

LÉGKÖR

69. ÉVFOLYAM 1. SZÁM

**HŐMÉRSÉKLETI EXTRÉMUMOK
EURÓPÁBAN**

**MÉRÉSEK A BÜKK-FENNSÍKI
TÖBRÖKBEN**

**A METÁN SZEREPE
AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁSBAN**

**A JÉGESŐ ELŐREJELZÉS
VERIFIKÁCIÓJA**

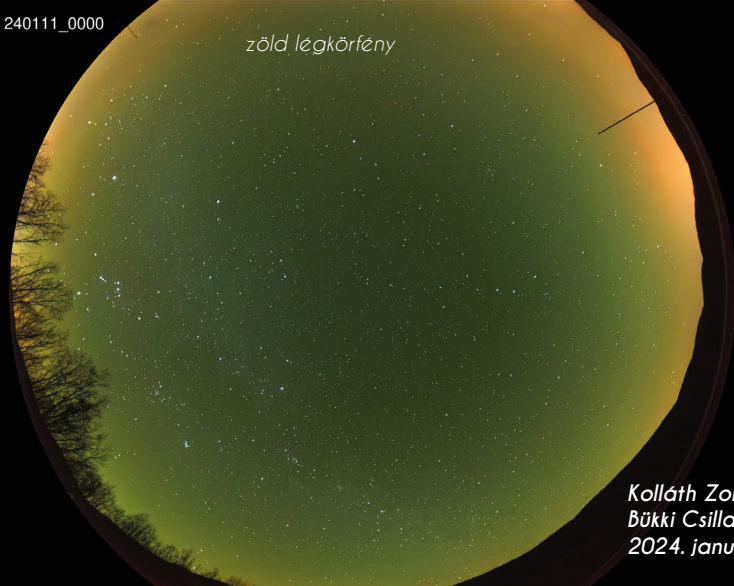
2024. JANUÁR

240111_0000

zöld légkörfény

240111_0330

vörös légkörfény



*Kolláth Zoltán
Bükk Csillagda,
2024. január 10-11.*

Sarki fény

Czirok Bence, ViharVonal facebook csoport

Orosháza, 2023. november 5.

(színhelyes utófeldolgozás: Kolláth Zoltán)



*Magányos zivatarfelhő Szigetvár felett
Pauka Gábor, ViharVonal facebook csoport
Pécs, 2023. november 15.*



LÉGKÖR

69. évfolyam 1. szám
2024. 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:
Király Attila

ISSN 0133-3666

Készült 500 példányban

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



Főszerkesztő: Fejes Edina

Főszerkesztő-helyettes: Tóth Róbert

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

ELNÖK:
Dr. Haszpra László

TAGOK:

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

Tervezőszerkesztő, grafikus: Szabó Dorottya

SZÉPSZÓ GABRIELLA, HASZPRA TÍMEA, HORÁNYI ANDRÁS, KALMÁR TÍMEA, KRISTÓF ERZSÉBET, SZINTAI BALÁZS, TÓTH HELGA:
Emlékezés Götz Gusztáv születésének 90. évfordulójára
Symposium in memory of Gusztáv Götz for his 90th birthday anniversary

2

IHÁSZ ISTVÁN: 75 éve született Dévényi Dezső
Dezső Dévényi was born 75 years ago

12

SZÉPSZÓ GABRIELLA: Utánpótlás-nevelés a numerikus modellezés szakterületen
Education of new numerical modelling experts in meteorology

15

HASZPRA LÁSZLÓ: Metán: az ózonképződéstől az éghajlat-változásig
Methane: from ozone formation to climate change

18

DIVINSZKI FERENC, KIS ANNA, PONGRÁCZ RITA: Hőmérsékleti extrémumok Európában várható alakulásának elemzése az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület Interaktív Atlasza alapján
The analysis of projected changes in temperature extremes across Europe based on the IPCC Interactive Atlas

