

LÉGKÖR

71. ÉVFOLYAM 1. SZÁM

**A SZÉN BIOGEOKÉMIAI KÖRFORGALMA
METEOROLÓGIA INTERDISZCIPLINÁRISAN
SZÁNTÓFÖLDI NÖVÉNYEK OPERATÍV
TERMÉSBÉCSLÉSE
HURRIKÁNOK HATASA EURÓPA
IDŐJÁRÁSÁRA**

2026. JANUÁR

*Csípős napkelte az Alföldön
Sütő Máté, Felgyő, 2026. január 9.
Sütő'sPhotography*



*Téli napkelte a Badacsony felett
Somogyi László, 2026. január 10.*



LÉGKÖR

71. évfolyam 1. szám
2026. január

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: 45 15 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. Leelőssy Ádám,
Péliné Dr. Németh Csilla, Dr. Sarkadi Noémi,
Dr. Somfalvi-Tóth Katalin, Dr. Szépszó Gabriella,
Dr. Szintai Balázs, T. Puskás Márta

Olvasószerkesztő: Fritz Petra

Tervezőszerkesztő, grafikus: Szabó Dorottya

HASZPRA LÁSZLÓ: A szén biogeochemiai körforgalma és az éghajlat
The biogeochemical cycle of carbon and the climate 2

TASNÁDI PÉTER, LUCZ ILDIKÓ, MOLNÁR BEÁTA, NÓGRÁDI ZSÓFIA, WEIDINGER TAMÁS: Meteorológia interdiszciplinárisan – A NAT, a tanárképzés, és a szak módszertani kutatások meteorológiai témái
Meteorology Interdisciplinarily – The National Curriculum, Teacher Education, and Meteorology Topics in Subject-Specific Didactic Research 10

KOVÁCS ATTILA VIKTOR: Szántóföldi növények operatív termésbecslése gépi tanulással
Operational crop yield estimation for field crops using machine learning 20

HORVÁTH ÁKOS, KURCSICS MÁTÉ: Hurrikánok öröksége – Trópusi viharok hatása 2025 őszének szélsőséges európai időjárására
Impact of tropical storms on severe weather events in Europe during autumn of 2025 28

ZSIKLA ÁGOTA, SZILÁGYI ESZTER, ERDŐDINÉ MOLNÁR ZSÓFIA: A 2025. évi tavi viharjelzési szezonról 32

SZOLNOKI-TÓTIVÁN BERNADETT: 2025 őszének időjárása 38

ERDŐDINÉ MOLNÁR ZSÓFIA, KOVÁCS ATTILA VIKTOR: A 2025-ös ősz időjárása agrometeorológiai szempontból 44

KÖNYVAJÁNLÓ 46

HÍREK 48

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI 54

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 cikkekkel kapcsolatos formai elvárásokat a www.met.hu/ismeret-tar/kiadvanyok/legkor/ oldalon részletezzük.



A szén biogeokémiai körforgalma és az éghajlat

Haszpra László

HUN-REN Atommagkutató Intézet, HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet, haszpra.l@gmail.com

DOI: 10.56474/legkor.2026.1.1

A szénvegyületek, döntő részben a szén-dioxid, meghatározó szerepet tölthet be a Föld éghajlatának alakításában. A tanulmány áttekinti a szén természetes biogeokémiai körforgalmát és azt, hogy ebben milyen változásokat okozott az emberi tevékenység. Bemutatja a légköri szén-dioxid legfontosabb forrásait és nyelőit, valamint az ezekkel kapcsolatos folyamatokat. Tisztázza, hogy bár a légkör és az egyéb szférák közötti bruttó anyagforgalomhoz képest az emberi kibocsátás viszonylag csekély, a légkör szén-dioxid tartalmát alakító nettó anyagforgalomban meghatározó jelentőségű.

The biogeochemical cycle of carbon and the climate

Carbon compounds, primarily carbon dioxide, play an essential role in shaping the Earth's climate. The study reviews the natural biogeochemical cycle of carbon and the changes caused by human activity. It presents the most important sources and sinks of atmospheric carbon dioxide, as well as the associated processes. Although human emissions are relatively small relative to the gross exchange between the atmosphere and other spheres, the study clarifies that they are of decisive importance in the net mass flow that shapes the carbon dioxide content of the atmosphere.

A Föld egyes szférái¹ között folyamatos az anyagáramlás. A bolygó (kvázi)stabilitása azt tételezi fel, hogy az anyag, amely elhagy egy szférát, rövidebb-hosszabb idő után, esetleg többszörösen is átalakulva, több szférát is megjárva visszatér kiindulási szférájába. A folyamatos anyagmozgásban biológiai, geológiai és kémiai folya-

¹ A fő szférák: atmoszféra, bioszféra, hidroszféra, litoszféra vagy geoszféra. A krioszférát (hó és jég) általában beleértik a hidroszférába, míg a pedoszférát (talaj) többnyire a bioszférához, esetleg a litoszférához sorolják. A litoszféra csak a többi külső szférával kapcsolatot tartó szilárd földkéreg és a földköpeny vele együtt mozgó felső részét tartalmazza, míg a geoszféra a Föld belső részeit (köpeny, külső és belső mag) is magában foglalja.

matok egyaránt részt vehetnek, ezért ezt az anyagközlést biogeokémiai körforgalomnak nevezzük. Az átalakulások miatt a biogeokémiai körforgalmakat a vegyületeket alkotó elemek szintjén tudjuk követni. Ennek megfelelően az egyes szférák közötti anyagáramokat is az adott elem tömegáramaként adjuk meg, hiszen az anyagáramban többféle, különböző molekulásúlyú vegyület is részt vehet, és tömegáramaik egyszerű összegzése az adott elem körforgalmának leírása szempontjából félrevezető lehet.

Az élő szervezetek különösen erős kapcsolatban vannak a környező szférákkal. A velük való anyagcsere révén jutnak a létfenntartásukhoz nélkülözhetetlen elemekhez,

vegyületekhez és adják le anyagcseretermékeiket. Az általunk ismert életformák szénalapúak. Az élő szervezeteket – a vízen kívül – szinte kizárólagosan széntartalmú anyagok építik fel (fehérjék, szénhidrátok, zsírok, nukleinsavak, a csontokban, mészvázakban karbonátok stb.). Az anyagcseretermékként a légkörbe kerülő szénvegyületek pedig visszahatnak a bioszféra környezeti létfeltételeire. Mindezt a bioszféra szempontjából fontos elemek (szén, hidrogén, nitrogén, oxigén, foszfor, kén, magnézium, kálium, nátrium, kalcium, mikroelemek – *Remick and Helmann, 2023*) között a szén biogeokémiai körforgalma kiemelt jelentőségű.

A természetes szénkörforgalom

A szén biogeokémiai körforgalmában részt vevő szférák közül a legtöbb szenet, 20–200 millió gigatonná² (Gt), a litoszférában találjuk (*Kellogg et al., 2019*)³. Az innen a légkörbe szenet juttató vulkáni tevékenység részben még a földköpeny külső részét is érinti. Jelenleg a vulkáni működés és az egyéb geológiai kigázósodások együttesen átlagosan évente mintegy 0,05–0,2 Gt szénmennyiséget, döntően szén-dioxidot (CO₂) juttatnak a légkörbe. (*Foley and Fischer, 2017; Derry, 2024*). Mint látni fogjuk, ez az egyes szférák (rezervoárok) széntartalmához képest nagyon csekély mennyiség. A vulkáni tevékenység számottevő megváltozása is csak geológiai időtáv alatt tudja módosítani az egyéb szférák széntartalmát. Ugyanakkor a vulkáni tevékenység a Föld geológiai története során meghatározó szerepet játszott a légkör összetételének alakításában. Hasonló a helyzet a szilikátos kőzetek lassú karbonátosodásával, kémiai mállásával is, ami viszont szén-dioxidot von ki a légkörből (*Hilton and West, 2020*).

A különböző szférák légkörhöz kapcsolódó széntömegáramának több mint 99%-át a szén-dioxid teszi ki. A szén-dioxid vízben jól oldódik. A hidroszféra és a légkör közötti szén-dioxid áramot a Henry-törvény szabályozza. E szerint az oldatban az oldott gáz koncentrációja arányos a gázfázis gázkoncentrációjával. Melegebb oldat kevesebb anyagot tud oldott állapotban tartani, mint egy hidegebb. Esetünkben az oldat az óceán, míg a gázfázis a légkör. A két közeg között az egyensúlyi koncentráció beállta után nettó anyagáram már nem lép fel: időegység alatt ugyanannyi molekula lép ki az oldatból, mint amennyi beoldódik.

² 1 gigatonna (Gt) = 10⁹ tonna = 10¹⁵ gramm = 1 petagramm (Pg)

³ A földköpenyben és a magban még legalább egy nagyságrenddel több szén van, mint a litoszférában, de a Föld ezen szerkezeti részei nincsenek közvetlen kapcsolatban a légkörrel, a bioszférával és a hidroszférával.

Az óceán azonban nem nyugvó közeg. Amikor a globális óceáni vízkörzésben a víz a hidegebb régiókból a melegebb zónákba érkezik, túltelítetté válik, mivel a felmelegedő víz kevesebb szén-dioxidot tud oldott állapotban tartani, mint a hidegebb. Ezeken a területeken az óceán részben szén-dioxidot bocsát a légkörbe, részben megindul a karbonátok kiválása a vízből. Amikor pedig a vízkörzés során a víz a melegebb területekről visszatér a hidegebb régiókba, lehűl, így szén-dioxidban telítetlenné válik, a Henry-törvényben megfogalmazott egyensúly elérése szén-dioxidot vesz fel a légkörből.

A vízben oldott szén-dioxidot a fotoszintetizáló fitoplankton felveszi, a Napból érkező energia felhasználásával szerves vegyületekké dolgozza fel. Az oldott szén-dioxid emellett beépül a mészvázás élőlények mészvázába. Az elhalt élő szervezetekben megkötött szén lesüllyed az óceánban, ahol részben más élő szervezetek táplálékául szolgál, részben a fenékre süllyedve üledéket, hosszabb idő után a litoszféra részévé váló üledékes kőzetet képez. Ezt a folyamatot az óceánok biológiai szénpumpájának nevezik, szemben a fizikai-kémiai folyamatok (oldódás, karbonát-kiválás a túltelített oldatból) képezte fizikai, más néven oldódási pumpával. Az üledékes kőzetekbe került szén a kéreglemezek mozgásával, alábukásával jut a Föld mélyebb rétegeibe, ahonnan a vulkáni tevékenység juttathatja ismét a légkörbe.

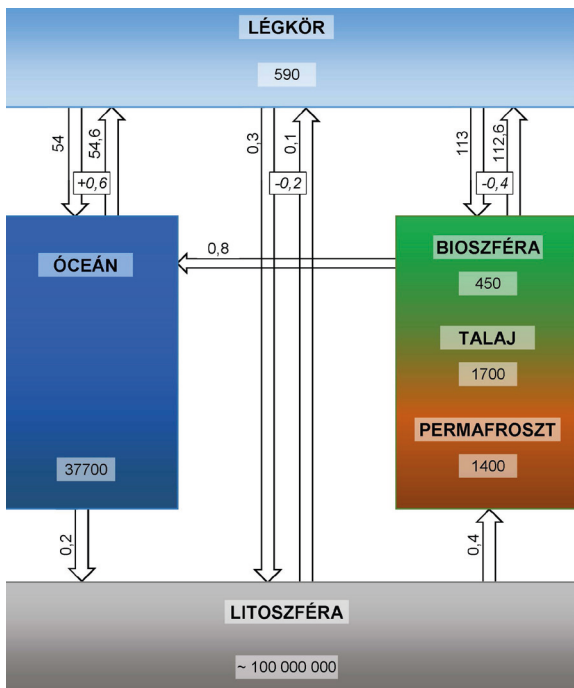
A holocén⁴ intenzív ipari tevékenység előtti időszakban (i.e. ~9700 – i.u. ~1750) az óceánok teljes oldott szervetlen-szén-tartalma (döntő részben karbonát és bikarbonát ionok formájában) 37.000 Gt körül lehetett (*Gruber et al., 2023*). Az oldott szerves anyag becsült mennyisége ehhez képest jelentéktelen (széntömegben kifejezve ~660 Gt – *Hansell et al., 2009*). Az óceáni vízkörzésben a sarkvidéki, lehűlő, telítetlenné váló víztömegek évente 54 Gt szenet vettek fel a légkörből (*Canadell et al., 2021*), lényegében kizárólag szén-dioxid formájában, míg a trópusokon ennél egy kevéssel, körülbelül 0,6 Gt-val többet adtak le, ugyancsak elsősorban szén-dioxid formájában. A különbség oka, hogy a szárazföldről, a talajból, illetve a bioszférából a folyók szerves anyagokat szállítanak az óceánokba, mely tömegnek – egyensúly esetén – távoznia is kell onnan. Egy része a légkör felé távozik, míg a maradék biológiai-kémiai folyamatokon keresztül az üledékbe kerül.

A litoszférát borító talaj hozzátétel 1700 Gt szenet tartalmaz, míg az éghajlati körülményekre érzékeny permafroszt széntartalma 1400 Gt körül lehet

⁴A holocén a legutóbbi eljegesedés lezárultától, 11.700 évvel ezelőtől napjainkig tartó földtörténeti korszak.

(Jackson *et al.*, 2017). A szárazföldi biomasszában lévő széntömeg az iparosodás előtti időkben mintegy 450 Gt volt (Erb *et al.*, 2018; Canadell *et al.*, 2021). A növények fotoszintézise hatalmas mennyiségű szén (~113 Gt/év) vont ki a légkörből szén-dioxid formájában, de a respirációval, illetve a szerves anyagok bomlásával közel ugyanennyit (~112,6 Gt/év) vissza is jutott juttattak a levegőbe (Canadell *et al.*, 2021). Ez a különbség részben kivonta a légkörből az óceánok által kibocsátott szén-dioxidot, elősegítve a légköri széntartalom stabilitását.

A holocén 18. század előtti időszakának globális biogeokémiai szénkörforgalmát az 1. ábra foglalja össze. Mind az egyes szférák széntartalmára vonatkozó értékek, mind a szférák közötti anyagáramok jelentős bizonytalansággal terheltek. Az anyagáramoknál olyan, a bizonytalanságon belüli valószínű értéket szerepeltetünk Canadell és munkatársai munkája



1. ábra. A szén globális biogeokémiai körforgalma az iparosodás előtt (~1750) Canadell és munkatársai nyomán (Canadell *et al.*, 2021), Fridlingstein és munkatársainak pontosításával (Fridlingstein *et al.*, 2025). Az egyes szférák, rezervoárok széntartalma gigatonnában, az anyagáramok gigatonna per évben szerepelnek. Az anyagáramok a becsült tartományuk azon legvalószínűbb értékei, melyeknél az egyes szférák anyagmérlegei kiegyenlítették. Bekeretezve, dőlt karakterekkel a légkör és az egyéb szférák közötti nettó anyagáramokat adjuk meg légköri szemléletben, azaz a légkör számára anyagvesztést jelentő anyagáramok negatív, míg a bevettelt jelentők pozitív előjellel szerepelnek.

nyomán (Canadell *et al.*, 2021), melyekkel összességében kiadódik a körforgalom stabilitása, azaz minden szféra esetében a be- és a kiáramló anyagmennyiségek közelítőleg megegyeznek. A feltüntetett értékek azonban távolról sem jelentik azt, hogy ezeket az értékeket ilyen pontossággal ismerjük.

A fenti, idealizált modell állandó környezeti viszonyokra vonatkozik. A valóságban a környezeti viszonyok az idők során változnak, és ezért a folyamatok kiegyensúlyozottsága sem tökéletes. A széntartalom eloszlása a különböző szférák között nem állandó. A Föld története során a vulkáni aktivitás változásai miatt a légkör szén-dioxid tartalma széles tartományban ingadozott, de részben a kiömlési magmás kőzetek karbonátosodása, részben a szárazföldi és óceáni bioszféra életfolyamatai miatt összességében csökkenő tendenciát mutatott. A bolygó kozmikus okokból bekövetkező hőmérséklet-ingadozásai is átrendezik az egyes szférákban tárolt szénmennyiséget. A földtörténeti közelmúlt eljegesedései során a hidegebbé váló óceánvíz nagyobb mennyiségű oldott szén-dioxidot tudott tárolni, miközben a bioszféra hőmérséklet-függő respirációja, kibocsátása is lecsökkent. Ennek megfelelően az eljegesedési maximumok idején a légkör széntartalma mintegy harmadával volt alacsonyabb, mint a melegebb időszakok, az interglaciálisok idején. A csökkenésben szerepe volt a fitoplankton intenzívebb szén-dioxid felvételének is.

A holocén stabil éghajlata és a sarkvidéki jégbe fagyott légbuborékok elemzése lehetőséget ad számunkra a globális szénkörforgalom kiegyensúlyozatlanságának megbecslésére. A holocén kezdetén a légkör szén-dioxid koncentrációja 265 ppm⁵, míg metántartalma 700 ppb (0,7 ppm) körül volt (Monnin *et al.*, 2001), ami az ipari forradalom kezdetéig, az 1750-es évekig csekély ingadozásokkal 278 ppm-re, illetve 730 ppb-re nőtt (Rubino *et al.*, 2019). Átlagos viszonyok között 1 ppm térfogatarány-változás 2,124 gigatonnányi légköri széntömeg-változással egyenértékű (Ballantyne *et al.*, 2012). A 13 ppm-es növekedés tehát mintegy 28 Gt szénfelhalmozódást jelentett. Ez az időközben eltelt közel 11,5 ezer évre vetítve átlagosan 0,0024 Gt/év légköri kiegyensúlyozatlanságot mutat ~165 Gt/év-es bruttó anyagforgalom (óceán-légkör + bioszféra-légkör) mellett. Ha az i.e. 6000 táján beállt

⁵ 1 ppm = 10⁻⁶ térfogatrész (parts per million), 1 ppb = 10⁻⁹ térfogatrész (parts per billion) = 0,001 ppm. A ppm és a ppb, mint nem SI mértékegységek, a szakirodalomból kikopóban vannak. A térfogatarányt egyre inkább mol-arányban fejezzük ki. A légköri viszonyok között ideális gázként viselkedő szén-dioxid és metán esetében a térfogatarány és a mol-arány számértékben megegyezik. 1 ppm térfogatarány azonos 1 mikromol per mol (μmol/mol) mol-arányal.

259 ppm körüli holocén minimum-koncentrációból indulunk ki, az átlagos kiegyensúlyozatlanságra akkor is rendkívül kicsi, 0,005 Gt/év-es értéket kapunk. Az elmúlt két és fél évszázadban azonban a légkör széntartalma egyre gyorsuló növekedésnek indult. A 2015-2024-es időszakban már elérte az 5,6 Gt/év-et (*Friedlingstein et al.*, 2025), azaz a légköri anyagmérleg kiegyensúlyozatlansága pár száz év alatt három nagyságrenddel megnőtt. Ennek következtében a szén-dioxid légköri koncentrációja 2024-re elérte a 424 ppm-et, míg a metáné az 1942 ppb-t (*WMO*, 2025). A légkör szén-dioxid és metán tartalmának éghajlatbefolyásoló hatása bő 150 éve ismert (*Haszpra*, 2022), ezért a jelenlegi, a földtörténet korábbi időszakaiban soha nem látott ütemű felhalmozódásuk példátlanul gyors globális éghajlatváltozással és annak következményeivel fenyeget.

A légköri szénmérleg megváltozásának okai

Ahogy az 1. ábrán látszik, a légkörnek közvetlenül a litoszférából, a talajt/permafrosztot is magában foglaló bioszférából és az óceánokból származik szénbevétele, illetve ezeknek a szférákba ad át szén. Ha a légköri többletszén a litoszférából származna, az a vulkáni tevékenység és az egyéb szén-dioxid kiáramlással járó geofizikai folyamatok intenzitásának legalább két nagyságrenddel való megnövekedését tételeznék fel az elmúlt 200–300 év során. Ezt bizonyára nemcsak a geológusok, geofizikusok, de valamennyien észrevettük volna. Az óceánokból a légkör felé irányuló szénáram ilyen mérvű megváltozását csak a vízhőmérséklet igen jelentős megváltozása válthatná ki, de ennek egyrészt nincs nyoma, másrészt a több mint 1,3 billió köbkilométernyi víztömeg felmelegítéséhez rengeteg többletenergiának kellett volna megjelennie az éghajlati rendszerben. A légkör-bioszféra anyagforgalom megváltozását az éghajlat megváltozása válthatná ki, ezt viszont ilyen rövid időszakon belül csak a légköri üvegházhatás megváltozása okozhatná, amiben a kulcsszereplő éppen maga a szén-dioxid⁶. Az esetleges okozatot nem cserélhetjük fel az okkal. Ugyanakkor az elmúlt bő két évszázadban jól dokumentált módon megjelent egy korábban lényegében nem létezett anyagforgalmi tag: az emberi kibocsátás.

A 18. századtól, a gőzgép feltalálásától egyre intenzívebbé váló ipari tevékenység energiaforrásként nagyrészt az évmilliók során a litoszférába épült, a hajdani

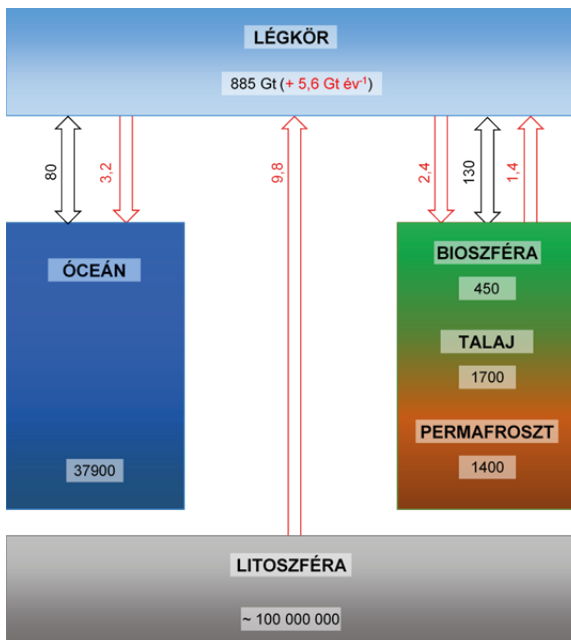
bioszférából származó szerves anyagokból képződött szenet, kőolajat, földgázt (fosszilis tüzelőanyagok) használja, melyek elégetése során, a légköri oxigén felhasználása mellett, szén-dioxid kerül a levegőbe. Hozzáadódik ehhez a modern építőipar nélkülözhetetlen alapanyagát adó cement előállításakor a felhasznált mészkőből felszabaduló szén-dioxid, illetve a mezőgazdasági és beépítési célú területek kialakítása érdekében végzett erdőirtás. Ez utóbbi nemcsak az ottani biomassza elégetésével, a talaj szervesanyag-tartalmának felgyorsuló lebomlásával, hanem a légkörből szén-dioxidot kivonó biomassza csökkenésével is hozzájárul a légkör felé irányuló nettó szénáram növekedéséhez. A mezőgazdasági termelés során a talaj esetleges szervesanyag-vesztesége szintén a légkör széntartalmát növeli.

Az emberi tevékenység ma már 12 Gt-hoz közelítő éves szénkibocsátása (*Friedlingstein et al.*, 2025), amelynek döntő része szén-dioxid⁷, alapvetően bolygatta meg a szén biogeokémiai körforgalmát, részint közvetlenül, részint a többlet szén-dioxid és metán, valamint az egyéb halmozódó üvegházhatású gáz (dinitrogén-oxid, halogénezett vegyületek, ózon) éghajlatra gyakorolt, globális melegedést, éghajlatváltozást kiváltó hatásán keresztül (2. ábra).

Ahogy erről már szó esett, az óceán és a légkör közötti anyagáramlást a Henry-törvény szabályozza. Miközben az emelkedő hőmérséklet csökkenti a szén-dioxid oldhatóságát, a gyorsan növekvő légköri koncentráció növeli. Az ellentétes, de eltérő intenzitású folyamatok nagyon egyszerű illusztrálására álljon itt a következő példa: a szén-dioxiddal telített víz 280 ppm-es légköri koncentráció mellett 14 °C-on literenként 0,583 mg, míg egy fokkal melegebben 0,565 mg szén-dioxidot tartalmaz beoldódva oldott állapotban, nagyrészt karbonát és bikarbonát ionok formájában. Ugyanezekben a hőmérsékleteken, de 420 ppm-es légköri koncentráció mellett az értékek 0,875 mg/L és 0,848 mg/L (*Carroll et al.*, 1991). Ez érzékelteti, hogy miért vált a korábbinál jóval intenzívebbé, ~54 Gt/év helyett ~75 Gt/év nagyságúvá az óceánokba irányuló szénfluxus. Az óceán lassú átkeveredése miatt azonban a légkörről közvetlenül érintkező felszíni vízrétegbe beoldódott szén-dioxid döntő része nem tud mélyebbre kerülni. A melegebb régiókban kigázosodik, ezért a nettó anyagforgalom csak jóval kisebb mértékben változott meg: a kismértékű, ~0,6 Gt/év kibocsátásról napjainkra 3,2±0,4 Gt/év felvételre (2015-2024. közötti átlag – *Friedlingstein et al.*, 2025). A térben erősen változó hőmérséklet,

⁷ A kibocsátást tárgyaló munkák a kibocsátást általában szén-dioxid tömegben adják meg. 1 Gt szén = 3,67 Gt szén-dioxid.

⁶ A légkör üvegházhatásának zömét adó vízgőz mennyisége az éghajlattól függ, azaz önmaga éghajlatváltozást nem indíthat el (*Haszpra*, 2025).



2. ábra. A szén globális biogeokémiai körforgalma a 2015-2024 közötti időszakban (Friedlingstein et al., 2025). Az egyes szférák, rezervoárok széntartalma gigatonnában, az anyagáramok gigatonna per évben szerepelnek. Az antropogén anyagáramokat piros nyilak jelzik. A litoszférából a légkörbe irányuló szénáram mind a fosszilis tüzelőanyagokból, mind a cementgyártásból származó szénmennyiséget tartalmazza. Az 1. ábrán szereplő kisebb hozamú természetes anyagáramokat az áttekinthetőség érdekében erről az ábráról lehagytuk.

víznyomás, a kapcsolódó fizikai-kémiai folyamatok és az áramlások miatt az óceánok szénfelvételének modellezése meglehetősen bonyolult, ezért a fenti példa csak az elmozdulások irányát és nagyságrendjét illusztrálja.

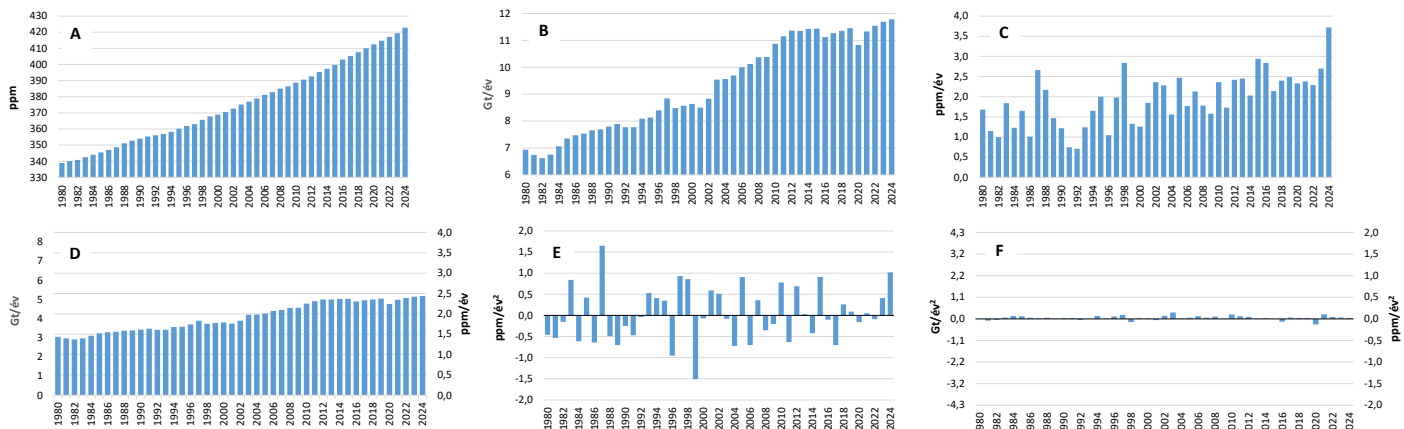
Hosszú ideig az volt a feltételezés, hogy az emberi beavatkozások, erdőirtások miatt a szárazföldi bioszféra inkább forrás, mint nyelő. Az 1980-as évekre azonban az óceáni szénforgalom-mérések bebizonyították, hogy az óceánok – lassú átkeveredésük miatt – képtelenek annyi szenet kivonni a légkörből, mint amennyi az emberi kibocsátásból a mérések alapján a légkörből hiányzik. Jó ideig a sejtés szintjén maradt, hogy a különbséget valamilyen módon mégis a szárazföldi vegetáció veszi fel (pl. Bolin, 1977). A vegetáció nettó szénfelvétele a mérések sokasodásával és a légköri inverz terjedési modellek megjelenésével az 1980-as évek végére bizonyosodott be (Tans et al., 1990; Friedlingstein et al., 1995). A szárazföldi bioszféra szerepét illető korabeli bizonytalanság érthető, hiszen mai ismereteink szerint ez a szféra csak az 1960-as, 1970-es

években változott nettó forrásból nettó nyelővé a szénfelvétel növekedésével és az erdőirtások lassú visszaszorulásával (Friedlingstein et al., 2025).

Ma a szárazföldi vegetáció évente 29 Gt-val több szenet vesz fel, mint az ipari forradalom kibontakozása előtt (Canadell et al., 2021). Ez egyrészt a magasabb légköri szén-dioxid koncentrációnak, az ún. szén-dioxid „trágyázásnak”, másrészt az ugyancsak emberi eredetű légszennyezéssel a természetbe kerülő, szintén növényi tápanyagként szolgáló többlet nitrogénnek és esetleg az éghajlat megváltozásának köszönhető. Ez utóbbi kérdéses, mert míg a melegebb és nedvesebb éghajlat valóban növelheti a szénfelvételt, az egyre gyakoribb hőhullámok és aszályok, erdő- és bozóttüzek ellentétes irányban hathatnak (Wolkovich et al., 2025; Dong et al., 2026). A biomassza tömegének és részben a hőmérséklet növekedésének következtében a respiráció is erősödik, ezért a nettó szénfelvétel csak $2,4 \pm 0,8$ Gt/év-re nőtt (2015-2024 átlag – Friedlingstein et al., 2025). Az elmúlt néhány évtizedben megfigyelhető nettó szénfelvétel azonban csak hibahatáron belül gyarapíthatta eddig a szárazföldi biomassza össztömegét. Egyelőre éppen csak visszapótolta azt, amit az emberi tevékenység következtében korábban elveszített (Canadell et al., 2021; Chen et al., 2026).

Az egyre kiterjedtebb és nagy pontosságú mérőhálózatnak köszönhetően a szén-dioxid légköri mennyiségének évi növekedési ütemét nagyon pontosan, 3%-osnál kisebb bizonytalansággal meg tudjuk határozni. Hasonlóan kicsi (~5%) a bizonytalansága a fosszilis tüzelőanyagokból származó kibocsátásnak (Friedlingstein et al., 2025). Bár a különbségüket az előbbieik alapján elég pontosan kiszámolhatjuk, a bioszféra és a légkör, valamint az óceán és a légkör közötti nettó anyagforgalmat külön-külön lényegesen bizonytalanabban ismerjük (~30%). A legújabb modellszámítások szerint a nettó óceáni szén-dioxid felvétel valószínűleg valamelyest nagyobb, míg a bioszferikus felvétel ugyanennyivel kisebb, mint az e tanulmányban is idézett korábbi becslési középértékek, de belül vannak azok bizonytalansági tartományán (Friedlingstein et al., 2026).

Bár az emberi kibocsátás ma is csak alig több, mint 5%-a a bruttó légköri anyagforgalomnak, a rendszer kiegyensúlyozatlanságának három nagyságrenddel való megnövelésével alapvetően módosította a szén biogeokémiai körforgalmát. A 18. század közepe óta a teljes emberi kibocsátás 750 ± 65 Gt körül lehetett. Eközben a légkör széntartalma 590 Gt-ról 900 Gt-ra nőtt. A kibocsátás légkörben maradó hányada az elmúlt bő fél évszázadban nem mutatott érdemi változást, de évről évre széles sávban ingadozott (20–80%) a ~44%-os átlag körül



3. ábra. A szén-dioxid globális átlagkoncentrációjának (<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html> - letöltve 2026.02.03.) (A) és az antropogén szén-dioxid kibocsátásnak (Friedlingstein et al., 2025) (B) az alakulása. A koncentráció növekedési ütemének időbeli menete (C), illetve az emberi kibocsátás okozta potenciális légköri széntartalom-növekedés az átlagos 44%-os légkörben maradó hányadot feltételezve (D). A légkörben megfigyelhető koncentráció-növekedés egyik évről a másikra bekövetkező ingadozása (E) és az ebből az emberi kibocsátás ingadozásának tekinthető rész, az átlagos 44%-os légkörben maradó hányad mellett (F). A (D) és (F) ábrán mind a légköri széntömeg-változást (bal tengely), mind az ebből számítható koncentráció-változást (jobb tengely) feltüntették.

(Bennett et al., 2024). Az ingadozás mértéke sokkal nagyobb, mint az emberi kibocsátás ingadozása (3. ábra). A jelenség háttérben elsősorban a Déli Oszcilláció, az El Niño/La Niña időszakok váltakozása, illetve egy-egy nagyobb vulkánkitörés időjárás-befolyásoló hatása áll.

