. Amellett, hogy a legerősebb balatoni forgószeélről van szó, ez a tornádó országos viszonylatban is a legjelentősebbek közé sorolható. Az okozott károk alapján a legerősebb széllekések 200-250 km/h körül alakulhattak benne, ezen becslés alapján pedig a tornádó a legerősebb balatoni viharra lépett elő. (A mért balatoni szélrekord jelenleg 157 km/h, amelyet egy 2017-es zivatar idején rögzítettek.)

A boglárlellel tornádót megelőző napon, június 24-én Észak-Olaszországban már emberéletet is követelő tornádó pusztított. Június 25-én északnyugat felől hidegfront közelítette a Balatont, annak előterében pedig délnyugati irányból zivatarok érkeztek. A heves zivatarok veszélye miatt a Siófoki Viharjelző Observatóriumban délután 2 órakor elrendelték a piros viharjelző rakéták fellövését, három órával később pedig Balatonfenyvesnél egy forgó zivatarfelhőből tornádó alakult ki (*Bőjti*, 1979). A forgószeél kb. 20 km hosszan, mintegy 200 méter széles sávban több száz



8. ábra. A romokba dőlt Berzsényi utca Balatonlennél az 1978-as tornádót követően. Forrás: Somogyi Néplap.

házban tett igen jelentős károkat, romba döntött teljes utcákat (8. ábra). Boglár-ról gyufaszál módjára derékba törő vasbeton oszlopokról, Lelléről 1-2 percig tartó rettenetes zúgásról és 60 méteres távolságra elrepült ház-tetőről számoltak be. Érdekesség, hogy bár a tornádó nem ért a Balaton fölé, a fonyódligeti halastavak felett áthaladva rövid ideig mégiscsak víztölcsérré vált.

Általános következtetések

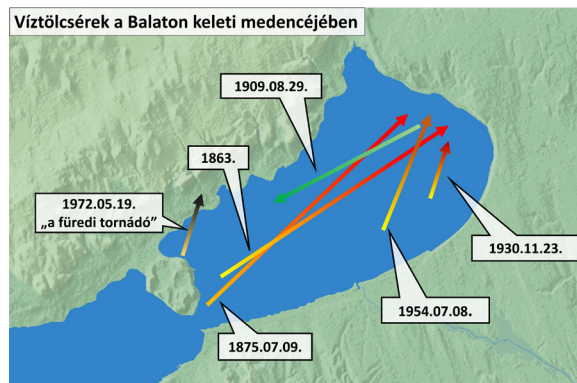
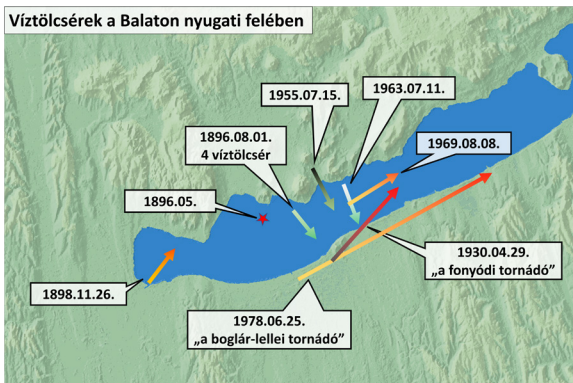
Az egyes esetek áttekintését követően, most összesítve is megvizsgáljuk a Balaton víztölcséreit. Az 1. táblázatban látható, hogy az elmúlt 200 évből 16 balatoni víztölcséres alkalomról van tudomásunk (emellett hat, a Balaton közelében kialakult tornádóról, amelyek nem értek a víz fölé). A valós szám ennél biztosan magasabb, ahogy megyünk visszafelé az időben, egyre nagyobb az esélye, hogy nem tudunk minden esetről. A víztölcsérek legvalószínűbb előfordulási helyét és mozgási irányát a 9. ábrán láthatjuk. 13 balatoni víztölcsér mozgását tudtuk rekonstruálni

a rendelkezésre álló információk alapján. Ebből 9 alkalommal délnyugat felől érkező zivatarhoz, 3 alkalommal északnyugat felől érkező zivatarhoz, egyetlen alkalommal pedig északkelet felől érkező zivatarhoz kapcsolódóan alakult ki víztölcsér. Legnagyobb eséllyel tehát a délnyugat felől érkező, magányos vagy zivatarláncba épülő szupercellákban alakul ki balatoni víztölcsér. Két térség tűnik kifejezetten alkalmasnak víztölcsérek kialakulására: a Balaton középső területe megközelítőleg a Badacsony-Fonyód vonaltól a Révfülöp-Balatonlelle vonalig, illetve a Balaton keleti medencéje.

Hová lettek a Balatonról a víztölcsérek?

Ahogy már említettük, a vízfelszínnek egyre magasabb hőmérséklete miatt a Föld különböző területein egyre gyakrabban alakulnak ki víztölcsérek, a Balatonnál azonban teljességgel ellentétes tendencia rajzolódik ki. Napjainkban pedig már kamerák sokasága pásztázza a Balatont, illetve a legtöbbünkönél egy jó minőségű kamerával felszerelt okostelefon is állandóan kéznél van, így, ha víztölcsér alakulna ki a Balaton felett, arról sokkal nagyobb valószínűséggel szerezni tudnánk tudomást, mint 50-150 évvel ezelőtt. Mindezek ellenére a rendelkezésünkre álló adatokból az a kép rajzolódik ki, hogy míg az 1972-es füredi tornádóig átlagosan 8-10 évente kialakult egy látványos, emlékezetes, hosszabb életű víztölcsér a Balatonon (volt, hogy 1-2 éven belül több is), azóta egyáltalán nem tudunk a jelenség kialakulásáról.

Víztölcsérről ugyan nem maradt fenn észlelés, azonban egy-egy tornádó azért előfordult a Balaton közelében az elmúlt 50 évben is. Az 1978-as boglár-lellei tornádó mellett 1996. június 21-én két tornádó is jelentős pusztítást végzett a térségben. Az első tornádó Zala megyén vonult végig keleti irányba haladva és Sármelléken okozta a legnagyobb károkat [1],



9. ábra. Az elmúlt 200 év balatoni víztölcséreinak rekonstruált előfordulási helye és mozgási iránya a Balaton nyugati és keleti felében.



10. ábra. Amikor utoljára a legközelebb voltunk egy víztölcsér kialakulásához... Látványos felhőtölcsér 2023. november 6-án Balatonföldvár felett. Fotó: Kurcsics Máté.

a második pedig a Balatontól kissé délebbre, Torvaj és Sérsekszőlös településeken (Horváth, 1996). Felhőtölcsérek (tubák) ennél gyakrabban is előfordulnak, a legtöbb esetben azonban az örvény nem nyúlik le a felszín közelébe. Az elmúlt 20 évből két kivételtől tudunk, amikor a tuba rövid időre elérte a talajt a Balaton partján, ezzel tornádóvá vált. 2007. augusztus 20-án Balatonaligánál, a szárazföld felett figyeltek meg felhőtölcsért, amely pár másodpercig elérte a felszínt. 2023. november 6-án pedig Balatonföldvár térségében jött létre egy nagyon látványos és fejlett felhőtölcsér (10. ábra, 1. videó). Nem sokon múlt, hogy a Balaton vizét elérve víztölcsérré alakuljon, a parton pedig le is ért a talajra, így tornádónak tekinthetjük. A novemberi időpont már nem is lehet meglepő, mivel két novemberi víztölcsért is bemutattunk korábban. Ez azonban a Balaton felett csak egy látványos felhőtölcsér maradt.

Nagy az esélye, hogy kevésbé látványos, pusztítást alig végző tornádók (mint a 2007-es vagy a 2023-as) a múltban is többször kialakultak a térségben, csak ezek megfigyelés, érdeklődés hiányában feljegyzetlenül maradtak. Így még a környéken előfordult tornádók figyelembevételével sem állíthatjuk azt, hogy csupán a véletlen műve lenne, hogy az elmúlt 50 évből nem tudunk balatoni víztölcsér kialakulásáról. Azonban annak megválaszolása, hogy ennek háttérében milyen légköri folyamatok állnak, még további vizsgálatokat igényel. S hogy mi a teendő, ha egyszer az a szerencse/balszerencse ér minket, hogy víztölcsérrel találkozunk a Balatonon, azt ma sem fogalmazhatnánk meg jobban, mint ahogy dr. Aujeszký László tette 1970-ben: „Hogyan viselkedjék a balatoni evezős, ha a Balaton tükre felett víztölcsért pillant meg? Azonnal igyekezzék a partra kijutni, mert tornádó közelében a vízen

tartózkodni rendkívül kockázatos. Ha pedig a partról látja a víztölcsért, akkor rohanjon a fényképezőgépeért, mert ritka természeti jelenséget örökíthet meg.”

Irodalomjegyzék

- Aujeszký László (1963): A balatoni víztölcsér. *Élet és Tudomány*, 18, 898.o.
- Bartha Imre (1972): Tornádószerű víztölcsér a Balatonon. *Léggör*, 17, 70-74. o.
- Böjti Béla (1979): A 45. balatoni viharjelző idény krónikája. *Léggör*, 24, 32-33. o.
- Hédervári Tibor (1968): Tornádók, trombák, víztölcsérek. *Élet és tudomány*, 23, 293-297. o.
- Horváth Ákos (1996): Tornádó! *Léggör*, 42 (4), 2-8. o.
- Kallós Imréné (1954): Víztölcsér a Balaton felett. *Időjárás*, 58, 255-256. o.
- Mészöly Gyula (1907): Balatonkultusz és a kisemberek. Veszprém, Egyházmegyei Könyvnyomda, 1907.
- Propper N. János (1899. július 23): Vihar a Balatonon. *Budapesti Hírlap*, 19 (202), 7. o.
- Zách Alfréd (1963a): Az 1963. július 11-i balatoni víztölcsér. *Természettudományi Közöny*, 94, 376-377. o.
- Zách Alfréd (1963b): Víztölcsér a Balatonon. *Léggör*, 8, 97-98. o.
- Zách Alfréd (1969a): Víztölcsér. *Élet és Tudomány*, 24, 1730.; 1755. o.
- Zách Alfréd (1969b): Víztölcsér a Balaton felett. *Léggör*, 14, 64-65. o.
- Futó viztorony a Balatonon (1909. szeptember 15). *Zászlónk*, 8 (1), 6. o.
- Miniatűr ciklon okozta a balatoni víztölcsért (1963. július 15.). *Hétfői Hírek*, 7 (29), 3. o.
- Óriási víztölcsér a Balaton fölött (1969. augusztus 19.). *Somogyi Néplap*, 25 (191), címlap
- Vidékc. rovat (1875. július 14.). *Fővárosi Lapok*, 12 (158), 714. o.
- Víztölcsér a Balatonon (1895. augusztus 20.). *Magyarország*, 2 (227), 6. o.
- Víztölcsér a Balatonon (1898. december 4.). *Zalamegye*, 4 (49), melléklet
- Víztölcsér a Balatonon (1909. szeptember 7.). *Somogyvármegye*, 203. sz. 5. o.
- Víztölcsér a Balatonon (1930. november 27.). *8 órai újság*, 16 (271), 9. o.
- Tornádó Fonyódon (1930). *Természettudományi Közöny*, 62, 379-381. o.
- Tornádó tombolt a Balaton parton (1978. június 27., i.: Bencsik András). *Somogyi Néplap*, 34 (149), címlap

Internetes hivatkozások

- [1] - <https://www.zaol.hu/helyi-kozelet/2022/01/emlekszik-arra-amikor-tornado-tombolt-zalaban>



A május és a rákövetkező augusztus átlaghőmérséklete közötti kapcsolat Magyarországon (1976–2025)

Babolcsai György

HungaroMet Nonprofit Zrt., babolcsai.gy@met.hu

DOI:10.56474/legkor.2025.4.4

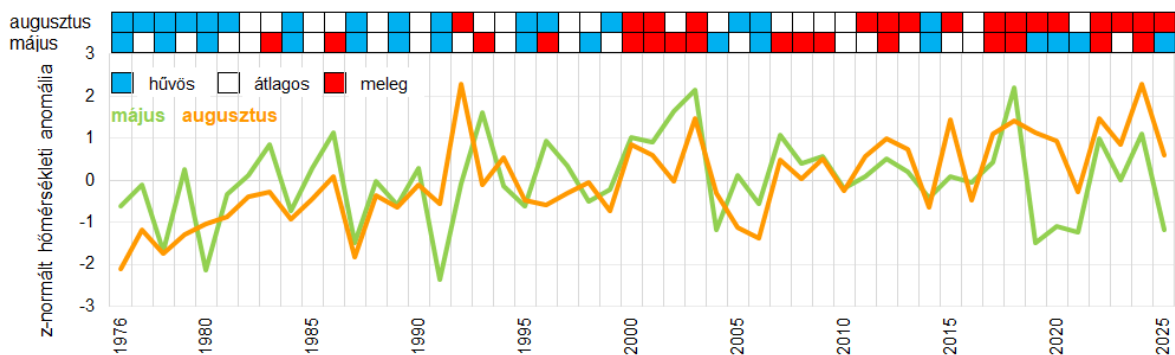
Az elmúlt 50 évben a május és az augusztus havi átlaghőmérséklete között szignifikáns kapcsolat mutatkozott Magyarországon. Az átlagosnál melegebb májust jóval nagyobb eséllyel követte meleg augusztus, mint hűvös, hűvös májust pedig hűvös augusztus, semmint meleg. 2019 óta megtörni látszik ez a szoros kapcsolatot, a hűvös májusokat követően is nagyrészt meleg augusztusok jöttek. A következő évek megmutatják, hogy átmeneti jelenségről van-e szó.