25

DOBOS ANDRÁS, KERÉKGYÁRTÓ RÓBERT, DOBOS ENDRE:
A 2022–2023-as téli szezon összefoglaló elemzése a Bükk-fennsík Mohos-töbör és Vörösmeteor-töbör mérései alapján
Summary analysis of the 2022–2023 winter season based on the measurements in the Mohos-sinkhole and Vörösmeteor-sinkhole in Bükk-plateau

33

BAÁR PÉTER, CSIRMAZ KÁLMÁN, KELEMEN TIBOR: A jégeső előrejelzés verifikációja
The verification of hail forecasts

41

SZÉPSZÓ GABRIELLA: Interjú Radnóti Gáborral (nyugdíjba vonulása alkalmából)

48

PASZTERNÁKNÉ MARTON ANNAMÁRIA, SZENTES OLIVÉR:
2023 őszeének időjárása

54

ERDŐDINÉ MOLNÁR ZSÓFIA, KOVÁCS ATTILA VIKTOR:
A 2023 őszeének időjárása agrometeorológiai szempontból

60

HÍREK

62

KISLEXIKON

71

A 68. ÉVFOLYAM (2023) SZERZŐI

72

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.

CÍMLAPON: Fehér úti tó, Sopron, 2018. december 23.



Emlékezés Götz Gusztáv születésének 90. évfordulójára

Szépszó Gabriella, Haszpra Tímea, Horányi András, Kalmár Tímea, Kristóf Erzsébet, Szintai Balázs, Tóth Helga

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

DOI: 10.56474/legkor.2024.1.1

Götz Gusztáv születésének 90. évfordulójára a Magyar Meteorológiai Társaság (MMT) Légkör-dinamikai Szakosztálya 2023. november 6-án egy emlékülést szervezett. Elsőként olyan kollégák osztották meg emlékeiket, akik személyesen ismerték őt, majd ezt néhány fiatal kolléga előadása követte, akik az elmúlt években elnyerték az MMT Götz Gusztávról elnevezett publikációs díját. Az emlékév alkalmából egy szakmai kvíz is összeállításra került, melyet nagyrészt a Káosz és prognosztika című könyv ihletett.

Symposium in memory of Gusztáv Götz for his 90th birthday anniversary

A symposium was organized by the Hungarian Meteorological Society in November 2023 to pay tribute to Gusztáv Götz. After some memories shared by contemporary colleagues and friends, presentations were given by a few young colleagues whose publications were honoured with the award of the Society named after Gusztáv Götz. For the event, a scientific quiz was also compiled which was inspired by his widely known book entitled Chaos and Prognostics.

Bevezetés

A Magyar Meteorológiai Társaság 2023. november 6-án emlékezett meg Götz Gusztáv születésének 90. évfordulójáról. A rendezvény első részében pályatársak, barátok és tanítványok idézték fel emlékeiket, tapasztalataikat. Ezt követően a hallgatóság néhány olyan szakterület friss kutatásaiba nyert betekintést, amelyeken Götz Gusztáv is aktív volt. Az esemény az emlékév alkalmából összeállított kvíz megoldásainak bemutatásával és díjátadóval zárult. A cikkben áttekintjük a rendezvényen történeteket.

Megemlékezések

A megemlékezések sorát *Bozó László* nyitotta meg, aki előadásában áttekintette Götz Gusztáv pályájának legfontosabb állomásait. Gusztáv az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) meteorológus diplomájának megszerzése után 1957-től több, mint 10 éven keresztül folytatott operatív munkát a balatoni viharjelző obszervatóriumban (melynek tevékenységét 1962-ben egy fotóriport örökítette meg; *1. fotó*). A légköri konvekció mechanizmusát vizsgáló kutatásait az ELTE doktori címmel ismerte el. 1969–1970-ben egy ENSZ ösztöndíj keretében 1 évet töltött az Egyesült



1. fotó. Endrődi Gabriella és Götz Gusztáv a síófoki észlelőállomás műszereit ellenőrzik 1962-ben (Fényes Tamás, MTI Nemzeti Fotótár).