El Niño időszakokban jellemzően az átlagosnál gyorsabb a légkör széntartalmának növekedési üteme, míg La Niña időszakokban lassabb, azaz az emberi kibocsátásból átmenetileg nagyobb, illetve kisebb hányad marad a légkörben. Kézenfekvő lenne feltételezni, hogy az El Niño időszakokban felmelegedő felszíni vizekből az átlagosnál több szén-dioxid gázosodik ki, azaz csökken a nettó szénfelvétel a légkörből, míg La Niña időszakokban nő. Ez azonban nem így van. A felmelegedő felszín, az így kialakuló stabilabb rétegződés akadályozza az oldott szénben gazdag hideg mélységi víztömeg feláramlását, és így még valamelyest csökken is a kigázosodás (Kim et al., 2016; Liao et al., 2020). A légköri szén-dioxid koncentráció növekedési ütemének pozitív anomáliájáért az El Niño/La Niña jelenség hatásaira érzékenyen reagáló szárazföldi bioszféra felel. Az El Niño időszakok sok helyen vízhiánnyal is párosuló magasabb hőmérséklete korlátozza a fotoszintézist és valamelyest növeli a respiráció intenzitását, miközben nő a kiterjedt erdő- és bozóttüzek előfordulása is.

Ugyancsak paradox módon, a nem kevés szén-dioxidot is a légkörbe juttató vulkánkitörések átmenetileg csökkenthetik a légköri koncentráció növekedési ütemét, adott esetben akár a koncentrációt is. Példa erre a Mount Pinatubo 1991. júniusi kitörése. Bár a kitörés egy erőteljes El Niño időszakra esett, a szén-dioxid légköri

koncentrációjának növekedési üteme 1991–1992-ben alacsonyabb volt, mint a környező években (3.C ábra). A sztratoszférába került nagymennyiségű vulkáni por, hamu és szulfátrészecskéket képző kén-dioxid hatására átmenetileg csökkent a felszín elé érő besugárzás. A globálisan alacsonyabb hőmérséklet mérsékelte a növényzet respirációját, a szórt sugárzás megerősödése pedig növelte a fotoszintézis intenzitását (Gu et al., 2003).

A bioszféra ez a nagyfokú érzékenysége egyik évről a másikra akár 1,5 ppm/év-vel is megváltoztathatja a légköri szén-dioxid koncentráció növekedési ütemét, ami már összemérhető a teljes emberi kibocsátás által okozott, az utóbbi évek átlagában 2,5 ppm/év körüli növekedési ütemmel. Az elmúlt évtizedek adatai alapján a légköri koncentráció növekedési ütemében a bioszféra változó viselkedésének tulajdonítható szórás 0,6 ppm/év körül van.

Az emberi kibocsátásban a 2020. évi COVID-19 járvány, a kapcsolódó lezárások csaknem 6%-os visszaesést okoztak. Ez, az átlagos, 44%-os légkörben maradó hányadot feltételezve kb. 0,15 ppm-mel foghatta vissza a 2020. évi CO₂ koncentráció növekedést. Ahogy ez a 3.F ábrán látható, ez bőven a fent említett jelentős természetes ingadozás tartományán (3.E ábra) belül van. Ezért sem ez, sem a kibocsátás következő évi „visszapatánása” a légköri növekedési ütemben, a koncentráció menetében nem mutatható ki. Hasonlóan kimutathatatlant volt a 2009. évi globális gazdasági válság hatása. Míg a hosszabb távú változásokat az emberi tevékenység dominálja (3.C és 3.D ábra), az évek közötti növekedésiütem-ingadozást a természet (3.E és 3.F ábra).

Összefoglalás

A fosszilis tüzelőanyagok felhasználásával és a cementgyártással az ember meglehetősen pontosan dokumentált módon évente 9,8 Gt szén-dioxidot bocsát a levegőbe (2015–2024. évi átlag), döntő részben szén-dioxid formájában. Ehhez járul – kevésbé pontos becslések alapján – 1,4 Gt az erdőirtásokból, a földhasználat változtatásból. A közel 200 nagypontosságú mérőhely adatai alapján kisebb mint 3%-os bizonytalansággal tudjuk, hogy a légkör széntartalma a 2015–2024 közötti időszakban évente 5,6 Gt-val gyarapodott (Friedlingstein et al., 2025). A növekmény döntő részének fosszilis eredetét (szén, kőolaj, földgáz) az izotóppösszetétel mérések igazolják. A növekvő légköri szén-dioxid koncentráció és néhány más tényező (nitrogénbevitel, éghajlatváltozás), továbbá fizikai-kémiai folyamatok hatására az emberi tevékenység révén a légkörbe bocsátott szénmennyiség mintegy felét a bioszféra és az óceánok kivonják, fékezve az ember gerjesztette globális éghajlatváltozást. Bár a mérésekkel is alátámasztott folyamatok egyértelműek, mégis időről időre találkozunk azzal a kérdéssel, hogy tényleg az ember okozza-e a szénfelhalmozódást a légkörben? Félretéve az eddig tárgyalt, a szén globális biogeokémiai körforgalmára vonatkozó ismereteinket, adódhat a kérdés: ha az évről évre növekvő, jelenleg évi 5,6 gigatonnányi légköri növekmény meghatározó módon a bioszférából és/vagy az óceánokból és/vagy a geológiai folyamatokból származna, akkor hová a manóba tűnik az ember által évente a légkörbe bocsátott 11,2 Gt?

Irodalomjegyzék

- Ballantyne, A.P., Alden, C.B., Miller, J.B., Tans, P.P., White, J.W.C., 2012: Increase in observed net carbon dioxide uptake by land and oceans during the past 50 years. *Nature* 488, 70-72. <https://doi.org/10.1038/nature11299>
- Bennett, B.F., Salawitch, R.J., McBride, L.A., Hope, A.P., Tribett, W.R., 2024: Quantification of the airborne fraction of atmospheric CO₂ reveals stability in global carbon sinks over the past six decades. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 129, e2023JG007760. <https://doi.org/10.1029/2023JG007760>
- Bolin, B., 1977: Changes of land biota and their importance for the carbon cycle. *Science* 196, 613-615. <https://doi.org/10.1126/science.196.4290.613>
- Canadell, J.G., Monteiro, P.M.S., Costa, M.H., Cunha, L.C.d., Cox, P.M., Eliseev, A.V., Henson, S., Ishii, M., Jaccard, S., Koven, C., Lohila, A., Patra, P.K., Piao, S., Rogelj, J., Syampungani, S., Zaehle, S., Zickfeld, K., 2021: Global carbon and other biogeochemical cycles and feedbacks. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 673-816. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.007>
- Carroll, J.J., Slupsky, J.D., Mather, A.E., 1991: The solubility of carbon dioxide in water at low pressure. *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 20, 1201-1209. <https://doi.org/10.1063/1.555900>
- Chen, W., Ciais, P., Yu, K., Viovy, N., Li, S., Tan, L., 2026: Millennial land carbon emissions in China offset by carbon sinks of the past four decades. *Nature Communications*, <https://doi.org/10.1038/s41467-026-70049-3>
- Derry, L.A., 2024: Closing the geologic carbon cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 121, e2409333121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2409333121>
- Dong, G., Jiang, F., Zhang, Y., Ju, W., Piao, S., Ciais, P., Peters, W., Lujikx, I.T., Liu, J., Chevallier, F., Zeng, N., Tian, X., Maksyutov, S., Sonnentag, O., Arain, M.A., Barr, A.G., Huang, Y., Yue, C., Yuan, W., Liu, L., Fan, L., Yue, X., Xiao, J., Li, X., Sitch, S., Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Knauer, J., Arora, V., Kennedy, D., Ma, L., Thornton, P.E., Séférian, R., Nützel, T., Heinke, J., Sun, Q., Zaehle, S., Peylin, P., Kato, E., Alcock, H., Lecavalier, B., Wu, M., Wang, J., Zhang, L., Lv, G., Zhang, Y., Zhao, D., Chen, J.M., 2026: Canadian net forest CO₂ uptake enhanced by heat drought via reduced respiration. *Nature Geoscience* 19, 145-152. <https://doi.org/10.1038/s41561-025-01875-1>
- Erb, K.-H., Kastner, T., Plutzer, C., Bais, A.L.S., Carvalhais, N., Fetzel, T., Gingrich, S., Haberl, H., Lauk, C., Nierdertscheider, M., Pongratz, J., Thurner, M., Luyssaert, S., 2018: Unexpectedly large impact of forest management and grazing on global vegetation biomass. *Nature* 553, 73-76. <https://doi.org/10.1038/nature25138>
- Foley, S.F., Fischer, T.P., 2017: An essential role for continental rifts and lithosphere in the deep carbon cycle. *Nature Geoscience* 10, 897-902. <https://doi.org/10.1038/s41561-017-0002-7>
- Friedlingstein, P., Funck, I., Holland, E., John, J., Braeser, G., Erickson, D., Schimel, D., 1995: On the contribution of CO₂ fertilization to the missing biospheric sink. *Global Biogeochemical Cycles* 9, 541-556. <https://doi.org/10.1029/95GB02381>
- Friedlingstein, P., Le Quéré, C., O'Sullivan, M., Hauck, J., Landschützer, P., Lujikx, I.T., Li, H., van der Woude, A., Schwingshackl, C., Pongratz, J., Regnier, P., Andrew, R.M., Bakker, D.C.E., Canadell, J.G., Ciais, P., Gasser, T., Jones, M.W., Lan, X., Morgan, E., Olsen, A., Peters, G.P., Peters, W., Sitch, S., Tian, H., 2026: Emerging climate impact on

- carbon sinks in a consolidated carbon budget. *Nature* 649, 98-103. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09802-5>
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M.W., Andrew, R.M., Bakker, D.C.E., Hauck, J., Landschützer, P., Le Quéré, C., Li, H., Luijckx, I.T., Peters, G.P., Peters, W., Pongratz, J., Schwingshackl, C., Sitch, S., Canadell, J.G., Ciais, P., Aas, K., Alin, S.R., Anthoni, P., Barbero, L., Bates, N.R., Bellouin, N., Benoit-Cattin, A., Berghoff, C.F., Bernardello, R., Bopp, L., Brasika, I.B.M., Chamberlain, M.A., Chandra, N., Chevallier, F., Chini, L.P., Collier, N.O., Colligan, T.H., Cronin, M., Djeutchouang, L., Dou, X., Enright, M.P., Enyo, K., Erb, M., Evans, W., Feely, R.A., Feng, L., Ford, D.J., Foster, A., Fransner, F., Gasser, T., Gehlen, M., Gkritzalis, T., Goncalves De Souza, J., Grassi, G., Gregor, L., Gruber, N., Guenet, B., Gürses, Ö., Harrington, K., Harris, I., Heinke, J., Hurtt, G.C., Iida, Y., Ilyina, T., Ito, A., Jacobson, A.R., Jain, A.K., Jarníková, T., Jersild, A., Jiang, F., Jones, S.D., Kato, E., Keeling, R.F., Klein Goldewijk, K., Knauer, J., Kong, Y., Korsbakken, J.I., Koven, C., Kunimitsu, T., Lan, X., Liu, J., Liu, Z., Lo Monaco, C., Ma, L., Marland, G., McGuire, P.C., McKinley, G.A., Melton, J., Monacci, N., Monier, E., Morgan, E.J., Munro, D.R., Müller, J.D., Nakaoka, S.I., Nayagam, L.R., Niwa, Y., Nutz, T., Olsen, A., Omar, A.M., Pan, N., Pandey, S., Pierrot, D., Qin, Z., Regnier, P.A.G., Rehder, G., Resplandy, L., Roobaert, A., Rosan, T.M., Rödenbeck, C., Schwinger, J., Skjelvan, I., Smallman, T.L., Spada, V., Sreesh, M.G., Sun, Q., Sutton, A.J., Sweeney, C., Swingedouw, D., Séférian, R., Takao, S., Tatebe, H., Tian, H., Tian, X., Tilbrook, B., Tsujino, H., Tubiello, F., van Ooijen, E., van der Werf, G., van de Velde, S.J., Walker, A., Wanninkhof, R., Yang, X., Yuan, W., Yue, X., Zeng, J., 2025: Global Carbon Budget 2025. *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* 2025, 1-139. <https://doi.org/10.5194/essd-2025-659>
- Gruber, N., Bakker, D.C.E., DeVries, T., Gregor, L., Hauck, J., Landschützer, P., McKinley, G.A., Müller, J.D., 2023: Trends and variability in the ocean carbon sink. *Nature Reviews Earth & Environment* 4, 119-134. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00381-x>
- Gu, L., Baldocchi, D.D., Wofsy, S.C., Munger, J.W., Michalsky, J.J., Urbanski, S.P., Boden, T.A., 2003: Response of a deciduous forest to the Mount Pinatubo eruption: Enhanced photosynthesis. *Science* 299, 2035-2038. <https://doi.org/10.1126/science.1078366>
- Hansell, D., Carlson, C., Repeta, D., Schlitzer, R., 2009: Dissolved organic matter in the ocean: A controversy stimulates new insights. *Oceanography* 22, 202-211. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2009.109>
- Haszpra, L., 2022: Fejezetek az üvegáthzhatás-kutatás történetéből. *Magyar Tudomány* 183, 57-68. <https://doi.org/10.1556/2065.183.2022.1.5>
- Haszpra, L., 2025: A légkör szerepe az éghajlati rendszerben. *Légkör* 70, 134-142. <https://doi.org/10.56474/legkor.2025.3.1>
- Hilton, R.G., West, A.J., 2020: Mountains, erosion and the carbon cycle. *Nature Reviews Earth & Environment* 1, 284-299. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0058-6>
- Jackson, R.B., Lajtha, K., Crow, S.E., Hugelius, G., Kramer, M.G., Piñeiro, G., 2017: The ecology of soil carbon: pools, vulnerabilities, and biotic and abiotic controls. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 48, 419-445. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054234>
- Kellogg, L.H., Turcotte, D.L., Lokavarapu, H., 2019: On the role of the Urey reaction in extracting carbon from the Earth's atmosphere and adding it to the continental crust. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences* 6. <https://doi.org/10.3389/fspas.2019.00062>
- Kim, J.-S., Kug, J.-S., Yoon, J.-H., Jeong, S.-J., 2016: Increased atmospheric CO₂ growth rate during El Niño driven by reduced terrestrial productivity in the CMIP5 ESMs. *Journal of Climate* 29, 8783-8805. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-14-00672.1>
- Liao, E., Resplandy, L., Liu, J., Bowman, K.W., 2020: Amplification of the ocean carbon sink during El Niños: Role of poleward Ekman transport and influence on atmospheric CO₂. *Global Biogeochemical Cycles* 34, e2020GB006574. <https://doi.org/10.1029/2020gb006574>
- Monnin, E., Indermuhle, A., Dällenbach, A., Flückiger, J., Stauffer, B., Stocker, T.F., Raynaud, D., Barnola, J.-M., 2001: Atmospheric CO₂ concentrations over the Last Glacial Termination. *Science* 291, 112-114. <https://doi.org/10.1126/science.291.5501.112>
- Remick, K.A., Helmann, J.D., 2023. Chapter One - The elements of life: A biocentric tour of the periodic table, In: *Advances in Microbial Physiology* [Eds.: Poole, R.K., Kelly, D.J.], Academic Press, 1-127.
- Rubino, M., Etheridge, D.M., Thornton, D.P., Howden, R., Allison, C.E., Francey, R.J., Langenfelds, R.L., Steele, L.P., Trudinger, C.M., Spencer, D.A., Curran, M.A.J., van Ommen, T.D., Smith, A.M., 2019: Revised records of atmospheric trace gases CO₂, CH₄, N₂O, and δ¹³C-CO₂ over the last 2000 years from Law Dome, Antarctica. *Earth Syst. Sci. Data* 11, 473-492. <https://doi.org/10.5194/essd-11-473-2019>
- Tans, P.P., Fung, I.Y., Takahashi, T., 1990: Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget. *Science* 247, 1431-1438. <https://doi.org/10.1126/science.247.4949.1431>
- WMO, 2025: The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2024. *WMO Greenhouse Gas Bulletin* 21, <https://wmo.int/publication-series/wmo-greenhouse-gas-bulletin-no-21>
- Wolkovich, E.M., Ettinger, A.K., Chin, A.R., Chamberlain, C.J., Baumgarten, F., Pradhan, K., Manzanedo, R.D., Hille Ris Lambers, J., 2025: Why longer seasons with climate change may not increase tree growth. *Nature Climate Change* 15, 1283-1292. <https://doi.org/10.1038/s41558-025-02476-x>



Meteorológia interdiszciplinárisan – A NAT, a tanárképzés, és a szakmódszertani kutatások meteorológiai témái

Tasnádi Péter, Lucz Ildikó, Molnár Beáta, Nógrádi Zsófia, Weidinger Tamás

ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, ttasip6@gmail.com

DOI: 10.56474/légkor.2026.1.2

A légköri jelenségek ősidők óta foglalkoztatják az embereket. Az ókortól kezdve jelentős szerepet kaptak a meteorológiai ismeretek mind a tudományban, mind az oktatásban. Az alapvető természettudományos diszciplínák (fizika, kémia, biológia, földrajz-földtudományok) kifejlődése a légköri jelenségek oktatását a földrajzi ismeretkörbe szorította. Korunkban azonban a környezettudomány szerepének növekedése a meteorológiai ismeretek tanításának reneszánszát hozta. A légkör lenyűgöző jelenségeinek, az időjárás mindennapjainkra gyakorolt hatásának vizsgálata nagy motiváló erőt jelent a diákok számára a természettudományok irányában. A jelenségek magyarázata pedig komplex ismereteket, a természettudományos tárgyakban tanultak összegző alkalmazását igényli a tanároktól. A diákok munkájának megtervezése, a tanítási anyagok középiskolai szintű kidolgozása a tanárképzésben és a módszertani kutatásban is új feladatokat jelent. A cikkben bemutatjuk, hogy ennek a feladatnak a teljesítésében milyen útkeresés zajlik, és hogyan vesz részt ebben az ELTE Meteorológiai Tanszék.

Meteorology Interdisciplinarily – The National Curriculum, Teacher Education, and Meteorology Topics in Subject-Specific Didactic Research

Mankind has long been interested in atmospheric phenomena. Both in science and in education these phenomena have played a central role since ancient times. However, the development and separation of the basic scientific disciplines (physics, chemistry, biology and geology) have limited the teaching of atmospheric phenomena to the field of geography. More recently, environmental issues are at the forefront of people's interest, and the teaching of meteorology has come to a new renaissance. The study of the fascinating phenomena of the atmosphere and the explanation of the impact of daily weather on our daily lives are a great motivation for students, while requiring teachers to summarise complex knowledge and apply the laws of the different subjects. Planning lesson and creating teaching resources for high school learners, present new challenges for teacher training and methodological research. In this paper we introduce the focal points of this research and the way in which the Department of Meteorology at Eötvös Loránd University participates in this process.

A légköri jelenségek, az időjárás ősidők óta foglalkoztatja az emberiséget, hiszen gyakran az emberek léte függ tőle. Ennek megfelelően a meteorológia már a természettudomány kialakulásakor szerepet kapott a filozófus-tervezettudósok vizsgálataiban. Arisztotelész négykötetes munkája tekinthető a meteorológia első részletes tárgyalásának. A mű (*Aristotele*, 2004) tudományos megállapításai mára többnyire nem tartathatóak, kérdésfelvetései azonban olyan mélyrehatóak, hogy ma is érdemes megismerni őket. *Mészáros* (2006) például a környezettudomány első megalapozásának tekinti a művet. Arisztotelész foglalkozik a felhőképződéssel, keresi a szél okát, és a légköri optikát, illetve a villámok és a mennydörgés kérdését is részletesen tárgyalja. A meteorológia hosszú ideig a fizika tankönyvekben is jelentős helyet kapott. *Amédée Guillemin* 1895-ben magyar nyelven is kiadott „A mágnesség és elektromosság” című könyvében például hosszú fejezetben foglalkozik a jégesőben képződő graupelek szerkezetével (*Guillemin*, 1895), de *Feynman* Mai Fizika sorozata is önálló fejezetet szentel a légköri elektromosságnak (*Feynman et al.*, 1969). A középiskolai és az egyetemi fizika tanterveiből a tudományos ismeretek halmozódásával, és a diszciplínák egyre erőteljesebb szétválásával, azonban a meteorológia egyre inkább kiszorult. Nagyrészt csak marginálisan, érdekes motivációs kiegészítésként jelent meg belőle néhány téma (ciklonok, anticiklonok, villámok, halójelenségek stb.). Középiskolában törzsanyagként a földrajz oktatásában kapott szerepet, ami a leíró jellegű ismeretközlés felé toltta el a tananyagot.

A környezettudományi ismeretek egyre fontosabbá válása, a fenntartható fejlődés kérdésének és a felelős állampolgári magatartásra nevelés igényének előtérbe kerülése miatt azonban a környezettudományi és meteorológiai vonatkozású ismeretek – ha tananyagon kívül is, de – mind nemzetközi, mind hazai szinten egyre inkább helyet követeltek maguknak a középiskolai fizikaoktatásban (*Rickinson*, 2001). A környezettudományi és globális kérdések tárgyalása a diszciplináris tananyag feldolgozásban szerzett ismeretek integrálását igényelte, így a különböző természettudományos tantárgyakban szétaprózva megjelenő meteorológiai ismeretek az interdiszciplináris projektek alkotóelemeivé válhattak.

Az ELTE tanszékei fontosnak érezték a középiskolákkal, a középiskolás diákokkal kialakított személyes kapcsolatot. A Meteorológiai Tanszék például a kezdetektől részt vesz a nemzetközi GLOBE Környezeti Nevelési Program hazai megvalósításában (*Weidinger et al.*, 2006, 2007; *Tóth*, 2015; [1]). Hazánkban közel 30 GLOBE Iskola van. Környezeti méréseket,

többek között meteorológiai megfigyeléseket végeznek. A program a 2000-es évek elején élte fénykorát, de ma is vannak aktív GLOBE csoportok. Itt a mi feladatunk a meteorológiai mérések segítése, s ha kell, szakmai tanácsadás (*Weidinger et al.*, 2007). Új kezdeményezés a 2014-ben alakult Földtudományi Civil Szervezetek Közösségének (FÖCIK) 2021-ben útjára indított, évenként megrendezésre kerülő „Baksa Csaba Kárpát-medencei Földrajz és Földtudományi verseny”, ahol az ELTE Meteorológiai Tanszék munkatársai által összeállított kérdések is szerepelnek [2]. „MeteoChallenge 2025” címmel középiskolásoknak szóló meteorológiai versenyt hirdetett a Magyar Meteorológiai Társaság, a HungaroMet Nonprofit Zrt. és az ELTE Meteorológiai Tanszéke. Sok jó kezdeményezés van meteorológia iránt érdeklődő hallgatók „bevonására”.

A Meteorológus TDK közel háromnegyed évszázados hagyományokkal rendelkezik (*Weidinger*, 2012). A hallgatói kutatások mellett középiskolás diákok meteorológiával-klimatológiával foglalkozó munkáit is befogadja. A Tanszék munkatársai a középiskolai tanárokkal együtt végzik a mentorálást, a témavezetést. Az utóbbi évek diákköri konferenciáin 3 ilyen előadás is elhangzott. A témakörök között szerepelt „Környezeti mérések a Kodály Zoltán Magyar Kórusiskolában”, egy másik előadás a játszóterek mikroklímájával foglalkozott. Infrahőmérővel végzett mérések alapján elemezték a különböző színű és anyagú burkolatok, játszótéri elemek hőmérsékletét, a fák hatását, s javaslatot tettek a játszóterek optimális kialakítására. Az ELTE Radnóti Miklós Gyakorló Általános Iskola és Gyakorló Gimnázium földrajz és fizika órák anyagát összehangolva interdiszciplináris projektet dolgoztak ki a városi hőszigetek, és a különböző felületek hőmérsékleti hatásának vizsgálatára (*Darabos és Nógrádi*, 2024). A Budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium egyik hallgatója, Csontos András pedig a Balaton-felvidéken végzett mikroklíma méréseiről számolt be. A fehér akác lombhullásának idejét vizsgálta különböző tengerszint feletti magasságokban és kapcsolta össze terepi meteorológiai mérésekkel. A dolgozatok szerzői ma már a Meteorológiai Tanszék hallgatói.

A 2020-ban bevezetett új NAT (Nemzeti Alaptanterv) és a ráépülő kerettanterv gyökeresen megváltoztatta a fizika és más természettudományos tárgyak tanításának kereteit, lehetőségeit és tartalmát. Számos meteorológiai alapismeret vált kötelező tantervi elemmé. Korábban, mint már említettük, ezek jelentős hányada csak a tananyag kiegészítő vagy olvasmány részében került megemlítésre (pl. a légköri optikai jelenségek, villámok és villámvédelem).

A következőkben áttekintjük a meteorológia oktatási lehetőségeit, megjelenését a középiskolai és egyetemi oktatásban, hangsúllyal kezelve tanárképzési vonatkozásait és kiemelve az ELTE Meteorológiai Tanszék szerepvállalását. A cikk befejezésként néhány jelenleg futó vagy mostanában lezárult doktori munkát mutatunk be.

Az új Nemzeti Alaptanterv

Először röviden áttekintjük az új NAT követelményrendszerét és tudományos tartalmát a meteorológiai ismeretek szempontjából, majd kitérünk a környező országok magyar nyelvű iskoláinak tanítási lehetőségeire.

Az érvényben lévő kerettanterv szerint a földrajz tantárgyban önálló fejezet foglalkozik a légkörrel és a vízburokkal. A tanított témakörök között megtalálhatók: a légkör összetétele és a légköri áramlások, a felhőképződés és a felhők osztályozása, meteorológiai mérések és megfigyelések, valamint az éghajlat. A tanulók megismerkednek a légkör szerkezetével, fizikai és kémiai jellemzőivel, a légszennyezés forrásaival és globális következményeivel. Vizsgálják a különböző légköri folyamatok és jelenségek (felhős és csapadékképződés, ciklonok, anticiklonok, trópusi ciklonok, időjárási frontok) időjárást alakító hatását, megtanulnak időjárási térképeket és előrejelzéseket értelmezni. A légkör globális változásainak és a hozzáfüződő problémáknak (az ózon körforgása és az ózonréteg elvékonyodása, savas esők hatása, éghajlatváltozás) megvitatása elősegíti a tanulók környezettudatos szemléletének fejlesztését. A vízburok című fejezet elsősorban a Föld vízkészletével, a felszíni és felszín alatti vizek főbb típusaival és azok jellemzőivel, a velük kapcsolatos környezeti veszélyekkel, illetve a vízenergia felhasználásával és annak társadalmi-gazdasági vonatkozásaival foglalkozik.

A fizikaórákon a fizikai törvényszerűségekhez kapcsolódva, több esetben mérési feladatoknál jelenhetnek meg a meteorológiai vonatkozású témák. Ide sorolhatók a légköri sugárzási folyamatok, a légköri elektromos és optikai jelenségek, valamint a csapadékképződés egyes komponensei (páratartalom, a csapadékfajták, halmazállapot-változások). A szélsőséges időjárási események gyakoriságának fokozódásával a heves zivatarok és a velük együtt járó villámcsapások, a tragikus végű balesetek nagy publicitása az emberek figyelmét fokozottabban e jelenségekre irányítja. Úgy gondoljuk, hogy részben ennek is köszönhető, hogy az új kerettantervben hangsúlyosabbá vált e jelenségek tanítása, a villámcsapás veszélyeinek és a villámvédelem kérdésének tárgyalása. A természeti jelenségek leírása, meg-

értése nemcsak közelebb visz a bennünket körülvevő világ megismeréséhez, hanem óriási motiváló hatásával megváltoztathatja a diákok természettudományos tárgyakhoz való attitűdjét is. Interdiszciplinaritása miatt tudástranszfert és rendszerszintű, komplex természettudományos gondolkodást igényel.

A földrajz és a fizika tárgyak mellett a középiskolák 11. évfolyamán a természettudományos tárgyakat fakultatív képzésben nem folytató diákok számára új tantárgyként jelent meg a „komplex természettudomány”. Ennek kerettanterve javasolja pl. az időjárás és az éghajlatváltozás előrejelzési módszereinek tanulmányozását, valamint számos társadalmilag releváns, globális probléma (pl. klímaváltozás, levegőszennyezés, az éghajlatváltozás természetes és antropogén folyamatok) feldolgozását a fizika és földrajz tantárgyak tanulása során szerzett korábbi ismeretek alapján. E témakörök megvitatása számos kulcskompetencia fejlesztése mellett hozzájárul a diákok környezettudatos szemléletének formálásához is. Új lehetőségként jelenik meg a középszintű érettségik világában a projektmunka. Így a fizika tárgyban is hangsúlyosabbá válhat a meteorológiai témákra épülő önálló kutatómunka.

A meteorológia középiskolai oktatásának hazai trendjei mellett érdemes röviden foglalkozni a meteorológia középiskolai oktatásával a Kárpát-medence országai-ban (Molnár *et al.*, 2022). A meteorológiai témakörök magyarországi oktatásának helyzetét 18 kérdésből álló kérdőívvel felmérés segítségével hasonlítottuk össze 5 környező ország gyakorlatával, ahol folyik magyar nyelvű középiskolai oktatás (Molnárné Pelle *et al.*, 2020). Van magyar nyelvű oktatás Szlovéniában és Ausztriában is, de innen nem álltak rendelkezésre adatok.

Minden vizsgált országban kerettantervek határozzák meg az oktatás célját és szabályozzák annak tartalmát. Magyarországon a természettudományi tantárgyak esetében a 2012-es Nemzeti Alaptanterv (NAT) lehetővé tette, hogy az iskolák A és B kerettanterv között válasszanak, amit sajnos a 2020-as NAT már nem tartalmaz (NAT, 2020). A vizsgált országok (Szlovákia, Románia, Szerbia, Horvátország) közül csupán Horvátországban van lehetőségük az iskoláknak a 2012-es magyarországi Nemzeti Alaptantervhez hasonlóan alternatív kerettantervek közül választani.

Szlovákiában meteorológiát a középiskola első évfolyamában tanítanak földrajzórakon a Légkör című fejezeten belül. A fizikaórákon a középiskolákban nem foglalkoznak meteorológiával. Általában jellemző, hogy a földrajz tantárgyon belül a légköri jelenségeket külön témakörként tanítják. A fizikán belül meteorológiát külön témakörként csak Magyarországon

és Horvátországban tanítanak. Szlovákia kivételével a többi országban a meteorológiához köthető ismeretek a fizika tantárgy különböző évfolyamaiban más-más témakörökhöz kapcsolódnak.

A meteorológiai előrejelzésről Magyarországon (*Buránszkiné Sallai*, 2018a, 2018c), Szlovákiában és Ukrajnában tanulnak legtöbbet a középiskolás diákok. A fizika tantárgyon belül jellemzően a légköri sugárzások, a légköri elektromosság és optika jelenségeiről van szó, de szerepelhetnek a csapadékképződés egyes komponensei (páratartalom, halmazállapot-változások) is.

A vizsgált országok nagy részében a meteorológia a földrajz témakörei közé került és a jelenségek leírására szorítkozik. A tankönyvekben a tananyag feldolgozása jellemzően leíró jellegű. Ennek olyan hátránya lehet, hogy a diákok sokszor nem látják meg a jelenségek mögött a fizikai törvényszerűségeket.

Magyarországon, Szlovákiában és Ukrajnában a földrajz érettségi követelmények között szerepelnek meteorológiai ismeretek „a levegőburok földrajza” témakörhöz kapcsolódóan.

Tanárképzés, szakmódszertani kutatások

A NAT szemléletváltása, bár nem volt előzmény nélküli, sok tekintetben előkészítés nélkül zajlott. Nem történt változás az egyetemi tantervekben, és a középiskolai tananyagok kidolgozását sem előzte meg szisztematikus tervezés. A meteorológia tanítása, a légköri folyamatok középiskolai tárgyalása nem sikerülhet a középiskolai tanárok ilyen irányú képzése nélkül, a középiskolai tananyagok kidolgozását pedig szakmódszertani háttérkutatásokkal kell alátámasztani. Ebben mind a szaktanszékeknek (Meteorológiai Tanszék, Környezeti Áramlások Laboratóriuma stb.), mind a szakmódszertani csoportoknak (Természettudományos Oktatásmódszertani Centrum) szerepet kell vállalniuk. Ez található az egyetem és a Természettudományi Kar törekvéseivel, a tehetséges hallgatók „bevonásával” az egyetemre.

Az ELTE Meteorológiai Tanszék e feladatok megvalósításában komoly hagyományokra támaszkodhat. Másfél százados története van a meteorológia-klimatológia tanításának a földrajzoktatásban, benne a tanárképzéssel (*Gábris*, 2020). Közel négy évtizeden át volt Felméry László (1931–2021) a meteorológia tárgy oktatója a tanárképzésben. Őt követően az 1980-as évek végétől a Meteorológiai Tanszék szinte minden oktatója részt vett több-kevesebb ideig a földrajz-geográfus képzésben. Ma két félévben hallgatnak meteorológiát és klimatológiát a tanárjelöltek. Hozzá tartozik a meteorológia oktatása a környezettan

tanárképzéshez, de számítanak ránk az új típusú, most indult természettudomány-környezettan tanárszakon, az ún. Z-szakon is [3]. Az időszakonként szervezett földrajz-, illetve környezettan tanár továbbképzések programjában is szerepelnek meteorológiai ismeretek a mérésektől a légköri folyamatok leírásán át az időjárás-előrejelzések értelmezéséig.

Az ELTE korán felismerte a környezettudomány oktatásának szükségességét, és az elsők között volt az országban, ahol környezettudomány tanárszak, majd később környezettan alapszak indult. Mindkét szak oktatásában alapvető részt képeztek a meteorológiai és klimatológiai ismeretek, amelyeknek tanítását a Meteorológiai Tanszék vállalta. Emellett a Fizika Doktori Iskola Fizika Tanítása doktori alprogramot hozott létre, amelynek egyik centrális kérdésköre a környezeti ismeretek középiskolai feldolgozásának kutatása, tanári „jó gyakorlatok kidolgozása” és a tantárgyközi koncentráció erősítése. Ezért is kapcsolódott be a Meteorológiai Tanszék a Fizika Doktori Iskola Fizika Tanítása Programjába (*Tasnádi*, 2012; *Tél*, 2015).