The relationship between the average temperatures of May and the following August in Hungary (1976–2025)

For most of the past 50 years, there has been a significant relationship between the average monthly temperatures of May and August in Hungary. A warmer-than-average May was much more likely to be followed by a warm August than a cool one, and a cool May was more likely to be followed by a cool August than a warm one. This close relationship seems to have broken down since 2019, with cool Mays also mostly followed by warm Augusts. The following years will show whether this is a temporary phenomenon.

Azok a kutatások, amelyek hosszútávú előrejelzési lehetőséget remélve kapcsolatot keresnek egy adott térség havi hőmérsékleti anomáliái között, többségükben egymást követő hónapokat vizsgálnak, és a perzisztencia (megmaradás) jelenségén, a légkör bizonyos fokú „emlékezetén” alapulnak. A két érintett hónap hőmérsékleti anomáliájának előjele ilyenkor értelemszerűen azonos. Fizikai magyarázatul többnyire a tengerfelszín hőmérsékletének, a talaj nedvességtartalmának, a hóborítottságnak, valamint a globális légköri távkapcsolatoknak a szerepét említik. Egy kutatás szerint (*J. J. Takalo, 2022*)

Európában a havi hőmérsékleti perzisztencia mértéke, a detrended fluctuation analysis (DFA) során számított skálázási kitevő (α) megközelítőleg 0,70. Ez a mutató 0 és 1 közötti skálán értelmezhető, ahol 0,5 a véletlenszerű (nem perzisztens) viselkedést jelenti, míg az 1 közeli értékek erős időbeli perzisztenciát jeleznek. A 0,70-es α -érték arra utal, hogy az egyik hónap hőmérsékleti anomáliája fennmaradhat a következő hónapban is. Ennek megfelelően a szomszédos hónapok között jellemzően pozitív korreláció figyelhető meg. Ez az összefüggés mérsekelt, de statisztikailag kimutatható.



1. ábra. A május és az augusztus z-normált hőmérsékleti anomáliái (1976–2025).

Jóval ritkább lehet az olyan típusú távkapcsolat, amelyben a hőmérsékleti eltérések több hónappal később hajlamosak visszatérni. Jelen cikkben a magyarországi májusi és augusztusi országos havi átlaghőmérséklet között az utóbbi fél évszázadban megfigyelhető ilyen típusú kapcsolatot mutatjuk be. Ez a kapcsolat az utóbbi néhány évben megtört, de figyelemreméltó, hogy egy másik, a Kárpát-medence térségére vonatkozó, szintén három hónapon átívelő távkapcsolatban, a Szeptember-December Távkapcsolatban (Babolcsai and Hirsch, 2025) is éppen 2019-től jelentkezik változás, azóta a korábbiak alapján várhatónál egységesen, minden évben 3-4 fokkal enyhébb lett a december.

Felhasznált adatok és módszertan

A hőmérsékleti adatsorokat (homogenizált (MASH), interpolált (MISH) országos havi átlagok) a HungaroMet Zrt. biztosította. A geopotenciál mezők és értékek az NCEP/NCAR reanalízis projekt [1] internetes megjelenítő rendszeréből [2] származnak.

Az időszak májusait és augusztusait tercilisekre bontva vizsgáltuk, azaz három kategóriába soroltuk: a legmelegebb, a leghűvösebb és a köztes esetek kategóriáiba. A továbbiakban az ezekben a kategóriákba eső eseteket rendre meleg (16 eset), hűvös (16), átlagos (18) eseteknek nevezzük.

Mivel az adatsorok melegező éghajlati trendet mutatnak [3] [4], a lehetséges torzító hatás kiszűrése érdekében a tercilisbe sorolás előtt a havi átlaghőmérsékleteket standard z-értékekké normalizáltuk (az adott hőmérsékleti értékek és az átlag különbségét osztottuk a szórással). Ez lehetővé tette, hogy az évenkénti ingadozások a trend hatásától függetlenül, egységes skálán legyenek összehasonlíthatók.

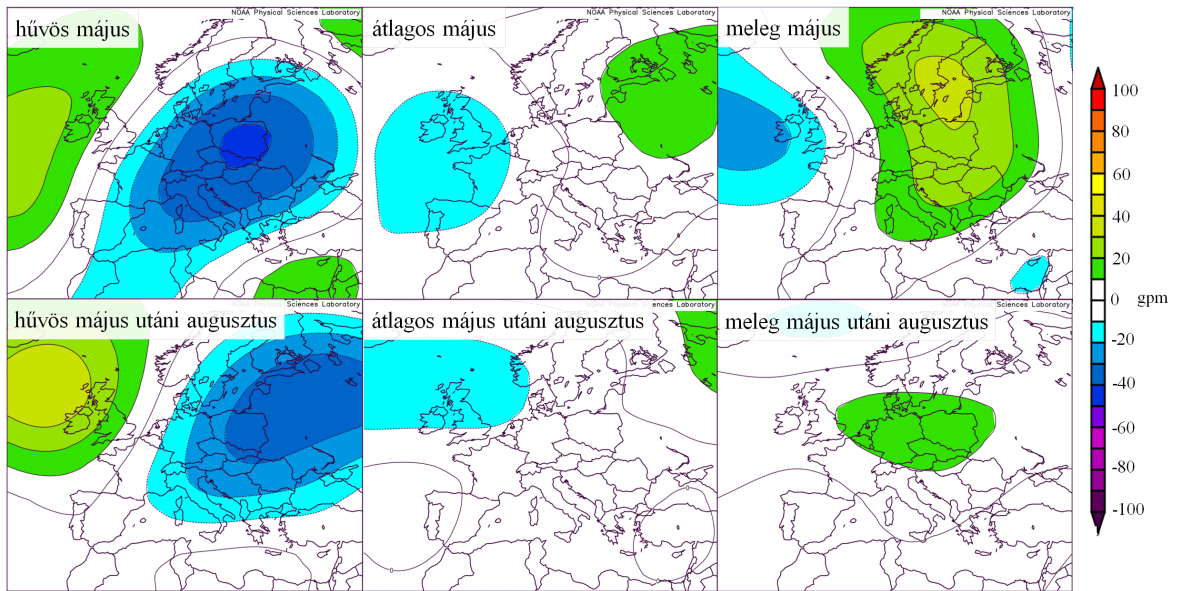
Eredmények

Az 1. ábrán a z-normált hőmérsékleti anomáliák mellett feltüntettük, hogy az adott évek májusi és augusztusai melyik tercilisbe estek.

A khi-négyzet próbával végzett statisztikai teszt ($\chi^2 \approx 12,62$, szabadságfok = 4) alapján a kapott p-érték $\approx 0,013$, ami szignifikáns kapcsolatot jelez. A valószínűsége annak, hogy az eredmény csupán a véletlen műve lenne, 2% alatti. Ez arra utal, hogy a májusi és augusztusi hőmérsékleti kategóriák között nem véletlenszerű, hanem rendszerszerű összefüggés figyelhető meg. A kapcsolat erősségét mérő Cramér-féle V értéke (amely azt mutatja meg, hogy két kategóriaváltozó között milyen erős kapcsolat van, 0 (nincs kapcsolat) és 1 (maximálisan erős kapcsolat)) között mozogva – a gyakorlatban 0,3 körül közepes, 0,5 fölött már erős kapcsolatról beszélünk) 0,355. Ez azt jelenti, hogy a két hónap hőmérsékleti kategóriái szignifikánsan és mérhetően kapcsolódnak egymáshoz.

		augusztus		
		meleg	átlagos	hűvös
május	meleg	8	7	1
	átlagos	5	8	5
	hűvös	3	3	10

2. ábra. Kontingencia táblázat a május és az augusztus z-normált hőmérsékleti anomáliái alapján (1976–2025).

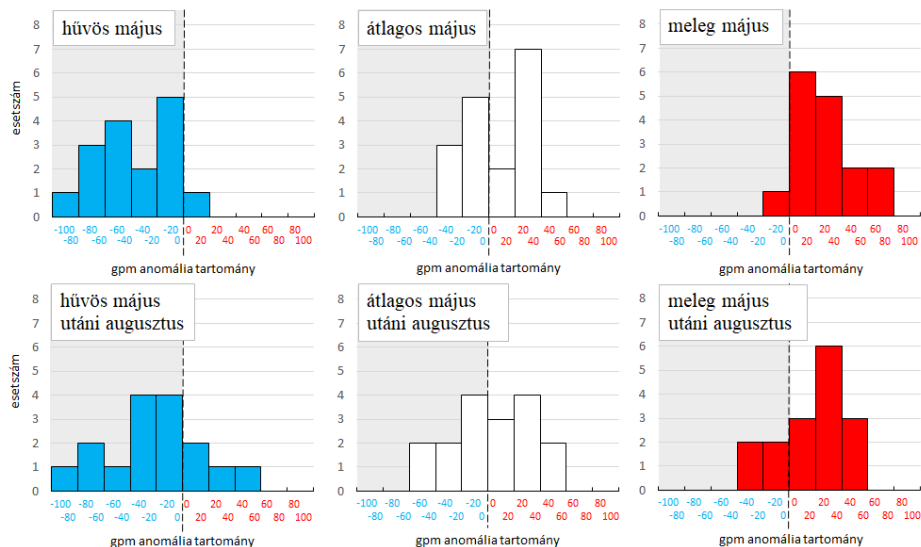


3. ábra. A hűvös, az átlagos és a meleg májusok (fent), és az azokat követő augusztusok (lent) 16-18-16 eset átlagolásával előállított átlagos 500 hPa-os geopotencial-mező anomáliái (az anomáliák az 1991-2020-as átlaghoz viszonyulnak).

Az átlaghőmérsékletek kategorizálása lehetővé tette a két hónap adatpárjainak ábrázolását egy 3×3-as kontingencia táblázatban (2. ábra).

Az elmúlt 50 évben háromszor volt rá példa, hogy hűvös májust meleg augusztus követett (2019, 2020, 2025), és csak egyszer fordult elő, hogy meleg májusra hűvös augusztus következett (1996). Leggyakrabban hűvös-hűvös (10 eset), meleg-meleg (8) és átlagos-átlagos (8) esetpár fordult elő.

Megjegyezzük, hogy a normalizálás előtti és utáni kontingencia táblázat nem tért el egymástól. Ez azt jelzi, hogy a melegedő trend nem befolyásolta érdemben a kapcsolatot, vagyis az összefüggés független az éghajlati háttértrendtől. A normalizálás tehát nem változtatta meg az eredményt, hanem megerősítette, hogy az évenkénti május-augusztus hőmérsékleti együttjárás önmagában is erőteljes és stabil, és a trend kiszűrése révén még tisztábban láthatóvá vált.



4. ábra. A hűvös, az átlagos és a meleg májusok (fent), valamint az utánuk következő augusztusok (lent) havi 500 hPa-os geopotencial magasság anomáliája a budapesti rácsponton (az anomáliák az 1976-2025-ös átlaghoz viszonyulnak).

átlaghőmérséklet		augusztus	
		1976 - 2000	2001- 2025
május	meleg	20,7	22,3
	átlagos	20,3	21,1
	hűvös	18,9	20,7

5. ábra. A meleg, az átlagos és a hűvös májusokat követő augusztusok átlagos havi országos átlaghőmérséklete az 1976–2000 és a 2001–2025-ös időszakokban.