Államokban és Svédországban, s itt került kapcsolatba operatív előrejelzési gyakorlatban is használható számítógépes modellekkel. 1971-től a Központi Meteorológiai Intézet (KMI) Időjárás Kutató Osztályát vezette, ahol *Ambrózy Pállal* és *Tánczer Tiborral* dolgozott együtt. A 80-as évektől havi és évszakos előrejelzésekkel is foglalkozott, majd 1984-től kinevezték a Központi Léggörfizikai Intézet (KLFI) igazgatóhelyettesének, ahol többek között az éghajlatváltozás dinamikai alapon történő leírásában mélyedt el munkatársaival egy energiaegyensúlyi modell alkalmazásával. (Mind a KMI, mind a KLFI részei voltak nemcsak az Országos Meteorológiai Szolgálatnak, de annak elődjének is.) Szerteágazó nemzetközi kapcsolatrendszerrel bírt, pl. aktívan részt vett a Meteorológiai Világszervezet Globális Léggörfizikai Kutatási Programjában (GARP). A rendszerváltás után, 1991-től az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) Központi Hivatalának elnökhelyetteseként Magyarország számos fontos nemzetközi szakmai szervezethez való csatlakozását készítette elő, pl. az Európai Középtávú Előrejelző Központ-hoz, azaz az ECMWF-hez, majd a Meteorológiai

Műholdak Hasznosításának Európai Szervezetéhez, azaz a EUMETSAT-hoz, vagy az Európai Nemzeti Meteorológiai Szolgálatok Hálózatához, azaz a EUMETNET-hez. 1976-ban kandidátusi, 1991-ben pedig akadémiai doktori fokozatot szerzett. Munkáját számtalan díjjal ismerték el, köztük a tudományos élet kiemelkedő képviselőinek adható legmagasabb állami kitüntetéssel, a Széchenyi-díjjal. Annak ellenére, hogy Gusztit nem vonzotta az egyetemi katedra, nagyon jó előadó volt és sok máig használatos egyetemi jegyzet, könyv és monográfia készítése köthető a nevéhez.

Mészáros Ernő visszatekintésében elmondta, hogy számára nagyon fontos volt Götz Gusztávval való barátsága. Azokban az években, amikor Ernő a KLFI igazgatója, Guszti pedig annak igazgatóhelyettese volt, inspiráló szakmai eszmecseréket folytattak a légköri feláramlások és a felhőcseppek képződésének kapcsolatáról. Beszélgetéseikben később egyre nagyobb teret kapott az aeroszolrészecskék éghajlatra gyakorolt hatása, ami közös könyvüknek (*Götz et al., 1991*) is fontos fejezete lett. Az évek múlásával mindkettőjük érdeklődése az általánosabb kérdések felé fordult, s különösen foglalkoztatta őket a természetben tapasztalható véletlenszerűség, valamint annak kérdésköre, hogy a determinisztikus egyenleteket kissé megváltoztatott bemenő adatokkal megoldva véletlenszerű eredményeket kaphatunk komplex rendszerekben is. Guszti belevetette magát a témába, aminek következménye a *Káosz és prognosztika* című könyv (*Götz, 2001*) lett. Ernő szavait idézve a kötet a „magyar meteorológiai irodalom ékköve”, ami, ha angol nyelven íródott volna, világviszonylatban is a legjobb mű lenne a témában. Az angol nyelv kapcsán Ernő felidézte a *Meteorology in English* című közös egyetemi tantárgyukat, melynek keretében ő levegőkémiai és léggörfizikai, Guszti pedig légkördinamikai témákról tartott előadást a hallgatóknak. Elmondása szerint nemcsak Guszti angol kiejtése volt csodálatos (abban az időben, amikor kevés lehetőség volt arra, hogy ezt nyugati tanulmányutak során fejlesszék), de az előadásmódja is bámulatos volt, ahogyan bonyolult témákat érthetően el tudott magyarázni.