Megjegyezzük, hogy szakmódszertani kutatások, PhD munkák folynak más egyetemeken is, ahol földrajz, környezettan, illetve fizika szakos tanárképzés van. Két doktori iskolát, az ott folyó képzést külön is kiemelünk. Az egyik az Eszterházy Károly Katolikus Egyetem Neveléstudományi Doktori Iskolája, ahol nagy hagyományai vannak a szakmódszertani kutatásoknak, különösen a földrajz oktatásban (*Mika és Pajtkókné*, 2012, 2015). Két meteorológiához kapcsolódó kutatási témát ismertetünk.

- *Buránszkiné Sallai* (2018b) „Korszerű időjárási ismeretek és kapcsolódó magatartásminták a környezeti nevelésben” című PhD értekezésében kidolgozott egy komplex meteorológiai oktatási anyagot, ami mára a 9. évfolyamos földrajz tananyag részét képezi (*Arday et al.*, 2018).
- *Rácsi András* doktori kutatásaiban többek között a meteorológia óvodai és általános iskolai oktatásával, illetve a környezeti tudatformálással foglalkozott (*Rácsi*, 2022). Mindegyik fontos, nagyobb figyelmet érdemlő témakör (*Rácsi és Kovács*, 2013; *Apró és Rácsi*, 2014; *Rácsi és Tóth*, 2017).

A Soproni Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori iskolájában is számos magas színvonalú, környezeti- és erdőpedagógiával kapcsolatos munka született (*Kovács-Németh*, 2020). A meteorológiával, éghajlattannal való kapcsolatot nem kell külön hangsúlyozni.

Tantárgypedagógiai kutatási programok az MTA támogatásával

A szakmódszertani kutatások, benne a meteorológia közoktatásbeli szerepének erősítéséhez jelentősen hozzájárul a Magyar Tudományos Akadémia 2016-ban újjá indított Tantárgy-pedagógiai Kutatási Programja [4]

Az MTA-SZTE Földrajz Szakmódszertani Kutatócsoport vezetője Prof. Farsang Andrea (1967-2022) volt. Foglalkoztak többek között az általános és középiskolás diákok éghajlati folyamatokkal kapcsolatos ismereteinek felmérésével (Kádár *et al.*, 2018).

E kutatási program 2022 után (a jelenlegi pályázati ciklusban) is tovább folyik az MTA Közoktatás-fejlesztési Kutatási Program keretében. Itt a célok között szerepel többek között i) az éghajlatváltozás oktatása, ii) a felnőttképzés és iii) a fenntartható fejlődés oktatása.

A Tél Tamás professzor által vezetett, több mint hat éven át működő MTA-ELTE Fizika Tanítása Kutatócsoport szintén több szálon kapcsolódott a meteorológiához és az éghajlati folyamatok leírásához. Kiemelkedők az elmúlt években kiadott tanári módszertani segédleteik [5]. Az elektronikus oktatási anyagok között ott találjuk többek között „A körhintától a ciklonokig és a Golf-áramlatig” címmel megjelent középiskolásoknak szóló interaktív tananyagot. Az elmúlt években megjelent könyvek közül a „Víz a légkörben és a talajban. Villámok, cseppkövek gejzírek és más természeti csodák” címűt (Tasnádi és Illy, 2021) kell kiemelni. Ez az első átfogó középiskolásoknak írt anyag a víz tulajdonságairól, körforgásáról. Együtt szerepelnek a különböző skálájú légköri folyamatok a csapadékképződés és a töltésszétválasztódás (villámok keletkezése) folyamataival. A kutatócsoport keretében készített „A fizika tanítása a középiskolákban” több mint 2000 oldalas könyv mindhárom kötetében szerepelnek légköri jelenségek, s olyan kísérletek, amelyekkel ezek „közelebb hozhatók” a diákokhoz (Juhász *et al.*, 2021a,b,c) [6].

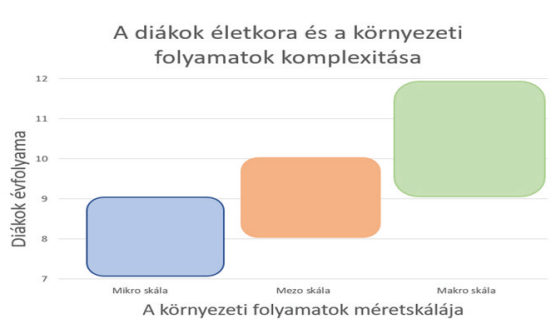
2022 és 2026 között más prioritásokkal az MTA-ELTE Fizikatanítás Digitális Támogatással Kutatócsoport folytatja a munkát. A hangsúly i) a digitális és cselekvésközpontú fizikatanuláson és ii) a mesterséges intelligencia fizikaoktatásban történő alkalmazásán van. Itt is lehetnek kapcsolódási pontok a légkörtudományokkal.

Meteorológiai témák a fizika szakmódszertani doktori munkákban

A következőkben néhány most folyó, illetve a közelmúltban lezárult doktori kutatásba nyújtunk betekintést. A korábbi témakörökről *Tasnádi* (2012) cikke tájékoztat. Három kutatási témát ismertetünk.

Skálafüggő légköri és óceáni folyamatok helye és szerepe a fizikaoktatásban

A természeti nevelés, a preventív gondolkodás tanítása fontos része mind a tanári, mind a nevelői feladatoknak. A NAT kulcskompetenciái között is szerepel a „Fenntartható nevelés”. A diákok tudásának, fejlődésének ismeretében kell olyan skálafüggő meteorológiai feladatokat adni, amelyek segítik a fizikai folyamatok megértését, s egyúttal a környezeti problémák elemzésén keresztül közelebb hozzák a diákokhoz a fenntarthatóság gondolatkeretét. A fizikatanulásban résztvevő korosztály a 7. osztályosoktól a 12. osztályos tanulókig terjed, a gimnázium típusától (4-8 osztályos) függően. Az alsóbb évfolyamosokat mindenekelőtt saját életükre vonatkozó környezeti kérdésekkel ismertetjük meg (pl. városi hősziget mérések), majd a diákok fejlődésével a lokálistól az országos és a kontinentális problémákon át haladunk a globális kérdések felé (Nógrádi *et al.*, 2021, Nógrádi és Weidinger, 2023). Ezt szemlélteti az 1. ábra.



1. ábra. A diákok tudásszintje és a környezeti folyamatok léptéke, tárgyalt komplexitása közötti kapcsolat. Elsőként a szűkebb környezetünket ismerjük meg!

Az oktatási tematikák szerveződése nemcsak a diákok, de a problémák fejlődésén is alapul. Az érettségihez közeledve kitüntetett szerepet kap

- az éghajlati rendszer és az üvegházhatás értelmezése,
- az éghajlatváltozás fizikai hátterének bemutatása,
- az éghajlati modelleredmények értelmezése.

A megértést egyszerű szöveges fizika feladatok segítik. Ezek közül elsőként a 9. osztályosoknak szánt egyik gondolkodtató feladatot mutatjuk be. Ekkor már lehet összetettebb feladatokat adni, hiszen már fejlettebb absztrakciós képességgel és két év természettudományos ismerettel rendelkeznek a diákok. Így „bátran beleugorhatunk” a hőtán, illetve főképp a kalorimetria és a hőtágulás témakörébe.

Gondolj bele! A média sokszor hangoztatja, hogy a jéghegyek olvadása miatt emelkedik az óceánok vízszintje. Ha elolvad egy 1000 m³ nagyságú jéghegy, ami eddig a vízben úszott, akkor mennyivel nő a vízszint? Vajon esetünkben jelentheti-e azt, hogy csak a jégolvadás okozza a vízszint emelkedést? Gondolkodj bele, mi más okozhatja? Végezz számolást is! Először próbáld meg magadtól, ha nagyon nem megy, akkor nézd meg a segítséget!

Másodikként nézzünk egy 10. osztályos diákoknak szánt „önálló kutatást” igénylő feladatot. Itt már sokkal szabadabb utat engedünk a diákoknak. Ez fontos ebben a korosztályban, hiszen felkelthetjük olyanok érdeklődését is, akik nem érdeklődik a fizika iránt. E hétköznapi téma rávilágíthat arra is, hogy a sok egyéni döntés mennyire képes befolyásolni a globális folyamatokat.

Nézz utána, készíts esszét! Sokszor hallani, hogy az energiatakarékos izzóval mennyi energiát és pénzt spórolunk. Vizsgáld meg ennek az állításnak a valóság alapját! Ha mindenki energiatakarékos izzókat használna, akkor az mennyi „energiaspórolást” jelentene? Írd le, hogy milyen közelítéseket használsz, és azt is, hogy az így kapott energia milyen nagyságrendet jelent (háztartás energiája, város, erőmű energiája stb.)! És vajon tényleg minden esetben spórolunk az „energiatakarékosal”? Készítsetek egy összegző fogalmazást a különböző forgalomban lévő izzófajtákról is! A várt terjedelem minimum egy A4-es oldal.

A doktori kutatás során kialakításra kerülő tanulási módszer szándékaink szerint alkalmas lesz arra, hogy „felelős információkeresésre és felhasználásra” tanítsuk a gyerekeket, miközben a kutatói, kísérletezői szemléletet is megtapasztalhatják és tanulhatják.

Meteorológiai megfigyelések, idősorok – egy középiskolai projektfeladat tanulságai

A következő, folyamatban levő doktori kutatás célja, hogy

- a meteorológiai és légszennyezettségi mérések és megfigyelések ismeretében jobban értsék

a diákok a légkördinamikai folyamatokat (felhő- és csapadékképződés),

- a köd kialakulását és fejlődését,
- a nagy légszennyezettséget okozó helyzetek létrejöttét és hatását a környezetre.

Kárpát-medencei együttműködésben vizsgáljuk a beltéri levegő állapotát, annak középiskolai oktatási lehetőségeit (Molnár et al., 2025).

A tananyagfejlesztés során foglalkozunk

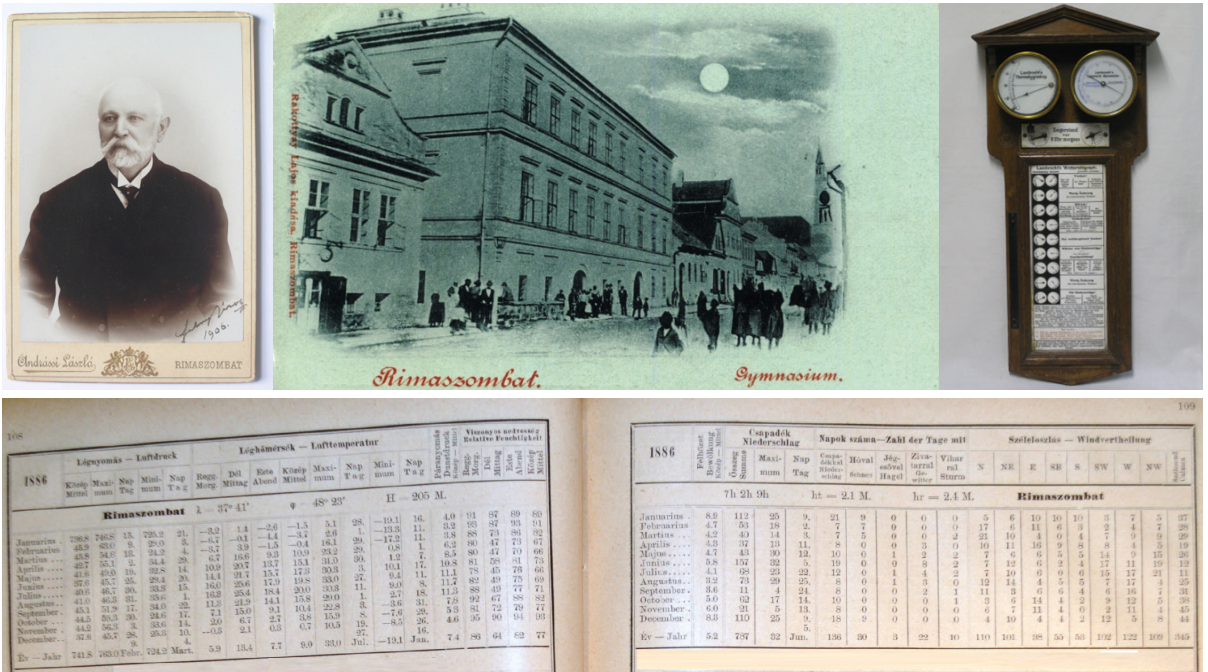
- az időjárási és levegőkörnyezeti előrejelzések értelmezésével, illetve
- a meteorológiai és levegőkörnyezeti mérési adatsorok elemzésével,
- éghajlati adatsorok feldolgozásával, az éghajlat változásainak számszerűsítésével.

Ezek már részben szakköri tematikák kidolgozását jelentik.

Az éghajlati idősorok nemcsak egyszerű számSOROK. Mögöttük áll a város, a meteorológiai állomás, az észlelők munkája, a hely története. A PhD kutatás e szeletét mutatjuk be részletesebben (Molnár et al., 2021; Tasnádi et al., 2022). Tesszük ezt azért, hogy megmutassuk egy-egy kérdéskör összetettségét. Így kerülhet közelebb a fizika és a matematika még egy humán érdeklődésű diákhoz is. Rimaszombatban 1883-ban indultak a meteorológiai mérések, amelyek 1886-tól szerepelnek a Meteorológiai és Földdelejességi Magyar Királyi Intézet évkönyveiben. Ebben az évben a méréseket már Fábry János¹ az Egyesült Protestáns Főgimnázium tanára, illetve igazgatója végezte (2. ábra).

A mérőállomás működtetése is az ő nevéhez kötődik egészen 1900-ig. Az adatok felhasználásához az évkönyvek kifényképezett oldalait digitalizáltuk majd ellenőriztük, összevetve az évkönyvek lapjaival, végül az OMSZ közreműködésével homogenizáltuk (Molnár et al., 2021). Így alakult ki egy történeti adatbázis 1918-ig. Hasonló történeti adatbázist építenek az Egyesült Királyságban, szintén diákok bevonásával (Mateus et al., 2021). A jelenlegi éghajlati jellemzőket (1961–2010) a CarpatClim adatbázis (Spinoni et al., 2015) alapján készítettük el. A jövő változásait az ELTE Meteorológiai Tanszékén fejlesztett FORESEE adatbázis alapján mutatjuk be (Dobor et al., 2014). Ezek éghajlati modelleredmények alapján készültek 2100-ig. Így Rimaszombat közel negyed évezredes éghajlati történetét tekinthetik át a diákok.

¹ Fábry János (1830-1907) a 19. század második felének legmeghatározóbb rimaszombati személyisége volt (Bodor, 1899; Rejtő, 1992; Baloghné Zsoldos, 2020), aki a tanításon kívül nagyon szerteágazó természettudományos megfigyeléseket és gyűjtéseket végzett, múzeumot, leányiskolát és számos egyletet hozott létre.



2. ábra. Történelmi meteorológiai mérések Rimaszombaton (1883–1918). Az Egyesült Protestáns Főgimnázium régi épülete (fent, középen). Fabry János (1830–1907) a Rimaszombati főgimnázium egykori tanára és igazgatója, a meteorológiai észlelések végzője (1886–1900) és a mérésekhez használt barométere (fent, balra), a Gömör-Kishonti Múzeum gyűjteményéből, Rimaszombat. A Meteorológiai és Földdeleljességi Magyar Királyi Intézet 1886. évi évkönyvének egy lapja (lent).

A projekt célja, hogy a diákok:

- megismerjék a légköri viszonyok jellemzésére alkalmas meteorológiai elemeket,
- megismerjék az időjárás és éghajlati megfigyelések módszertanát,
- felismerjék azt, hogy a hosszútávú megfigyelések adatai lehetővé teszik az időjárás és az éghajlat változásainak nyomon követését.

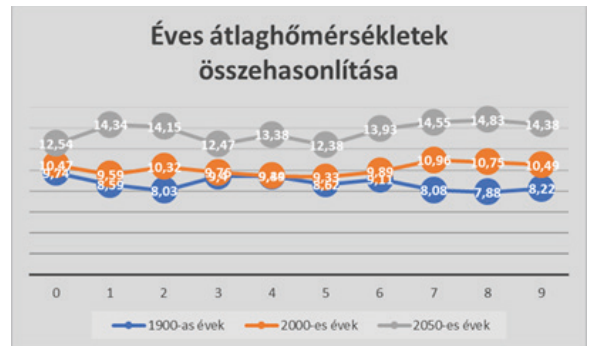
A projektfeladat lehetővé teszi, hogy megerősödjön a középiskolás diákokban saját iskolájuk és régiójuk múltjához való kötődés. A diákok közreműködtek az éghajlati adatbázis kialakításában és korábbi számítástechnikai ismereteiket felhasználva adatfeldolgozási feladatokat végeztek. Erre mutatunk példát a 3. ábrán.

Táblázatkezelő programmal dolgozva készítették el az 1900-as a 2000-es és a 2050-es évekre az éghajlati modellszámítások alapján előrejelzett éves átlagos hőmérsékleteket. Enyhe, 1 °C körüli átlagos melegedést látunk a 20. században. Ehhez képest további, több mint 3 °C-kal melegebb évtizedre számíthatunk a 2050-es években, nem egészen 30 év múlva. Meglepő eredmények, meglepő jövőkép; van miről gondolkodni!

A magyarországi fizika oktatás során a 9. osztályban a „Víz és levegő környezetünkben” témakörhöz kapcsolódóan oldhatnak meg hasonló, a saját lakóhelyükhöz kötődő projektfeladatokat a diákok.

A légköri elektromosság tanításáról

A légköri elektromosság témaköre az új fizika kerettantervben a 10. évfolyamon a „Szikrák és villámok” című fejezetben jelenik meg, a korábbi tantervek „Elektrosztatika” témakörében tárgyalt ismeretekhez kapcsolódóan. Ez a fejezet a középiskolai fizikatanítás szempontjából kitüntetett szerepet játszik, hiszen számos elektromosságtani fogalom itt kerül bevezetésre.



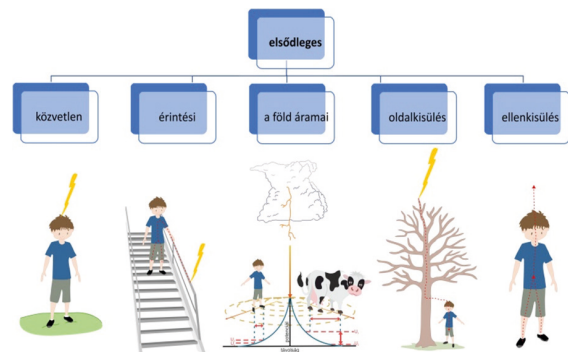
3. ábra. Az 1900–1909 és 2000–2009 között °C-ban mért éves átlaghőmérsékletek összehasonlítása a 2050–2059 közötti években várható éves átlaghőmérsékletekkel a FORESEE adatbázis (Dobor et al, 2014) az ALADIN-ARPEGE modell alapján. A vízszintes tengelyen a 10–10 éves periódusok egyes éveit jelöltük.

tésre. Az ekkor elsajátított fogalmak, összefüggések és megismert jelenségek a későbbiekben többször visszatérnek. Ugyanakkor a fogalmak absztraktsága, a jelenségek egzakt leírásához szükséges bonyolult matematikai és fizikai ismeretek hiánya miatt a fizika iránt kevésbé érdeklődő diákok számára a témakör nehéznek bizonyul, kevésbé mutatnak érdeklődést iránta. A villámok félelmetes, ugyanakkor csodálatos világa, a felső légkör káprázatos fénytűneményei ámulatba ejtik a diákokat. A témának a hétköznapi élethez való kapcsolása (villámvédelem, élettani hatások stb.) a fizika gyakorlati alkalmazásával annak hasznosságát támasztja alá és rendkívüli motiváló erővel hat. A jelenségek azonban nem tárgyalható csupán az elektrosztatika témakörére korlátozva, a téma több részletének megértéséhez szükséges a villámok tanításának beemelése a tananyag más (mágneses indukció, elektromágneses sugárzások) fejezeteibe is.

A légköri elektromosság tanításával foglalkozó doktori kutatás során (Takátsné Lutz, 2023):

- olyan tananyag került kidolgozásra, melyben a tudományos ismeretek diákok számára történő interpretálásakor elemi megközelítéseket alkalmaztunk a magyarázatoknál és a jelenségek leírásakor.
- A tananyagfejlesztés a MER (Model of Education Reconstruction – A tanítás rekonstrukciós modellje) szellemében történt, a fizikai tartalmat nem befolyásoló egyszerűsítésekkel élünk és az egzakt leírás helyett a jelenségek megértésére törekedtünk. Az összefoglaló munka a zivatarfelhők leegyszerűsített tripólusú modelljét használva értelmezi a zivatarfelhők elektromos terét és annak hatását a földfelszín töltéseloszlására, továbbá vizsgálja a zivatarfelhők szerepét a nagy légköri áramkörben. A villámok típusainak tárgyalását követően a diákok megismerkednek a villámok legfontosabb tulajdonságaival, időbeli lefolyásával. A tananyag kitér a földből kiemelkedő csúcsok szerepére a villámcsapás kialakulásában, valamint a villámhárító működési elvére is. A középiskolai fizikaoktatásban különös hangsúly helyeződik a fizika törvényeinek gyakorlati alkalmazásaira, korszerű technikai eszközeink működési elveinek alapszintű ismeretére. Így foglalkoztunk a villámok lokalizációjával is, és kiemeltük az előrejelzések fontosságát. A tananyag általános tantervű középiskolások részére készült, ebből ízelítő olvasható Takátsné Lutz és Tasnádi (2022a) munkájában.

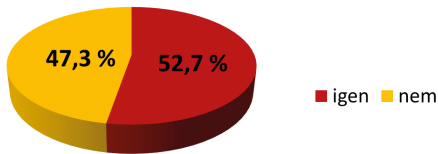
- kiegészítő tananyag készült a FEOE-k (felső-légköri elektro-optikai jelenségek) tanításához, amely elemi megközelítésben tárgyalja a jelenségeket. E téma vizsgálata túlmutat az alaptantervi követelményeken, így tanórai keretek között csak kiegészítő anyagként használható. Újszerűsége és látványossága miatt a tanulók fizika iránti érdeklődésének felkeltésére, fenntartására, napjaink tudományos kutatási módszereinek és eredményeinek népszerűsítésére kiválóan alkalmas. Szakkörökön vagy témahetek keretében történő feldolgozásra ajánljuk, mely itt érhető el [7].
- a tananyagok felhasználásához módszertani ajánlások is készültek (Takátsné Lutz és Tasnádi, 2021; Takátsné Lutz, 2023)
- A kutatás továbbá vizsgálta a villámcsapások különféle hatásait is, elsősorban az emberi szervezetre gyakorolt élettani hatásokra fókuszálva (4. ábra). A doktori értekezés javaslataiból megtudhatjuk, mi a helyes viselkedés néhány villámveszélyes helyzetben (Takátsné Lutz, 2023).



4. ábra. Részlet a villámok élettani hatásai című fejezetből. Az ábra a villámok elsődleges (elektromos eredetű) hatásait szemlélteti.

- A villámokkal kapcsolatban számos tévhit él a köztudatban. (Tévhitnek vagy tévképzetnek nevezzük a tudományos elméletekkel össze nem egyeztethető, mélyen gyökerező, rendkívül stabil téveszmét (Korom, 1997). A kutatás vizsgálta, hogy ezek a közismert hiedelmek mennyire élnek tanulóinkban, milyen ismeretek tanítása járulhat hozzá ezek leküzdéséhez. A tanulók körében végzett mérések eredményeiről, azok értékeléséről korábbi cikkeinkben már beszámoltunk. (Takátsné Lutz és Tasnádi, 2022a,b)

Az 5. ábra tanulsága szerint sok feladat vár még a tanárookra a diákok tudásának növelésében még egy egyszerűnek tűnő kérdés helyes megválaszolásához is. Ez is fizika!



5. ábra. Szemléltetésképpen a teszt egyik kérdése: Döntsd el az alábbi állításról, hogy igaz vagy hamis! A villám-sújtotta embert nem szabad megérinteni, mert „megráz”. A diagram a diákok válaszainak megoszlását mutatja.

A villámok témakörében kidolgozott tananyag középiskolai tanításához a diákok számára, *Amit a villámokról tudnod érdemes...* címmel jegyzet is készült, amelyet a Magyar Tudományos Akadémia bizottsága 2023-ban Pedagógus Kutatói Pályadíjjal értékelt.

Összefoglalás

Cikkünkben bemutattuk, hogy a meteorológiai ismeretek középiskolai tanításának lehetőségei és szerepe hogyan változott az utóbbi években. Az oktatásban a természettudományos tantárgyaknak a hétköznapi élethez való közelítése és az integrált természetszemlélet kialakítása miatt a meteorológiai ismeretek előtérbe kerültek, szinte azt mondhatjuk, hogy a természettudományos tantárgyak integrációjának “ragasztóanyagává” váltak. A tanárok tapasztalatai mutatják, hogy a légköri jelenségek érdekessége, mindennapjainkra gyakorolt hatása óriási motiváló erőt jelent diákjaink számára a nehezebb és talán szárazabbnak tűnő elméleti anyagok elsajátítása felé is.

Az ELTE Meteorológiai Tanszék a szakmai tudományos háttér kimunkálása mellett azért is fontos feladatának érzi a középiskolákkal való kapcsolattartást, mert a tudományos utánpótlás biztosítása saját tudományunkban is alapvető feladat. A tanszékhez doktori kutatásaiokon keresztül kapcsolódó tanárkollégák munkái pedig hasznos tapasztalati anyagot jelentenek a meteorológiaoktatás kurzusainak kialakításában. Az így felhalmozódó ismeretanyag mind az egyetemi képzésben, mind a középiskolai oktatásban hasznosul.

Irodalomjegyzék

Apró, A. és Rázi A., 2014: A környezeti tudatformálás lehetőségei az általános iskolában. *Szakképzés-, és Környezetpedagógia Elektronikus Szakfolyóirat*, EDU 4(2), 7–19. http://epa.oszk.hu/02900/02984/00005/pdf/EPA02984_edu_2014_2.pdf

Arday I., Buránszkiné Sallai M., Makádi M., Nagy B. és Sáriné Gál E. 2018: Földrajz 9. Újgenerációs tankönyv. – Eszterházy Károly Egyetem Oktatókutatási és Fejlesztő Intézet. Eger–Budapest. 232. FI-506010901/1

Aristotele, 2004: Meteorology. (transl.: E. W. Webster). Kessinger Publishing, Whitefish, MT. <http://classics.mit.edu/Aristotle/meteorology.html>

Baloghné Zsoldos, I., 2020: Pedagógusok arcképcsarnoka XIX. Karácsony Sándor Pedagógiai Egyesület, Debrecen, 364 oldal. http://www.kspe.hu/data/pa/PA-2020_1.pdf

Bodor, I., 1899: A Rimaszombati Egyesült Protestáns Főgimnázium története. Rábely Miklós Könyvnyomdája, Rimaszombat. 248 oldal. https://library.hungaricana.hu/hu/view/EvangelikusGyulekezetertortenek_001/?pg=0&layout=s

Buránszkiné Sallai M., 2018a: Az időjárás oktatása – a témalistától a tankönyvbe kerülésig. In: Ollé János, és Mika János (szerk.) *Iskolakultúra és környezetpedagógia*. Magyar Tudományos Akadémia, Miskolci Akadémiai Bizottság. Budapest, 2018, 77–87.

Buránszkiné Sallai M., 2018b: Korszerű időjárás ismeretek és kapcsolódó magatartásminták a környezeti nevelésben. Doktori értekezés, Eszterházy Károly Egyetem. <http://disszertacio.uni-eszterhazy.hu/id/eprint/82>

Buránszkiné Sallai M., 2018c: Időjárás ismeretek feldolgozása az új kísérleti Földrajz- és Természettudományi tankönyvekben. In: Endrődy-Nagy Orsolya, Fehérvári Anikó (szerk.) *HERA Évkönyvek V. Innováció, kutatás, pedagógusok*. Magyar Nevelés- és Oktatókutatók Egyesülete, Budapest.

Darabos, K. és Nógrádi, Z., 2024: Problémaalapú oktatás és interdiszciplinaritás a fizika és földrajz tantárgyakban – egy tantárgyközi projekt bemutatása. *Iskolakultúra*, 34(11), 87–102. <https://doi.org/10.14232/iskult.2024.11.87>

Dobor, L., Barcza, Z., Hlászny T., Havasi Á., Horváth F., Ittész P. and Bartholy J., 2014: Bridging the gap between climate models and impact studies: The FORESEE Database, Geosci. Data J 2:1-11. <https://doi.org/10.1002/gdj3.22>

Feynman, R. P., Leighton, R. B. és Sands, M., 1969: *Mai Fizika 5*. Műszaki Kiadó, Budapest.

Gábris Gy. (szerk.), 2020: 150 éves Magyarország első földrajz taneszköze. ELTE TTK Földrajztudományi Központ, Budapest, 220. <https://mek.oszk.hu/22000/22054/22054.pdf>

Guillemin, A., 1895: A mágnesség és elektromosság. (Fordították: Bartoniek G. és Czöglér A., az eredetivel összehasonlította: Szily K.) Kiadja a Kir. Magyar Természettudományi Társaság, 872.

Juhász A., Tasnádi P., Jenei P., Illy J., Wiener Cs. és Főzy I., 2021a: A fizika tanítása a középiskolában I. Mechanika, hőtan I. ELTE Fizika Doktori Iskola, Budapest, 730.

Juhász A., Tasnádi P., Wiener Cs. és Gócz É., 2021b: A fizika tanítása a középiskolában II. Mechanika, elektromágnesség. ELTE Fizika Doktori Iskola, Budapest, 716.

Juhász A., Tasnádi P., Tasnádi T., Illy J. és Gócz É., 2021c: A fizika tanítása a középiskolában III. Fénytan, modern fizika. ELTE Fizika Doktori Iskola, Budapest, 681 oldal. ISBN: 978-963-489-306-6

Kádár A., Farsang A. és Gulyás Á., 2018: Általános- és középiskolás diákok éghajlati folyamatokhoz kapcsolódó tévképzeteinek összehasonlító elemzése. *Földrajzi Közlemények*. 142(3), 219–234. <http://real.mtak.hu/92737/>

Korom E., 1997: Naív elméletek és tévképzetek a természettudományos fogalmak tanulásakor. *Magyar Pedagógia*, 1997 (1), 19–40.