A két hónap átlaghőmérséklete közötti kapcsolat közvetlen magyarázata a teknők és gerincek elhelyezkedésének hasonlóságában, az azokra való hajlam öröklődésében lehet keresendő, ugyanis a nyári fél-évben a hőmérséklet alakulását döntően a geopotenciál-mező konfigurációja határozza meg. A 3. ábrán a hűvös, az átlagos és a meleg májusok, és az azokat követő augusztusok 16-18-16 eset átlagolásával előállított 500 hPa-os geopotenciál-mező anomáliái láthatók.

A hűvös májusok és az azokat követő augusztusok átlagos geopotenciál-mező anomáliái nagyon hasonlóak, a meleg májusok és az azokat követő augusztusok közti hasonlóság kevésbé markáns. Az átlagos májusok és a rájuk következő augusztusok – a várakozásoknak megfelelően – nem mutatnak szignifikáns eltéréseket.

A 4. ábrán a budapesti rácspontra számolt hűvös, átlagos és meleg májusi, valamint az utánuk következő augusztusi 500 hPa-os geopotenciál magasság anomália hisztogramjai láthatók. Az augusztusi esetek eloszlásában markáns különbség mutatkozik a megelőző májusok átlaghőmérséklete függvényében.

A melegedő trend és a távkapcsolat stabilitásának vizsgálata és szemléltetése érdekében az 50 évet két 25 éves időszakra (1976–2000 és 2001–2025) bontottuk (5. ábra).

A meleg májusokat követő augusztusok 1,6 °C-kal, a hűvös májusok utáni augusztusok pedig 1,8 °C-kal lettek melegebbek. A meleg májusokat követő augusztusok az első 25 évben átlagosan 1,8 °C-kal voltak melegebbek, mint a hűvös májusok után következő augusztusok, 2001 és 2025 között pedig ez az érték átlagosan 1,6 °C volt. Összességében elmondható, hogy a mele-

gedő trend és a május hőmérsékleti anomáliája nagyságrendileg azonos szerepet játszhatott a második időszak augusztusai hőmérsékletének alakulásában.

Összefoglalás

A május és az augusztus országos havi átlaghőmérséklete között az utóbbi fél évszázadban a statisztikai elemzés alapján szignifikáns kapcsolat mutatható ki. Az átlagosnál melegebb májust legkisebb eséllyel követte hűvös augusztus, hűvös májust pedig az átlagosnál melegebb. A kapcsolat mozgatója a geopotenciál-mezőben megmutatkozó mintázati törvényszerűség lehet: magassági teknő dominálta május után magassági teknő uralta augusztusnak nő meg a valószínűsége, az átlagosnál magasabb májusi 500 hPa-os geopotenciál magasságot pedig nagy eséllyel az átlagosnál magasabb augusztusi geopotenciál magasság követ. A távkapcsolatban az utóbbi években törés mutatkozott, de ezzel együtt 2025-ben a hűvös május után mindössze 0,09 °C-on múlt, hogy az augusztus a meleg kategóriába esett. Ebben az évben az augusztus végének átlag feletti hőmérsékletéért felelős ex-hurrikán – amely a szezon első hurrikánjából kifejlődött mérsékelt övi ciklonként teljesen átrendezte Európa térségének szinoptikus helyzetét – érkezése nélkül a hónap a közepső tercilisbe került volna (legutóbb 2021-ben és 2016-ban volt a 2025 évinél hűvösebb az augusztus).

Irodalomjegyzék

- Babolcsai Gy. and Hirsch T., 2025: Characteristics of the September-December Teleconnection (SDT) in the current Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) phase. *Időjárás*, 129. (3), 265-278. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2025.3.2>
- Takalo, J. J. (2022). Persistence of temperature and precipitation: from local to global anomalies. *Annals of Geophysics*, 64(6), OC654. <https://doi.org/10.4401/ag-8618>

Internetes hivatkozások

- [1] <https://psl.noaa.gov/data/reanalysis/reanalysis.shtml>
- [2] <https://psl.noaa.gov/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>
- [3] <https://www.met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=3440>
- [4] https://www.met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=3585&hir=Az_atlagosnal_kisse_melegebb_es_szarazabb_augusztus



2025 nyarának időjárása

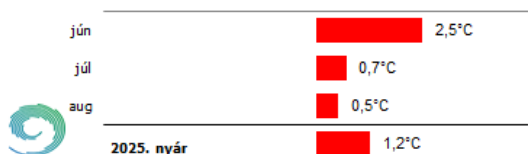
Marton Annamária, Szentes Olivér, Szolnoki-Tótván Bernadett

HungaroMet Nonprofit Zrt., marton.a@met.hu

Az utóbbi években minden nyáron átlag feletti hőmérsékletet mérhettünk. A legmelegebb nyarak sorába csatlakozik 2025 nyara is, amely a hetedik legmelegebb lett az utóbbi 125 év méréseinek sorában. Csapadék szempontjából ugyancsak a hetedik helyet foglalja el, viszont a sor másik végéről nézve, vagyis 2025 a legszárazabb évek között van.

A hőmérséklet és csapadék időbeli alakulása

Az évtized kezdete óta minden nyár melegebb volt az 1991–2020-as normálnál, egészen 2016-ig kell visszamenni, hogy egy hűvösebb nyarat kapjunk. Az is mindössze 0,1 °C-kal volt hűvösebb a mostani (1991–2020) normálnál, és egyben 0,5 °C-kal haladta meg az 1981–2010-es átlagot, melyhez viszonyítva 2016-ban vizsgáltuk az anomáliákat. 2025 nyara a 7. legmelegebb lett az 1901 óta íródó éghajlati adatsorban. Országos átlagban 22,1 °C-nak adódott az évszakos középhőmérséklet, mely így 1,2 °C-kal haladta meg a sokéves átlagot (1. ábra).



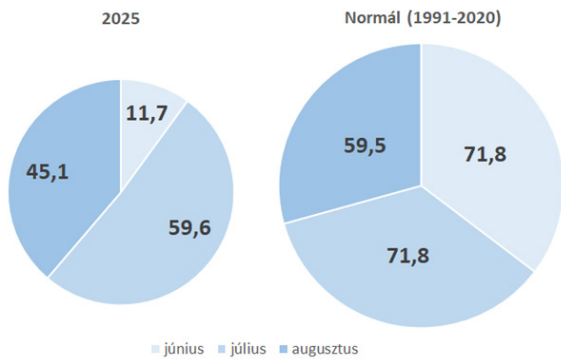
1. ábra. Az országos havi és az évszakos középhőmérséklet eltérése a sokévi (1991–2020-as) átlagtól 2025 nyarán (interpolált adatok alapján).

Az átlagosnál hűvösebb májust követően mindegyik hónapban pozitív anomália volt jellemző. A legnagyobb mértékben a június tért el az 1991–2020-as értéktől (+2,5 °C); ezt követi a július (+0,7 °C), majd az augusztus (+0,5 °C). A június előkelő, második

Éghajlati indexek értékei 2025 nyarán és ezek sokéves átlagai

	2025	1991–2020
Nyári nap ($T_{\max} \geq 25\text{ °C}$)	78	66
Hőség nap ($T_{\max} \geq 30\text{ °C}$)	43	27
Forró nap ($T_{\max} \geq 35\text{ °C}$)	8	3
Meleg éjszaka ($T_{\min} \geq 20\text{ °C}$)	5	4
Csapadékos nap ($r \geq 0,1\text{ mm}$)	21	28
Zivataros nap	11	12

1. táblázat. A 2025-ös nyár során jegyzett különböző éghajlati indexek és ezek 1991–2020-as sokéves értékei.

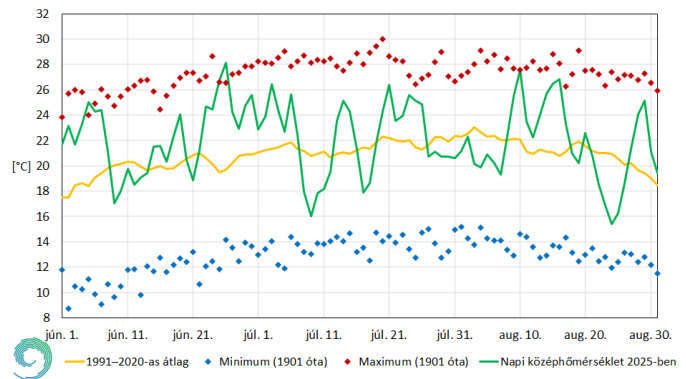


2. ábra. A 2025-ös nyár havi csapadékösszegei és a normál területarányos kördiagramon (mértékegység: mm).

helyen végzett a júniusok rangsorában, miközben a július és az augusztus is a megfelelő hónapok felső harmadában foglal helyet.

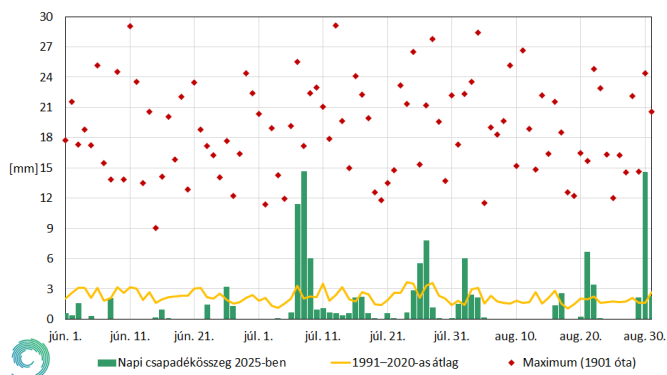
A küszöbnapok adatai is azt mutatják, hogy a 2025-ös nyár az átlagosnál melegebb időjárással telt. Nyári napból 12-vel, hőség napból pedig 16-tal volt több, az 1991–2020-as időszak átlagánál. Forró napból 5-tel volt több, ami majdnem 3-szorosa a sokéves átlagnak. Meleg éjszakából pedig 1 nappal kaptunk nagyobb értéket a megszokottnál (1. táblázat).

A 2025-ös nyár mindhárom hónapjában az ország túlnyomó részén kevesebb csapadék hullott a megszokottnál. A csapadék időbeli eloszlása egyenetlen volt a nyár folyamán. Alapvetően júniusban és júliusban szokott a legtöbb csapadék érkezni (35-35%), míg az augusztus (30%) a legszárazabb nyári hónap. A 2. ábrán a kördiagramok területei arányosak a havi és évszakos csapadékösszegekkel, ezért látható, hogy 2025 nyarán a megszokott mennyiségnek mindössze 57%-a érkezett. A legkevesebb csapadék júniusban hullott, az ábrán látható 11,7 mm az évszakos összeg 10%-a. Az augusztusi csapadék is elmaradt a várakozástól, az évszakos érték 39%-át tette ki. A nyári csapadéknak a fele júliusban hullott. Az elmúlt 125 év éghajlati adatsorában a 2025-ös nyár 7. helyre került a legszárazabb nyarak sorában. A hónapok közül, a legkevesebb csapadékot adó júniusban a megszokott mennyiség hatoda hullott, így a legszárazabb június lett 1901 óta. Kevesebb volt a hiány júliusban, ekkor a sokéves érték 83%-a érkezett (59,6 mm). Augusztusban a megszokott mennyiség háromnegyede jelentkezett, 45,1 mm volt a havi összeg. Az átlagnál szárazabb nyár az éghajlati indexek alakulásában is tetten érhető (1. táblázat). Nyáron országos átlagban negyedével kevesebb csapadékos nap fordult elő, mint a sokéves átlag. Zivataros napból is eggyel kevesebb volt, mint a megszokott.



3. ábra. Országos napi középhőmérsékletek, a sokéves átlag (1991–2020), illetve a szélsőértékek 1901 óta 2025 nyarán homogenizált, ellenőrzött, interpolált adatsorok alapján.