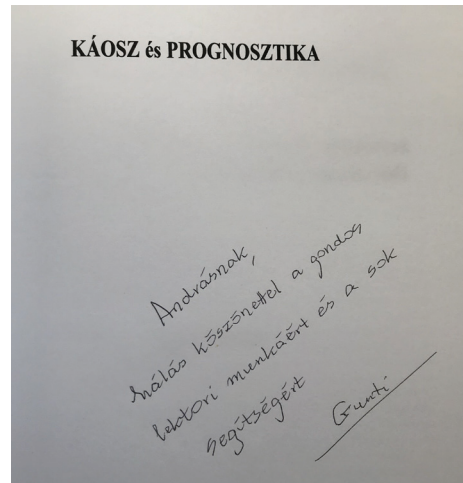
Iványi Zsuzsanna felelevenítette, amikor az 1980-as évek elején a Götz Gusztáv által vezetett főosztály keretében működő Légszennyeződés Meteorológia Osztályon dolgozott. Zsuzsa részt vett a *Bevezetés a meteorológiába* című egyetemi tankönyvsorozat második, a mozgó légkörrel és óceánnal foglalkozó részének (*Czelnai et al., 1982*) megírásában társszerzőként *Czelnai Rudolffal*, az OMSZ akkori elnökével és Götz Gusztávval. Fiatal szakemberként felejthetetlen élmény volt számára ilyen illusztris szerzőtársaságban

dolgozni. Széles látókörű, mély és alapos tudása, szakmai igényessége mellett megemlítette Guszti társasági oldalát is: humorát, műveltségét, páratlan intelligenciáját és eleganciáját.

Ihász István megemlékezését egyetemi éveitől kezdte. Elmondta, hogy meghatározónak tartja, hogy hallgatóként olyan nagyformátumú kollégáktól volt alkalma elsajátítani a szakma alapjait, akikre ma is tisztelettel és hálával tekint: a bevezetés a meteorológiába című tantárgyat például *Czelnai Rudolfnál* hallgatta, a matematikai statisztikát *Gulyás Ottó* tanította (aki matematikusként foglalkozott meteorológiai problémákkal a Szolgálatnál), Gusztival pedig az ELTE nyári iskolájában ismerkedett meg. Kiemelte, hogy napjaink operatív előrejelzési gyakorlatában is nagy jelentősége van annak, hogy *Mersich Iván*, *Dévényi Dezső* és *Götz Gusztáv* 3 évtizeddel ezelőtt elindította Magyarországot csatlakozását az ECMWF-hez. Guszti előadásmódját, mellyel a nehéz témákat is humorral tárgyalta, szakmai hivatástudatát és emberi korrektségét példaként állította a hallgatóság elé. Néhány személyes emléket is megosztott: szeretettel emlékezett vissza arra, amikor Guszti és felesége, *Kaba Magdolna* meglátogatták Tapolcán katonáskodása alatt, valamint évekkel később szabadsága idején szülővárosában, Szentesen is.

Horváth Ákos előadásában egy több, mint fél évszázaddal ezelőtti időjárási esemény jelentőségét emelte ki a mai balatoni viharjelzés szempontjából. 1961. július 13-án, az estére várt északnyugati hidegfrontot megelőzően délnyugatról váratlan zivatarlánc (az akkor még ismeretlen délnyugati instabilitási vonal) csapott le a Balatonra. A tragikus következményekkel járó vihar meghatározó volt az abban az időben a siófoki obszervatóriumban dolgozó *Götz Gusztáv* további szakmai munkásságára. A meteorológiai intézet akkori igazgatója, *Dési Frigyes* megbízásából *Götz Gusztáv*, *Bodolai István*, *Ambrózy Pál*, *Tánczer Tibor* és még néhány kiváló szakember objektív alapokra helyezte a balatoni viharjelzés módszertanát, amit *Götz Gusztáv* által szerkesztett könyvben foglaltak össze (*Götz*, 1966). A tavi viharjelzés az általuk lerakott alapokon fejlődött (*Bartha*, 2006), az objektív szinoptikus helyzetfelismerő eljárásokon át a napjainkban az obszervatórium szerverén futó numerikus modellig.