Kováts-Németh, M., 2020: PhD disszertációk a környezettudatosságért – "Lehrer-Förster-Tandem". Projektkonferencia 2020, Hazai és Külföldi Modellek a Projektkutatásban, Nemzetközi Tudományos Konferencia, Koltai, L (Szerk), 10–22. <https://projektkonferencia.rkk.uni-obuda.hu/konferencia-kiadvany>

Mateus, C., Potito, A. and Curley, M., 2021: Engaging secondary school students in climate data rescue through service-learning partnerships. *Weather* 76(4), 113–118. <https://doi.org/10.1002/wea.3841>

Mészáros E., 2006: Ókori meteorológia - ahogy Arisztotelész gondolta, *Magyar Tudomány*, 2006/2 197-224

- Mika J. és Pajtókné Tari I., 2012: Az Eszterházy Károly Főiskola Földrajz Tanszéke oktatási és kutatási tevékenységének meteorológiai kapcsolódásai. Meteorológiai kutatások és oktatás hazai felsőoktatási intézményekben. Az ELTE Meteorológus TDK Nyári Iskolája. 2012. augusztus 27-29. Bogács. Az előadások összefoglalói. (Szerk.: Pongrácz R., Mészáros, R., Dobor L., Kelemen F.) *Egyetemi Meteorológiai Füzetek* No. 24, 43–49.
- Mika, J. és Pajtókné Tari I. (szerk.), 2015: Környezeti nevelés és tudatformálás. Tanulmánykötet. – Eszterházy Károly Főiskola Linceum Kiadó, Eger. 343. <https://nimbuss.elte.hu/oktatas/met-fuzet/EMF024/PDF/06-Mika-Pajtkone-EMF24.pdf>
- Molnár, B., Weidinger, T., Bordás, Á., Nógrádi, Z., Mészáros, R., Tordai, Á. V. and Tasnádi, P., 2025: Air pollution measurements in the classrooms and their implementation into the high school physics and science education. EGU General Assembly 2025, Vienna, Austria, 27 Apr–2 May 2025, EGU25-13217. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-13217>, 2025.
- Molnár B., Weidinger T. és Tasnádi P., 2022: A meteorológia középiskolai oktatása a Kárpát-medencében. *Fizikai Szemle* 72(8), 255–262.
- Molnár B., Weidinger T., Tordai Á. V. és Tasnádi P., 2021: Rimaszombat történeti (1883–1918) és jelenkori éghajlati jellemzői, középiskolai projektfeladat tanulságai. 47. Meteorológiai Tudományos Nap, 2021. november 18. Globális éghajlati trendek, hazai kutatási kihívások, Az előadások összefoglalói (Szerk.: Pongrácz R. és Lakatos M.), 31. <https://doi.org/10.21404/47.MTN.2021>
- Molnár B., Weidinger T., László E., Bordás Á., Lucz I. és Tasnádi P., 2020: A meteorológia középiskolai oktatása a Kárpát-medencében. 46. Meteorológiai Tudományos Nap 2020. november 19. Előadások összefoglalói. (Szerk.: Radics K., Mészáros R., Lakatos M.) 34. <https://doi.org/10.21404/46.MTN.2020>
- NAT, 2020: 5/2020. (I. 31.) Korm. rendelet A Nemzeti alaptanterv kiadásáról, bevezetéséről és alkalmazásáról szóló 110/2012. (VI. 4.) Korm. rendelet módosításáról. *Magyar Közlöny* 2020. évi 17. szám 290–446.
- Nógrádi Zs., Weidinger T. és Jánosi I. M., 2021: A Globális problémák helye az általános- és a középiskolai oktatásban. 47. Meteorológiai Tudományos Nap, 2021. november 18. Globális éghajlati trendek, hazai kutatási kihívások, Az előadások összefoglalói (Szerk.: Pongrácz R. és Lakatos M.), 32. oldal. <https://doi.org/10.21404/47.MTN.2021>
- Nógrádi, Z. and Weidinger, T., 2023: Role of global environmental issues in Hungarian physics education. *Journal of Applied Technical and Educational Sciences*, 13(4), ArtNo: 364. 13(4),1-24. <https://doi.org/10.24368/jates364>
- Rázi A., 2022: Az antropogén éghajlatváltozás tudatosítása 9-10 éves gyermekek körében. PhD értekezés, Eszterházy Károly Katolikus Egyetem Neveléstudományi Doktori Iskola, 137. <https://doi.org/10.15773/ekke.2022.005>
- Rázi A. és Kovács E., 2013: Környezeti tudatformálás az óvodától a felsőoktatásig. Pécs, Iskola a társadalmi térben és időben IV. konferencia, 2013. április 16-17.
- Rázi, A. and Tóth, B., 2017: A Playful Program to Rise Climate Change Awareness in the Primary School In: Air and water components of the environment. Eds.: Serban, G., Croitoru, A., Tudose, T., Batinas, R., Horvath, Cs., Holobaca, I., Kolozsvár, Románia: Casa Cartii de Stiinta, 8 p. https://doi.org/10.24193/AWC2017_30
- Rejtő, I., 1992: Mikszáthiáda. Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárának Közleményei, 29(104). Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 394 oldal: https://library.hungaricana.hu/hu/view/MTAKonyvtarKiadvanyai_KOZLEM_029/?p=0&layout=
- Rickinson, M., 2001: Learners and learning in environmental education: A critical review of the evidence. *Environ. Educ. Res.* 7(3), 207–320. <https://doi.org/10.1080/13504620120065230>
- Spinoni, J., Szalai, S., Szentimrey, T., Lakatos, M., Bihari, Z., Nagy, A., Németh, Á., Kovács, T., Mihic, D., Dacic, M., Petrovic, P., Kržic, A., Hiebl, J., Auer, I., Milkovic, J., Štepanek, P., Zahradnicek, P., Kilar, P., Limanowka, D., Pyrc, R., Cheval, S., Birsan, M.-V., Dumitrescu, A., Deak, Gy., Matei, M., Antolovic, I., Nejedlik, P., Štastný, P., Kajaba, P., Bochnicek, O., Galo, D., Mikulová, K., Nabyvanets, Y., Skrynyk, O., Krakovska, S., Gnatjuk, N., Tolasz, R., Antofte, T. and Vogt, J., 2015: Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *Int. J. Climatol.* 35(7), 1322–1341. <https://doi.org/10.1002/joc.4059>
- Takátsné Lucz I., 2023: Légköri jelenségek tanítása humán osztályban. A villámok és hatásai. PhD. értekezés. ELTE Fizika Doktori Iskola, Fizika Tanítása Doktori Program. 133 oldal. <https://doi.org/10.15476/elte.2023.064>
- Takátsné Lucz I. és Tasnádi P., 2022a: Ami túl mutat az elektrosztatikán: villámok az új Nemzeti alaptanterv tükrében. *Fizikai Szemle* 2022/5, 147–156. HU ISSN: 0015-3257(Nyomatott), HUISSN: 1588-0540(Online)
- Takátsné Lucz, I. and Tasnádi, P., 2022b: How to teach lightning activities to spark student curiosity? *Adv. Sci. Res.* 19, 137–144. <https://doi.org/10.5194/asr-19-137-2022>
- Takátsné Lucz I. és Tasnádi P., 2021: Villámok az új Nemzeti alaptanterv tükrében, *Fizikai Szemle*, 2021/3, 102–109. HU ISSN 0015–3257 HU ISSN 1588–0540(nyomatott) és (online).
- Tasnádi P., 2012: Meteorológiai témák a tanárképzésben. *Légkör* 57(3), 19.
- Tasnádi P. és Illy J., 2021: Víz a Légkörben és a talajban. Villámok, cseppkövek gejzírek és más természeti csodák. ELTE Fizika Doktori Iskola, Budapest, 180.
- Tasnádi P., Molnár B., Tordai Á. V. és Weidinger T., 2022. Éghajlati ismeretek, történeti idősorok, kutatásalapú tanulás/tanítás a középiskolában. „... születtem, elvegyültem és kiváltam...” Tanulmánykötet Dr. Makra László professzor 70. születésnapjára, Nagykovács, 462–481. ISBN 978-615-01-4018-6
- Tél, T., 2015: Tanári doktori program fizika szakmódszertanból az ELTE-n. Célok és tapasztalatok *Új Pedagógiai Szemle* 24, 23–29. <http://theorphys.elte.hu/tel/magyar/UPSZ.pdf>
- Tóth, P., 2015: A GLOBE-program – Egy nemzetközi környezeti nevelési program megjelenése a Kiskunhalasi Bibó István Gimnázium környezeti tevékenységében. XI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Tanulmánykötet 2015. május 6-9. Pécs, Szerk.: Csicssek G., Kiss I., Kiadó: Szentágotthai János Szakkollégium, 176–199. 978-963-642-873-0
- Weidinger T., 2012: Tehetség gondozás – tudományos diákköri tevékenység az ELTE Meteorológiai Tanszékén. *Légkör* 57(3), 111–118.
- Weidinger, T., Gyuró, Gy., Orgoványi, A., Döri, I., Kalapos, T., Victor, A., Juhász, I., Tóth, P. and Machon, A., 2007: The GLOBE program in the Hungarian environmental education. *Geophys. Res. Abstr.*, 9, EGU2007-A-09451, ES3-1TH5P-0005.
- Weidinger, T., Kalapos, T., Gyuró, Gy., Döry, I., Orgoványi, A. and Victor, A., 2006: The GLOBE program in Hungary. *Geophys. Res. Abstr.* 8.

Internetes hivatkozás

- [1] <https://www.globe.gov>
- [2] <https://www.focik.hu/>
- [3] <https://www.facebook.com/zeeszak/>
- [4] <https://mta.hu/tantargy-pedagogiai-kutatasi-program/>
- [5] <http://fiztan.phd.elte.hu/kozkins/index.html>
- [6] <http://fiztan.phd.elte.hu/kozkins/kiadvanyok/index.html>
- [7] http://fiztan.phd.elte.hu/kozkins/szakhallg/anyagok/legkor_elekto-optika.pdf



Szántóföldi növények operatív termésbecslése gépi tanulással

Kovács Attila Viktor

HungaroMet Nonprofit Zrt., kovacs.av@met.hu

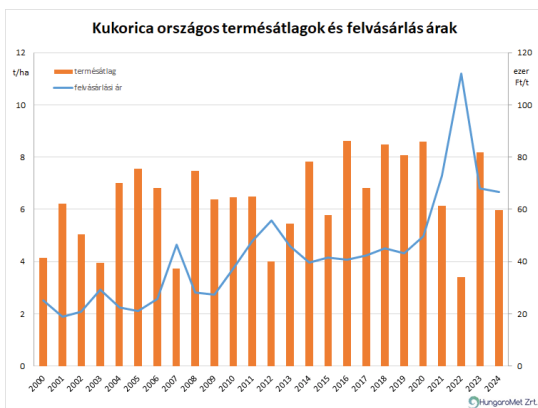
DOI: 10.56474/légkor.2026.1.3

A mezőgazdasági termés időben történő előrejelzése kulcsfontosságú nemcsak az élelmezés-biztonság, az agrárgazdasági tervezés és a klímakockázatok kezelése szempontjából, hanem a piaci döntések – például az értékesítés időzítése vagy a nemzetközi árupiaci folyamatokra való reagálás – szempontjából is, hiszen ez utóbbi esetben konkrét, pénzben mérhető, rövidtávú hatása lehet. A hagyományos statisztikai becslések mellett egyre nagyobb teret nyernek a gépi tanuláson alapuló módszerek, amelyek képesek a mezőgazdasági és a meteorológiai adatok komplex kapcsolatainak feltárására. Vizsgálatunk célja az volt, hogy több növénykultúrára (őszi búza, kukorica, napraforgó) építsünk olyan gépi tanulási alapú modellt, amely a vegetációs időszak során folyamatosan frissülő bemeneti adatok (5 és 8 napos hőmérséklet- és csapadékmutatók, talajnedvesség, műholdas vegetációs indexek) alapján ad megbízható termés-előrejelzést. Az eredmények alapján nem a legtöbb prediktort tartalmazó modell adja a legjobb teljesítményt, és a leginformatívabb prediktorváltozók növénykultúránként jelentősen eltérnek. A fejlesztés során célunk egy operatív, valós idejű előrejelző rendszer létrehozása volt.

Operational crop yield estimation for field crops using machine learning

Timely forecasting of agricultural yields is crucial not only for food security, agricultural economic planning, and the management of climate risks, but also for market decisions – such as timing sales or responding to international commodity-market dynamics – since in the latter case it can have a concrete, monetarily measurable short-term impact. Alongside traditional statistical estimates, machine-learning methods are gaining increasing prominence, as they are capable of uncovering the complex relationships between agricultural and meteorological data. The goal of our study was to develop machine-learning-based models for multiple crop types (winter wheat, maize, sunflower) that can provide reliable yield forecasts based on continuously updated input data throughout the growing season (5- and 8-day temperature and precipitation indicators, soil moisture, and satellite-derived vegetation indices). Our results show that the model incorporating the largest number of predictors does not necessarily deliver the best performance, and that the most informative predictor variables differ substantially between crop types. During the development, our goal was to create an operational, real-time forecasting system.

A szántóföldi növénytermesztésben évről évre jelentős termésingadozás tapasztalható, amelynek elsődleges oka az időjárási körülmények változékonysága. A hozamok mellett a termés minősége is erősen ingadozik, ami közvetlenül befolyásolja a piaci kínálatot és ezen keresztül az árakat is: jó években túlkínálat, kedvezőtlen években hiány alakulhat ki, így a felvásárlási árak szélsőségesen kilenghetnek (1. ábra). Ennek következményei messze túlmutatnak az egyes gazdaságok szintjén: a termelők jövedelmezősége, a felvásárlók készlet- és beszerzési stratégiái, a végfelhasználók ellátásbiztonsága és árszintje, valamint az állami piacszervezési és kockázatkezelési döntések egyaránt érzékenyek a várható termés mennyiségére. A biztosítók számára pedig a kárriskó és a díjalkuláció miatt kulcskérdés, hogy a terméskilátások már a vegetáció során számszerűsíthetők legyenek. Minden érintett szeretne a vegetációs időszakban minél korábbi és minél pontosabb termésbecslést.



1. ábra. Kukorica országos termésátlagok és felvásárlási árak 2000 és 2024 között (forrás: KSH).

A hatályos 5/2018. (II. 23.) FM rendelet előírja, hogy a várható termés felmérése és megismerése érdekében termésbecslést, állapotminősítést, valamint a mezőgazdasági munkák állásáról szóló jelentést és tájékoztató jelentést kell készíteni. A jelentések elkészítéséről a Nemzeti Agrárgazdasági Kamara (NAK) gondoskodik.

Nemzetközi szinten elérhetőek rendszeresen frissülő, nyilvánosan publikált termésbecslések hazánkra vonatkozóan. Ilyen, folyamatosan közölt előrejelzéseket készítő többek között az Európai Bizottság Közös Kutatóközpontjának JRC MARS havi kiadványa, valamint az Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériuma (USDA) is.

A termésbecslési eljárások a gyakorlatban több nagy módszercsoportba sorolhatók (Szász, 1988.). Az empirikus módszerek jellemzően helyszíni megfigyelésekre, állományminősítésre és szakértői tapasztalatra építenek, ugyanakkor az eredményük érzékeny lehet a mintavételre és a szubjektív tényezőkre. A statisztikai módszerek a hosszú időre vonatkozó meteorológiai és a termés adatok kapcsolatát becsülik, de az összefüggések sokszor csak korlátozottan vihetők át szélsőséges vagy megváltozó körülmények közé. Az agrometeorológiai modellezés ezzel szemben a növény–talaj–légtér rendszer folyamatait írja le (vízháztartás, hő és sugárzási viszonyok, fejlődési ütem), így fizikai-biológiai értelmezhetőséget ad a becslésnek, ugyanakkor nagyobb adat- és paramétrázási igénnyel jár (Dunkel és Zárbok, 1980).

A termésbecslő eljárások fejlődése

Termésbecsléssel, termés-előrejelzéssel régóta foglalkoznak a szakemberek, ezek hosszú időn át szubjektívek voltak (Simon, 1974.). A termés időjárási adatokra épülő előrejelzése Magyarországon az 1930-as években indult meg. Berényi (1931) korrelációs módszert alkalmazott a terméseredmények és az időjárási elemek közötti összefüggés vizsgálatában, majd a kukorica terméshozamának előrejelzését is erre alapozta (Berényi, 1945). Szász (1961), majd Dunay (1974) az időjárási elemeknek a rizs termésére gyakorolt hatását vizsgálta statisztikai módszerekkel. Szalay (1981) a kukorica termésátlagának becslését végezte megyénként három független változós másodfokú polinom segítségével 1951–75 közötti 25 éves tanuló adatsoron havi csapadékösszeg, havi középhőmérséklet és havi napfénytartam összeg adatok segítségével. Termésbecslést az 1976–81 évekre készített, az átlagos hiba 10% alatt alakult. Kmettyó (1984) a kukorica területi termésátlagának kapcsolatát vizsgálta 22 meteorológiai paraméter segítségével Tolna vármegyére vonatkozóan 10 éves időszakra (1970–1979), majd ez alapján az 1980–1982 évekre készített előrejelzést. Megalapította, hogy a tényleges terméshozamot azokban az években tudta viszonylag jó eredménnyel közelíteni, amikor a tenyészidőszak időjárása kedvezően alakult, tartós szárazság, aszály nem fordult elő. Vizsgálatok zajlottak többek között a vetőburgonya (Ajtay et al., 1984) és a burgonya (Bussay, 1992) terméshozama és a meteorológiai tényezők kapcsolatának becslésére, de a fűszerpaprika festéktartalmának és termésátlagának előrejelzésére (Erdős és Lambert, 1987) is.

Az 1970-es évektől a műholdas távérzékelésre épülő növény-monitoring egyre fontosabbá vált, miközben kulcskérdés (élelmezésbiztonság, piaci bizonytalanságok, döntéstámogatás) lett a közel valós idejű, megbízható információ a kultúrnövények

állapotáról és a várható termésről (Wu *et al.*, 2023). Bár ma már a műholdas adatok mennyisége és hozzáférhetősége, ill. az adatfeldolgozási kapacitás egyre kisebb korlátot jelentenek, a termésbecslő módszerek még nem elég objektívek és kiforrottak, ezért az operatív alkalmazhatóságuk és az eredményeik megbízhatósága sok esetben korlátozott. A gyakran használt indikátorok (pl. NDVI-anomáliák) sokszor csak kvalitatív értékelést adnak, nem fordíthatók könnyen „érthető” és mennyiségileg értelmezett növényállapot-információra, és a stresszhatások (aszály, tápanyaghiány, kártevők/betegségek) szétválasztása is nehéz. A növényállomány megfigyelés egyik leggyengébb eleme a termés hozam előrejelzés a nagy bizonytalanság miatt, különösen szélsőséges időjárási helyzetekben.

Az EU-28 országaira vizsgálták, hogy a JRC MARS M-CYFS rendszerében futó WOFOST növénymodellből származó prediktorok és néhány egyszerű, kumulált meteorológiai mutató mennyire képes előrejelezni a termésingadozást, 10 napos léptékben az 1988–2015 közötti időszoron (Lecerf *et al.*, 2019). Megállapították, hogy a növénymodell-alapú prediktorok általában következetesebbek és több hozamvariabilitást magyaráznak, különösen a vízstressznek kitett években, ugyanakkor a nedves/„túl sok víz” helyzetekhez kötődő folyamatok és az agrotechnikai tényezők (öntözés, tápanyagellátás, fajtaválasztás) hiányos kezelése korlátozza az előrejelzés teljesítményét.

Az elmúlt években számos búzára vonatkozó termésbecslő vizsgálat zajlott műholdas mérések felhasználásával hazánkban. MODIS műholdas mérésekre alapozva, az azokból számított vegetációs indexek (NDVI, GN) felhasználásával készítettek búza termés hozam becslést 10 éves (Kern *et al.*, 2014), illetve 13 éves adatsorok alapján (Bognár *et al.*, 2017).

Ahogy a gépi tanulás egyre könnyebben elérhetővé vált, a termésbecslő eljárások is egyre nagyobb mértékben alkalmazták ezt szerte a világon. Kínában például járási léptékben vizsgálták az őszi búza termésének előrejelezhetőségét többforrású adatok integrálásával, nyolc gépi tanulási algoritmus összevetésével (Han *et al.*, 2020). Fő megállapításaik, hogy a termés 1–2 hónappal betakarítás előtt is nagy pontossággal becsülhető (jellemzően $R^2 > 0,75$ és $< 10\%$ hiba), általában a Random Forest modell adta a legjobb eredményeket, a hosszabb (október–május) időablak javítja a teljesítményt, és az EVI műholdas index bizonyult a leginformatívabb prediktornak, miközben a pontosság régióként is eltért. A módszert továbbfejlesztették, a klíma- és térbeli információk érdemben javították a becslést, a többforrású (műhold + klíma + lokáció)

kombináció adta a legjobb teljesítményt, és a modell már nagy léptékben is kb. két hónappal a betakarítás előtt jó előrejelzést ad: a pontosság tavaszra gyorsan nő, március körül $R^2 \approx 0,87$ és $RMSE \approx 489$ kg/ha (Sun *et al.*, 2022).

A konkrét, esettanulmány-szerű termésbecslő módszerek nem vihetők át más növénykultúrára és más területekre, így fölmerült az igény általánosabb eljárások kidolgozására is. Növényeszimulációs kimenetek, valamint a JRC MCYFS adatbázisából származó időjárási, távérzékelt és talajadatok felhasználásával előállított prediktorok segítségével a növénytermesztési modellezést gépi tanulással kombinálva nagytérségű termés hozam-előrejelzésre alkalmas gépi tanulási munkafolyamatot hoztak létre, hogy kis konfigurációs módosításokkal eltérő növénykultúrák és különböző országok esetén is felhasználható legyen (Paudel *et al.*, 2021).

Vizsgálatok zajlottak Európában a gépi tanulással előrejelezett regionális becslések országos szintű összeállításánál fellépő tipikus problémák (a területarányos aggregálásból származó hibák felhalmozódása, illetve az a jelenség, hogy a kedvezőtlen régiók hatását más régiók „kiátlagolják”, így a nemzeti átlag elrejtje a térbeli különbségeket) csökkentésére is (Paudel *et al.*, 2022).

Anda és munkatársai (2024) kimutatták, hogy az őszi búza termését és a terméskockázatot érdemben befolyásolják a meteorológiai tényezők, és néhány alapváltozóra (pl. léghőmérséklet, relatív nedvesség) építve a fuzáriumos kalászfertőzés kockázata is megfelelően modellezhető.

Adatok és módszer

A vizsgálatunk célja egy szezon közben folyamatosan frissülő, operatíván működő, szántóföldi kultúrák termés hozamát országos átlagban becslő modell fejlesztése volt, amely a hazai adatfolyamokra támaszkodva, a vegetáció előrehaladtával mind több mérési és távérzékelt információt épít be, és így időben egyre stabilabb, gyakorlatban felhasználható előrejelzést ad. A prediktorok közvetlenül a szezonális állapotváltozások követésére és az operatív frissíthetőségre vannak kialakítva.

A termésbecslési rendszerünk több, egymást kiegészítő adatforrásra épül. A prediktor változók között szerepelnek rövid időablakokra (5 nap) számított hőmérséklet, csapadék és talajnedvesség adatok, valamint az NDVI műholdas vegetációs index (8 nap), amely a növényállomány aktuális kondícióját és fenológiai alakulását követi. A célváltozót (termés hozam) a KSH hivatalos termésstatisztikái biztosítják. A modellezés során kiemelt figyelmet fordítunk az adatok időbeli konzisztenciájára és az operatív frissítésből adódó

követelményekre. Fontos hangsúlyozni, hogy a termést nem kizárólag az időjárás határozza meg, léteznek olyan tényezők, melyekről nincsenek adataink. Többek között a fajtaválasztás, a tápanyagellátás, az öntözés, a növényvédelem, illetve a technológiai és gazdálkodási döntések érdemben módosíthatják a hozamot, ezért az eredmények értelmezésénél és értékelésénél ezt a korlátot végig szem előtt kell tartanunk.

A modell kialakításához a mesterséges intelligencia egyik ágához tartozó gépi tanulás (Machine Learning: ML) módszertanát használtuk: olyan adatvezérelt eljárásokat, amelyek képesek a bemeneti változók és a hozam közötti – gyakran nemlineáris – összefüggések megtanulására. Nincs szükség a folyamatok ok-okozati szabályszerűségeinek leírására, hanem ezek a gépi tanulási eljárások a kényszer (esetünkben az időjárási adatok) és a rendszer által erre adott válasz (termés) közötti szabályokat képesek közelítőleg meghatározni (Jordan and Mitchell, 2015). A gépi tanulás egyik ága a mélytanulás, amely neurális hálózatokra épül, és különösen akkor előnyös, ha a bemenetek sokrétűek és összetett mintázatok rejtőznek bennük (Schmidhuber, 2015). A gépi tanulási módszerek gyakorlati alkalmazását az is megkönnyítette, hogy az elmúlt években széles körben hozzáférhetővé váltak a megbízható, nyílt forráskódú eszköztárak (Nguyen et al., 2019, Harris et al., 2020, Virtanen et al., 2020).

A modellezés során több, egymást kiegészítő algoritmust alkalmaztunk, mert a különböző modellek eltérő erősségekkel rendelkeznek. A Random Forest sok döntési fa átlagolásával robusztus, jól általánosító alapmodellt ad, amely képes a változók kölcsönhatásait is megragadni. Az XGBoost és a LightGBM gradiens-boostolt faegyüttesek, míg a neurális hálózatok (Neural Network) rugalmasan tanulnak összetett mintázatokat. A különböző modellek előrejelzéseit átlagolt, együttes (ensemble) megközelítésben is kombináltuk (a három legjobb modellt), mert így a hibák részben „kioltják” egymást, illetve a becslés jellemzően stabilabbá és megbízhatóbbá válik operatív környezetben.

A gépi tanulási modellek hozzáadott értékét több egyszerű bázis-előrejelzéshez viszonyítottuk. Referenciaként alkalmaztuk az 5 éves mozgóátlagot, a perzisztencia-előrejelzést (az előző évi hozam átvitele), valamint egy lineáris trendmodellt. E mellett a szezon közbeni operatív környezethez kapcsolódó összehasonlításként a JRC (MARS) havi termés-előrejelzéseit is bevontuk.

Az adatok a 2003-2024 közötti évekre országos átlagban, illetve összegben álltak rendelkezésre, mely 22 évet két részre, egy tanuló és egy teszt időszakra osztottunk föl. A 2025-ös évben a szezon során öt,

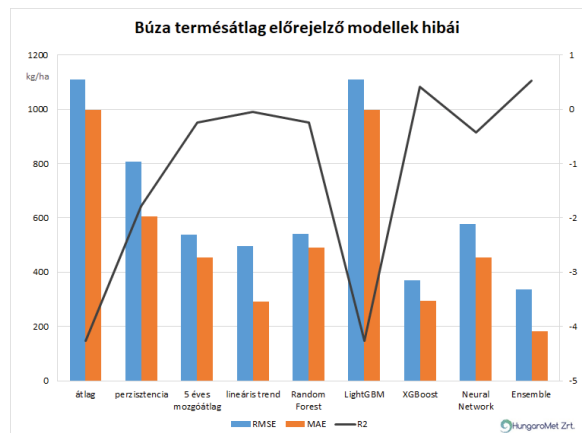
illetve nyolc naponta frissítettük a modellt az aktuális adatokkal, a szezon hátralévő részére pedig az előző öt év átlagát használtuk előrejelzésül. Őszi búza, kukorica és napraforgó kultúrára állítottunk föl modelleket. Növénykultúránként megvizsgáltuk azt is, hogy a tenyészidőszaknak mely része az, amely alapján a legjobb termésbecslést lehet készíteni.

Őszi búza termésbecslés

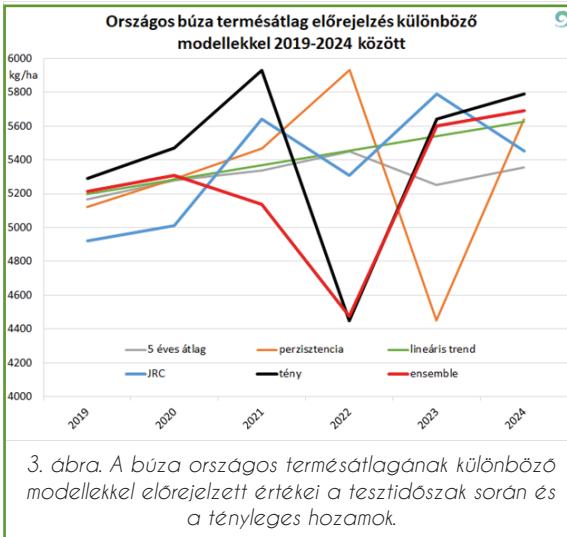
Az őszi búza termésbecslésére a március-június közötti időszak mutatkozott a leginformatívabbnak. A 2019–2024-es tesztidőszakon az ensemble modell adta a legpontosabb becslést (átlagos abszolút hiba: 183,1 kg/ha), jelentősen fölülmúlva a bázis-előrejelzéseket (2. ábra). Így a továbbiakban az ensemble modell eredményeit fogjuk vizsgálni.

A tesztidőszakra vonatkozó becslések alapján a 2021-es kilógó évet nem számítva a modell relatív hibája 3% alatti (3. ábra). 2021-ben jelentős az alábecslés (-13,4%), melynek több oka is lehet. Abban az évben a tél végén és a tavasz elején jelentős volt a belvízzel elöntött területek nagysága, a tartós vízborítás hatására a vetés sok táblában nagy foltokban kipusztult.

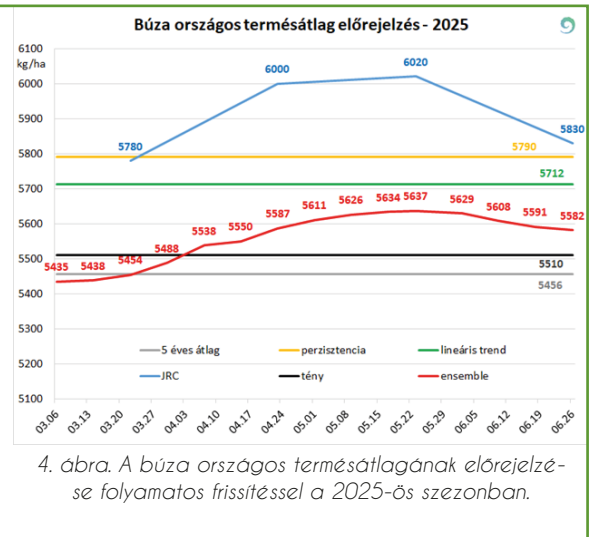
A 2025-ös folyamatosan frissülő ensemble modell becslése március elején az öt éves átlag szintjéről indul, a bő márciusi csapadék és az átlagosnál melegebb idő hatására május közepéig emelkedik (4. ábra), majd a kibontakozó aszály miatt június végéig folyamatosan csökken. Június végén, az aratás kezdetekor az ensemble modell által becslött országos termésátlag 72 kg/ha (1,3%) mértékben haladta meg



2. ábra. Búza termésátlag előrejelzések hibái (RMSE: Root Mean Squared Error – a négyzetes hiba átlagának négyzetgyöke, MAE: Mean Absolute Error – átlagos abszolút hiba, R2: determinációs együttható).



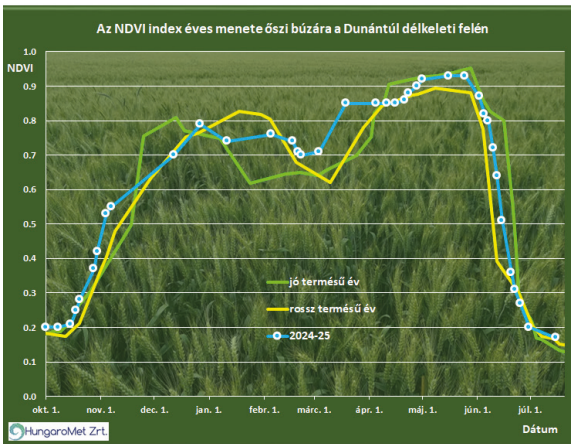
3. ábra. A búza országos termésátlagának különböző modellekkel előrejelzett értékei a tesztidőszak során és a tényleges hozamok.



4. ábra. A búza országos termésátlagának előrejelzése folyamatos frissítéssel a 2025-ös szezonban.

a tényleges hozamot. A legjobb becslést az öt éves átlag adta, míg a többi modell, köztük a JRC előrejelzése is lényegesen gyengébben teljesített.

A számszerű becslésekkel összevetettük a HungaroMet agrometeorológiai elemzéseiben operatívan megjelenő őszi búzára vonatkozó éves NDVI menet grafikonokat (5. ábra). Kvalitatívan ezek a grafikonok is egy átlaghoz közeli termést sejtetnek.



5. ábra. Az NDVI index éves menete 8 véletlenszerűen kiválasztott őszi búza táblára a Dunántúl délkeleti felén a 2024-25-ös tenyészidőszak során egy kifejezetten jó és egy kifejezetten gyenge évjáráthoz viszonyítva.

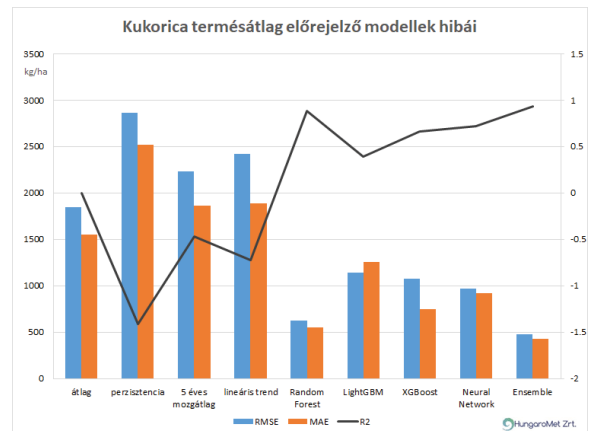
Kukorica termésbecslés

A kukorica termésbecslésénél a három nyári hónap adataival dolgoztunk. A 2020–2024-es tesztidőszakon a búzához hasonlóan itt is az ensemble modell adta a legpontosabb becslést (átlagos abszolút

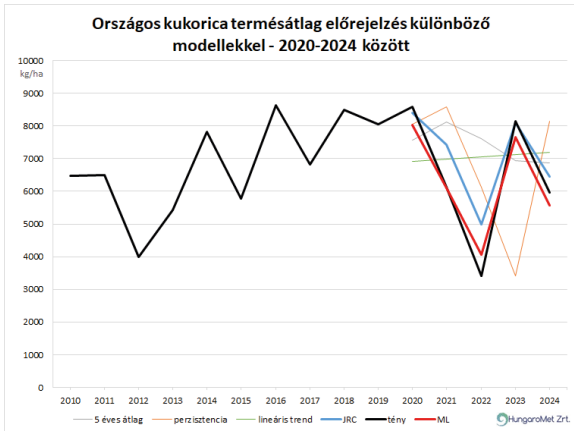
hiba: 424 kg/ha), jelentősen fölülmúlva a bázis-előrejelzéseket (6. ábra). Ennél a kultúránál is az ensemble modellt használtuk a gyakorlatban.

A tesztidőszak alatt a modell relatív hibája 7% alatti, csak a 2022-es rekord aszályos évben magasabb ennél (7. ábra). A rekord alacsony terméshozamot az ensemble modell becslése közelítette meg legjobban annak ellenére, hogy a tanuló időszak során ilyen alacsony hozammal nem találkozott.

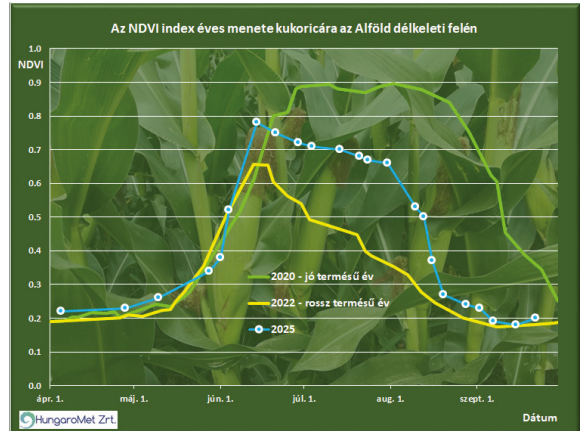
A 2025-ös öt naponta folyamatosan frissülő becslés június elején az ötéves átlag szintjéről indul, majd gyakorlatilag a szezon végéig folyamatosan csökken a már júniusban kialakuló és a nyár végéig kitartó aszály hatására (8. ábra). Mivel a cikk írásakor még mindig nincs hivatalos országos kukorica termésátlag, a modell teljesítményét csak sejtteni lehet. A médiában



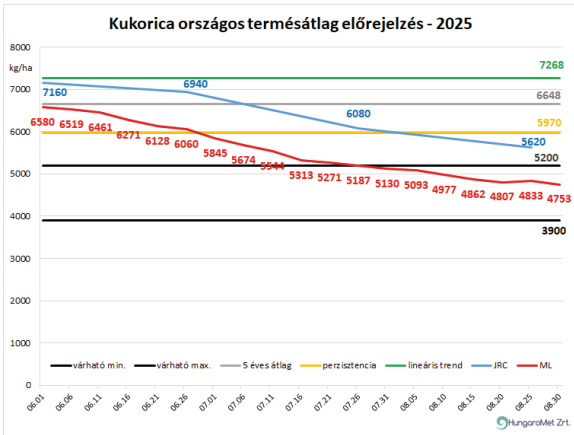
6. ábra. Kukorica termésátlag előrejelzések hibái (RMSE: Root Mean Squared Error - a négyzetes hiba átlagának gyöke, MAE: Mean Absolute Error - átlagos abszolút hiba, R^2 : determinációs együttható).