A 3. ábra a 2025-ös nyár napi középhőmérsékleteit, sokéves átlagait, valamint az 1901 óta tapasztalt szélsőértékeit mutatja be. Megfigyelhető, hogy az évszak 92 napjából 56 napon a normálnál magasabbak voltak a napi átlaghőmérsékletek. Időjárásunk változatosan alakult: forró hőhullámokat és hűvös, csapadékos periódusokat egyaránt megtapasztaltunk. Az országos tisztai főorvos három alkalommal rendelt el harmadfokú hőségriasztást: júniusban és júliusban 24–26. között, valamint augusztus 14-től 17-ig. Az évszak legmagasabb mért hőmérsékletét egy ilyen hőhullám alkalmával július 26-án mértük, Sarkad Malomfok állomáson (41,3 °C). A leghosszabb egybefüggő meleg periódus június második harmadától július első hetéig tartott. Erre az időszakra esett az évszak legmelegebb napja, június 26-a is, a középhőmérséklet országos átlaga 28,1 fok volt, ami a második legmagasabb júniusi érték 1901 óta. Küküllőháza ezen a napon 39,7 fokot mértek, ami új országos napi maximumhőmérséklet rekord, és egyben 2025 júniusában a legmagasabb mért hőmérséklet. Július első hetében is folytatódott a hőség. Az enyhülést július 7-én a Gabriel névre keresztelt ciklon hidegfrontja hozta meg, amely több napon keresztül hatással volt térségünk időjárására. Július 9-én a napi középhőmérséklet 16 fok közelében alakult, és 5 fokkal maradt el a szokásos értéktől. A nyár leghidegebb napja azonban nem ez lett, arra még augusztus végéig kellett várni. Augusztus derekán még többnyire nyugodt, nap-sütéses idő volt jellemző, 17-től azonban két hullámban jelentős lehűlés ment végbe: először az Északkelet-Európa felett örvénylő ciklon hosszan elnyúló hidegfrontja, majd a Lukás névre keresztelt mediterrán ciklon okozott markáns lehűlést. Augusztus 24-én az országos középhőmérséklet mindössze 15,4 °C volt, ami több mint 5 fokkal elmaradt a sokévi átlagtól – ez lett a nyár leghidegebb napja (3. ábra).



4. ábra. Országos napi átlagos csapadékösszegek, a sokéves napi átlagok (1991–2020), illetve a maximumok 1901 óta 2025 nyarán homogenizált, ellenőrzött, interpolált adatsorok alapján.

Ezek alapján jól látható, hogy júniusban jellemzően száraz időjárás uralkodott, bár néhány hidegfront mentén záporok és zivatarok alakultak ki, ezek azonban csak helyenként okoztak számottevő csapadékot. A hónap legcsapadékosabb napján – június 26-án – is mindössze 3,4 mm esett országos átlagban. Július első hetében folytatódott a szárazság, majd a hónap további részét változatosabb csapadékviszonyok jellemezték. A Gabriel ciklon érkezésével több hullámban vonultak át az ország felett kiterjedt csapadékrendszerek, zivatarokkal, viharos, helyenként orkánerejű szellőkkel.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet

	Hőmérséklet	Állomás	Napja
június	39,7 °C	Kübekháza gátórház	június 26.
július	41,3 °C	Sarkad Malomfok	július 26.
augusztus	39,9 °C	Körösladány	augusztus 10.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet

	Hőmérséklet	Állomás	Napja
június	2,2 °C	Lénárdaróc Zabar	június 1. június 1.
július	6,1 °C	Nyírtass Zabar	július 2. július 1.
augusztus	1,7 °C	Lénárdaróc Zabar	augusztus 25. augusztus 25.

2. táblázat. A nyári hónapok során mért legmagasabb és legalacsonyabb hőmérsékletek 2025-ben.

A hónap legnagyobb csapadékösszege

	Csapadék	Állomás	
június	82,3 mm	Sopron Brennbergbánya	
július	227,8 mm	Csököly	
augusztus	157,9 mm	Karancsalja	

A hónap legkisebb csapadékösszege

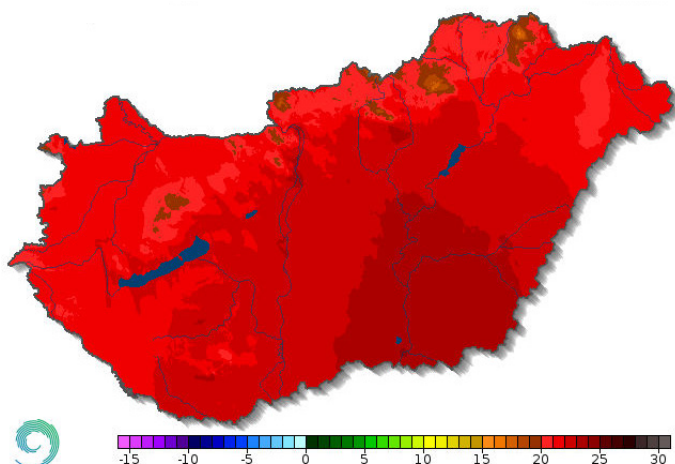
	Csapadék	Állomás	
június	0,0 mm	Alsószentmárton Galgaguta Hercegszántó	
július	10,9 mm	Hercegszántó Kölked	
augusztus	4,4 mm	Gyomaendrőd Gyoma	

24 óra alatt lehullott maximális csapadék

	Csapadék	Állomás	Napja
június	47,0 mm	Kány	június 27.
július	184,0 mm	Csököly	július 27.
augusztus	96,8 mm	Salföld	augusztus 30.

3. táblázat. A nyári hónapok során mért legnagyobb és legkisebb havi csapadékösszegek, valamint a 24 órás maximumok 2025-ben.

késekkel. Kelet-Magyarországon egy szupercella is kialakult, amelyhez szintén orkánerejű szellőkésék társultak. A hónap közepén szórványosan fordultak elő záporok és zivatarok. Július 24-től egy hullámozó frontálzóna okozott csapadékos időt, majd 27-től egy ciklon mélyült ki térségünkben, így több helyen eső, zápor és zivatar alakult ki, utóbbiakat helyenként felhőszakadás is kísérte. A Somogy vármegyei Csökölyön 184,0 mm-es napi csapadékösszeget mértek, ami rendkívüli érték: a HungaroMet Nonprofit Zrt. adatbázisában ez az ötödik legnagyobb napi csapadékösszeg, egyben a 2025-ös nyár legmagasabb értéke. Augusztusban szintén változatos csapadékviszonyok jellemezték a Kárpát-medencét. A hónap elején csak elszórtan fordult elő záporosó, majd egy hullámozó frontálzóna hatására többfelé alakultak ki zivatarok, helyenként jégesővel és viharos széllel. A hónap közepén anticiklonális hatások miatt csapadékmentes, száraz időszak



5. ábra. A 2025-ös nyár középhőmérséklete (°C).

következett, amelyet augusztus 20–22. között a Lukás nevű mediterrán ciklon tört meg, jelentős mennyiségű esőt hozva. A hónap végén újabb hullámzó hidegfront érkezett, amely főként a Dunántúlon okozott záporokat és zivatarokat, helyenként felhőszakadással. A csapadék eloszlása térben és időben is egyenetlen volt; a Balaton környékén például 60–70 mm is lehullott.

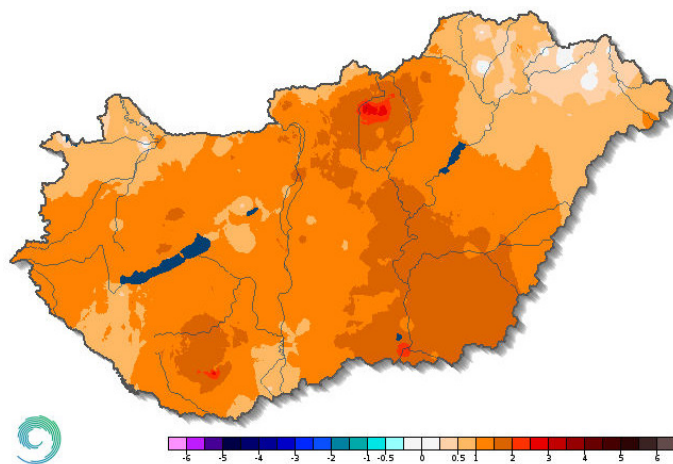
A hőmérséklet térbeli eloszlása

A nyár átlaghőmérséklete 22,1 °C, így több mint 1 fokkal meghaladta az 1991–2020-as átlagot. Az évszakos középhőmérsékletek az ország nagyrészen 21,5 °C és 22,5 °C között alakultak. Az Alföld déli és középső részén volt ennél melegebb, itt 23 °C-ot meghaladó háromhavi átlagok jelentkeztek. 20 fok alatti értékek kizárólag a hegyvidékeken, főként az Északi-középhegységben fordultak elő. A legmagasabb értéket Szeged belterület állomáson kaptuk 24,7 °C-ot, míg Kékestetőn mindössze 17,2 °C-ot mértünk (5. ábra).

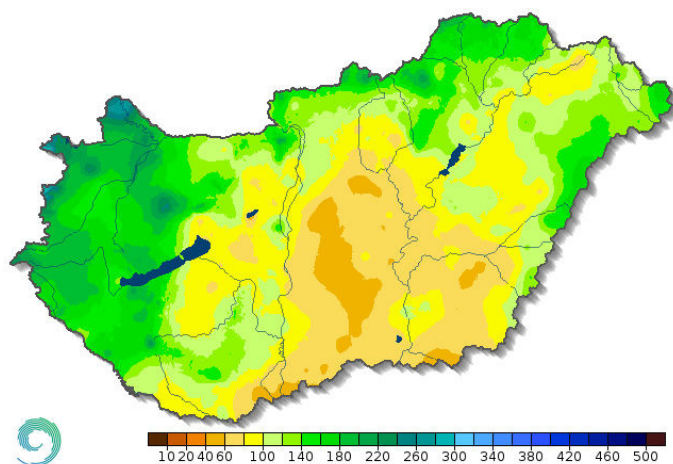
A 6. ábrán jól látható, hogy az ország nagyrészen 0,5-2 °C-kal volt melegebb a sokévi átlagnál. Alacsonyabb (0-0,5 °C) értékek összefüggő területen csak Északkelet-Magyarországon adódtak. 2 °C-ot meghaladó különbségek Szeged, Pécs, valamint a Mátra térségében fordultak elő.

A csapadék térbeli eloszlása

A nyár folyamán összegzett csapadékot mutatja be a 7. ábra. A legkevesebb csapadék az Alföldre érkezett, a középső és déli része rendkívül száraz



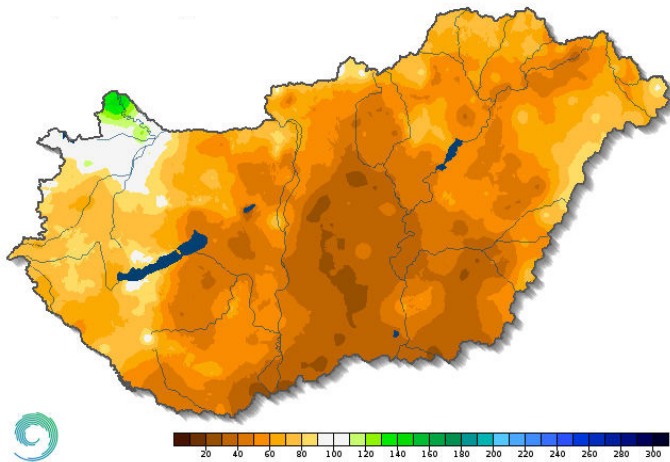
6. ábra. A 2025-ös nyár középhőmérsékletének eltérése a sokévi (1991-2020) átlagtól.



7. ábra. A 2025-ös nyár csapadékösszege (mm).

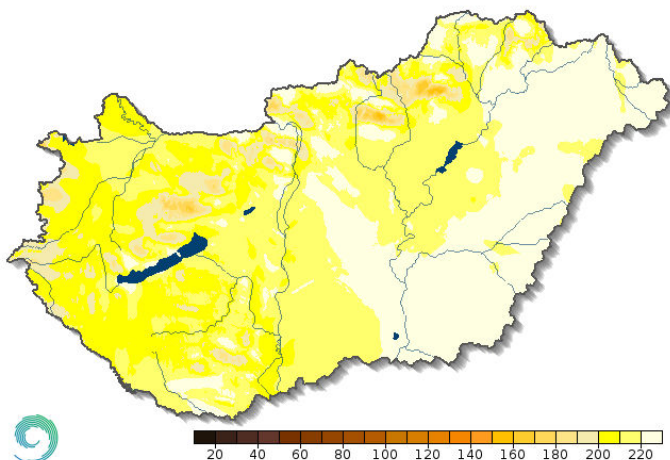
volt, itt jellemzően 80 mm alatt maradt az évszakos összeg, míg egyes területeken az 50 mm-t sem érte el. Az évszak legkisebb csapadékösszegét Kakucsán mértük (39,6 mm). A legcsapadékosabb területek az északi határ közelében, a Dunántúl nyugati felén, különösen az északnyugati országrészben voltak, kisebb körzetekben 200 mm-t meghaladó csapadékkal. A nyár legnagyobb csapadékösszegét Sopron Muck-kilátó állomáson regisztráltuk (309,3 mm).