7. ábra. A kukorica országos termésátlagának különböző modellekkel előrejelzett értékei a tesztidőszak során és a tényleges hozamok.

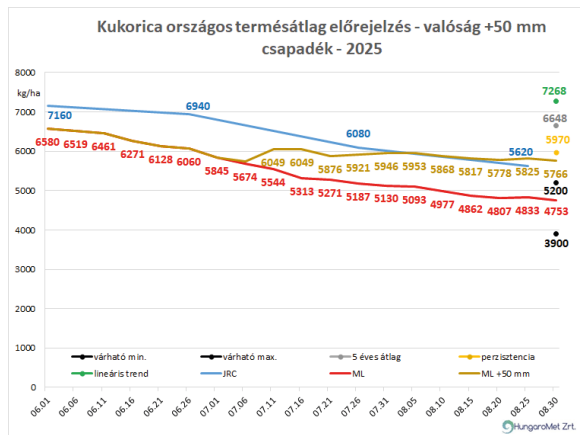


9. ábra. Az NDVI index éves menete 8 véletlenszerűen kiválasztott kukoricatáblára az Alföld délkeleti felén a 2024-25-ös tenyészidőszak során egy kifejezetten jó és egy kifejezetten gyenge évjáráthoz viszonyítva.



8. ábra. A kukorica országos termésátlagának előrejelzése folyamatos frissítéssel a 2025-ös szezonban.

csapadék öntözte volna az országot. A termésbecslés ebben a fiktív esetben már július közepétől meghaladja a valóságnak megfelelő értékeket, majd a szezon végére kissé csökken (10. ábra). Végül a modell szerint mintegy 1 t/ha plusz hozamot jelentett volna egy július eleji plusz 50 mm csapadék, mely országos szinten több tízmilliárd forintnak felel meg.



10. ábra. A kukorica országos termésátlagának előrejelzése folyamatos frissítéssel és július elején plusz 50 mm fiktív országos csapadékkal (ML +50 mm) a 2025-ös szezonban.

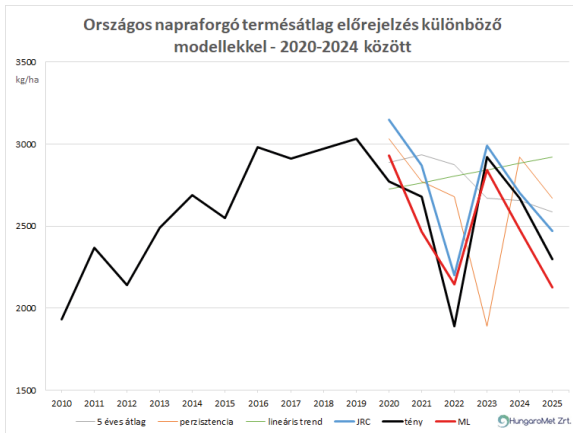
megjelenő információk szerint a 2025-ös tényleges termésátlag valahol 3900 és 5200 kg/ha között lehet (4500 kg/ha körül), a becslő eljárások közül egyedül az ensemble modell várta ebbe a sávba a termésátlagot, a JRC becslése ezt jóval meghaladta.

A számszerű becslésekkel a kukoricára vonatkozó éves NDVI menet grafikonokat is összevethetjük (9. ábra). Az Alföld délkeleti részét jellemző görbe kvalitatívan nagyon gyenge, de a 2022-es évinél jobb termést sejtet az ensemble modell eredményével összhangban.

A kukorica akkor fejlődne optimálisan, ha júliusban és augusztusban is 100-100 mm csapadékot kapna (Nagy, 2021). Mivel a 2025-ös év is súlyosan aszályos volt, végeztünk egy modellkísérletet. Megvizsgáltuk, hogyan alakult volna a terméshozam, ha július elején a valóságon felül átlagosan plusz 50 mm

Napraforgó termésbecslés

A napraforgó termésbecslésénél is a három nyári hónap adataival dolgoztunk. A 2020–2024-es tesztidőszakon a másik két kultúrához hasonlóan az ensemble modell adta a legpontosabb becslést



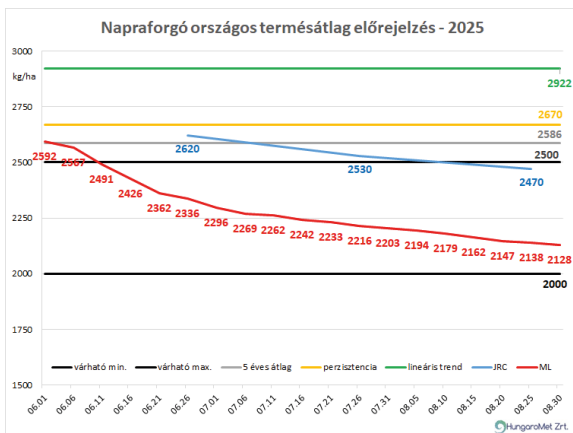
11. ábra. A napraforgó országos termésátlagának különböző modellekkel előrejelzett értékei a tesztidőszak során és a tényleges hozamok.

(átlagos abszolút hiba: 180 kg/ha), így napraforgónál is ezt használtuk a gyakorlatban.

A tesztidőszak alatt a modell relatív hibája 8% alatti, kivéve a 2022-es rekord aszályos évben, amikor 13,5% (11. ábra). A rekord alacsony termésátlagot itt is az ensemble modell becslése közelítette meg legjobban.

A 2025-ös ötnaponta folyamatosan frissülő becslés június elején az ötéves átlag szintjéről indul, de júniusban rohamosan, majd júliustól lassuló ütemben csökken az aszály hatására (12. ábra). A cikk írásakor még hivatalos országos napraforgó termésátlag sincs, a médiában megjelenő információk szerint a 2025-ös tényleges termésátlag valahol 2000 és 2500 kg/ha között lehet. Az ensemble modell a sáv alsó, míg a JRC becslés a sáv felső széléhez várja a termésátlagot.

A napraforgóra vonatkozó éves NDVI menetek egy átlagosnál valamivel gyengébb termést sejtettek.



12. ábra. A napraforgó országos termésátlagának előrejelzése folyamatos frissítéssel a 2025-ös szezonban.

Összefoglalás

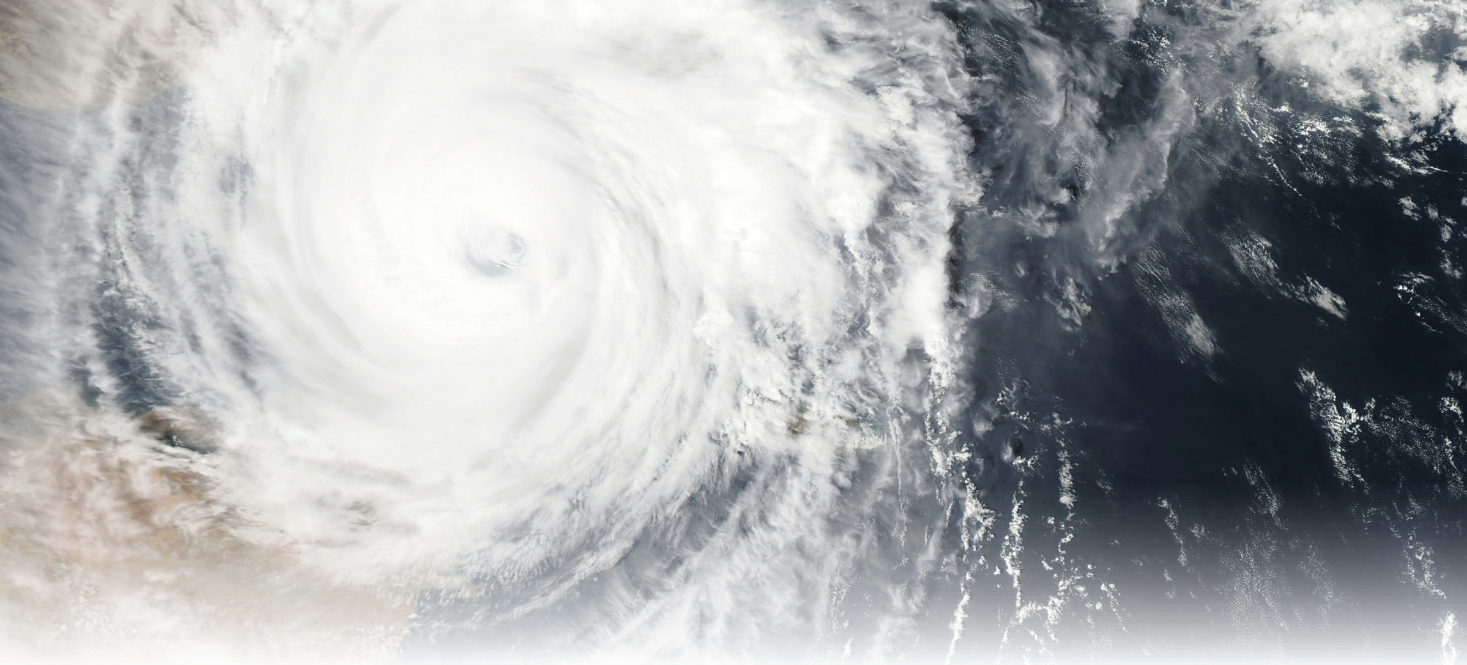
A termésátlagok évről évre történő jelentős ingadozása miatt a termésbecslés nemcsak szakmai, hanem gazdasági és döntéstámogatási szempontból is indokolt feladat. Ennek megfelelően egy olyan operatív termésbecslési eljárást dolgoztunk ki, amely a vegetációs időszak során folyamatosan frissülő meteorológiai és távérzékelési információkra támaszkodik, és gépi tanulási modellekkel ad előrejelzést több szántóföldi növénykultúrára. Eredményeink azt mutatják, hogy a gépi tanulásra épülő becslések a vizsgált években érdemben felülmúlják a legalapvetőbb klimatológiai-statisztikai bázisokat (például perzisztencia, gördülőátlag, lineáris trend). A szezon közben folyamatosan frissülő modell pedig a ténylegesidőszak során is olyan pontosságot ad, amely operatív felhasználás szempontjából ígéretes. Mindez megerősíti, hogy a meteorológiai és távérzékelési adatokra épülő, szezon közben frissülő operatív termésbecslés reális és hasznos döntéstámogató eszközzé fejleszthető.

A továbblépés legfontosabb iránya az adatbázis bővítése és finomítása lehet: a jelenlegi országos idősorok mellett a vármegyei adatok bevonása javíthatja a térbeli részletességet, a bemeneti változók célzott bővítése pedig segíthet abban, hogy a modell azokban az években is javuljon, melyekben most gyengébben teljesít. Kiemelt feladat a bizonytalanságbecslés beépítése, hogy az előrejelzések ne csak egyetlen hozamértéket, hanem a döntésekhez közvetlenül használható megbízhatósági információt is adjanak. Az operatív működtetéshez szükséges a szezon közbeni, automatikusan frissülő futtatási lánc kialakítása. A meteorológiai előrejelzések beépítésével pedig a rendszer a megfigyelt múltbeli állapotot túl az időjárás várható alakulását is explicit módon figyelembe veheti.

Irodalomjegyzék

- Ajtay Á., Boncz J. és Takács F., 1984: Összefüggés a vetőburgonya termésátlaga és a meteorológiai tényezők között, *Időjárás*, 88, 238-246.
- Anda, A., Simon-Gáspár, B., Simon, S., Soós, G., and Menyhárt, L., 2024: Modeling Risk in Fusarium Head Blight and Yield Analysis in Five Winter Wheat Production Regions of Hungary, *Agriculture*, 14(7). 1093. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071093>.
- Berényi D., 1931: Az időjárás elemek és a mezőgazdasági növények terméseredménye közötti összefüggést kutató módszerek. *Debreceni Szemle* 44, 4.
- Berényi D., 1945: A kukorica termelése és összefüggése az időjárással, Alföldi Magvető Kiadó, Debrecen.

- Bognár P., Kern A., Pásztor Sz., Lichtenberger J., Koronczay D. és Ferencz Cs., 2017: Yield estimation and forecasting for winter wheat in Hungary using time series of MODIS data, *International Journal of Remote Sensing*, 38(11), 3394–3414.
<https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1295482>
- Bussay A., 1992: A meteorológiai tényezők hatása a burgonya terméshozamára, Beszámolók az 1988-ban végzett tudományos kutatásokról, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 243–248.
- Dunay S., 1974: Rizs, Agroklímatalógia és Növénytermesztés, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 41–53.
- Dunkel Z. és Zárbok Zs., 1980: Agrometeorológiai modellek alkalmazása a növény fejlődésének előrejelzésében, *Időjárás*, 84, 239–245.
- Erdős L. és Lambert K., 1987: Modellek a fűszerpaprika festéktartalmának és termésátlagának előrejelzésére, *Időjárás*, 91, 187–196.
- Han, J., Zhang, Z., Cao, J., Luo, Y., Zhang, L., Li, Z., and Zhang, J., 2020: Prediction of Winter Wheat Yield Based on Multi-Source Data and Machine Learning in China, *Remote Sensing*, 12(2), 236. <https://doi.org/10.3390/rs12020236>
- Harris, C.R., Millman, K.J., van der Walt, S.J. et al., 2020: Array programming with NumPy, *Nature*, 585, 357–362.
<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
- Jordan, M. I. and Mitchell T. M., 2015: Machine learning: Trends, perspectives, and prospects, *Science*, 349, 255–260. <https://doi.org/10.1126/science.aaa8415>
- Kern A., Bognár P., Pásztor Sz., Timár G., Lichtenberger J., Ferencz Cs., Steinbach P. és Ferencz O., 2014: Közvetlen vételű MODIS adatok alkalmazásai Magyarországi térségére, *Távérzékelési Technológiák és Térinformatika – Remote Sensing Technologies & GIS*, 1, 5–13.
- Kmetyó K., 1984: A kukorica területi termésátlagának előrejelzése meteorológiai paraméterek segítségével, *Időjárás*, 88, 232–237.
- Lecerf, R., Ceglar, A., López-Lozano, R., Van Der Velde, M. and Baruth, B., 2019: Assessing the information in crop model and meteorological indicators to forecast crop yield over Europe, *Agricultural Systems* 168, 191–202.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.03.002>
- Nagy J., 2021: Kukorica. Szaktudás Kiadó, Budapest.
- Nguyen, G., Dlugolinsky, S., Bobák, M., Tran V., García A., L., Heredia, I., Malík, P. and Hluchý, L., 2019: Machine Learning and Deep Learning frameworks and libraries for large-scale data mining: a survey. *Artificial Intelligence Review*, 52, 77–124.
<https://doi.org/10.1007/s10462-018-09679-z>
- Paudel, D., Boogaard, H., de Wit, A., Janssen, S., Osinga, S., Pylianidis, C. and Athanasiadis, I.N., 2021: Machine learning for large-scale crop yield forecasting, *Agricultural Systems*, 187 Article 103016.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103016>
- Paudel, D., Boogaard, H., de Wit, A., Janssen, S., Osinga, S., Pylianidis, C. and Athanasiadis, I.N., 2022: Machine learning for regional crop yield forecasting, *Field Crops Research*, 276 Article 108377.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108377>
- Schmidhuber, J., 2015: Deep learning in neural networks: An overview, *Neural Networks*, 61, 85–117.
<https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.09.003>
- Simon B., 1974: A termésbecslés módszerei, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Sun, Y., Zhang, S., Tao, F., Aboelenein, R., and Amer, A., 2022: Improving Winter Wheat Yield Forecasting Based on Multi-Source Data and Machine Learning, *Agriculture*, 12(5), 571. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050571>
- Szalay M. G., 1981: A kukorica termésátlagának becslése megyénként, három független változós másodfokú polinom segítségével, Beszámolók az 1981-ben végzett tudományos kutatásokról, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 84–94.
- Szász G., 1961: A rizs termesztésének időjárási feltételei a fő termőterületeken, *Növénytermelés*, 10, 193–206.
- Szász G., 1988: Agrometeorológia általános és speciális. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 410.
- Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T.E. et al., 2020: SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*, 17, 261–272.
- Wu, B., Zhang, M., Zeng, H., Tian, F., Potgieter, A., Qin, X., Yan, N., Chang, S., Zhao, Y., Dong, Q., Boken, V., Plotnikov, D., Guo, H., Wu, F., Zhao, H., Deronde, B., Tits, L., and Loupian, E., 2023: Challenges and opportunities in remote sensing-based crop monitoring: a review, *National Science Review*. 10. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwac290>



Hurrikánok öröksége – Trópusi viharok hatása 2025 őszének szélsőséges európai időjárására

Horváth Ákos, Kurcsics Máté

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

DOI: 10.56474/légkor.2026.1.4

2025 szeptemberében és októberében két, ebben az időszakban szokatlanul heves vihar csapott le Európára. Először az Ibériai-félszigethez érkező légörvény, a korábban trópusi viharként is bejegyzett Gabrielle ciklon maradványa okozott rendkívüli csapadékot és szélvihart. Néhány nappal később Nyugat-Európán söpört végig egy ugyancsak volt hurrikánra, a Humberto-ra visszavezethető viharciklon, amelyet Amy névre kereszteltek. A két pusztító jelenségben az a közös, hogy mindegyik háttérében a trópusokról jövő hatások, korábbi hurrikánok álltak.

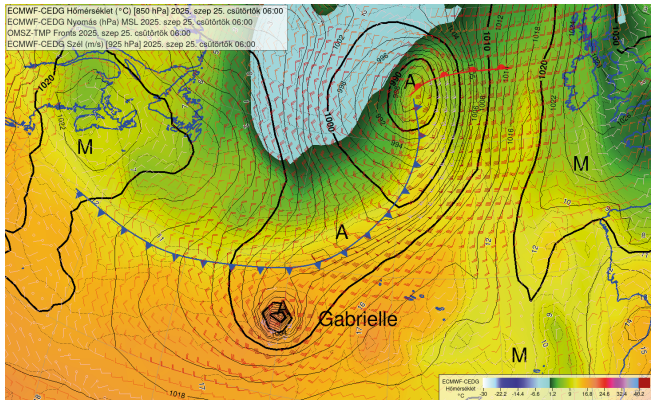
Impact of tropical storms on severe weather events in Europe during autumn of 2025

Two unusually intense storms hit Europe in September and October 2025. The first cyclone was Storm Gabrielle, which was the remnant of a tropical cyclone and brought extreme rainfall and windstorm to the Iberian Peninsula. A few days later, another cyclone – named Storm Amy – swept across Western Europe. It can also be traced back to a former hurricane, Humberto. What these two severe events had in common was their tropical origin, former hurricanes.

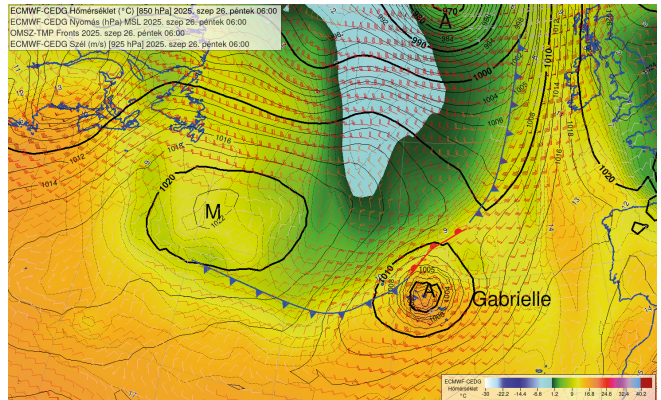
Trópusi ciklonok hatása Európa időjárására

Európa meghatározóan a nyugati szelek övéhez tartozik, időjárását az ezer kilométeres karakterisztikus méretű ciklonok és anticiklonok alakítják. Ez az éghajlati öv (az ún. Rossby-öv) a gyorsan változó, sokszor kaotikusan viselkedő áramlási rendszerével látszólag alig kapcsolódik a trópusok egyenletesebb, kiszámíthatóbb és kisebb skálájú cirkulációs rendszereihez. A két éghajlati zónát a sivatagi öv leszálló légáramlásai, és az ott képződő hatalmas méretű, tartósan fenn-

álló anticiklonok választják el egymástól. Ugyanakkor a nyugati szelek övébe a trópusokról feljutó nedvesség fontos szerepet játszik a ciklonok kialakulásában [1]. A nyugati szelek övének áramlási viszonyai nagymértékben meghatározzák Magyarország időjárását is, úgy az aszály kialakulásában, mint a rendkívüli csapadék létrejöttében [2][3][4]. A trópusi viharok, vagy az azokból kifejlődő hurrikánok [5] két módon hatnak Európa időjárására. Az egyik lehetőség, hogy a légörvények közvetlenül feljutnak a kontinens partjaihoz, megtartva örvényességüket. A másik lehetőség, hogy átalakulva mérsékelt övi ciklonná fejlődnek, vagy közvetve hozzá-



1. ábra. A hurrikánra fejlődött Gabrielle trópusi ciklon önálló örvényességét még nem befolyásolja az északról közeledő hidegfront a 2025.09.25. 06 UTC-s ECMWF analízis alapján. Az ábrán a vonalak a tengerszinti légnyomást, a színezett területek a 850 hPa hőmérsékleti mezőt, a szélvonalak a 925 hPa nyomási szint (kb. 700 m) szélviszonyait mutatják.



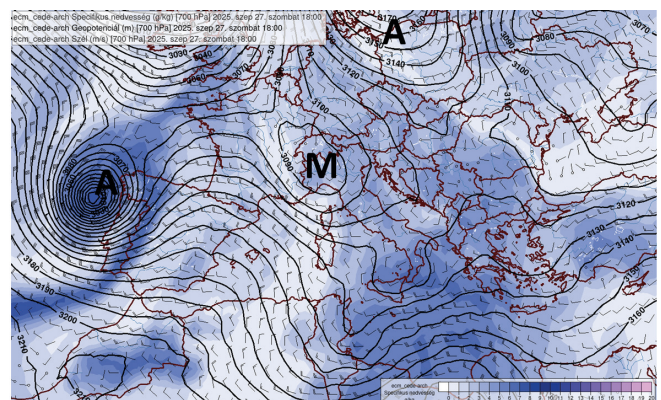
2. ábra. Az északról jövő hideg levegő a nyugati oldala felől kezdi körbe áramolni a Gabrielle hurrikánt, míg a légörvény hatására a fronton egy meleg hullám alakul ki, ezáltal megindul a trópusi ciklon mérsékelt övi ciklonná alakulása a 2025.09.26. 06 UTC-s ECMWF analízis alapján. Az ábrán a folytonos vonalak a tengerszinti légnyomást, a színezett területek a 850 hPa hőmérsékleti mezőt, a szélvonalak a 925 hPa nyomási szint (kb. 700 m) szélviszonyait mutatják.

járulnak a mérsékelt övi ciklonok létrejöttéhez. A 2025 szeptemberében Spanyolország és Portugália partjaihoz sodródott Gabrielle ex-hurrikán az előzőre, míg október elején az Amy nevű atlanti viharciklon az utóbbira példa.

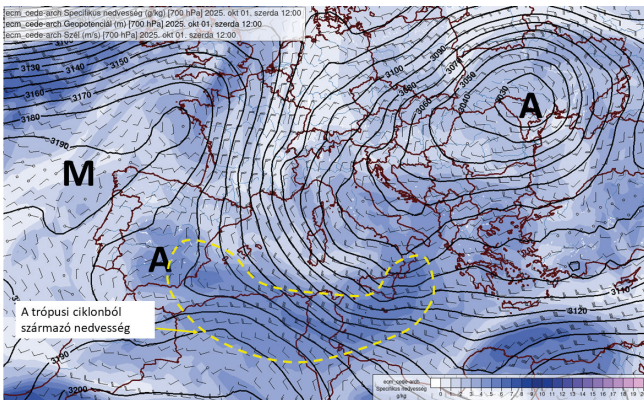
A Gabrielle hurrikán

2025. szeptember 17-én Afrika partjaitól nyugatra, a Zöld-foki szigetektől nem messze jelent meg az a trópusi alacsonynyomású rendszer (trópusi depresszió), ami hol kissé felerősödve, hol legyengülve haladt nyugati irányba. A légörvény szeptember 21-én gyorsan erősödni kezdett, és két nappal később már az 5 fokozatú Saffir–Simpson-skála alapján 4-es erősségű hurrikánra fejlődött. Az amerikai partoktól távoli légörvény fokozatosan északkeleti irányba, a nyugati szelek öve felé sodródott, ahol a hűvösebb tengervíz már kevésbé kedvezett a hurrikánt fenntartó zivataroknak. Úgy tűnt, hogy ezzel az óceán felett maradó, közepes erősségű vihar nem túl izgalmas története véget is ér. Szeptember 25-én azonban Gabrielle egy szokatlanul délre lejutó hidegfront közelébe került (1. ábra). A hurrikán jegyeket mutató trópusi légörvények és a pólusok felől jövő hidegfrontok találkozásából legtöbbször a hidegfront kerül ki győztesen, mivel a hűvösebb levegő stabilizálja a légkört, csökkentve a zivatarhajlamot. Ezúttal azonban a találkozás során a hidegfront a trópusi légörvény nyugati oldalát érte el először, a hideg levegő nyugatról kezdte körbe áramlani az örvényt, míg a keleti oldalon a ciklon hatására egy meleg hullám alakult ki a fronton (2. ábra). A hurrikán örvényessége

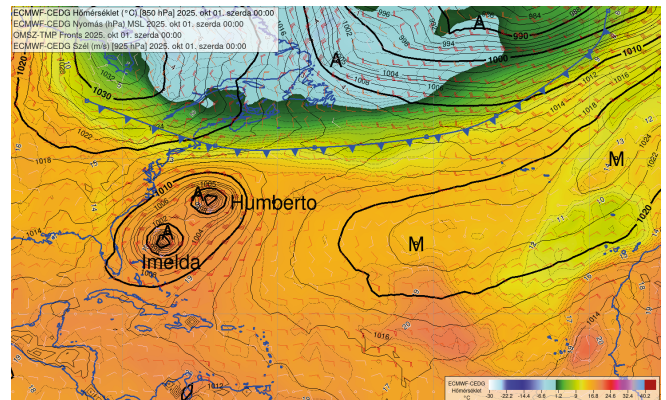
és a hidegfronton kialakuló hullám együttes hatására a trópusi ciklon rövid idő alatt egy kisméretű mérsékelt övi ciklonná alakult át. A trópusi nedvességet és a hurrikán örvényességét is magával hozó ex-Gabrielle (most már) mérsékelt övi ciklon szeptember 27-én csapott le Portugália és Spanyolország partjaira, erős vihart és nagy csapadékot okozva (3. ábra). A ciklon ezután nagyon gyorsan veszített erejéből, a Földközi-tengerhez érve azonban még a spanyol partoknál egy-egy erős zivatargócot ki tudott robbantani. Ugyanakkor földközi-tengeri ciklonná, medikánná már nem tudott átalakulni. Az ex-hurrikán által szállított nedvesség



3. ábra. A Gabrielle hurrikánból átalakult ciklon nagy nedvességtartalommal eléri az Iberiai-félszigetet a 2025.09.27. 18 UTC-s ECMWF analízis alapján. Az ábrán a színezett területek a 700 hPa nyomási szint nedvességét (specifikus nedvesség), a szélvonalak ugyanezen szint szélviszonyait, a folytonos vonalak pedig a 700 hPa nyomási szint magasságát (geopotenciál) mutatják.



4. ábra. A Gabrielle hurrikánból származó becsült nedvesség a Földközi-tenger keleti medencéjében a 2025.10.01. 12 UTC-s ECMWF analízis alapján. A szaggatott vonal a ciklon által megnövelt nedvességtől határolja. Az ábrán a színezett területek a 700 hPa nyomási szint nedvességét (specifikus nedvesség), a szélvonalak ugyanezen szint szélviszonyait, a folytonos vonalak pedig a 700 hPa nyomási szint magasságát mutatják.



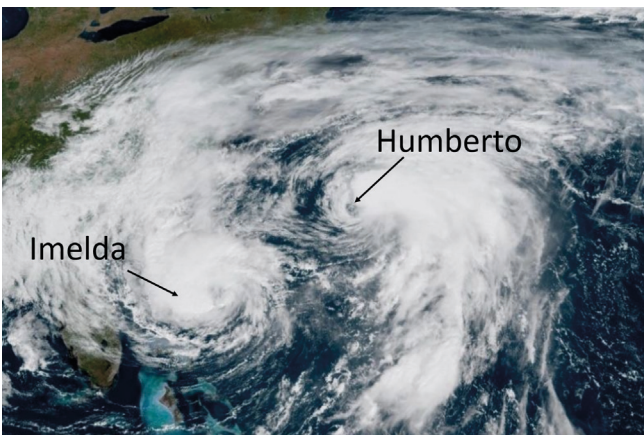
6. ábra. Imelda és Humberto hurrikánok közös izobár határok a 2025.10.01. 00 UTC-s ECMWF analízis alapján. Az ábrán a folytonos vonalak a tengerszintű légnyomást, a színezett területek a 850 hPa hőmérsékleti mezőt, a szélvonalak a 925 hPa nyomási szint (kb. 700 m) szélviszonyait mutatják.

egy része viszont eljutott egészen a görög partokig, és hozzájárult a Balkán térségében kimélyülő hatalmas, hosszú életű, Barbara névre keresztelt ciklon rendkívüli mennyiségű csapadékához (4. ábra).

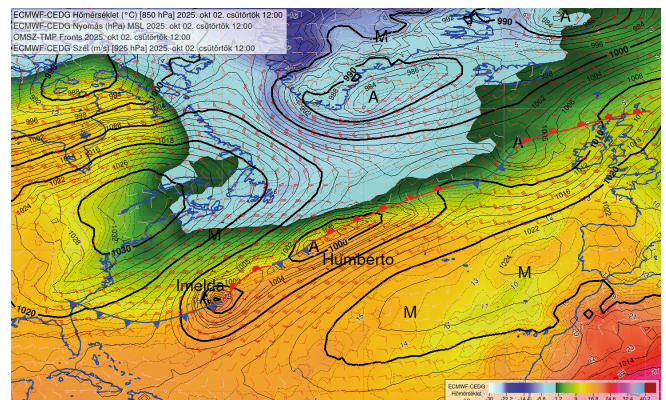
Páros hurrikánból atlanti-viharciklon

A Gabrielle ciklon maradványa már az Ibériai-félsziget fölött járt, amikor szeptember utolsó napjaiban a Karibi-térségben ezúttal két, szokatlan viselkedésű hurrikán hívta fel magára a figyelmet. A Bermuda-szigetektől délre örvénylő, nagyon erős, 5-ös fokozatú **Humberto** hurrikán közelében, Kuba partjaitól északra egy újabb trópus ciklon alakult ki. A vihar az **Imelda** nevet kapta és rövidesen 2-es erősségű hurrikánná fejlődött (5. ábra). A két ciklon olyan közel került

egymáshoz, hogy az 1010 és az 1003 hPa-os izobárok mindkét rendszert körbe zárták (6. ábra). Amikor két stabil örvény kellően közel kerül egymáshoz, akkor előfordulhat, hogy az egyik áramlási rendszere hatással lesz a másik örvényre és viszont. Ennek az ún. Fujiwhara effektusnak az eredményeként az egymás közelébe kerülő trópusi ciklonok egymás körül kezdenek keringeni, egyfajta "párostáncot" járnak [6]. Ezúttal azonban ez a „párostánc” nem tudott hosszan kialakulni, mivel a két ciklon már annyira északra került, hogy a nyugati szelek övének áramlási rendszere beleszólt a további fejlődésükbe. Hasonlóan a Gabrielle hurrikánnál leírt folyamathoz, ismét egy mélyen délre lenyúló hidegfront közelébe kerültek a hurrikánok, és a front elérte a ciklon páros északi tagját. Humberto rövid idő alatt gyors mozgású hullámmá alakult át, amely északkeleti

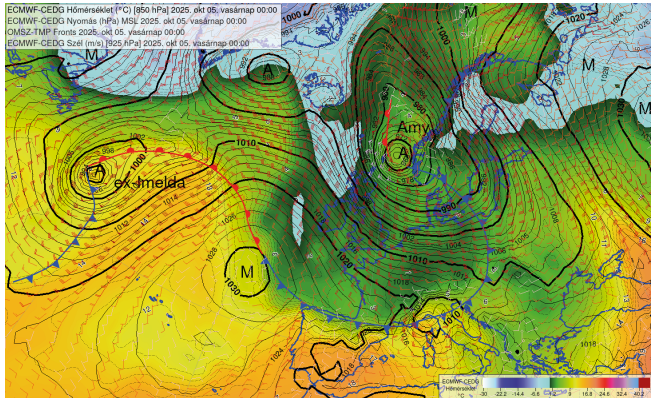


5. ábra. Az Imelda és a Humberto hurrikán páros 2025.09.29. 15 UTC-kor a NOAA GOES műholdfelvétele alapján.



7. ábra. A Humberto hurrikán frontális hullámmá alakulva a 2025.10.02. 12 UTC-s ECMWF analízis alapján. Az ábrán a folytonos vonalak a tengerszintű légnyomást, a színezett területek a 850 hPa hőmérsékleti mezőt, a szélvonalak a 925 hPa nyomási szint (kb. 700 m) szélviszonyait mutatják.

irányba fejlődött a front mentén (7. ábra). Az ex-hurrikán egy nap múlva már az észak-atlanti térségbe jutott. Nedvességének és örvényességének hatására az ír partokhoz közeli centrummal egy gyorsan mélyülő atlanti-viharciklon jött létre, amely az **Amy** nevet kapta. A ciklon fejlődése során beolvadt a tőle északra lévő mérsékelt övi légörvénybe.