Országos átlagban 116 mm volt a nyári csapadékösszeg, ami közel 90 mm-rel marad el az 1991–2020-as sokéves értéktől (203 mm), annak mindössze 57%-a. Hazánk túlnyomó részén a nyáron lehullott csapadék mennyisége kevesebb volt, mint a sokéves



8. ábra. A 2025-ös nyár csapadékösszege a sokévi (1991-2020-as) átlag százalékos arányában kifejezve.

érték. Az Alföld területére többnyire a megszokott mennyiségnek a 20-60%-a érkezett. Az északi határ mentén, a Nyírségben és a Dunántúl nyugati részén a Kisalföld kivételével 60-90% hullott (8. ábra). Csapadéktöbblet csak nagyon kis területen: a Szigetközben és a Mosoni-síkságon figyelhető meg. Ebben a térségben az átlag 110-140%-át összegeztük.



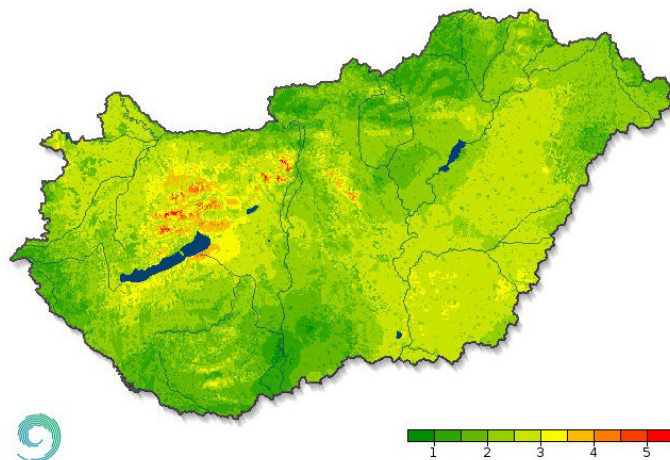
9. ábra. A 2025-ös nyár globálsugárzás összege (kJ/cm²).

A globálsugárzás térbeli eloszlása

Nyáron hazánk legnagyobb részén 200-230 kJ/cm² között alakult az évszakos globálsugárzás-összeg. Ennél alacsonyabb értékeket a középhegységeinkben figyelhettük meg (9. ábra). A legmagasabb mért összeg 235 kJ/cm² (Újfehértó), míg a legalacsonyabb mért érték 201 kJ/cm² (Baja Csillagvizsgáló) volt.

A szélesebbesség térbeli eloszlása

Nyáron az átlagos szélesebbesség 1 és 3 m/s között alakult hazánk legnagyobb részén. A síkvidékeken többnyire 2,5-3 m/s volt az évszakos átlag. A legalacsonyabb értékek a Dunántúl déli részén, a Duna-Tisza közén, az Északi-középhegységben és a Nyírségben adódtak (1-2 m/s). A legmagasabb átlagértékek a Bakonyban és a Budai-hegyvidéken fordultak elő, ahol a hegycsúcsok közelében 4-5 m/s közötti nyári átlagos szélesebbességek is születtek. A legnagyobb szél- lökést július 7-én rögzítettük, amikor a Gabriel ciklon hidegfrontjának átvonulása során többfelé viharossá fokozódott a szél, és Budapest János-hegy állomásunkon 38,1 m/s-os szél- lökést mértünk (10. ábra).



10. ábra. A 2025-ös nyár átlagos szélesebbessége 10 m-es magasságban (m/s).

2025. nyár időjárási adatainak összesítője
(a mért értékek és az eltérések az 1991–2020-as sokéves átlagtól)

Állomás	Sugárzás, kJ/cm ²	Hőmérséklet, °C						Csapadék, mm			Szél
	évszakos összeg	évszak közép	eltérés	max	napja	min	napja	évszak összes	átlag %-ában	$r \geq 1$ mm napok	viharos nap ($v_f \geq 15$ m/s)
Szombathely	202	21,3	1,1	36,8	2025.06.26	7,3	2025.08.26	167	72	21	6
Nagykanizsa	204	21,0	1,9	36,8	2025.08.10	5,9	2025.06.10	136	58	21	4
Pér		21,4		36,6	2025.07.03	6,6	2025.06.21	160	85	19	10
Siófok	216	23,3	1,3	35,8	2025.06.26	11,0	2025.06.10	75	42	12	17
Pécs		22,9	1,5	36,5	2025.08.10	10,0	2025.08.25	79	36	12	15
Budapest	221	23,2	1,3	37,8	2025.06.26	8,3	2025.08.25	110	56	10	5
Miskolc		22,2	1,4	37,1	2025.07.03	6,2	2025.08.25	120	50	14	1
Kékestető	213	17,2	1,5	28,7	2025.08.10	5,3	2025.08.24	103	38	14	13
Szolnok		23,5	1,6	37,7	2025.08.10	7,2	2025.08.25	70	37	13	8
Szeged	222	23,5	1,9	39,1	2025.08.10	6,6	2025.08.25	66	36	11	8
Nyíregyháza	221	21,9	1,1	36,8	2025.07.07	7,0	2025.08.25	125	71	20	11
Debrecen	223	22,5	1,2	36,8	2025.07.07	6,6	2025.08.25	106	59	16	9
Békéscsaba	223	23,2	1,8	39,9	2025.07.26	6,4	2025.06.10	90	48	13	8



A 2025-ös nyarának időjárása agrometeorológiai szempontból

Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila Viktor

HungaroMet Nonprofit Zrt., molnar.zs@met.hu

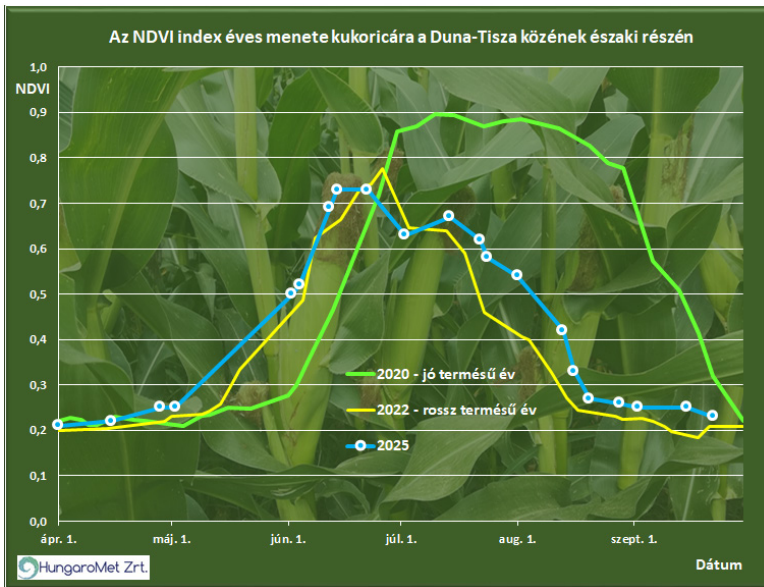
Júniusban egyre fokozódó aszály állította kihívások elé a gazdákat, majd júliusban károkozó viharokkal érkező hidegfrontok vetettek véget a forró, száraz időszakoknak, és bár gyakran öntöztek záporok, ezek területi eloszlása rendkívül egyenetlen volt, és a legszárazabb területekre az augusztus sem hozott számottevő csapadékot, ami javította volna a terméskilátásokat.

Május második felében sokfelé hullott több-kevesebb csapadék hazánkban, ami nagyon jól jött a szemképződés, -növekedés fázisában járó őszi vetéseknek, és a vegetációs időszakuk kezdetén aszályal küzdő nyári növényeknek. Május végén azonban ismét szárazra fordult az idő, majd június elején a kánikula is megérkezett, így mezőgazdasági szempontból nem indult kedvezően a nyár. Medárd napján ugyan sokfelé hullott kevés csapadék, de a folytatás nem hozott negyven napos esőt, sőt folytatódott a csapadékhiány. Hidegfrontok ugyan gyakran érintették térségünket, de csak szél és átmeneti lehülés érkezett velük, csapadék nem.

Június folyamán hazánk középső és déli tájain igen nagy területen az 5 mm-t sem érte el a havi csapadékösszeg, de a Dunántúlon, és keleten, északkeleten, ahol kicsit több esett, sem hullott le a sokéves átlagnak a fele sem. A talaj felső egy méteres rétege országszerte kritikusan kiszáradt, nedvességtartalma a növények számára hasznosítható víztartalom arányában 30% alá esett. A napos, száraz, nagyrészt meleg időjárás eleinte kedvezett az érésben lévő gabonának, repcének és gyümölcsöknek, ugyanakkor az őszi

kalászosoknál is megfigyelhető volt a kényszerérés. A nagyfokú aszály azonban főként a kukoricát, napraforgót és a szóját sújtotta. Az NDVI műholdas vegetációs index értéke már június első felében is csökkent, ami csak részben volt a gabonákérésének betudható, nagyrészt az aszály hatását mutatta. A hőség és a szárazság július első hetében csak fokozódott, majd egy hullámzó frontrendszer vetett véget a hosszan tartó száraz időszaknak. Július 7-én és 8-án többfelé erősen viharos, néhol orkán erejű széllel járó heves zivatarok okoztak komoly károkat, de ugyanakkor nagy területen hullott 20 mm-t meghaladó, helyenként 50-80 mm csapadék is.

Július további részében és augusztus első napjaiban rendszeresé váltak a záporok, zivatarok, de az ezekből hulló csapadék területi eloszlása nagy területi különbségeket mutatott: helyenként túl sok esett rövid idő alatt, nagy területek pedig alig kaptak csapadékot. A júliusi csapadékösszeg csak az ország nyugati, északnyugati tájain valamint a Tiszántúl keleti, északkeleti részén érte el a kukorica számára optimálisnak számító 90-120 mm-t, az ország középső és déli tájain sokfelé csak 15-30 mm esett. Július-



1. ábra. Az NDVI műholdas vegetációs index éves menete a tenyészidőszak során kukorica táblakon (8 véletlenszerűen kiválasztott tábla átlaga) a Duna-Tisza közének északi részén a Sentinel-2 műholdak mérései alapján egy jó és egy rossz termést adó évhez viszonyítva.

ban is volt egy rövidebb és egy hosszabb hőhullám, amikor a hőmérséklet többfelé 35 fok fölé emelkedett a legmelegebb órákban. A hónap végén és augusztus elején azonban tíz napon át az ilyenkor szokásos értékek alatt alakult a hőmérséklet. Augusztus második hetétől visszatért a forróság, amit száraz idő kísért, tíz napon át egyáltalán nem esett, és légköri aszály is súlyosbította a növényeket ért hőstresszt.

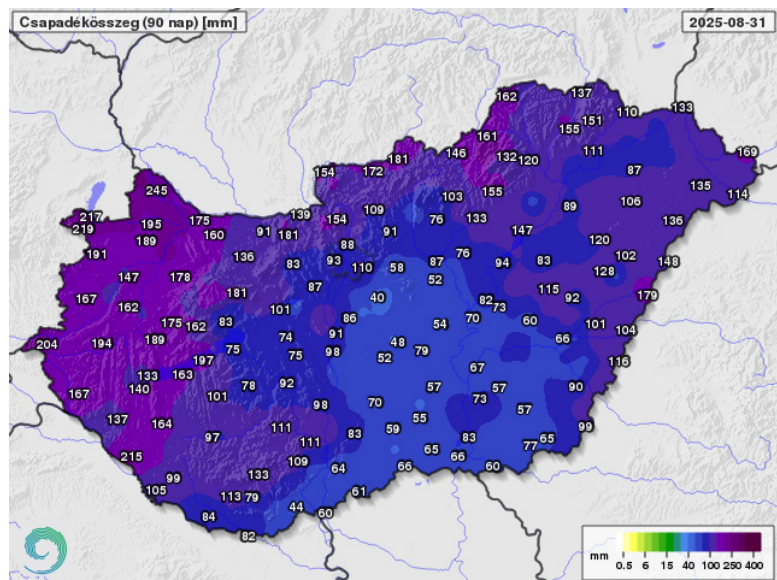
Az idei nyáron gyakran fordult elő légköri aszály, amikor a magas hőmérséklet alacsony páratartalommal társult. A száraz levegő miatt ilyenkor viszonylag nagy, akár 20 fokot elérő volt a napi hőingás, a forró nappalokat követő éjszakákban felfrissült a levegő. A nyári növényekre vonatkozó nagyfokú majd súlyos aszály az ország középső részén július közepétől állandósult, majd egyre nagyobb területre, augusztus közepére már az ország területének kétharmadára kiterjedt. Augusztus végéig csak lassan és többfelé csak átmenetileg mérséklődött a szárazság. 20-át követően északon, északkeleten, majd a hónap végén a Dunántúlon esett jelentős mennyiségű csapadék, de a legsúlyosabb

aszállyal sújtott középső országrészben ekkor is alig, és ez a csapadék már amúgy sem segített a kukorica és napraforgó terméskilátásain. Az állományok az idén sokfelé fejletlenek maradtak, zöld tömegük jóval kevesebb volt a szokásosnál (1. ábra), a növény száradás pedig már augusztus közepén elkezdődött.