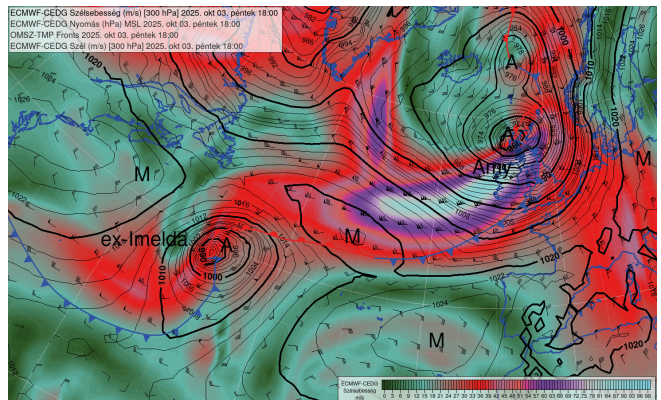


8. ábra. A Nyugat-Európa feletti Amy viharciklon a 2025.10.05. 00 UTC-s ECMWF analízis alapján. Az ábrán a folytonos vonalak a tengerszintű légnyomást, a színezett területek a 850 hPa hőmérsékleti mezőt, a szélzónákat a 925 hPa nyomási szint (kb. 700 m) szélviszonyait mutatják.

Amy tipikus észak-atlanti viharciklonként helyenként 130-150 km/h-s széllesekkel és rendkívül nagy csapadékkal jelentős károkat okozott Írországtól és Nagy-Britanniától Hollandián át Norvégiáig [7] (8. ábra). Fontos megjegyezni, hogy Humberto trópusi vihar önmagában nem tudott volna atlanti viharciklonná alakulni (ahogy a páros másik tagja, Imelda is csak egy átlagosan erős mérsékelt övi ciklonná fejlődött). Az atlanti vihar állapothoz kellett a Rossby-öv baroklin instabilitása, ami a jet-stream hatásában nyilvánult meg. A térség feletti jet-stream cirkulációja, ebben az esetben a bal kilépő oldalán a magasban jelentkező divergencia erősen hozzájárult az alsó szinten odasodródó légörvény robbanásszerű kimélyüléséhez (9. ábra). A gyors ciklogenezis miatt ezt a jelenséget „bomba ciklon” néven is szokták említeni. Az Amy ciklon (vagyis végső soron a Humberto ex-hurrikán) hatása Magyarországra is eljutott egy gyengébb hidegfront formájában.

Összefoglalás

Bár a trópusi viharok karakterisztikus mérete kisebb, mint a mérsékelt övi ciklonoké, mégis markánsan képesek befolyásolni a nyugati szelek övének áramlását és szélsőséges időjárási helyzetek kiváltói is lehetnek.



9. ábra. A jet-stream és az Amy atlanti viharciklon a 2025.10.03. 18 UTC-s ECMWF analízis alapján. Az ábrán a folytonos vonalak a tengerszintű légnyomást jelzik, a színezett területek a szint szélerősségét mutatják.

A bemutatott Gabrielle hurrikán esetén az eredeti, trópusokról jövő örvény jutott magasabb földrajzi szélességekre és csapott le Európa déli területeire. A másik esetben a Humberto hurrikán, mint kiváltó hatás (trigger) járult hozzá egy atlanti vihar, az Amy viharciklon kialakulásához. A hurrikánok jelentős mennyiségű nedvességet is képesek szállítani a mérsékelt égövbe, ezen keresztül áttételesen még tágabban hatnak az időjárás alakulására. Mivel kisebb skálájú folyamatokról van szó, így valószínűsíthetően ilyenkor az időjárás előrejelzéseiben is megnövekszik a bizonytalanság.

Internetes hivatkozások

- [1] https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3212&hir=A_viz_korforgalma_a_legkorben_%E2%80%93_a_rendkivuli_aszaly_idojarasi_hattere
- [2] https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3200&hir=A_2022-es_rendkivuli_szarazsag_fizikai-meteorologiai_hattere
- [3] https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=1228
- [4] https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3476&hir=A_2024_szeptemberi_rendkivuli_dunai_arviz_meteorologiai_hattere
- [5] https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=2011
- [6] Fujiwhara, Sakuhei (1921). "The natural tendency towards symmetry of motion and its application as a principle in meteorology". Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 47 (200): 287–293. Bibcode:1921QJRMS..47..287F. doi:10.1002/qj.49704720010.
- [7] https://www.met.hu/ismeret-tar/meteorologiai_hirek/index.php?id=6522&m=2



A 2025. évi tavi viharjelzési szezonról

Zsikla Ágota, Szilágyi Eszter, Erdődiné Molnár Zsófia

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

Október 31-én véget ért a 91. viharjelzési szezon a Balatonnál és a Velencei-tónál, valamint a 14. viharjelzési szezon a Tisza-tónál. Az átlagosnál melegebb és szárazabb szezon 2025-ben is vonzotta a látogatókat a tavakhoz. A Balaton most is számos rendezvénynek adott otthont. A vitorlásversenyeknél esetenként gyenge szél, míg például az októberi nemzetközi horgászverseny esetében - a nyugodt időjárás helyett - széles körű körülmények várták a résztvevőket. Kedvező szélviszonyok voltak ugyanakkor az 57. Kékszalag vitorlás versenyen, ahol három csapat is megdöntötte az eddigi tókerülő rekordot! A Balaton-átúszás esetében a kedvezőtlen prognózisok (és időjárás) miatt kétszer is el kellett halasztani a tervezett rendezvényt, míg a harmadik időpontban optimális körülmények között úszhattak a profi és amatőr sportolók.

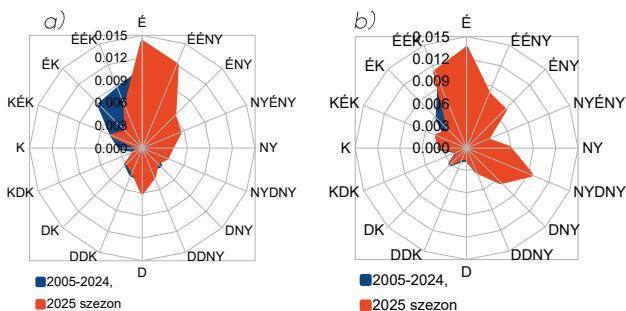
I. A viharjelzési szezon időjárásáról

A Balatonnál 2025-ben is folytatódott az átlagosnál melegebb szezonok sorozata. A hét hónap középhőmérséklete Siófokon 18,7 °C, Keszthelyen 17,7 °C lett, amely értékek mintegy 1 fokkal haladják meg a 30 éves klímaátlagot. A lehullott csapadék mennyisége ugyanakkor jelentősen elmaradt az átlagtól. A szárazabb keleti medencében mindössze 230 mm körüli, a nyugati területeken átlagosan 310 mm eső hullott.

A balatoni szélviszonyokról

A 2025-ös teljes viharjelzési szezonra vonatkozó, a parti állomások méréseiből az összesített átlagsebesség csak kevéssel tért el a sokéves értékétől. A keleti medencében az átlagosnál 3,2%-kal szelesebb lett az időjárás, míg a nyugati és középső medence együttesen 2,1%-kal gyengébben szelesnek bizonyult a megelőző 20 év átlagánál. A legszelesebb hónap a július

volt, ezt követte szorosan az április, majd közel egyformán a május és az október. Ez utóbbi hónap a megszokottnál jóval mozgalmasabb időjárást hozott. Most nyugaton 9,7%-kal, keleten 25%-kal szelesebb volt az idő, mint amilyen októberben lenni szokott. A korábbi évekhez képest gyakoribbak voltak az északias irányból érkező légáramlatok, amelyekre az 1. ábrán megjelenő szélrózsák is utalnak. A szezon során öt erős vihar (90 km/h szélesebséget elérő, vagy meghaladó szélesebség) érte el a Balatont, amelyek a parti állomásokon is mérhetőek voltak. Ez a 20 éves átlagnál alacsonyabb érték. Júniusban és az őszi hónapokban egy-egy napon, júliusban két napon is mértek 90 km/h-nál erősebb szélrozsákat a Balaton egy vagy több körzetében. A legerősebb vihar július 7-én tört a Balatonra. Ekkor délnyugat felől egy heves zivatarokat tartalmazó zivatarvonal vonult végig a Balatonon, amelyből Balatonfürednél mérték a legnagyobb szélesebséget, 130 km/h-t. Ezeket túl, a tóközépi platformokon két esetben érzékelték még a műszerek erős vihart.



1. ábra. Az órás szélmaximumok szélirány szerinti relatív gyakorisága Balatonmáriafürdőn (a) és Siófokon (b), az $f_x \geq 3$ m/s esetekben.

Az erősen viharos napok jellemzése

2025-ben is több alkalommal előfordultak olyan erős viharok, amelyekben parti állomás nem volt érintett, 90 km/h-t elérő vagy meghaladó szélhőkés csak vízközépi szélmérőkön fordult elő. Ilyen volt az idei első erősen viharos nap is. **Június 3-án** egy hullámszó frontrendszer alakította időjárásunkat. A Balatonnál késő délelőttig a parti cirkuláció volt a meghatározó. Az érkező hideg levegő első hulláma még csak kisebb szélgyorsítást okozott (30-40 km/h), majd nyomában ismét a helyi szélviszonyok jutottak érvényre. A második hideghullám délután érte el a tavat. Mögötte tekintélyes magasnyomás épült fel, miközben a frontvonal mentén már Ausztriában két intenzív zivatar jelent meg. A hidegfront torlasztó hatása, továbbá a jelentős szélnyírás támogatta a hosszú életű cellákat, amelyek intenzív villámtevékenység, rövid ideig tartó, de intenzív csapadék és nagy szemű jég kíséretében érték el a Balatont [1]. A zivatarokhoz nagyon magas felhőtetők (13-14 km/h) kapcsolódtak és még a Balatont elérve is szupercellás jegyeket (falfelhő, peremfelhő) viseltek (2. ábra). A szupercellás zivatarok vonulásuk során a nyugati és a középső medencét is érintették hirtelen viharossá fokozódó északi szél kíséretében. Sokáig egymás mellett haladtak, nyomvonaluk jól követhető a HungaroMet Nonprofit Zrt. radaros csapadékinzintázás összegző térképén (3. ábra). A vízparti állomások közül a szemesi kikötő szélmérője rögzítette a legnagyobb szélhőkéseket (82 km/h), míg előterében, a Szemes platformon az egyik szupercella erősen viharos szélhőkést (90 km/h) is produkált.

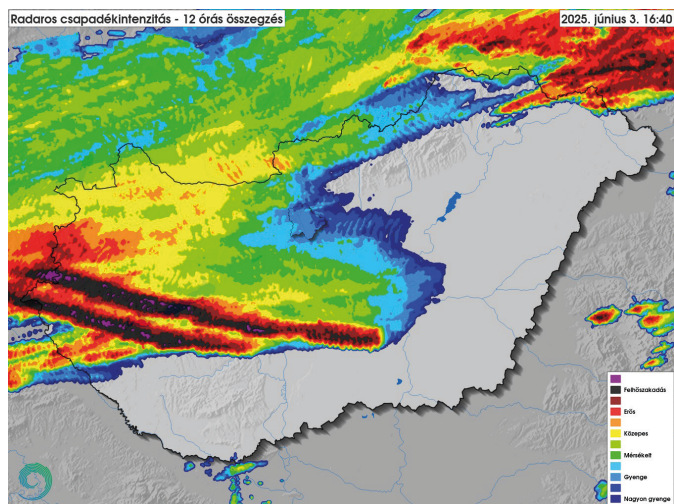
Június 23-án is csak a nyílt vízben lépte át a szélsebesség a 90 km/h-t. Ekkor kora este Nyugat-Európa felől egy markáns hidegfront érkezett a Balatonhoz. Napközben még forróság, igazi strandidő volt, este felé azonban a nyugati horizonton már sötétebb felhők tüntek fel, zivatarok érkeztek az Alpok felől. A hideg-



2. ábra. 2025.06.03-án szupercellák keresztelték a Balatont (Fotó: Kiss Gyozó).

front átvonulását napnyugtát követően az északnyugati-ira forduló viharos szél jelezte. A szelet tovább fokozták a konvektív események, a front mentén fejlődő zivatarok. A legintenzívebb zivataros góccok a középső medencét érintették, így a nap legerősebb szélhőkései is innen származnak. Balatonöszödön 87 km/h-s, a Szemes platformon 93 km/h-s szél fújt. A zivatarok végül jelentősebb mennyiségű csapadékot nem okoztak a térségben, ahogy a nyár további részében érkező zivataros hidegfrontok sem.

A következő erős vihar nem sokáig váratott magára, három nappal később, **június 26-án** este ismét sűrű felvillanások jelezték a Balatonnál a vihar közeledését. A 2025-ös szezon legforróbb napja volt, éjszakára



3. ábra. A HungaroMet Nonprofit Zrt. radaros csapadékinzintázás összegző térképén (12 órás összegzés) az intenzív radarjelek megfestik a két szupercella nyomvonalát. Több száz kilométeren keresztül egymással párhuzamosan haladtak.

azonban megérkezett a felfrissülés. A késő esti hidegfront átvonulását az egész tavon viharos szél kísérte, továbbá zivatarok is nagy számban érkeztek Horvátország, Szlovénia irányából, amelyek környezetében szintén voltak heves szélrohamok. A legerősebb szél-lökéseket a frontátvonulás idején mértük, ekkor a balatonöszödi szélmérő 93 km/h-t, a Szemes platformon elhelyezett szélmérő 90 km/h-t mutatott.

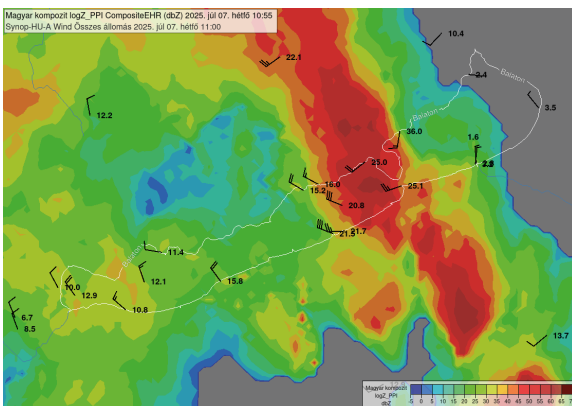
Az idei szezon legerősebb viharát **július 7-én** egy délnyugat felől érkező zivatarlánc okozta, amely egy hidegfront mentén fejlődött [2]. A zivatarok kora délután húzódtak a Balatonra, és a tó tengelyével párhuzamosan haladtak végig a tavon az egyre erősödő és egyre gyorsuló cellák. Bár az idei viharjelzési szezonban a Balatonnál még nem fordult elő 100 km/h-s szél, ezen a délutánon a tó nyugati, középső és keleti medencéjében egyaránt regisztrált a HungaroMet Nonprofit Zrt. 100 km/h-t meghaladó szél-lökéseket. A keleti medencébe már orkán erejű széllel érkezett a vihar, Balatonfüreden 130 km/h volt a legerősebb szél-lökés (4. ábra). A vihar látványos peremfelhővel érkezett, továbbá megfigyelhető volt a porzó víz jelensége is, amelyet a HungaroMet Nonprofit Zrt. Siófoki Observatóriumának kamerája is megörökített (QR1, QR2). Bár az idei balatoni viharok közül ez volt a legerősebb, a zivataros rendszerből kifújó szél azért jócskán elmaradt a valaha mért legnagyobb balatoni szél-től (Balatonaliga 2017, 157 km/h) [3]. A zivatarokhoz özönvízszerű esőzés és apró szemű jég is kapcsolódott, a legnagyobb károkat azonban a szél okozta. Fákat döntött az utakra, sínekre, felsővezetésekre, az északi parton hosszabb ideig szünetelt a vonatközlekedés is. A szélvihar sajnálatos módon számos Kékszalag versenyre készülő hajót is megrongált, amelyek így nem tudtak elindulni a pár nappal később kezdődő tókerülő

versenyen [4]. A zivatarlánc a Balatont elhagyva kelet felé folytatta útját. A hidegfront előterében a forró, labilis levegőben már egyedi cellák, köztük szupercellák is megjelentek. A heves zivatarok az ország keleti felében is számos helyen 100 km/h-t meghaladó szélrohamokat eredményeztek és jelentős károkat hagytak maguk után.

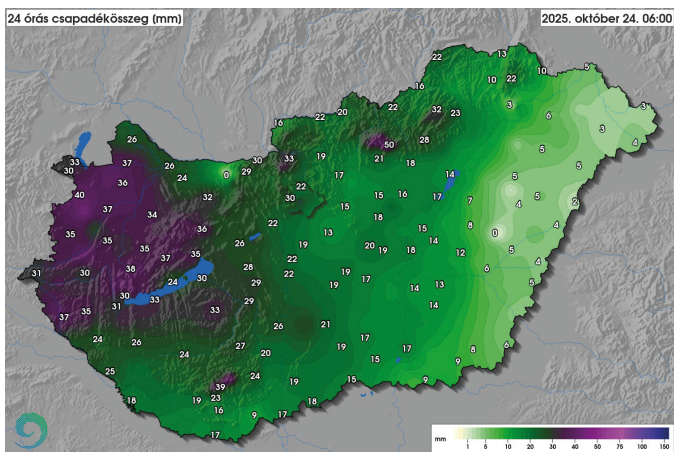
A pusztító vihar másnapján, **július 8-án** délután egy újabb hidegfront érte el a Balatont. A frontvonal mentén a nyugati medence környékén egyre erősödő cellák jelentek meg. Eleinte zivatarokhoz kapcsolódóan, majd a front hátoldalán kiépülő nagy nyomási gradiens hatására celláktól függetlenül is éjszakába nyúló, tartós viharos szél kerekedett (jellemzően 70-80 km/h). Balatonöszödön napnyugta tájékán 90 km/h-t meghaladó szél-lökés is előfordult (93 km/h), így a sorban ez lett 2025-ben az ötödik erősen viharos nap.

Augusztusban nem volt erős vihar a Balatonnál. Szeptember 5-én estétől egy gyenge, de gyors mozgású hidegfront okozott a Balatonnál egyre nagyobb területre kiterjedő erős, majd viharos szelet. A nyomási gradiens és a magassági szél csak az éjjeli órákat követően érte el tetőpontját. Ezzel párhuzamosan a felszíni szél-lökések is csak az éjszaka második felében csúcsosodtak ki: **szeptember 6-ra** virradóan újabb erős vihar alakult ki a tavon, Balatonöszödön 101 km/h-s, a szigligeti platformon 100 km/h-s szél-lökésekkel. A szélvihar csak a délelőtt folyamán szűnt meg, a hosszú lefutású észak-déli izobár struktúra támogatta a tartós szelet. Jelentősebb mennyiségű csapadék ehhez a fronthoz sem kapcsolódott. A hidegfront hátoldalán képződő gomolyok csupán a tó nyugati felében okoztak kisebb záporokat, de ez az 1-2 mm tűzoltásnak is kevés volt az aszályos nyarat követően.

Az elmúlt évek tendenciája azt mutatta, hogy még a viharjelzési szezon végén, októberben is gyarapodik az erős viharok száma. Ez 2025-ben sem volt másként. Október utolsó dekádjában Nyugat-Európát egy mély ciklon érte el kiadós csapadékkal. A francia meteorológiai szolgálat által Benjamin névre keresztelt ciklon a nyugati országokba kiadós mennyiségű esőt hozott, továbbá Franciaországban a nyugati partszakaszon többfelé orkán erejű, károkozó szél fújt. Hazánkba már valamelyest legyengült formában, de határozott széllel érkezett a ciklon hidegfrontja **október 23-án** este. Előoldalán napközben erős, helyenként viharos lökésekkel kísért délnyugati szél fújt, majd a hidegfront érkezését megelőzően estére átmenetileg teljesen leállt a szél. A hidegfront viharos széllel, hirtelen csapott le a tóra késő este. A nyílt vízben és a déli parton többfelé 80-90 km/h-t elérő vagy kissé meghaladó szél-lökések is voltak. A legerősebb szél-lökést Szemes plat-



form regisztrálta (113 km/h), de a közvetlen vízparton is elérte a szélsősebesség az erősen viharos kategóriát (Balatonőszöd 95 km/h). Egész éjszaka viharos szél fújt. A nyári frontokkal szöges ellentétben ez az ünnepi front már jelentősebb esővel érkezett, másnap reggelig a Balatonnál területi átlagban 30 mm, közel félhavi csapadék hullott le (5. ábra).



5. ábra. Az október 23-i hidegfront kiadósabb mennyiségű csapadékot hozott a Dunántúlra. A Balaton környékén területi átlagban fél havi csapadék zúdult le.

A Tisza-tavi szélviszonyokról

A Tisza-tónál a 2025-ös viharjelzési szezonban nem volt erős vihar. Viharos erejű szél a tóparti állomásokon mindössze öt napon fordult elő. Az első alkalommal **április 10-én**. Ekkor délelőtt egy hidegfront érkezett. Hatására északkeletre fordult, és hirtelen viharossá fokozódott (Kisköre 64 km/h 31 km/h-ról, Tiszaörvény 57 km/h 21 km/h-ról) a szél. Amilyen hirtelen jött, este olyan hirtelen el is állt a szél.

Május 15-én délután szintén egy hidegfront okozott Poroszló állomáson 63 km/h-s szellőkést északkeleti irányból. A fronthoz kötődően konvektív csapadék csak a déli országrészben volt.

Június 8-án délután prefrontális zivatarokból csak élénk szellőkések fordultak elő, majd a front érkezésével északnyugatra fordult, és Poroszlón viharossá fokozódott (62 km/h) a szél. A front nyomában még gyakran erős maradt a szél, így a két napon, június 8-án és 9-én összesen 28 órán át volt kint viharjelzés megszakítás nélkül.

Az a zivataros hidegfront, amely **július 7-én** a Balatonnál orkán erejű szellőkéseket okozott a Tisza-tóig is eljutott. Az instabilitási vonal mentén, Kompolton 98 km/h-s szellőkést regisztrált a szélmérő, ami már az erősen viharos kategóriába esik. A Tisza-tó környe-

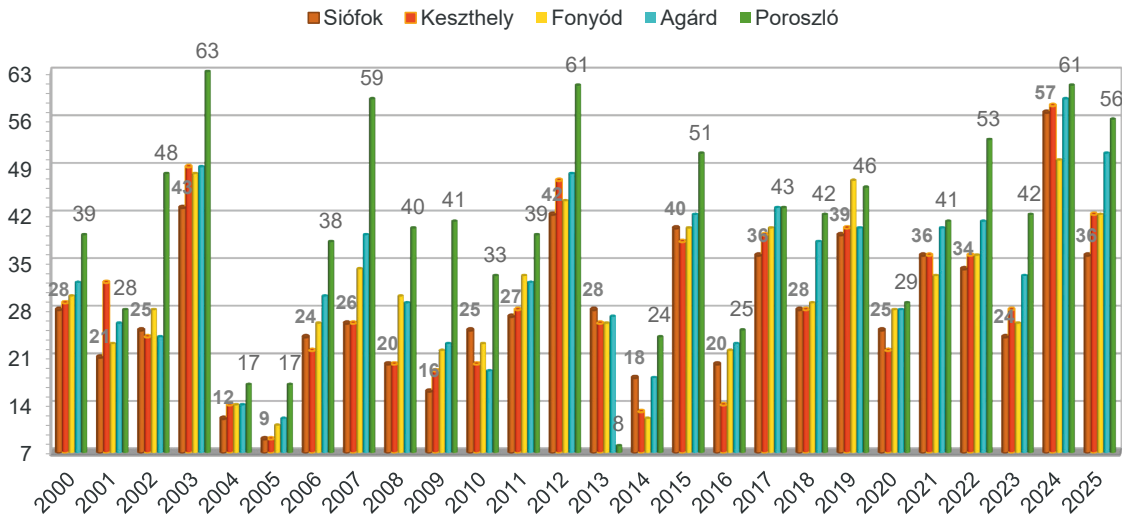
zetében ez volt a 2025-ös szezon legerősebb szellőkése. Bár közvetlenül a Tisza-tavon ezek a zivatarok nem okoztak erős vihart, viharos szél a tónál is előfordult, a legerősebb szellőkést, 65 km/h-t, a kiskörei szélmérő regisztrálta. Ebben a szezonban egyedül ezen a napon fordul elő olyan, hogy zivataros kifutószélhez kapcsolódóan mértek viharos szellőkéseket a Tisza-tavi műszerek.

A leghosszabban **október 24-én** fújt viharos szél a Tisza-tónál, és a 2025-ös viharjelzési szezon legerősebb szellőkése is (73 km/h) ezen a napon alakult ki Poroszlón. Egy középpontjával a Kárpát-medence fölött átvonuló ciklon áramlási mezőjében – rendkívül nagy nyomási gradiens és erősen viharos magassági szél mellett – a délelőtti órákban többször viharos szellőkést regisztráltak a Tisza-tavi szélmérők. Október 23-án kora délutántól 25-én kora hajnalig kisebb megszakításokkal 36 órán át volt kint viharjelzés a Tisza-tónál.

A **leghosszabb szeles időszak** a viharjelzési szezon első hónapjában, április 25-e késő estétől 27-e kora délutánig tartott. Egy hidegfront érkezett, amely mögött megélnékült, majd megerősödött az északkeleti szél. A tartós szelet nagy nyomási gradiens és az erős, többször viharos magassági szél támogatta. Az erős északkeleti szél egészen 27-én reggelig kitartott, majd kora délutánig még bő élénk maradt, így a viharjelzés 38 órán át volt fenntartva megszakítás nélkül.

A hőmérsékleti viszonyokról

A nyári félév középhőmérséklete az egész szezonhoz hasonlóan átlagosan 1 °C-kal haladta meg a harmincéves (1991–2020) átlagot. A hónapok közül egyedül a május hozott a szokásosnál tartósabban hűvös időjárást. A nyári hónapok középhőmérséklete a Balaton térségében Keszthelyen 1,5 °C-kal, míg Siófokon 1,2 °C-kal volt magasabb a klímaátlagnál. Ennek megfelelően az évszak középhőmérséklete Keszthelyen 22,1 °C, Siófokon 23,3 °C-nak adódott, ami még így is legalább 1,5 °C-kal elmaradt a 2024-es rekord meleg nyár értékeitől. A **viharjelzési szezon legforróbb napja** június 26-a lett, amikor a hőmérséklet a legtöbb mérőhelyen 36 °C fölé emelkedett. A legmagasabb értéket Balatonedericsen mérték, **37,7 °C**-ot. A 30 °C-ot elérő, vagy meghaladó hőmérsékletű napok száma a Balatonnál jellemzően „csak” 35 °C és 45 °C között alakult, ami az 1991–2020-as évek átlagának több mint 1,5 szerese. A hőségnapok száma a Velencei-tónál az 1996–2020-as átlaghoz képest majdnem megduplázódott (1,89 szerese lett). Ugyanakkor májusra még nem, szeptemberre pedig idén 1-2 hőségnap jutott. A 6. ábrán a 2000 és 2025



6. ábra. A hőségnapok száma ($t_x \geq 30^\circ\text{C}$) tavainknál a XXI. században.

közötti évekre tüntettük fel a hőségnapok alakulását a tavainknál. A Tisza-tónál lévő poroszlói állomáshoz szinte minden évben a legmagasabb értékek tartoztak (a klímaátlag 35 nap). Az őszi hónapok közül a szeptember még mintegy 2°C -kal melegebb volt a klímaátlagnál. Októberre viszont jelentősen visszaesett a hőmérséklet: a Balatonnál még fél fokkal az átlag fölé tudott emelkedni a havi középhőmérséklet. A hónapban anticiklonok peremén jöttek a tartósan hűvös léghullámok és több front is érintette a Kárpát-medencét. A napi maximumok csak 1-2 napon haladták meg a 20°C -ot. A Balaton vízhőmérséklete már elsőjén is 16°C alatt volt, utána pedig még tovább csökkent. Jellemzően a hónapban már csak $11\text{-}13^\circ\text{C}$ körüli értékek voltak mérhetőek.

A csapadékviszonyokról

A 2025-ös nyári félévben a Balaton térségében mindenütt az **átlagnál kevesebb csapadék hullott**. A keleti medencénél jellemzően az átlagos mennyiség közel fele, helyenként harmada, míg nyugaton annak mintegy negyede hiányzott a földekről, tavakból. A keleti medence térségében a hat hónap alatt 200 mm körüli, vagy annál kevesebb csapadék esett le, így ez a terület különösen száraznak bizonyult. Siófokon az Observatóriumnál fél év alatt $177,7\text{ mm}$ -t, a nyári hónapok során összesen $74,9\text{ mm}$ csapadékot mértek. Nemcsak Siófokon, hanem a Balaton délkeleti térségében is a 2025-ös lett 1901 óta a legaszályosabb nyár [5]. A Velencei-tónál Agárd környékére ez hasonlóan alakult. Tavainknál a legnagyobb csapadékhiány minde-

nütt júniusban keletkezett. Ekkor mindössze $10\text{-}20\text{ mm}$ csapadék hullott, sőt néhol mennyisége még a 10 mm -t sem érte el. Júliusban és augusztusban már ennél több csapadék érkezett, azonban a havi átlagot megközelítő, vagy meghaladó mennyiség csak a Balaton nyugati részét jellemezte. Augusztusban kiemelkedő értéket mértek a Tisza-tónál Poroszló környékén is. A Balatonnál és a Velencei-tónál az augusztusi csapadék nagyobb része a hónap utolsó három napján hullott le. Negyedik és huszonnyolcadika között ugyanakkor mindössze $1\text{-}3\text{ mm}$ -t mértek. A legtöbb csapadékot a Balaton nagyobb részén augusztus 30-án regisztrálták, amikor jellemzően $40\text{-}70\text{ mm}$ közötti mennyiség hullott. A keleti medencénél, illetve a Velencei-tónál október 23-án mérték a szezonban a maximumot $30\text{-}35\text{ mm}$ körüli értékkel (Velencei-tó $26\text{-}32\text{ mm}$), amennyi egyébként akkor a Balaton nyugati részén is lehullott. Az augusztus 30-ai nagy csapadékot egy tartósan az ország felett hullámzó front okozta. A déli órától másnap reggelig esett változó intenzitású csapadék nyugaton kisebb, keleten hosszabb megszakításokkal. Október 23-án egy Brit-szigetek feletti centrumú ciklon előoldalán érkezett délutántól csapadék a Dunántúlra. Először gyengébb intenzitással, majd az esti órától már a front környezetében intenzívebb csapadékhullás is volt néhány órában. Júliusban 7-8-án és 27-én voltak kedvezőek a feltételek a záporokból, zivatarokból létrejövő nagyobb mennyiségű csapadéokra. Kiemelten 27-én, Balatonakalin 47 mm hullott le egy tartósan egy helyben tartózkodó konvektív rendszerből. Ezzel a havi csapadékösszeg itt egyedülként a szezonban

	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
keleti medence átl.	33,8	27,40	13,90	33,90	34,40	51,10	36,2
Siófok	37,9	26,70	10,00	33,70	31,20	38,20	34,1
Bkenese	40,7	29,60	15,70	28,00	30,10	52,70	33,9
nyugati medence átl.	23,7	37,40	17,70	62,80	87,10	42,30	39,7
Fonyód	16,7	42,6	11,5	53,9	97,8	41,1	39,2
Keszthely	32,0	50,8	15,5	52,3	64,7	53,3	36,9
Balatonakali	23,7	27,1	19,8	103,3	74	37,6	27,1
Agárd	39,3	40,7	10,5	25,7	19,6	25,9	36,5
Poroszló	27,6	39,6	1,7	46,1	99,7	54,1	17,3

7. ábra. A tavi állomások havi csapadékösszegei 2025-ben.

meghaladta a 100 mm-t is (7. ábra). **Össességében azonban a szezon időjárását a száraz idő jellemezte,** amelyet tükröz a Balaton vízállása is. Az áprilisi és május eleji 111-112 cm-ről októberre 64 cm-re esett vissza az átlagvízszint. Az OVF tájékoztatása szerint vízleeresztés a tavon 2025-ben nem történt.

II. A 2025. évi szezonban kiadott balatoni viharjelzések statisztikája

2025-ben a Balatonnál az első- és másodfokú viharjelzések összesített fenntartási ideje a szezon teljes időtartamának átlagosan 39,2%-át tette ki (2016 óra).

A leghosszabb ideig most a keleti medencében volt érvényben viharjelzés, összesen 2040 órát, legrövidebb ideig a középső medencében, ott 1988 órát. A Balatonnál a viharjelzéssel lefedett idő ezzel az előző éveknél magasabban, ugyanakkor az elmúlt két évtized átlagának megfelelően alakult. A Velence-tónál az 1260 óra fenntartás a teljes időszak 24,5%-át tette ki. A Velencei-tónál egyidejűleg az átlagosnál 2,9%-kal rövidebb ideig volt szükség a viharjelzések fenntartására. A másodfokú viharjelzések aránya a teljes időszakhoz viszonyítva a Balatonnál 12,6–13%, a Velencei-tónál pedig 5% volt. Az első- és másodfokú viharjelzések fenntartására legrövidebb ideig a Tisza-tónál volt szükség, mindösszesen 1103 órára, amely most a sokéves átlagot 3,5%-kal meghaladó érték. Itt a másodfokú viharjelzés fenntartása a teljes időszaknak kevesebb, mint 4%-át tette ki.

A Balaton a kikapcsolódást jelenti az ide érkezők számára, de ugyanakkor veszélyforrás is. A Balatoni Vízügyi Rendőrkapitányság tájékoztatása szerint munkatársai a viharjelzési szezonban 171 esetben, összesen 374 fő fürdőzött vagy vízi közlekedő személyt mentettek ki a vízből. 2025. április 1. és október 31. között 7 ember fulladt a Balatonba. Halálos kimenetelű vízi közlekedési baleset nem történt.