A kukoricára április 1-től számolt hőösszeg júniusban a sokéves átlag körül járt, majd egyre nagyobb területen kis mértékben meghaladta azt, ami azt jelenti, hogy a növények fenológiai fázisai a nyár derekától már kissé hamarabb következtek be a szokásosnál.

A nyár minden hónapja szárazabb és melegebb volt a sokéves átlagnál, de a legnagyobb anomáliákat júniusban tapasztalhattuk. A csapadék területi eloszlására jellemző volt, hogy a legszárazabb

középső országrész és a legcsapadékosabb északnyugati tájak nyári csapadékmennyiségében ötszörös különbség mutatkozott (2. ábra). Napsütésből júniusban és augusztusban volt jóval több a sokéves átlagnál, míg júliusban az átlagosnak nagyjából megfelelt a napsütéses órák száma.



2. ábra. 90 napos csapadékösszeg 2025. augusztus 31-ig (mm).

Megemlékezés Per Kallbergről



A közelmúltban fájdalommal értesültünk, hogy Per Kallberg, svéd kollégánk életének 82. évében elhunyt. Per nem csak a Svéd Meteorológiai és Hidrológiai Intézet (SMHI) és az ECMWF kiváló tudományos munkatársa volt, de elvülhetetlen szerepe volt a magyarországi operatív numerikus időjárás előrejelzés elindításában is. Per Kall-

berg az ECMWF megalakulásának idején, az 1970-es években az akkori ECMWF modell véges differenciás korlátos tartományú rácspont verziójának kifejlesztésén dolgozott. Később ez a modell, a HIRLAM modell (A HIRLAM az ALADIN mellett a másik nagy európai korlátos tartományú modellező konzorcium volt, amely főleg, de nem kizárólag észak-európai országok meteorológiai szolgálatait egyesíti; megjegyzés: napjainkra az ALADIN és a HIRLAM együttműködés ACCORD néven dolgozik együtt) elődjeként évekig szolgált az SMHI operatív előrejelző modelljeként. Ugyancsak ez az a modell, amelyet Per hathatós segítségével sikerült adaptálnunk Magyarországon ezzel létrehozva az Országos Meteorológiai Szolgálat első operatív numerikus előrejelző rendszerét. Per 1988 végén személyesen is részt vett az OMSZ akkori

Számítóközpontjában a modell adaptációs munkájában és "betanításunkban". Soha nem felejtjük kedves, barátságos stílusát és türelmét, amivel segítette munkánkat. Per Kallberg nevét azok a fiatalabb, korlátos tartományú előrejelzéssel (LAM) foglalkozó szakemberek is ismerhetik, akiknek személyes élményük nem volt vele, hisz a LAM-okban legelterjedtebben alkalmazott oldalsó peremfeltétel módszer a Davies-Kallberg séma nevet viseli. Per Kallberg szakmai karrierjének másik fő iránya a reanalízis volt. Több részletben, sok évet töltött az ECMWF-nél, ahol egyik fő fejlesztője volt a korábbi reanalízis rendszereknek (ERA-15, ERA-40 és ERA-Interim). Hosszú éveken keresztül Per képviselte Svédországot, illetve a HIRLAM közösséget a EWGLAM (a EWGLAM a korlátos tartományú modellezés európai munkacsoportja) találkozókön, és itt is alkalmunk volt tapasztalni szakmai kompetenciáját és nemzetközi tekintélyét.

Per Kallberg személyében nemcsak egy kiváló szakembert, hanem egy olyan barátot veszítettünk el, aki sokat tett a magyarországi operatív numerikus időjárás előrejelzés megalapozásáért. Emlékét szeretettel és tisztelettel megőrizzük.

*Horányi András, Ihász István és Radnóti Gábor
az egykori Numerikus Előrejelző Osztály munkatársai*

Elhunyt Fejes István

Fájdalommal tudatjuk, hogy Fejes István, egykori kollégánk, életének 92. évében, 2025. augusztus 17-én elhunyt. Emlékét megőrizzük!

Fejes István 1934. július 21-én született Budapesten. Középiskoláit Kaposváron végezte, majd felvételt nyert 1952 június 25-én a szolnoki repülőiskolára, ahol két évet végzett el. Az ELTE Természettudományi Karán 1957-ben szerzett diplomát, és még ebben az évben az OMI Ionoszféra Osztályán helyezkedett el, ahol 1959-ig dolgozott. A Magyar Néphadsereg toborzása során jelentkezett hivatásos katonának. Taszárra helyezték, ahol főhadnagyi rangban repü-

lésmeteorológus tiszt lett, majd századosi rangban szolgált 1970-ben. 1977 december 31-én katonai pályafutása végét ért, a helikopter kiszolgáló szolgálat vezetőjeként, őrnagyi rangban, tartalékos állományba helyezték. 1980-1990 között az OMSZ baranyai Jégesőelhárító Rendszerben helyezkedett el. Az állami jégesőelhárítás megszűnése után részt vett a Déldunántúli Jégesőelhárító Egyesület (NEFELA) létrehozásában és működtetésében. Nyugalomba vonulásáig, 1994-ig igazgatói minőségben vezette a szervezetet.

Zárbok Zsoltra emlékezünk



Fájdalommal tudatjuk, hogy Zárbok Zsolt, egykori kollégánk, az Országos Meteorológiai Szolgálat Pro Meteorologia Emlékplakettal kitüntetett korábbi osztályvezetője, életének 73. évében, 2025. augusztus 31-én

elhunyt. Emlékét megőrizzük, nyugodjék békében!

Zárbok Zsolt 1953. április 10-én született Budapesten. Az ELTE Természettudományi Karán 1977-ben végzett okleveles középiskolai matematika tanárként és meteorológusként. 1977. szeptember 1-én helyezkedett el az Országos Meteorológiai Szolgálat Agrometeorológiai Kutatási Főosztályán, ahol bő 10 évig aktívan részt vett az agrometeorológiai mérésekben, kutatásokban. Fő munkaterületét a párolgással kapcsolatos módszertani kutatások képezték. Jelentős gyakorlatra tett szert agrometeorológiai állomáshálózat szervezésében és működtetésében, valamint az agrometeorológiai adatok és információk számítógépes feldolgozásában, kezelésében. Szakmai kihívásként élte meg a Tengizben eltöltött hónapokat 1986. második felében.

1987. január 1-től az OMSZ Hálózati Osztályának vezetője lett, majd 1989. január 1-től szakmai munkáját a Földfelszíni Megfigyelések Főosztályán folytatta.

Az 1991-ben átalakuló, újjá szerveződő OMSZ-ban a Központi Légtérfizikai Intézet Földfelszíni Megfigyelő Osztályának vezetőjeként dolgozott tovább. A legnagyobb szakmai kihívás, a földfelszíni megfigyelések automatizálása volt. Kollégáival együttműködve megalapozta, létrehozta a jövő automata hálózatát, amelynek cseréje 30 év működés után a közeljövőben fog elkezdődni. Feladati köré tartozott az állomások üzemeltetési megállá-

podásainak, szerződéseinek előkészítése, megkötése, a meteorológiai mérés technika fejlesztése, az automata érzékelők kalibrálási teendőinek megkezdése.

1998-tól meteorológus munkakörben az automata hálózat karbantartása, az érzékelők évenkénti rendszeres cseréje, a meghibásodások kezelése vált feladatává. Évente több 10 ezer km-et autózott a hálózat magas szintű üzemeltetéséért. 60 felé közelítve is vállalta a szélmérő oszlopokra való mászást az érzékelők cseréje miatt.

2011 augusztusától a napi karbantartói teendőket ismét vezetői munkakörre váltotta, amelyet 2016 áprilisáig, nyugdíjba vonulásáig betöltött. Felügyelte és szakmailag koordinálta a földfelszíni automata és hagyományos meteorológiai mérőhálózat működését, az ott folyó dokumentációs és fejlesztési tevékenységet. Szakmai munkájának elismeréseként 2014-ben Pro Meteorológia díjban részesült.

Zsolt a szakmai pályája mellett rendkívül tartalmas közösségi életet élt. Minden OMSZ-os és szakszervezeti rendezésű eseményből kivette részét. A 90-es évek elejétől az évente megszervezett családi hétvégék (szombatok) programjában központi helyet foglalt el. Közvetlen kollégáival, barátaival rendszeresen főzött, akár 120-170 fő részére is. Főzési tudományát az OMSZ egyéb hivatalos és félig hivatalos eseményein is kamatoztatta. Kollégáival, a kollégák gyerekeivel mindig megtalálta a megfelelő hangot, együtt tudott működni. Jókedve, mosolygós arca nyugalmat és biztonságot árasztott a körülötte lévőkre.

2016 áprilisában, a nyugdíjba vonulására szervezett rendezvényen majd 100 fő (volt és jelenlegi, aktív és nyugdíjas kolléga) ünnepelte. Nyugdíjas éve alatt a közösségi aktivitása átalakult, a nagy létszámú rendezvények (OMSZ nyugdíjas találkozó) helyett előnybe részesítette a kisebb létszámú belső baráti körök találkozóját. Halálával egy tartalmas földi út ért véget.

Hírek

Érdekességek a meteorológia világából, jeles napok, megemlékezések belföldről és külföldről

Játékos környezetvédelmi délutánnal várta a gyerekeket a 29. ÁGOTA Tábor

2025.07.29. ■ A HungaroMet Nonprofit Zrt. idén először vett részt a július 29-én megrendezett 29. ÁGOTA Táborban, ahol az Energiaügyi Minisztérium Környezetügyért Felelős Államtitkárságának meghívására tartott látványos és interaktív programokat. A gyerekek öt állomáson keresztül ismerhették meg a környezetvédelem különböző területeit: kipróbálták a zajszintmérőt, felfedezték az ökocímkek világát, belekóstoltak a komposztálás alapjaiba, a HungAIRy makettházán keresztül megértették a levegőtisztaság-védelem lehetőségeit, majd közösen megterveztek egy fenntartható, éghajlatváltozásnak ellenálló várost. A délután egyszerre volt szórakoztató, tanulságos és inspiráló a tábor minden résztvevője számára.

Fenntartható születésnapi kavalkád az Állatkertben



2025.08.09. ■ A Fővárosi Állat- és Növénykert 2025. augusztus 9-én ünnepelte 159. születésnapját, amelyhez a HungaroMet is csatlakozott egy különleges, fenntarthatóságra fókuszáló standdal. A látogatók játékos programokon keresztül ismerhették meg a komposztálás előnyeit, az ökocímkek szerepét a tudatos vásárlásban, valamint a tiszta levegő mindennapi jelentőségét. A rendezvény egyszerre kínált inspirációt, tanulási élményt és könnyed szórakozást kicsiknek és nagyoknak.

Látványos fények és repüléstörténetek az Aeroparkban

2025.08.16. ■ Az Aeropark augusztus 16-án különleges hangulatban ünnepelte a Feriegy 75 programsorozatát, ahol a Repülőtér Éjszakája egyetlen estén kapcsolta össze a repülés múltját, jelenét és jövőjét. A látogatók nosztalgiarepüléseken, éjszakai reptérlátogatásokon és látványos járműbemutatókon vehettek részt, miközben pilóták és szakértők izgalmas történetei színesítették a programot. A HungaroMet standja is nagy érdeklődést kapott: a vendégek betekintést nyerhettek a repülésmeteorológusok munkájába, megtudhatták, hogyan készülnek az előrejelzések, és milyen időjárási jelenségek befolyásolják a légi közlekedést. A rendezvény hajnalig tartó élményekkel gazdagította a repülés szerelmeseit.



A klímaszolgáltatások hozzájárulása a klímafinanszírozáshoz WMO esemény Kínában

2025.09.22-26. ■ Szeptember 22-26. között Kínában, Pekingben és Nanjingban, Szanka Gábor, a HungaroMet Nonprofit Zrt. vezérigazgatója és Bátai Nóra, a Nemzeti Alkalmazkodási Központ klímapolitikai szakértője a Meteorológiai Világszervezet Titkársága és a Kínai Meteorológiai Szolgálat által közösen szervezett szakmai látogatáson vett részt.