Irodalomjegyzék

- [1] https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/index.php?id=3561&hir=Hosszu_letu_szupercellak_2025._junius_3-an
- [2] https://www.met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=3573&hir=Pusztito_zivatarlanc_a_Balatonnal,_2025._juli-us_7-en
- [3] https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/index.php?id=1931&hir=Heves_zivatarok_legzuhatok_a_Balatonnal
- [4] https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/index.php?id=3577&hir=Julius_eleji_viharok_meteorologiai_elemzese
- [5] https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/index.php?id=3586&hir=A_hetedik_legmelegebb_es_a_nyolcadik_legszarazabb_nyar_1901_ota



2025 őszenek időjárása

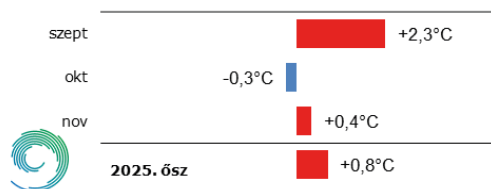
Szolnoki-Tótván Bernadett

HungaroMet Nonprofit Zrt., totivan.b@met.hu

A 2025-ös ős országos átlagban 11,5 °C-os középhőmérséklettel zárt, ami az 1901 óta mért 18. legmelegebb érték. Az évszak időjárása hullámzó volt: a kifejezetten meleg szeptembert hűvösebb október, majd enyhébb november követte. Csapadék szempontjából szélsőségek jellemezték az időszakot, hosszú száraz periódusok és rövid, intenzív esők váltották egymást. Országos átlagban kevesebb csapadék hullott a megszokottnál, és az eloszlása is jelentősen átrendeződött, novemberre koncentráldva. Összességében egy enyhe, de száraz és időjárás szempontból változékony ős rajzolódik ki.

A hőmérséklet és csapadék időbeli alakulása

A 2025-ös ős középhőmérséklete országos átlagban 11,5 °C lett, ezzel a 18. legmelegebb ős 1901 óta (1. ábra). A szeptember jelentősen melegebb volt a sokéves átlagnál, 2,3 °C-kal haladta meg azt. Az október már hűvösebb volt a megszokottnál (-0,3 °C), míg a november ismét enyhébb, de kisebb mértékben (0,4 °C), mint az évszak kezdete. Csapadék tekintetében nagyon szélsőséges volt az évszak; a pár napos – sokszor intenzív – csapadékos periódusok között hosszú száraz időszakok alakultak ki. Országos

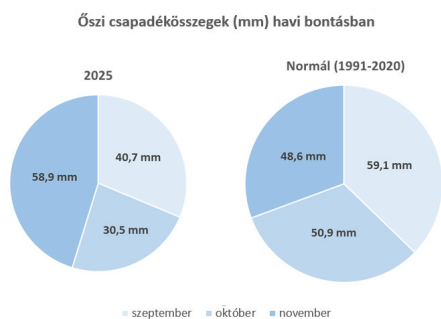


1. ábra. Az országos havi és az évszaki középhőmérséklet eltérése a sokévi (1991–2020-as) átlagtól 2025 őszen (interpolált adatok alapján).

Éghajlati indexek értékei 2025 őszen és ezek sokéves átlagai

	2025	1991–2020
Nyári nap ($T_{max} \geq 25 \text{ °C}$)	16	11
Hőség nap ($T_{max} \geq 30 \text{ °C}$)	5	1
Fagyos nap ($T_{min} \leq 0 \text{ °C}$)	10	13
Téli nap ($T_{max} \leq 0 \text{ °C}$)	0	1
Hideg nap ($T_{min} \leq -5 \text{ °C}$)	1	2
Csapadékos nap ($r \geq 0,1 \text{ mm}$)	30	29
Havas nap	2	2
Hótakarós nap	1	1
Zivataros nap	2	2

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



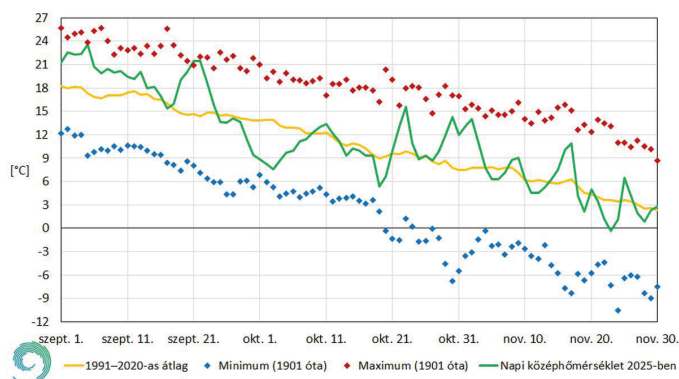
2. ábra. A 2025-ös őszi csapadékösszegei és a normál területarányos kördiagramon (mértékegység: mm).

átlagban 18%-kal kevesebb az évszakos összeg, mint a sokéves érték. Az őszi első két hónapja jóval szárazabb volt, mint a normál, és a csapadékosabb november sem tudta ezt ellensúlyozni.

A küszöbnapok alapján is egy enyhe őszi rajzolódik ki. Nyári naptól közel a sokéves átlag másfélszerese fordult elő, és a hőségnapok is gyakoribbak voltak 2025-ben, mint az 1991–2020-as normál időszakban. A fagyos napok, téli napok és hideg napok száma viszont elmaradt a megszokottól (1. táblázat). Szinte mindegyik csapadékkal kapcsolatos éghajlati index megegyezett a sokéves átlaggal, csak csapadékos naptól eggyel több lett, mint a megszokott.

A 2. ábrán a kördiagram a 2025 őszi lehullott csapadék mennyiségét és évszakon belüli eloszlását hasonlítja össze az 1991–2020-as normálidőszakkal. Látható, hogy a sokéves átlag szerint a három hónap mindegyike közel az egyharmadát adja az évszakos összegnek. 2025-ben ez úgy alakult, hogy novemberben érkezett az őszi csapadékösszegnek közel a fele, szeptemberben közel a harmada, októberben pedig csak az egynegyede. Az elmúlt 126 év éghajlati adatsorában 2025 októbere a 46. helyre került a legszárazabb időszakok sorában, míg a szeptember az 57., a november a 80., az őszi pedig 47. lett. Az ábrán – ahol a kördiagramok területei arányosak a havi és évszakos csapadékösszegekkel – látható, hogy az évszak csapadékösszege kissé elmarad a sokéves átlagtól. 2025-ben a sokéves átlagnál 13%-kal kevesebb csapadék érkezett összesen.

A 3. ábra a 2025-ös őszi napi középhőmérsékleteit, sokéves átlagait, valamint az 1901 óta tapasztalt szélsőértékeket mutatja be. Az évszak 91 napjából 52 napon a normálnál magasabbak voltak a napi átlaghőmérsékletek. Szinte az egész szeptember melegebbnek adódott a megszokottnál, 5-e lett az évszak legmelegebb napja, amikor 23,7 °C volt a napi középhőmérséklet. Ezen

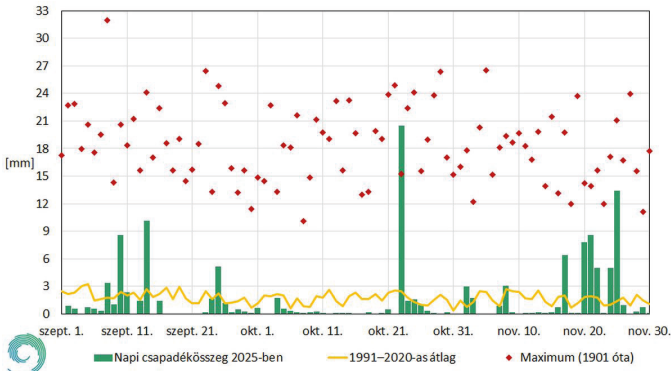


3. ábra. Országos napi középhőmérsékletek, a sokéves átlag (1991–2020), illetve a szélsőértékek 1901 óta 2025 őszién homogenizált, ellenőrzött, interpolált adatsorok alapján.

a napon mértük őszi a legmagasabb hőmérsékletet (35,1 °C) is Körösladányban és Körösszakálón, ami egyben új országos napi melegrekord. A normáltól való legnagyobb pozitív eltérés 22-én adódott, több, mint 7 fokkal volt melegebb az átlagnál. 25-én kezdődött egy erőteljes lehűlés, mely hideg periódus október 8-ig tartott. Október 3-án éltük át a legnagyobb negatív anomáliát: országos átlagban 6,2 °C-kal maradt el a hőmérséklet az 1991–2020-as értéktől. Ezt követően a sokéves átlagnak megfelelően alakult időjárásunk, majd két hidegebb nap (19-20) után melegedés volt megfigyelhető. A hónap végén és november elején már 4-6 fokkal mértünk magasabb hőmérsékletet, mint ilyenkor az szokásos. November közepén a Kárpát-medencét több napig egy hidegpárna töltötte ki, majd melegedés kezdődött, mely 17-én tetőzött. Viszont az ekkor érkező markáns hidegfront mögött már sarkvidéki eredetű hideg levegő áramlott hazánk fölé. Az őszi leghidegebb napján, 23-án fagypontra süllyedt a napi középhőmérséklet (-0,2 °C).

A 4. ábra a csapadék időbeli alakulását mutatja az őszi folyamán. A grafikonon látható, hogy a csapadék most is időben többször koncentráltan érkezett, köztük hosszabb-rövidebb száraz időszakokkal. Legszélsőségesebb az október első 22 napján fennálló csapadékhiány volt. A három hónap közül a november volt a legnedvesebb.

A szeptember száraz napokkal indult, majd 10-14. között, illetve 25-én érkezett ismét csapadék, mindkét esetben egy-egy mediterrán ciklon hatása alá került hazánk. Október 4-én nyugat felől megérkezett az Amy nevű viharciklon, így délután a nyugati tájra eleredt az eső, majd egyre többfelé jelentkezett eső, zápor. Ezt követően az Amy ciklonról lefűződött Barbara nevű mediterrán ciklon érintette térségünket. Eleinte délnyugaton, majd egyre többfelé alakult ki



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

eső, zápor. A ciklon elvonulása után szárazabb és melegebb légtömegek érkeztek a Kárpát-medence fölé, csökkentve a csapadék kialakulásának valószínűségét. Október 23-án napközben a Benjamin ciklon hidegfrontja nyomán egyre nagyobb területen eredt el az eső, intenzív csapadékgócok is kialakultak. Másnap hajnalig a lehullott csapadék mennyisége országos átlagban meghaladta a 20 mm-t, így ez lett a hónap – és egyben az évszak – legcsapadékosabb napja. Záporok, zivatarok mellett október 25-én egy-két helyen jégesőről is érkezett hír. November első napjaiban egy hidegfrontnak köszönhetően eleinte a Dunántúlon, majd

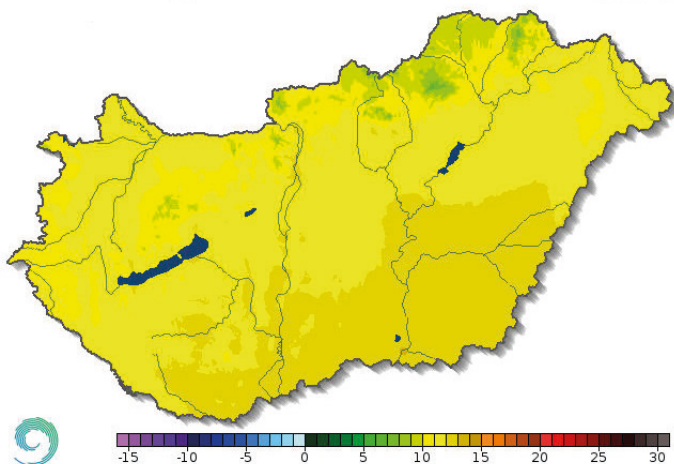
A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet			
	Hőmérséklet	Állomás	Napja
szepember	36,5 °C	Kőröszakál	szepember 3.
október	27,2 °C	Sellye	október 10.
november	24,2°C	Sellye	november 2.
A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet			
	Hőmérséklet	Állomás	Napja
szepember	-1,9 °C	Zabar	szepember 30.
október	-4,4 °C	Zabar	október 18.
november	-9,4 °C	Pér repülőtér	november 24.

2. táblázat. Az őszi hónapok során mért legmagasabb és legalacsonyabb hőmérsékletek 2025-ben.

A hónap legnagyobb csapadékösszege			
	Csapadék	Állomás	
szepember	239,3 mm	Bakonybél	
október	100,9 mm	Vasvár Mártírok útja	
november	167,8 mm	Nagy-hideg hegy	
A hónap legkisebb csapadékösszege			
	Csapadék	Állomás	
szepember	49,7 mm	Hajdúsámsón	
október	16,3 mm	Dombegyház Gátórház Lökőháza Arany János utca	
november	31,5 mm	Ülles	
24 óra alatt lehullott maximális csapadék			
	Csapadék	Állomás	Napja
szepember	87 mm	Bakonybél	szepember 14.
október	47,2 mm	Mezőhék	október 3.
november	67,4 mm	Cerecse tető	november 25.

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

keletebbre is eső, záporosó hullott. A frontátvonulást követően anticiklonális hatások uralták időjárásunkat, eseménytelen napok következtek. 7-től egy magassági hidegcsepp húzódott hazánk fölé, így ismét csapadékosabb napok jöttek. Ezután egy hét telt el csapadékhullás nélkül, majd 17-én egy markáns hidegfront érkezett térségünkbe, országszerte fordult elő eső, zápor, de többfelé zivatarok is kialakultak. 19-től két ciklon – egy északra elhaladó és egy délnyugaton képződő – közös áramlási rendszerébe kerültünk. Előbbi a fagyos, utóbbi a nedves légtömegeket szállította hazánkba, így a 20-tól hulló csapadék többfelé átváltott havazásba. Ezen a napon az ország legnagyobb részén az eső volt jellemző, csak a magasabb hegycsúcsokon és északnyugaton esett hó, havas eső. Másnap már kiterjedtebb területen havazott, a lehullott hó vastagsága a magasabb részeken 5–10 cm, míg síkvidéken lepel és 4 cm közt alakult. Az országos csapadékhullás még



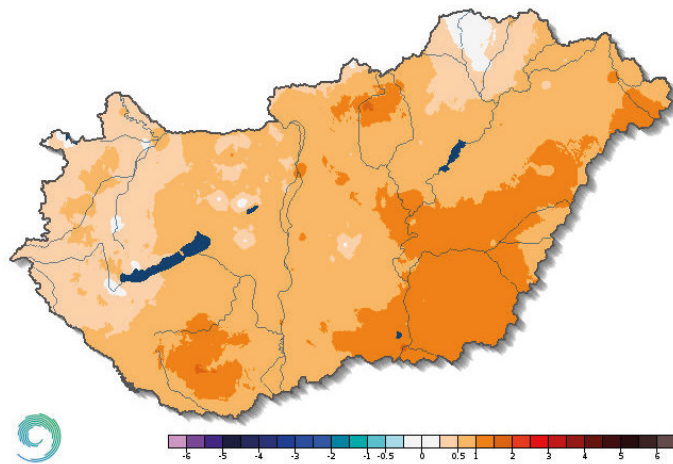
5. ábra. A 2025-ös ős középhőmérséklete (°C).

22-én is folytatódott, a Dunántúlon havazott, a Dunától keletre eső és havas eső is előfordult a hó mellett. 23-án reggelre a legnagyobb hóvastagság – síkvidéken – Somogyváron alakult ki, 22 cm-t mértünk. Egy csapadékmentes nap után 24-én újabb front érkezett térségünkbe, enyhülést, és sokféle kiadós mennyiségű esőt hozott. A legnagyobb mért érték 24-én 41 mm volt a Kékestetőn; míg 25-én 67 mm a Gerecse-tetőn. 25-én országos átlagban is kiemelkedően magas volt a csapadékösszeg, a 14 mm-t is meghaladta. A hónap utolsó napjaira a csapadéközóna elhagyta térségünket.

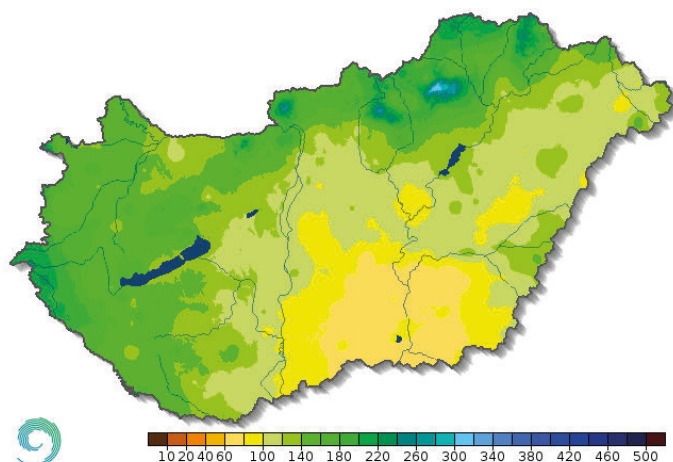
A hőmérséklet térbeli eloszlása

Hazánk legnagyobb részén az ős középhőmérséklete 10–13 °C között alakult (5. ábra). A magasabb értékek az Alföld és a Dunántúl déli részén voltak jellemzőek. A középső tájakon 11-12 °C közötti évszakos átlagokat mértünk; a középhegységekben, illetve a nyugati határ mentén 10-11 °C közötti értékeket figyelhettünk meg. Az Északi-középhegységben pedig 10 °C alatt maradt a háromhavi átlag. A legalacsonyabb évszakos érték is e térségben, Kékestetőn adódott (7,3 °C), a legmagasabb őszi átlagot pedig Szeged belterület állomáson rögzítettük (13,4 °C).

Az 1991–2020-as átlagnál 0,8 °C-kal volt melegebb 2025 ősze országosan. (6. ábra). A legkisebb anomália (+0,5 °C alatt) a Nyugat-Dunántúlon és az Északi-középhegység keleti felén jelentkezett. Hazánk legnagyobb részén 0,5 és 1,0 °C között alakult az eltérés. A legnagyobb pozitív anomália az Alföldön, a Mecsekben és a Mátrában jelentkezett (1-1,5 °C).



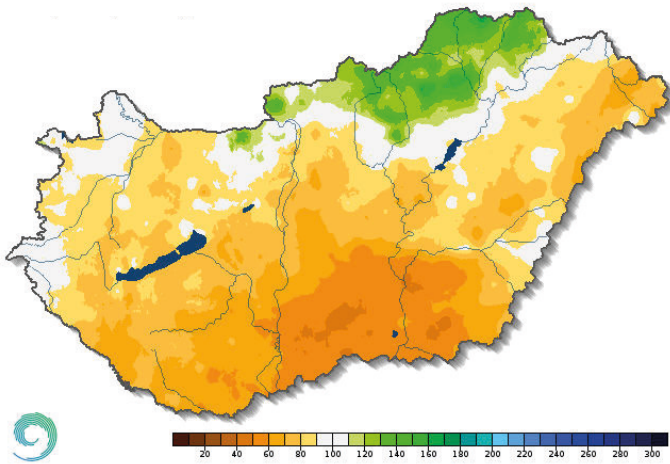
6. ábra. A 2025-ös ős középhőmérsékletének eltérése a sokévi (1991-2020) átlagtól.



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

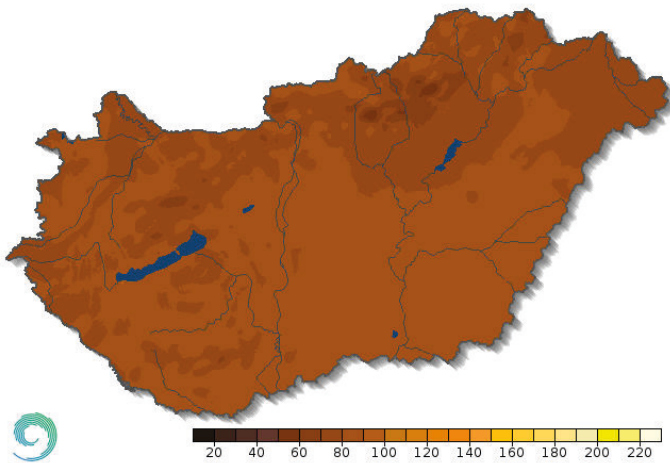
A csapadék térbeli eloszlása

Országos átlagban 130 mm volt a csapadékösszeg ősze. Hazánk legnagyobb részén 100 mm feletti csapadékösszegeket regisztráltunk (7. ábra). Ennél kevesebb háromhavi összeg az Alföldön jelentkezett, a legszárazabb tájakon pedig 60-80 mm között alakult. A legkisebb csapadékösszeget, 56,4 mm-t Békéscsámsón állomáson mértük. Hazánk délnyugati és északkeleti részei kapták a legtöbb csapadékot, ezeken a tájakon már 180 mm feletti volt az évszakos összeg. A Visegrádi-hegységben, a Mátrában és a Bükkben 250 mm-nél is több csapadék hullott az ős folyamán. A legnagyobb háromhavi összeget Miskolc Lilafüred-Jávorkút állomáson regisztráltuk: 302,9 mm.



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

2025 ősztén szinte csak negatív anomália jelentkezett csapadék esetén (8. ábra). Pozitív eltérés az Északi- és a Dunántúli-középhegységben figyelhető meg; e tájakon a sokéves átlag kb. 130–150%-a hullott. A legnagyobb őszi csapadékösszeget adó állomáson, Miskolc Lillafüred-Jávorkúton az 1991–2020-as normál 145%-át mértük 2025-ben.



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

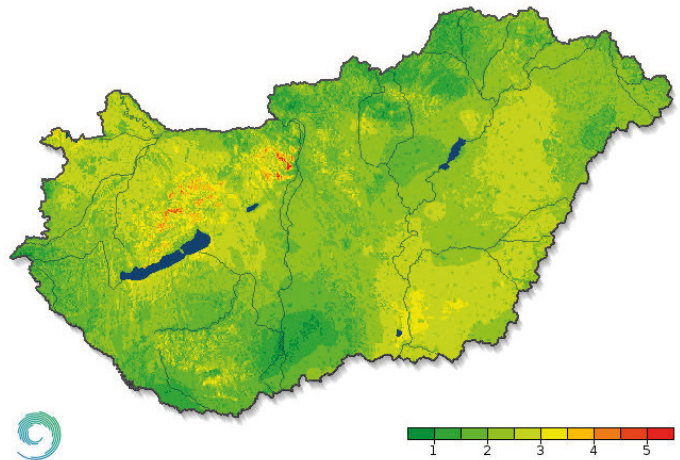
A legnagyobb csapadékhányt az Alföld déli részén tapasztaltuk, a megszokottnak az 50-60%-a érkezett, helyenként az 50%-ot sem érte el. A legkisebb háromhavi összeget mérő állomás Békéssámszon volt, akár csak 2024-ben. Akkor az ősszel 110,7 mm-t regisztráltunk, 2025-ben ennek csak a felét.

A globálsugárzás térbeli eloszlása

Ősszel hazánk legnagyobb részén 70-90 kJ/cm² között alakult a globálsugárzás, – akárcsak 2024 ősztén. Az északi tájakon és a Dunántúlon elszórtan mértük az alacsonyabb értékeket (70-80 kJ/cm²), míg délkeleten és a középső tájakon a magasabbakat (80-90 kJ/cm²). Egerben rögzítettük a legkisebb (56 kJ/cm²), Keszthely Tanyakereszt állomáson pedig a legnagyobb (91 kJ/cm²) évszakai összeget (9. ábra).

A szélsébség térbeli eloszlása

A többi évszakhhoz hasonló képet mutatnak a 2025. őszi szélviszonyok (10. ábra). Nagyrészt 1 és 3 m/s között alakult az átlagos szélsébség, az alacsonyabb értékek a Duna-Tisza-közét és az Északi-középhegységet jellemezték. 3 m/s-nál nagyobb átlagszél



10. ábra. A 2025-ös őszi átlagos szélsébsége 10 m-es magasságban (m/s).

a Dunántúli-középhegységben, Győr-Moson-Sopron és Csongrád-Csanád vármegyékben, valamint a Balaton környezetében fordult elő. Az átlagszél mellett fontos megemlítenünk a szellőkéseket, melyek többnyire zivatarokhoz, intenzívebb frontátvonulásokhoz kapcsolódtak. November elején egy hidegfront új fővárosi szélrekordot hozott.

2025. őszi 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
	évszakai összeg	évszakai közép	eltérés	max	napja	min	napja	évszakai összes	átlag %-ában	r ≥ 1 mm napok	viharos nap (v _f ≥ 15 m/s)
Szombathely	81	10.9	0.5	29.8	2025.09.21	-5.1	2025.11.29	144	87	18	6
Nagykanizsa		10.7	0.4	30.1	2025.09.21	-4.2	2025.11.23	169	79	20	3
Pér		11.2		31.2	2025.09.21	-9.4	2025.11.23	93	59	13	10
Siófok	80	12.7	0.8	32.1	2025.09.21	-3.4	2025.11.24	121	78	14	10
Pécs		12.6	1.0	31.3	2025.09.05	-6.8	2025.11.24	100	55	16	9
Budapest	86	12.0	0.6	32.1	2025.09.05	-3.7	2025.11.24	115	81	18	3
Miskolc	70	10.8	0.4	32.0	2025.09.05	-4.3	2025.11.19	226	151	23	0
Kékestető		7.3	0.7	24.7	2025.09.05	-7.6	2025.11.24	242	120	17	28
Szolnok	87	12.3	1.0	33.8	2025.09.05	-2.0	2025.11.20	102	78	14	3
Szeged	89	12.8	1.3	34.1	2025.09.05	-2.5	2025.11.19	73	56	15	9
Nyíregyháza		11.5	1.0	32.3	2025.09.05	-3.5	2025.11.19	125	92	23	6
Debrecen		11.9	1.0	33.1	2025.09.05	-3.1	2025.11.20	107	83	20	4
Békéscsaba	86	12.4	1.1	33.7	2025.09.05	-3.1	2025.11.20	106	76	14	4



A 2025-ös őszi időjárása agrometeorológiai szempontból

Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila Viktor

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

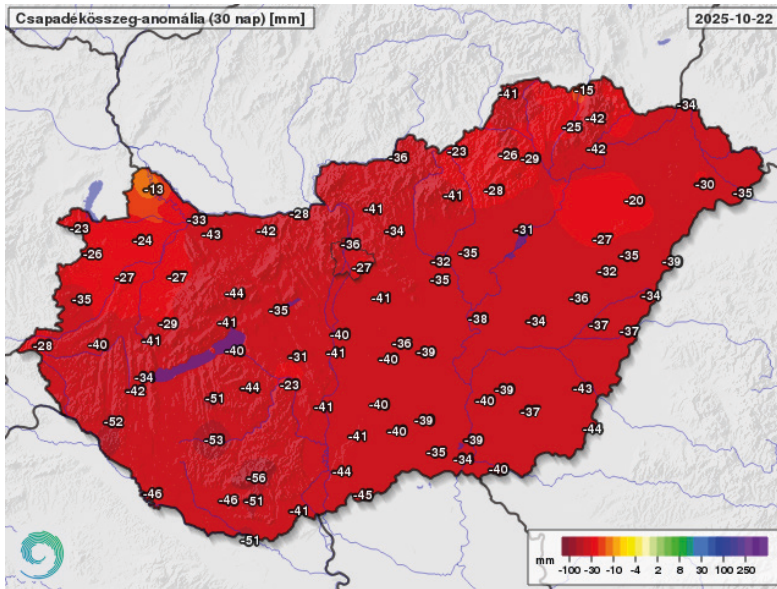
Szeptemberben nyárias, novemberben pedig télies időjárás is színesítette az idei őszt, ami többször is szélsőségeket hozott. Csapadék gyakran nem akkor és nem ott hullott, amikor és ahol igazán szükség lett volna rá és korán jöttek az első fagyok is. A gazdákat a betakarítást gyakran hátráltató csapadék, illetve az őszi vetés korai fejlődését nehezítő csapadékhiány egyaránt kihívások elé állította.

Az aszályos nyár után az Alföldön augusztus végén sem enyhült a szárazság. Szeptember elején csak a naptár váltott ősze, az időjárás még néhány hétig nyárias maradt. A hónap első felében egyre többfelé öntöztek kiadós esők, záporok, és fokozatosan mindenütt, legkésőbb a Duna-Tisza közének déli felén mérséklődött, nagy területen meg is szűnt a mezőgazdasági aszály. Ez a csapadék azonban már nem segített a nyári növények terméskilátásain, csak a termés minőségét rontotta, a szüretet is hátráltatta, a frissen elvetett repce csírázásához, keléséhez azonban igen jól jött. A hőmérséklet nem esett vissza számottevően, szeptember első három hetében az ilyenkor szokásosnál több fokkal melegebb időben volt részünk, a maximum értékek gyakran 30 fok körül vagy a fölött alakultak. A változás a hónap utolsó hetében érkezett, nyugatról kelet felé, fokozatosan az ilyenkor szokásosnál 2-4 fokkal hidegebbre hűlt az le idő.

Szeptember utolsó és október első napjaiban többfelé fordultak elő talajmenti fagyok, a hidegre érzékeny helyeken pedig hajnalonként két méteres magasságban is fagypont alá hűlt a levegő. A lehülést hozó hidegfrontok főként a Dunántúl északnyugati és keleti tájaira valamint az északkeleti országrészbe hoztak számot-

tevő csapadékot, az Alföld nagy része és a Dunántúl középső területe csak igen kevés esőt kapott. Tartósan északnyugati áramlás alakult ki térségünkben, ami többnyire hűvös, nagyrészt száraz légtömegeket szállított. Az októberi mezőgazdasági munkákhoz meleg és száraz időjárás lett volna jó, ugyanakkor az Alföldön esőre is égető szükség lett volna. Október első három hetében bár többször, többfelé esett, de mindig csak nagyon kis mennyiség (*1. ábra*). A felszínközeli talajréteg országsszerte sokat száradt, az őszi kalászosok vetése sokfelé poros talajba történt. A hőmérséklet a sokéves átlag körül, vagy az alatt alakult, a maximum értékek 15-20 fok körül, a minimumok a derültebb éjszakákon 5 fok alatt alakultak.

A hónap közepén érkezett egy hidegfront, amely mögött sarkvidéki eredetű levegő okozta az első komolyabb fagyokat, ekkor sokfelé hűlt -2 és -7 fok közé a levegő. Október 23-tól több hullámban érkeztek erős széllel járó időjárási frontok, melyek csapadékot is szállítottak. Így a hónap utolsó hetében a Dunántúlon és az Északi középhegység térségében 25-50 mm, míg az Alföldön 10-25 mm esett, ami a legtöbb helyen több volt, mint a megelőző 30 nap csapadékösszege. A szépen megerősödött repcének is jól jött ez az öntö-



1. ábra. A 30 napos csapadékösszeg eltérése a sokéves átlagtól 2025. október 22-ig (mm).

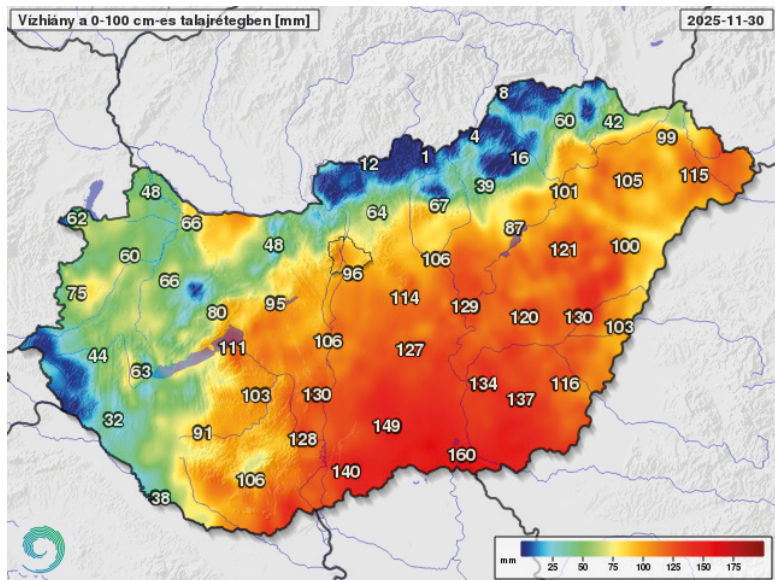
zés, az őszi kalászosok számára pedig életmentőnek bizonyult. Október végén elég vegyes képet mutattak ezen állományok, voltak szépen zöldellő, megerősödött táblák, de az Alföldön többfelé még alig kelt ki a búza.

A november enyhe, a nyugati országrészben csapadékos idővel kezdődött, majd pár nappal később a keleti tájakra is érkezett eső, ez azonban nem volt elég a talajok számottevő töltődéséhez. A felszín közeli talajréteg a középső országrészben továbbra is igen száraz maradt, míg a fél méternél mélyebb réteg országszerte kritikusan száraz volt, ide tavasz óta nem jutott nedvesség. A hónap első felében az idei tél első hidegpárnás helyzete is kialakult. Több napon, helyenként egy héten át borongós, párás, ködös idő volt a jellemző kis napi hőingással. A naposabb területeken és időszakokban 15 fok köré melegedett a levegő, éjszakánként azonban gyenge fagyok is előfordultak.

November közepén többfelé érkezett eső, 17-én sokfelé károkozó szélviharral járó zivatarzóna is átvonult hazánkon, de az amúgy is száraz középső országrészben ekkor sem hullott 1-3 mm-nél nagyobb mennyiség. A talajok őszi-téli feltöltődése csak a hónap utolsó dekájában kezdődött

meg, amikor több hullámban öntözte kiadós csapadék az ország túlnyomó részét, részben hó formájában. Így november második felében mindenütt meghaladta a csapadékösszeg a 20 mm-t, délnyugaton és az ország északi részén sokfelé 50-100 mm esett. Ez utóbbi a területeken jelentősen nőtt a fél méternél mélyebb talajréteg nedvességtartalma, de az Alföldön is jutott némi nedvesség az alsóbb rétegekbe. Nagyobb hideg a hónap végéig nem érkezett, a hó mindenütt elolvadt, a gyengébb állapotú őszi vetések is erősödni kezdtek.

Összességében az idei ősz a sokéves átlagnál szárazabb és kissé melegebb volt, azonban nagy területi és időbeli változékonyságot mutatott a csapadék is és a hőmérséklet is. A talajok őszi-téli feltöltődése igen későn kezdődött el, és a felső egy méteres talajrétegből az Alföld túlnyomó részén még az évszak végén is 100-150 mm nedvesség hiányzott a telítettséghez képest (2. ábra). A napsütéses órák száma a sokéves átlag körül alakult.