A HungaroMet széleskörű tevékenységén belül bemutatásra kerültek jelenleg futó projektjeink – például a környezeti monitoring rendszert is felállító DIMOP_PLUSZ-2.3.1-23-2023 projekt –, adatbázisaink – köztük a KlimAdat –, valamint a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR), mint az éghajlati sérülékenység területi különbségeit szemléltető magyar jó gyakorlat.

A Pekingben és Nankingban tartott rendezvényen fejlődő országok és több kínai tartomány meteorológiai szolgálata mellett képviseltették magukat multilaterális fejlesztési bankok, úttörő

vállalatok és klímaalapok vezetői, szakértői. A nemzeti meteorológiai szervezetek és az általuk nyújtott szolgáltatások klímafinanszírozásban játszott szerepe állt az előadások középpontjában. Megerősítette az alábbiak fontosságát:

- a KlimAdatra és NATÉR-ra épülő jelenlegi szolgáltatásaink, ezek döntéstámogató és információs funkciói, illetve továbbfejlesztésükre tett törekvéseink, melyek lehetővé teszik a klímainformációk tervezési és döntéshozatali folyamatokba való integrálását;
- a meteorológiai szolgálatok különböző kormányzati szintű szereplőkkel (pl. ágazatok, felhasználók) való együttműködése, és jelentős hozzájárulásuk az időben történő, tudományosan megalapozott éghajlatváltozással szembeni fellépéshez.

Kitűnő alkalmat jelentett ez az esemény a nemzetközi tudáscserére, illetve inspiráló lehetőség is a CMA és a Nankingban lévő Csiangszu tartományi meteorológiai szolgálat működésének megismerésére.



Tudomány és élmény egy estén – lezajlott a Kutatók Éjszakája a HungaroMet-nél



2025.09.26. ■ Szeptember 26-án a HungaroMet székháza ismét megnyitotta kapuit a Kutatók Éjszakája látogatói előtt, ahol izgalmas szakmai

programok és interaktív élmények várták az érdeklődőket. A délutántól estig tartó rendezvényen előadások szóltak többek között az éghajlatváltozás aktuális kérdéseiről, a légszennyezésről, az üvegházhatású gázokról, valamint arról, hogyan alakítja át a mesterséges intelligencia a meteorológiát. A résztvevők

múzeumi sétán is részt vehettek, ahol meteorológiai ritkaságokat láthattak, és kipróbálhatták, milyen időjárás-jelentőként a kamera elé állni.

A Miskolci Egyetemen a HungaroMet kollégáinak programjai szintén nagy sikert arattak: a vendégek bepillantást nyertek a szuperszámítógépes előrejelzések kulisszatitkaiba, illetve a mesterséges intelligencia csendes forradalmába az időjárás-előrejelzés világában. A rendezvény tartalmas, inspiráló és közérthetően tudományos estét kínált minden látogatónak.

Hírek

Érdekességek a meteorológia világából, jeles napok, megemlékezések belföldről és külföldről

Törökországban tisztelegtek Réthly Antal munkássága előtt

2025.09.22-23. ■ Szeptember 22–23-án magyar delegáció, köztük a HungaroMet három szakembere vett részt Ankarában azon a rangos konferencián, amely Réthly Antal professzor törökországi tevékenysége előtt tisztelegett. A rendezvény a magyar–török tudományos és innovációs együttműködés új fejezetét nyitotta meg, száz évvel azután, hogy Réthly Musztafa Kemál Atatürk megbízásából létrehozta a török meteorológiai hálózatot. Az Ankarai Egyetem ünnepi programján előadások idézték fel a professzor életútját és a két ország meteorológiai kapcsolatainak történetét, majd baráti fogadás erősítette a szakmai kötelezettségeket. A második napon a török állami meteorológiai szolgálat mutatta be tevékenységét, a magyar fél pedig ismertette a DIMOP Plusz

projekt előrehaladását. A delegáció végül ellátogatott az egykori ankarai obszervatóriumba is, ahol továbbra is őrzik Réthly örökségét.



Új együttműködéssel erősítették a Balaton biztonságát

2025.okt. ■ A HungaroMet Nonprofit Zrt. október elején a Somogy és a Veszprém Vármegyei Rendőrfőkapitánysággal kötött együttműködési megállapodást annak érdekében, hogy még hatékonyabbá váljon a viharjelzések kommunikációja a Balaton térségében. A közel százéves hagyományokra épülő viharjelző szolgálat mára az elő- és utószezonban is nélkülözhetetlen, hiszen a horgászok és más vizen tartózkodók nap mint nap támaszkodnak a pontos meteorológiai információkra. Az új partnerség célja, hogy a vizen lévők gyorsabban és megbízhatóbban jussanak figyelmeztetésekhez, miközben a rendvédelmi szervek reakcióideje is tovább javul a veszélyes időjárási helyzetekben.



Új platformon a HungaroMet

2025.okt. ■ A HungaroMet ezentúl a LinkedIn-en is jelen van. Célunk, hogy bemutassuk társaságunk sokrétű tevékenységét, és pontos, ellenőrzött adatokra épülő tájékoztatással erősítsük a kapcsolatot a szakmai közönséggel és szervezetekkel. Megosztunk időjárással, veszélyjelzéssel, éghajlattal, kutatás-fejlesztéssel kapcsolatos aktuális híreket, valamint állásajánlatokat is.



Izgalmas döntővel zárult a MeteoChallenge 2025 – már formálódik a jövő meteorológus nemzedéke

2025.10.10. ■ Október 10-én rendezték meg a MeteoChallenge 2025 döntőjét a HungaroMet székházában, ahol hat középiskolás csapat mérte össze tudását a meteorológia világáról. A verseny a HungaroMet, a Magyar Meteorológiai Társaság és az ELTE Meteorológiai Tanszék közös kezdeményezéseként valósult meg, és már a megnyitón hangsúlyossá vált: a cél a fiatal tehetségek támogatása és a szakma jövőjének építése. A döntőig vezető úton a csapatok esszéikkel és

saját építésű műszerkerttel bizonyították felkészültségüket, a helyszíni fordulóban pedig online kvíz, felhőfelismerés és a balatoni zivatarokról szóló feladatsor várta őket. A verseny végül a „Csapatnév?” csapat győzelmével zárult, őket a „Klíma Királynők” és a „Latyak Egylet” követte a dobogón. A nap egyértelmű üzenetet hagyott maga után: a következő meteorológus-generáció már úton van, és lelkesedésük új lendületet hozhat a tudományba.

A magyar szöcskeegér kapta a főszerepet az idei Vadonleső Gálán

2025.10.19. ■ Október 19-én ismét megtelt étellel a Fővárosi Állat- és Növénykert, ahol a Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft.-vel közösen rendezték meg a Vadonleső Program Év Emlőse kezdeményezés hagyományos záróeseményét. Az idei forgatag középpontjában a magyar szöcskeegér állt, amely játékos bemutatókkal és színes programokkal nyerte el a látogatók figyelmét. A családi rendezvény a természetvédelem ünnepeként szolgált, ahová idén is sokan érkeztek, hogy közelebbről is megismerjék a hazai emlősök világát.

A HungaroMet Nonprofit Zrt. a gálán bemutatta legnagyobb, jelenleg is futó fejlesztését, a DIMOP_PLUSZ-2.3.1-23-2023-00001 projektet, amely a Széchenyi Terv Plusz Digitális Megújulás Operatív Program Plusz keretében, 10 milliárd forintos támogatással valósul meg. A projekt célja egy országos jelentőségű környezeti monitoring rendszer és klímavédelmi adattár létrehozása, valamint egy olyan szolgáltatási környezet kialakítása, amely pontosabb információkat nyújt az éghajlatváltozás hazai tendenciáiról.

A fejlesztés részeként a HungaroMet modernizálja és bővíti jelenlegi, közel 150 WMO-szabvány szerinti automata meteorológiai állomásból álló hálózatát. A tervezett 130 új mérőeszköz beszerzésével az állomások száma 2026-ra csaknem megduplázódik, ami jelentősen javítja a hazai klímaalkalmazkodást segítő adatok mennyiségét és minőségét. A projekt által létrejövő új portál pedig minden eddiginél átfogóbb képet ad majd a változó éghajlat hatásairól, támogatva a katasztrófakockázat-csökkentést és a reziliencia erősítését.

A gálán felállított HungaroMet-standnál a látogatók közelről is megismerkedhettek a fejlesztésekkel, amelyek hosszú távon a hiteles, nemzetközi normáknak megfelelő mérések fenntartását, valamint a fenntartható jövő érdekében végzett szakmai munkát támogatták.

Újabb szezont zár a tavi viharjelzés

2025.10.31. ■ A HungaroMet április 1-től október 31-ig a balatoni, a Velencei-tavi és a Tisza-tavi viharjelzések meteorológiai kiszolgálására vihar-előrejelző szolgálatot működtet, a viharjelzést szolgáló fényjelző rendszer működését a Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (BM OKF) fényjelző rendszere biztosítja. Hamarosan ismét kialszanak a fények a téli időszakra, de jövőre indul minden előről.

Hírek

Érdekességek a meteorológia világából, jeles napok, megemlékezések belföldről és külföldről

Kiosztották a fizikai Nobel-díjat

2025-ben, az ENSZ által meghirdetett „Nemzetközi Kvantumtudomány és Technológia Évében” a fizikai Nobel-díj nyertesei a kvantumvilág kutatói, a Kaliforniai Egyetem három tudósa: John Clarke, Michel Devoret és John Martinis. A díjat odaítélő Svéd Királyi Tudományos Akadémia indoklása szerint az ő érdemük „a makroszkopikus kvantummechanikai alagúthatás és az energia kvantálódásának felfedezése elektromos áramkörökben”.

„A fizika egyik fontos kérdése, hogy mekkora lehet egy olyan rendszer maximális mérete, amelyben kvantummechanikai hatások mutathatók ki” – írták a sajtóközleményben. A három díjazott kutató elektromos áramkörökkel (kvantumchipekkel) végzett kísérleteket, amelyekben kimutatták, hogy makroszkopikus, azaz szabad szemmel látható méretű rendszerekben is megfigyelhetők a kvantummechanika jelenségei, például az energiaszintek kvantáltsága és a kvantumos alagúthatás.

A fizikai Nobel-bizottság elnöke, Olle Eriksson kiemelte, hogy „a több mint száz éves kvantummechanika folyamatosan új meglepetéseket tartogat számunkra, ami rendkívül hasznos mivel a kvantummechanika minden (új) digitális technológia alapja”. A számítógépek mikrochipeiben található tranzisztorok példázzák a bevált kvantumtechnológiákat. Az idén díjazott felismerés lehetőséget teremt a következő generációs fejlesztésekre, egyebek közt a kvantumkriptográfia, a kvantumszámítógépek és a kvantumérzékelők területén.

A fizikai Nobel-díj történetében számos korszakos felfedezést jutalmaztak már a kvantummechanika területén: 1932 és 1954 között olyan neveket találunk a díjazottak között, mint Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, Paul Dirac vagy Max Born, de 1973-ban Leo Esakit, Ivar Giaevert és Brian Josephson is elismerték a díjjal az alagúthatás megértéséért, legutóbb pedig 2022-ben járt Nobel a kvantumösszefonódást vizsgáló kutatóknak.



Photo: University of California

John Clarke

University of California,
USA



Photo: Yale University

Michel H. Devoret

Yale University &
University of California, USA



Photo: Rocco Casalini, Nature

John M. Martinis

University of California,
USA

MEGVÁSÁROLHATÓ

4500 Ft

FELHŐATLASZ

A felhőkről mindenkinek

Mi alapján különböztetjük meg a felhőket?

Hogyan jönnek létre, mi a nevük és milyen érdekességek fűződnek a felhőkhöz?

Milyen időjárás-változás várható az egyes felhők megjelenésekor?

Milyen veszélyes jelenséget látunk: szupercellát, peremfelhőt vagy felhőtölcsért?

Mit tudunk a szivárványról, halóról, délibábról és más légköroptikai jelenségekről?

Ezekre és más kérdésekre is választ kaphat az Olvasó a könyvben.

312 oldal, 305 felhőfotó a Kárpát-medencéből

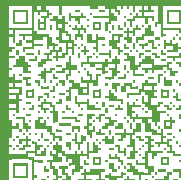


A könyv megrendelhető
a rendezveny@met.hu e-mail címen.

VEDD MEG, VAGY OLVASD ONLINE!

Réthly Antal "Időjárási események és elemi csapások Magyarországon" című négykötetes műve megvásárolható, vagy elérhető digitalizált formában is.