2. ábra. A telítettséghez képesti vízhány a talaj felső egy méteres rétegében 2025. november 30-án (mm).

KÖNYVAJÁNLÓ

Érdekes könyvek, időjárás vonatkozással

Mészáros Ernő: Miért van élet a Földön?

Az emberiséget öntudatra ébredése óta foglalkoztatja a világ és az élet létrejöttének kérdése. Minden nép mitológiájában találunk valamilyen magyarázatot. A természettudományi ismeretek bővülésével a mítoszok helyébe egyre inkább a fizikai, kémiai és biológiai folyamatok lépnek, és ma már nemcsak a földi élet fejlődéséről van több ismeretünk, mint elődeinknek, de csillagászati eszközeinkkel és űrszondáinkkal életre utaló jeleket keresünk más égitesteken is. Mészáros Ernő akadémikus új ismeretterjesztő könyve a földi élet fejlődését kíséri végig a világegyetem keletkezésétől fajunk, a Homo sapiens megjelenéséig a tudomány mai ismeretei alapján.

Nem tehetnénk fel a címben szereplő kérdést, ha a világegyetem, benne naprendszerünk és a Föld nem jön létre. A könyv kozmológiai ismeretekkel, az ősrobbanással és az élet szempontjából nélkülözhetetlen kémiai elemek keletkezésének történetével indul. Áttekinti a bolygókeletkezést és elmagyarázza a Hold kiemelt szerepét abban, hogy az élet a Földön létrejöhetett és tartósan fennmaradhatott. Bár az ősi Földön a kémiai folyamatok bonyolult molekulákat, nagy valószínűséggel az élet egyik alapelemének tekinthető ribonukleinsavakat is létrehozhattak, az első primitív sejtek kialakulásának módjára még mindig csak hipotéziseink vannak. A könyv bemutatja az evolúció útját, ami elvezetett ahhoz, hogy a bioszféra bolygóformáló erővé vált. A Föld különleges, kémiailag nem egyensúlyban lévő légköre, az oxigén magas aránya a fotoszintetizáló szervezetek megjelenésének köszönhető, de az élő szervezeteknek köszönhetjük a nitrogén magas részarányát is. Az oxigénből képződő, a Nap roncsoló ultraibolya sugárzását kiszűrő ózon tette lehetővé, hogy az élet az óceánok után a szárazföldeket is meghódíthassa. A könyv sorra veszi azokat a földtörténeti katasztrófákat, melyek ugyan fajok tömegeit törölték el, ugyanakkor evolúciós ugrásokat is okoztak. A földtörténet öt nagy kihalási eseményt tart számon. A legutóbbi, 66 millió évvel ezelőtti meteorit-beccsapódás nyitotta meg az utat az emlősök fejlődése, és végső soron az ember megjelenése felé.

Az ősrobbanástól az ember megjelenéséig vezető út véletlen – és számunkra szerencsés – események sorozata, kezdve a kozmikus porfelhő véletlenszerű sűrűsödéséből keletkező bolygókkal és csillagokkal, egészen addig, hogy a fejlődésben lévő földi életet nem törölte el egy kozmikus katasztrófa. A környezeti feltételek, a légkör összetétele és az éghajlat, a Föld története során úgy változtak, ahogy azok az élet fejlődése számára kedvezők voltak. Mindez a filozófusokat is megihlette. A könyv megemlíti a Gaia-hipotézist és befejező fejezete az antropikus elvet járja körül.

Mészáros Ernő 180 oldalas áttekintő, ismeretterjesztő munkája középiskolai ismeretek birtokában is jól követhető, minden a természeti világ iránt érdeklődő számára hasznos olvasmány. Az irodalomjegyzékkel és tárgymutatóval kiegészített kötet a Balassi Kiadó gondozásában jelent meg.



Tibor Faragó, 2025: Imperiling and Saving Our Planetary Home

A könyv olyan környeztkárosító folyamatokkal foglalkozik, melyek megoldása globális összefogást igényel. Földünk életterét alkotó talajt, víztesteket és a légkört növekvő mértékben fenyegető, ember okozta környezeti hatásokat négy témakörbe rendszerezve tekinti át (toxikus nehézfém-szennyezés, veszélyes vegyi anyagok és hulladékok, sztratoszférikus ózon-károsító anyagok, valamint az üvegházgáz-kibocsátás és a globális éghajlatváltozás összefüggése). Mindegyik fejezete alapos forrásgyűjtemény, amely áttekinti a tudományos megismerés evolúcióját és a nemzetközi összefogás létrehozását meghatározó eseteket. Részletesen bemutatja a nemzetközi együttműködések megalkotását, fejlődését és betekintést enged a különféle tárgyalási szempontok, valamint a szabályozás komplex kérdéskörébe. Felhívja a figyelmet a környezeti monitoring fontosságára. Lehetséges alternatívákat, megoldásokat keres. Környezetpolitikai alapmű, amely kézikönyvként is remekül használható. Faragó Tibor, egykori kollégánk, 1990 és 1992 között az Országos Meteorológiai Szolgálat Központi Meteorológiai Intézetének igazgatója volt. Megalakulásától kezdve aktívan bekapcsolódott a Klimaváltozás Kormányközi Testület (IPCC) tevékenységébe. Közel húsz éven át a Környezetvédelmi Minisztérium környezetpolitikai és klímapolitikai ügyekért felelős vezetőként Magyarország fő tárgyalója volt klíma- és környezetügyekben. Több mint kétszáz publikáció szerzője, a témakör legautentikusabb, elhivatott hazai képviselője.

Ez a könyv a 2023-ban megjelent „Planetáris környezetünk veszélyeztetése és megmentése” című munka kibővített angol változata. Az utóbbi ötven év nemzetközi erőfeszítéseinek és tárgyalói tapasztalatainak tárháza, melyet jó szívvel ajánlunk minden, a környezetvédelemmel kapcsolatos nemzetközi kérdésekkel és együttműködéssel a nemzetközi fórumokon foglalkozó szakembernek. Tankönyvként is kiválóan használható az egyetemi oktatásban, egyúttal gondolatébresztő olvasmány a környezetvédelem kérdései iránt érdeklődők számára is.



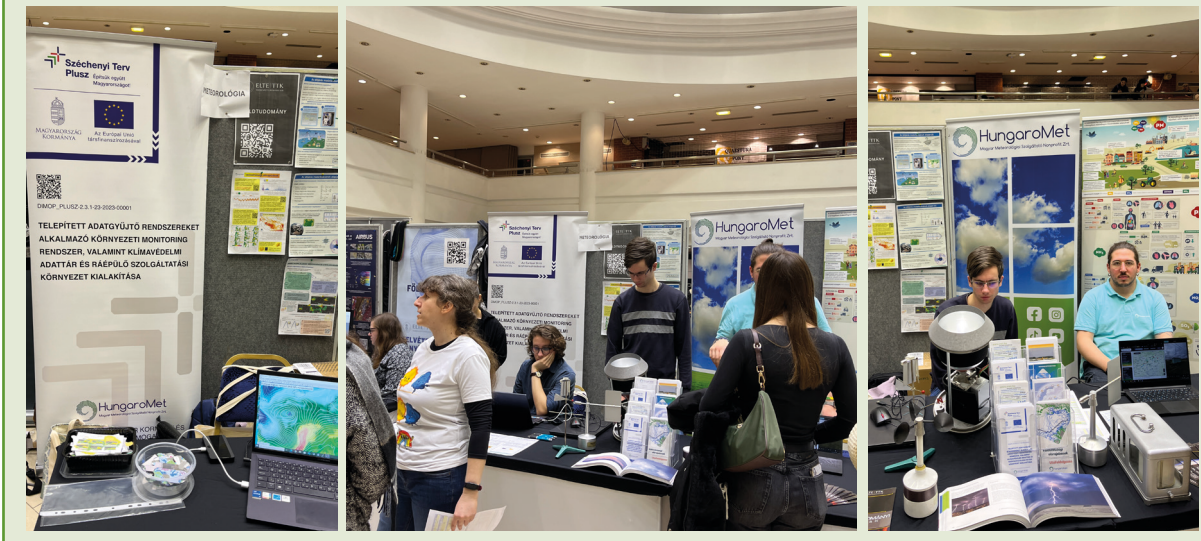
Hírek

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

A HungaroMet is részt vett az ELTE TTK decemberi nyílt napján

2025.12.09. ■ 2025.12.09-én ismét megrendezésre került az ELTE Természettudományi Karának nyílt napja, ahol számos tudományág mellett a meteorológia is képviseltette magát. A nyíltnapra nagy létszámban és széles korosztályban érkeztek látogatók, így a meteorológus stand is nagy érdeklődésnek örvendett. A fiatalok a bizonytalan pályakeresőktől kezdve egészen a szakma iránt elkötelezett, határozott jövőképpel rendelkező diákokig képviseltették

magukat. A lelkes érdeklődőket az ELTE meteorológus mesterképzés oktatói, valamint a HungaroMet munkatársai várták hasznos információkkal, érdekes szakmai beszélgetésekkel, játékos feladatokkal és néhány látványos mérőműszerrel. Mindennek köszönhetően sokan választ kaphattak az egyetemi képzéssel és a meteorológus hivatás mindennapjaival kapcsolatos kérdéseikre, és reméljük megerősítést is nyertek abban, hogy a meteorológia egy sokszínű és izgalmas pályát kínál.



Éghajlati szélsőségek globálisan és Magyarországon: tudományos háttér a hiteles médiakommunikációhoz

2025.12.04-05. ■ A Magyar Tudományos Akadémia alapításának 200., jubileumi évében a Magyar Tudomány Ünnepeinek – amelyet idén a bicentenárium alkalmából Jubileumi Tudományünnep 2025 néven rendeztek – keretében az MTA Földtudományok Osztálya Meteorológiai Tudományos Bizottsága 2025. december 4-én és 5-én rendezte meg az 51. Meteorológiai Tudományos Napokat, aminek témája: A meteorológia válasza a környezeti kihívásokra.

A rendezvény bemutatta, hogyan válik a meteorológiai tudás kulcsfontosságúvá az energetika, a mezőgazdaság, a várostervezés és a közegészségügy döntéshozatalában. Kiemelt figyelmet kaptak az új

digitális modellek, mint a Destination Earth és a KLIMADAT rendszer, amelyek pontosabb előrejelzéseket és alkalmazkodási stratégiákat tesznek lehetővé. A program rávilágított arra is, hogy a meteorológia egyre inkább gyakorlati eszközzé válik – például az aszályok, viharok és városi hősziget-hatások kezelésében. Összességében a meteorológia ma már nem csupán az időjárásról szól, hanem a fenntartható, biztonságos és ellenálló társadalom építésének tudományos alapját adja.

A rendezvényhez az MTA székház előcsarnokában egy meteorológiai tematikájú időszak kiállítás is kapcsolódott.

Immár hagyománnyá válik a Róna Lounge - beszámoló

2025.12.11. ■ 2025. december 11-én az MMT Róna Zsigmond Ifjúsági Köre szervezésében megvalósult a Róna Lounge második felvonása. A recept a régi maradt, de a tartalom most is friss volt: közelebb hozni az egyetemi hallgatókat a már pályán lévő kollégákhoz, egy barátságos, kötetlen légkörben.

A program élménybeszámoló előadásokkal indult, melyek során bemutatták mennyire sokféle irányba vezethet a meteorológus pálya. Fritz Petra Erasmus-tapasztalatairól mesélt, ahol nemcsak szakmai, hanem kulturális élményekkel is gazdagodott. Komiáti Kornél oklahomai utazásáról szóló előadása betekintést nyújtott az amerikai szakmai közegbe, míg Elek Péter a külföldi kiküldetések hétköznapi oldalát emelte ki előadásában. Oláh Soma a modellfejlesztés világába vezette el a fiatal résztvevőket, megmutatva, hogyan kapcsolódik össze a kutatás és a nemzetközi szakmai élet, megosztva a külföldi konferenciákon szerzett tapasztalatait.

Az előadásokat csoportos kvízes feladatok követték, amelyek lehetőséget adtak arra is, hogy a jelenlévők jobban megismerjék egymást. Kötetlen beszélgetésekkel folytatódott a program, ahol a hallgatók bátran kérdezhettek a munkavállalásról, a külföldi lehetőségekről és a pályakezdekről.

A meghívott előadók nemcsak a sikereikről, hanem a szakmai dilemmáikról is őszintén beszéltek, ami talán a legfontosabb útravaló a jövő meteorológusai számára, hiszen ezeket az ismereteket csak szakmában dolgozó emberektől lehet megszerezni. A Róna Lounge II. bebizonyította, hogy a szakmai kapcsolatok a konferenciatermeken kívül közvetlen hangulatú közösségi eseményeken is épülhetnek. Az este nemcsak értékes tudnivalókkal gazdagította a résztvevőket, hanem inspiráló légkört is teremtett, amelyből mindenki hazavihetett valami újat – legyen az egy hasznos tanács, friss szemlélet vagy akár egy jövőbeli szakmai kapcsolat ígérete.



MEGVÁSÁROLHATÓ

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.



Hírek

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

HungaroMet-tárlat az Akadémián A légkör titkai nyomában – 155 év magyar meteorológiai öröksége

2025.12.01-19. ■ 2025. december 1-19. között volt látogatható a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) székházának aulájában a HungaroMet Non-profit Zrt. kiállítása, amely az Akadémia bicentenáriumi programsorozatának részeként valósult meg.

A tárlat ünnepélyes megnyitóját december 4-én tartották, ahol köszöntőt mondott dr. Haas János, az MTA rendes tagja, a Földtudományok Osztályának elnöke; Raisz Anikó, az Energiaügyi Minisztérium környezetügyért felelős államtitkára; Szanka Gábor Gyula, a HungaroMet vezérigazgatója és Lakatos Mónika, a Magyar Meteorológiai Társaság elnöke. A kiállítás megnyitója egybeesett az 51. Meteorológiai Tudományos Napok – A meteorológia válasza a környezeti kihívásokra című kétnapos rendezvény kezdetével.

Idén a Magyar Tudományos Akadémia fennállásának 200. évét ünnepli, amelyhez kapcsolódóan számos program és kiállítás várta a látogatókat a patinás székházban. E sorozat részeként nyílt meg december 1-jén a HungaroMet Nonprofit Zrt. A légkör titkai nyomában – 155 év magyar meteorológiai öröksége című tárlata, amely betekintést nyújtott a magyar meteorológia fejlődésébe és több mint 150 éves történetébe – a kezdetektől egészen a modern technológiák alkalmazásáig.

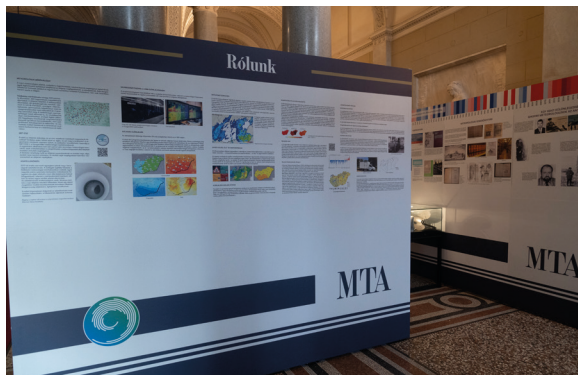
A kiállítás bemutatta a meteorológia intézményesülésének mérföldköveit, a korai méréseket, a korszerű, digitális technológiákat és a légkörkutató fejlődését a HungaroMet tevékenységein keresztül. Az 1870-ben

létrehozott Meteorológiai és Földdelezességi Magyar Királyi Központi Intézet alapításáról, valamint első igazgatójáról, Schenzl Guidó akadémikusról is megemlékezett a tárlat, mivel az ő munkássága alapvetően formálta a hazai tudományterületet.

A HungaroMet Meteorológiai Muzeális Szakgyűjteményéből válogatott tárgyak a korai eszközöktől a modern mérőállomásokig szemléltették a technológiai fejlődést. A tárlat egyszerre volt tisztelgés a tudomány múltja előtt és betekintés a jelen innovációiba: bemutatta, hogyan dolgozik ma a HungaroMet a meteorológiai tudomány fejlesztésén – a megfigyelőrendszerek modernizálásától a pontos előrejelzések és veszélyjelzések biztosításáig.

A kiállításon bemutatkozott a jelenleg is zajló DIMOP_PLUSZ-2.3.1-23-2023-00001 projekt, mely kapcsán 2026. március végére egyedülálló meteorológiai adatbázis- és állomáshálózat fejlesztés valósul meg, valamint olyan portál jön létre, mely segíti az éghajlatváltozás hatásaira való felkészülést azáltal, hogy pontosabb képet kaphatunk a klímaváltozás hazai mértékéről.

A december 4-én megtartott ünnepélyes megnyitón Haas János, az MTA rendes tagja, a Földtudományok Osztályának elnöke köszöntőjében beszélt a kiállításról és a Meteorológiai Tudományos Napok programjáról, kiemelve, hogy a meteorológia folyamatosan válaszokat keres a környezeti kihívásokra. Megköszönte mindazok munkáját, akik a kiállításon





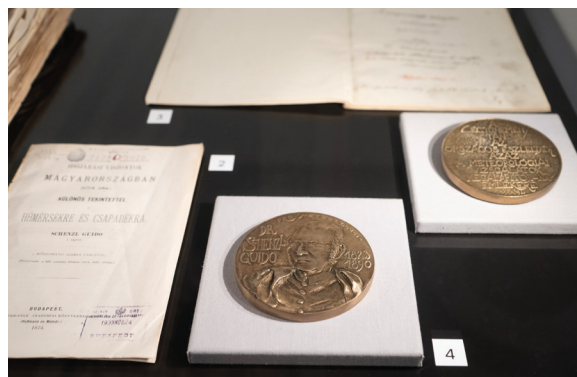
dolgoztak, és elismerő emléklapokat adott át Lakatos Mónikának, Sándor Barbarának és Horváthné Domonkos Mónikának, a kiállítás kurátorainak.

Az Energiaügyi Minisztérium környezetügyért felelős államtitkára, Raisz Anikó köszöntőjében hangsúlyozta a meteorológiai munka fontosságát és küldetését, kiemelve, hogy a meteorológusok közössége nemcsak a tudományos eredményekért, hanem a társadalomban betöltött szerepéért, társadalmi felelősségvállalásért is elismerést érdemel. „A klímaváltozás, a szélsőséges időjárási jelenségek és a fenntarthatóság kérdései mind azt mutatják, hogy a meteorológia soha nem volt ilyen fontos, mint most. Az előttünk álló út kihívásokkal teli, de tele van lehetőségekkel is, amelyek hozzájárulhatnak egy fenntarthatóbb és biztonságosabb jövőhöz” – tette hozzá az államtitkár.

Szanka Gábor Gyula, a HungaroMet vezérigazgatója elmondta, hogy az elmúlt másfél évszázad viharos történelme az intézmény életében is folyamatos vál-

tozásokat, átalakításokat eredményezett, de a HungaroMet célja változatlan: a meteorológia tudományának művelése, a megfigyelőrendszerek fejlesztése, minél pontosabb időjárás előrejelzések, veszélyjelzések és riasztások, valamint éghajlati és környezeti állapotra vonatkozó szolgáltatások nyújtása.

A Magyar Meteorológiai Társaság elnöke, a kiállítás egyik kurátora, Lakatos Mónika kiemelte, hogy az MTA 200 éves jubileuma kiváló alkalom a magyar meteorológia több mint másfél évszázados fejlődésének bemutatására, a Társaság alapításának centenáriuma pedig egybeesik az Akadémia bicentenáriumaival. Hozzátette, hogy az MTA folyamatosan támogatja a tudományos társaságok működését, így a Magyar Meteorológiai Társaságot is.



Hírek

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

Elindult az AdaptationHubs projekt – Nemzeti Alkalmazkodási Hálózatok jönnek létre az EU-ban

2025.11.01. ■ 2025. november 1-jén elindult az AdaptationHubs projekt, ami az Európai Unió Éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodással kapcsolatos küldetésének végrehajtását támogatja. A projekt a Horizont Európa program keretében valósul meg 2025-2027 között. Célja, hogy hozzájáruljon az éghajlatváltozás hatásaival szemben ellenállóbb, felkészültebb társadalom és gazdaság kialakításához.

Uniós szintű keret, nemzeti szintű megvalósítás:

A horvát Regionális Energiahatékonysági Ügynökség (REGEA) vezetésével megvalósuló projekt keretében mind a 27 uniós tagállamban Nemzeti Alkalmazkodási Hálózatok jönnek létre. Ezek a hálózatok az alkalmazkodással foglalkozó érintettek és partnerek közötti együttműködést hivatottak erősíteni, és központi szerepet töltenek be az Adaptációs Misszió célkitűzéseinek nemzeti szintű érvényesítésében.

A Nemzeti Alkalmazkodási Hálózatok célja különösen:

- az ágazati, nemzeti, regionális és helyi szintű érintettek közötti tapasztalat- és tudásmegosztás elősegítése,
- az alkalmazkodási cselekvés összehangolása ágazatonként és területi szintek mentén,
- valamint a helyi és területi igények, kihívások és jó gyakorlatok feltérképezése és becsatornázása nemzeti és uniós szintre.

A magyarországi hálózat kialakítása:

Magyarországon a projekt megvalósításáért a HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt., a hazai klímapolitika háttérintézménye felel. A HungaroMet a hazai közigazgatási, szakmai és civil partnerek bevonásával hozza létre a magyar alkalmazkodási hálózatot, amely a különböző szakterületek és területi szintek közötti együttműködés szervezett, átlátható keretét biztosítja.

A hálózat célja:

- támogassa az alkalmazkodási tevékenység összehangolt tervezését és végrehajtását,
- erősítse az ágazatok és területi szintek közötti együttműködést,
- elősegítse a tudományos ismeretek, gyakorlati tapasztalatok és szakpolitikai folyamatok összekapcsolását,
- továbbá hozzájáruljon a sérülékeny térségek és közösségek alkalmazkodóképességének növeléséhez.

A következő időszakban a hangsúly a releváns érintettek és partnerek bevonásán, a hálózati együttműködés kereteinek kialakításán, valamint a közös szakmai prioritások meghatározásán lesz.



Éghajlati szélsőségek globálisan és Magyarországon: tudományos háttér a hiteles médiakommunikációhoz

2026.01.26. ■ Az időjárási és éghajlati szélsőségek nagy figyelmet kapnak a médiában, hiszen közvetlen hatással vannak a társadalomra, a gazdaságra és a környezetre. Az emberi tevékenység okozta éghajlatváltozás miatt a hőhullámok, heves esőzések, viharok és aszályok egyre gyakoribbak és intenzívebbek a világ több részén. Ugyanakkor nem minden ilyen esemény gyakorisága növekszik, vagy a trendek nem bizonyítottak és a változások területenként eltérnek. Újságírók gyakran felteszik a kérdést: vajon az éghajlatváltozás áll-e egy-egy rendkívüli esemény háttérében? A HungaroMet Nonprofit Zrt. és a Kék Bolygó Alapítvány együttműködésének köszönhetően mostantól magyar nyelven is elérhető egy újságírói útmutató, amely segíti ennek a kérdésnek a tudományosan megalapozott megválaszolását.

https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/utmutato_ujsgiroknak/

Kiadja: A HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. és a Kék Bolygó Alapítvány

A hozzárendelési, másnéven attribúciós vizsgálatok tudományos eszközökkel képesek feltárni, hogy a klímaváltozás milyen mértékben növeli egy adott időjárási szélsőség valószínűségét vagy intenzitását. Az első ilyen tanulmány a 2003-as nyugat-európai hőhullám után készült a World Weather Attribution (WWA) projekt keretében, és azóta folyamatosan jelennek meg elemzéseik. Nagy területet érintő vagy súlyos következményekkel járó eseményeket vizsgálnak, és az eredményeket közérthető formában közlik, ezzel segítve az újságírók munkáját. A HungaroMet és a Kék Bolygó Alapítvány közös célja, hogy az újságírók hiteles információkat közvetítsenek a nagyközönség felé, ezért elkészült a WWA újságíró útmutató magyar fordítása, és elérhető a HungaroMet weboldalán.

A WWA éves összefoglalója szerint a hőhullámok voltak a 2025-ös év legtöbb halálos áldozatot követelő szélsőséges időjárási eseményei. Becslések szerint a magas hőmérséklet következtében 854 európai városban – amelyekben az európai lakosság 30 százaléka él – 24 400 ember vesztette életét a nyári hónapokban. Ez a hőhullám Magyarországot is érintette a világszerte tapasztalható szélsőséges időjárási jelenségekben. A tavalyi évben az országos tisztifőorvos három alkalommal is a legmagasabb fokú hőségriasztást rendelte el a HungaroMet előrejelzéseire alapozva.

A változó éghajlati körülmények miatt különösen indokolt, hogy nyomon kövessük Magyarország éghajlati állapotát. A HungaroMet Nonprofit Zrt. havi, évszakos, éves éghajlati elemzéseit, valamint évszakos kisfilmjeit is ezt a célt szolgálják. Ezekből kiderül, hogy 2025 a hetedik legmelegebb és a negyedik legszárazabb év volt 1901 óta. 2025 júniusa a 2. legmelegebb és egyben a legszárazabb június volt az elmúlt 125 évben. Június végére az ország nagy részén kedvezőtlené váltak a talajnedvességi viszonyok, az Alföldön pedig elhúzódó aszályos körülmények alakultak ki. 2025 tavaszán kétszer is komoly fagy sújtotta a mezőgazdaságot. Zivatarok is többször pusztítottak, súlyos károkat okozva.

A médianak kulcsszerepe van abban, hogy bemutassa az éghajlatváltozás hatásait, és felhívja a figyelmet a kibocsátáscsökkentés és az alkalmazkodás szükségességére. A HungaroMet tudományos háttérrel és a Kék Bolygó Alapítvány küldetésével garantálja, hogy a magyar nyelvű útmutató megbízható, pontos és közérthető forrásként szolgáljon az éghajlati szélsőségek hiteles kommunikációjához.

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI

Beszámoló a Magyar Meteorológiai Társaság
2025. október 28. – 2026. január 27. közötti időszakáról

Az MMT szakosztályainak előadói

Távérzékelési Szakosztály: 2025. november 4-én, kedden 14:30 órától előadást tartott, Kocsis Zsófia „A Harmadik Generációs Meteosat (MTG-I) műhold adatai – tapasztalatok” címmel.

Légkördinamikai Szakosztály: 2025. december 9-én, kedden 14 órától előadást tartott, melynek témája a Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium (RRF-2.3.1-21-2022-00008) keretében kiépített hidrológiai figyelmeztető rendszer kisvízgyűjtőkre volt. Program:

- **Tóth Helga** (HungaroMet Nonprofit Zrt.): Az AROME modell előrejelzésének fejlesztése hóadatok asszimilációjával
- **Dr. Szépszó Gabriella** (HungaroMet Nonprofit Zrt.): Finom-felbontású, óránként frissített AROME előrejelzések
- **Kovács Gabriella** (Országos Vízügyi Főigazgatóság): Hidrológiai figyelmeztető rendszer kiépítése kisvízgyűjtőkre
- **Dr. Liptay Zoltán** (Országos Vízügyi Főigazgatóság): Integrált vízgyűjtő modell építése a Tarnán és a Szerencs-patakon

A **Róna Zsigmond Ifjúsági kör** 2025. december 11-én tartotta a 2. Róna Lounge-ot. A hagyományokat folytatva az est célja az volt, hogy a meteorológus hallgatók, illetve a szakma iránt érdeklődők betekintést nyerjenek a HungaroMet-nél folyó munkába, valamint értékes kapcsolatokat teremtsenek kötetlen beszélgetések keretein belül. Az idei témát a külföldi utazások, szakmai lehetőségek köré fűzték fel. Négy fiatal kolléga élménybeszámolója nyitotta az eseményt. Játékos kvízzel folytatódott a program, amely estébe nyúló beszélgetésekkel ért véget.

Program:

- **Fritz Petra:** Erasmus ott, ahol egész félévben karácsony van,
- **Komjáti Kornél:** Volt egyszer egy Oklahoma,
- **Elek Péter:** A kiküldetések kevésbé szakmai része,
- **Oláh Soma:** Kódok, konferenciák, nemzetközi kalandok – modellfejlesztői szakmai élménybeszámoló.



Életrkép a Róna Lounge-ról.

Az MMT eseményei

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

Meteorológiai szótár projekt: A HUN-REN Nyelvtudományi Kutatóközpont (2025. augusztus 1-től ELTE Nyelvtudományi Kutatóközpont) meteorológiai szakszócikk-gyűjtemény készítésével bízta meg a Társaságot. Az MMT kijelölt szakemberei részt vesznek a magyar és angol nyelvű meteorológiai terminusok és definíciók kidolgozásában, besorolásában. A munkát a Nyelvtudományi Kutatóközpont terminológusai támogatják. Az adatokat a Nyelvtudományi Kutatóközpont szerverén tárolt terminológiai adatbázisban rögzítik, amelyet az MMT később is karbantarthat az adatok naprakészen tartása érdekében.

A szakterületek felelősei folyamatosan dolgoznak a kiadott anyagokon, amelyek eltérő készültségi fokon állnak. Egyes szakterületek terminusai már a terminológusnál vannak végső ellenőrzésen, más területeken jelenleg szakmai és nyelvi lektorálás, szakterületi besorolás, valamint a kapcsolódó terminusok és hivatkozások ellenőrzése zajlik, míg több szakterületen a meglévő terminusok revíziója még folyamatban van. Emellett megkezdődött a következő évi feladatok felmérése is, amely az új terminusok kidolgozására, valamint a terminusokhoz kapcsolódó képek, magyarázó ábrák és képletek igényének meghatározására irányul.



Az MMT és a HungaroMet közös standja a Földtudományos Forгатagon.

A Földtudományos Forгатag - Interaktív Geokiallítás 2025. november 8-9-én zajlott a Magyar Természettudományi Múzeumban, fókuszban a földtani örökségvédelemmel. A rendezvény online és jelenléti programokkal várta a látogatókat, ahol egyetemek és kutatóintézetek mutatkoztak be. A HungaroMet a Magyar Meteorológiai Társasággal együttműködésben interaktív meteorológiai programokkal vett részt, a levegőtisztaság témakörét helyezték előtérbe, de szívesen töltöttek ki kvízt, mely bármely korosztály számára kihívást jelentett, a legfiatalabbak pedig békát hajtogattak. A kanalas szélmérővel sokan mérték a saját maguk által keltett szél erejét, „tesztelve” tüdőkapacitásukat. A HungaroMet produktumait, projektjeit is népszerűsítettük a látogatók körében.



A Baksa Csaba Kárpát-medencei középiskolai Földrajz és Földtudományi Verseny nyertesei.

A **Baksa Csaba Kárpát-medencei középiskolai Földrajz és Földtudományi Verseny** döntőjét mindig a Földtudományos Forгатagra időztik. Idén már 5. alkalommal rendezte meg a versenyt a Földtudományi Civil Szervezetek Közössége (FOCIK), melynek tagja a Magyar Meteorológiai Társaság, de a verseny támogatói között van a HungaroMet is. A verseny pergő volt az alapos előkészítésnek és a fantasztikus levezetésnek köszönhetően, a gimnazisták tudása pedig lenyűgöző. A Társaságunk a határon túli legjobb csapatnak, a Marosvásárhelyről érkezett Geo-Géniuszoknak adott át különdíjat, egy szén-dioxid-mérő készüléket adatgyűjtő funkcióval, a HungaroMet Felhőatlaszokat ajándékozott a diákoknak.

Az MMT centenáriumi év záró eseményeként részt vettünk az MTA bicentenáriuma alkalmából szervezett **meteorológia történeti kiállítás** anyagának összeállításában. 2025 decemberében lehetett látogatni a "A légkör titkai nyomában – 155 év magyar meteorológiai öröksége" című kiállítás az MTA-n. A kiállítás élményszerű áttekintést nyújtott a magyar meteorológia történetéről a kezdetektől a modern technológiáig, bemutatta az intézményesülés fő állomásait és Schenzl Guidó meghatározó munkásságát. A HungaroMet Meteorológiai Muzéális Szakgyűjteményéből származó tárgyak a technológiai fejlődést szemléltették, s a tárlat a hazai meteorológus közösség fontos eseményeinek is emléket állított, köztük a Magyar Meteorológiai Társaság alapítása 100. évfordulójának.



"A légkör titkai nyomában – 155 év magyar meteorológiai öröksége" című kiállítás az MTA-n.

MEGVÁSÁROLHATÓ

4500 Ft

312 oldal, 305 felhőfotó a Kárpát-medencéből

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.

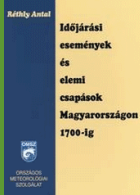


A könyv megrendelhető
a rendezveny@met.hu e-mail címen.

VEDD MEG, VAGY OLVASD ONLINE!

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

A négy kötet ára 10.000 Ft.



NE MARADJ LE!

LÉGY RÉSZE

EGY ORSZÁGOS
HÁLÓZATNAK!

2026.03.23.



*Kondenzcsíkok és naposzlop a hidegpára felett
Somogyi Csaba, Galyatető, 2025. december 21.*



*Rendkívül erős légkörfénylés a hidegpárna felett
Kövesligeti István, Galyatető, 2025. november 12.
Az aktív naptevékenységnek köszönhetően a gyakoribb sarki fény észlelések mellett a légkörfény is erősebb. A fotón
elkülöníthető a gerjesztett oxigénatomok zöld és vörös fénykibocsátása.*



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 ÉRDEKESSEGEK
ELŐREJELZÉS, VESZÉLYJELZÉS, RIASZTÁS
AKTUÁLIS, MÉRT ADATOK, ÉGHAJLAT
LÉGSZENNYEZETTSÉG
KÖRNYEZETVÉDELEM



www.met.hu

Minden információ egy helyen az időjárásról és a meteorológiáról

HUNGAROMET NONPROFIT ZRT.