A négy kötet ára 10.000 Ft.



MEGVÁSÁROLHATÓ

4900 Ft

A LÉGTÜNEMÉNYTANTÓLA KÁOSZELMÉLETIG

MAGYAR METEOROLÓGIAI BIBLIOGRÁFIA

A múlt tanulmányozása segíthet abban, hogy tisztábban lássuk: merre érdemes haladnunk a jövőben.

Bozó László és Mészáros Ernő akadémikusok célja, hogy átfogó képet nyújtsanak a magyar nyelvű meteorológiai szakirodalomról, Berde Áron Légtüneménytan című művétől kezdve egészen napjainkig, kötetünkben részletesen ismertetve a hazánkban megjelent meteorológiai témájú tudományos kiadványokat.



A könyv megrendelhető a rendezveny@met.hu e-mail címen

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI

Beszámoló a Magyar Meteorológiai Társaság 2025. július – október közötti időszakáról

Az MMT szakosztályainak előadói ülései

Az **Agro- és Biometeorológiai Szakosztály** 2025. szeptember 15-én előadóülést tartott, melyen Molnár László bemutatta, hogyan hat az AMOC fluktuációja Közép-Európa és hazánk időjárására – múlt, jelen, jövő kitekintéssel. Ezt követően közös párbeszéd bontakozott ki a jelenség hatásáról.

A **Nap- és Szélenergia Szakosztály** és a **Távérzékelési Szakosztály** 2025. október 14-én közösen tartott előadóülést.

Az ülésen az alábbi előadások hangzottak el:

- Bokros Kinga (HungaroMet Zrt, ELTE Meteorológiai Tanszék): Homogén szélsőbesség idősorok létrehozása – elmélet és gyakorlat
- Kolláth Kornél (ALTEO Nyrt.): Égbolt a napelemek szémszögéből – szakmai kihívások napelemparkok menetrendezésekor

Az MMT eseményei

Az MMT által szervezett események széles körben hozzájárulnak a szakmai közösség fejlődéséhez.

Töbör-túra

A 100 km-es jubileumi túra sikerén felbuzdulva, Társaságunk kétnapos gyalogtúrát szervezett a Bükk-fennsíkra szeptember 27-28-án, szombat reggeli indulással és vasárnap esti visszaérkezéssel. A túra célja a Vörösmeteor-töbörben és a Mohos-töbörben lévő mikrometeorológia mérőállomások megtekintése, valamint a Bükk-fennsík felfedezése (Tar-kő, Három-kő, Olasz-kapu stb.) volt. A túrák hossza mindkét nap egyaránt körülbelül 15-20 km volt, 500-600 méter szintemelkedéssel. A program nagy érdeklődést váltott ki, hiszen közel harminc tagtársunk csatlakozott a szakmai kiránduláshoz.

MeteoChallenge 2025 verseny

A HungaroMet Nonprofit Zrt. (155 év), a Magyar Meteorológiai Társaság (100 év) és az ELTE Meteorológiai Tanszék (80 év) közös felhívást tett közzé, mely a MeteoChallenge 2025 meteorológiai versenyre hívta a középiskolásokat. A versenyre 24 csapat nevezett, a két fordulót követően hat csapat jutott a döntőbe, melyet október 10-én a HungaroMet Kitalál Pál utcai székházában rendeztek meg.

Az első fordulóban esszét kellett írniuk a résztvevőknek. A témák között szerepeltek a „világvége” hírek, amelyek kapcsán a média szerepét és a hírek valóságtartalmát elemezték, a klímaváltozás és az aszály, különös tekintettel a jövőbeni szárazságra a Kárpát-medencében, de érkezett pályamű a tájfunok energiájának hasznosítása Japánban témában is.

A második fordulóban a versenyzők feladata egy műszerkert megépítése volt saját készítésű műszerekkel, továbbá észlelést is kellett küldeniük a HungaroMet METÉSZ rendszerébe, amit sokan sikeresen teljesítettek.

A döntőben online kvíz keretében a HungaroMet "Hitelesen az éghajlatváltozásról" weboldalán található videók tartalmáról kérdezték a versenyzőket. Majd a balatoni zivatarokról töltötték ki feladatlapot a HungaroMet weboldalán megjelent, 5 részes cikksorozat alapján. Továbbá felhő felismerés is szerepelt a feladatok között.

Első helyezett lett a Csapatnév? csapat: Kovács Gregor, Kolthay-Kauzler Norbert, Szabó Regő, Eötvös József Gimnázium, Budapest, V. kerület, felkészítő tanár: Szeiman-Kedves Júlia. Második helyezett a Klíma Királynők csapata lett: Rácz Lora, Deli Zsóka, Tordasi Lujza, Tóth Anna, Kodolányi János Gimnázium, Székesfehérvár, felkészítő tanár: Csillag László.

Harmadik helyezett pedig a Latyak Egylet: Dobos Dóra, Hadarics Anna, Farkas Julianna, Farkas Zétény, Prohászka Ottokár Orsolyita Gimnázium, Győr, felkészítő tanár: Kis Katalin. Minden csapat remekül szerepelt. Bízunk benne, hogy néhányukban a jövő meteorológusát ismertük meg.



Képek a Töbör-túráról.





Képek a Töbör-túráról.





Képek a MeteoChallenge 2025 döntőjéről.



TANULMÁNY

ALLAGA-ZSEBEHÁZI GABRIELLA, SZÉPSZÓ GABRIELLA: A városi hőtöbblet mérséklésére vonatkozó érzékenységvizsgálatok Budapestre 70/4, 200-207

BABOLCSAI GYÖRGY: A május és a rákövetkező augusztus átlaghőmérséklete közötti kapcsolat Magyarországon (1976-2025) 70/4, 216-219

BÁDER LÁSZLÓ, SZILÁGYI JÓZSEF: A klimatikus energia- és vízmérleg változásainak vizsgálata a Duna-medencében 1961-től klímadiagram segítségével, 70/1, 28-33

DUICS-KOROSZECZ LILLA, TÓTH HELGA, KRISTÓF ERZSÉBET: Az AROME modell adatasszimilációjának fejlesztése további SYNOP adatokkal, 70/1, 34-41

FRITZ PETRA, KIS ANNA: A Kárpátok éghajlati múltja és jövője: változások 1951 és 2100 között, 70/3, 151-157

GERESDI ISTVÁN: Hogyan befolyásolják a felhők az éghajlatot? 70/4, 190-199

HASZPRA LÁSZLÓ: A légkör szerepe az éghajlati rendszerben, 70/3, 134-142

HÉRINCS DÁVID, KOMJÁTI KORNÉL, KUN SÁNDOR: A 2024. június 9-ei nyugat-magyarországi tornádós helyzet elemzése, 70/2, 11-19

HORVÁTH ÁKOS, BREUER HAJNALKA, SIMON CSILLA: A forráság meteorológiája - A 2024-es nyár időjárási okai és okozatai, 70/2, 2-10

JAKUSCHNÉ KOCSIS TÍMEA, PONGRÁCZ RITA, HATVANI ISTVÁN GÁBOR, MAGYAR NORBERT, ANDA ANGÉLA, KOVÁCSNÉ SZÉKELY ILONA: A keszthelyi homogenizált hőmérsékleti adatok elemzése különös tekintettel a 20. század eleji felmelegedés jeleire, 70/2, 87-91

KRISTÓF ERZSÉBET, KALMÁR TÍMEA: A fotovoltaikus villamosenergia-potenciál változásának várható trendjei a XXI. században, globális éghajlati modellek szimulációs eredményei alapján, 70/1, 20-27

KURCSICS MÁTÉ, HORVÁTH ÁKOS, GERESDI ISTVÁN: A Kárpát-medence térségének jellegzetes helyi szelei, 70/2, 80-86

KURCSICS MÁTÉ, KOMJÁTI KORNÉL: Víztolcsérek, tornádók a Balatonnál 70/4, 208-215

KOVÁCS ATTILA, ERDŐDINÉ MOLNÁR ZSÓFIA: Agrometeorológiai fejlesztések a HungaroMetnél, 70/2, 92-96

MIKES MÁRK ZOLTÁN, DEZSŐ ZSUZSANNA, HOLLÓS ROLAND, PONGRÁCZ RITA: Szokatlan Időjárás Adatvizualizáció – egy tudománykommunikációs eszköz felépítése és módszertana, 70/3, 143-150

ÚJVÁRI GÁBOR: A légköri szén-dioxid szerepe a Föld éghajlatának alakításában az elmúlt 66 millió évben: tanulságok a jelen globális felmelegedés vonatkozásában, 70/2, 70-79

KRÓNIKA

Dr. Antal Emánuel, 70/3, 158-161

ERDŐDINÉ MOLNÁR ZSÓFIA, KOVÁCS ATTILA VIKTOR: 2024 őszének időjárása agrometeorológiai szempontból, 70/1, 62-64

ERDŐDINÉ MOLNÁR ZSÓFIA, KOVÁCS ATTILA VIKTOR: 2024 telének időjárása agrometeorológiai szempontból, 70/2, 118-119

ERDŐDINÉ MOLNÁR ZSÓFIA, KOVÁCS ATTILA VIKTOR: A 2025-ös tavasz időjárása agrometeorológiai szempontból, 70/3, 176-178

ERDŐDINÉ MOLNÁR ZSÓFIA, KOVÁCS ATTILA VIKTOR: A 2025-ös nyár időjárása agrometeorológiai szempontból 70/4, 226-227

LAKATOS MÓNICA: 100 éves a Magyar Meteorológiai Társaság – az ünnepi ülés összefoglalója, 70/2, 98-101

LÁBÓ-SZAPPANOS ESZTER, DOBI ILDIKÓ: A Meteorológiai Világszervezet 150 éves története – megemlékezés az ENSZ-hez való csatlakozás 75-dik évfordulója alkalmából, 70/1, 42-48

LÁBÓ-SZAPPANOS ESZTER, DOBI ILDIKÓ: Török delegáció látogatott a HungaroMet székházába, 70/2, 106-107

MARTON ANNAMÁRIA, IZSÁK BEATRIX, SZENTES OLIVÉR, SZOLNOKI-TÓTIVÁN BERNADETT: A 2024. év éghajlati elemzése, 70/2, 120-126

MARTON ANNAMÁRIA, SZENTES OLIVÉR, SZOLNOKI-TÓTIVÁN BERNADETT: 2025 nyarának időjárása 70/4, 220-225

SZABÓ DOROTTYA: Meteorológiai Világnap a HungaroMetnél, 70/2, 102-105

SZOLNOKI-TÓTIVÁN BERNADETT: 2024 őszének időjárása, 70/1, 56-61

SZOLNOKI-TÓTIVÁN BERNADETT: 2024/2025 telének időjárása, 70/2, 112-117

SZOLNOKI-TÓTIVÁN BERNADETT, MARTON ANNAMÁRIA: 2025 tavaszának időjárása, 70/3, 170-175

TÓTH RÓBERT: Kiváló társadalmi észlelők világnapi kitüntetése, 70/2, 108-111

TÓTH RÓBERT: Mi lett velünk?, 70/3, 162-169

ZSIKLA ÁGOTA, SZILÁGYI ESZTER, KURCSICS MÁTÉ: A 2024. évi tavi viharjelzési szezonról, 70/1, 49-55



Hazapillantás

*Anticiklon keleti peremén a Balaton és Zala fölött Ac floccus, míg északkeletebbre inkább Ac stratiiformis felhőzet látható.
Kapu Tibor, Hunor Program, Nemzetközi Űrállomás, 2025. június 29.*



Asperitas felhőzet

Kovács-Sipos Hajnalka, FelhőNézők, Vecsés, 2025. szeptember 24.



ÉGHAJLATVÁLTOZÁS
Nemzeti Laboratórium

klimavaltozas.org



Magyar Meteorológiai Társaság

A Társaság várja tagjai közé mindazokat, akik érdeklődnek a meteorológia iránt, részt kívánnak venni a Társaság rendezvényein, szívesen bekapcsolódnának tevékenységébe.

www.mettars.hu

METEOROLÓGIAI INFORMÁCIÓK ÉS ÉRDEKESSÉGEK
ELŐREJELZÉS, VESZÉLYJELZÉS, RIASZTÁS
AKTUÁLIS, MÉRT ADATOK, ÉGHAJLAT
LÉGSZENNYEZETTSÉG
KÖRNYEZETVÉDELEM



www.met.hu

Minden információ egy helyen az időjárásról és a meteorológiáról

HUNGAROMET NONPROFIT ZRT.