Horányi András elmondta, hogy először talán egy doktori ösztöndíjas vizsgán találkozott Gusztival személyesen valamikor 1990 táján, habár a nevét már ismerte a *Götz-Rákóczi: A dinamikus meteorológia alapjai* című könyve (*Götz és Rákóczi*, 1981) alapján. Később szorosabbra fűzték a kapcsolatukat, aminek a szakmai kicsúcsosodása az volt, amikor Andrást érte



2. fotó. *Götz Gusztáv* dedikálása *Horányi András* *Káosz és prognosztika* példányában.

az a megtiszteltetés, hogy *Gusztai Káosz és prognosztika* című könyvét (*Götz*, 2001) lektorálhatta. A szakmai megbecsülés talán ekkor mélyült el bennük (2. fotó), ami később tovább erősödött a különböző szakmai fórumokon és eseményeken való részvételek és személyes találkozások során. *András* külön hangsúlyozta *Gusztai* emberi nagyságát: közvetlenségét, szerénységét és fanyar humorát. Előadását azzal zárta, hogy *Gusztira* nemcsak úgy emlékezhetünk, mint egy kiváló tudósra, hanem mint egy nagyszerű emberre is, akire mindig tisztelettel és szeretettel fog emlékezni.

Szépszó Gabriella előadása előkészítette a második szekció szakmai előadásait. Ő a 2000-es évek elején, pályakezdőként ismerkedett meg Gusztival, amikor elsőként a korlátos tartományú ensemble előrejelzések, majd néhány évvel később a regionális éghajlati modellezés területén kezdett el dolgozni. Mindkét kutatási téma ezekben az években indult Magyarországon. Előadásában *Gabriella* áttekintette a valószínűségi előrejelzések történetét az operatív ensemble előrejelzések 1992-es indulásától kezdve a napjainkban elterjedt mezo-skálájú ensemble rendszerekig. Felelevenítette, hogy kezdetben elsősorban a kiindulási feltételekben lévő bizonytalanságot számszerűsítették az előrejelzésekben, majd ez fokozatosan egészült ki a modellhiba minél teljesebb reprezentációjával. A valószínűségi produktumok gyakorlati felhasználása korántsem terjedt ilyen gyors iramban. Ezt az sem támogatta, hogy a rendkívüli számítási kapacitás miatt, amit egy ilyen rendszer futtatása igényel, az ensemble tagokat évtizedekig alacsonyabb felbontáson futtatták, mint a perturbátlan kezdeti feltételből indított, sokáig determinisztikusnak, majd később nagyfelbontásúnak

nevezett előrejelzést. Egy ilyen konstrukció lehetőséget adott az előrejelző számára, hogy az utóbbi előrejelzést nagyobb figyelemmel tüntesse ki, mint a teljes együtttest. Az ECMWF 2023-tól az ensemble előrejelzéseit egységes felbontáson futtatja; az angol és a svájci meteorológiai szolgálat pedig nem kisebb célt tűzött ki, mint hogy előrejelzéseit és szolgáltatásait néhány éven belül teljes mértékben valószínűségi alapokra helyezi (jelenleg produktumaik kb. 5%-a alapul ensemble előrejelzéseken). A gépi tanulós módszerek az időjárás-előrejelzések területén is megjelentek: ezekre a terjedelmes adathalmazokon tanuló statisztikai módszerekre napjainkban a hatékonyságuk okán van nagy érdeklődés; ugyanakkor kérdéses, hogy mennyiben fogják háttérbe szorítani a fizikai folyamatok és összefüggések megértésén alapuló modellezési szemléletet.

A sokasági megközelítés a jövőbeli éghajlatváltozás vizsgálatában is elengedhetetlen. A földi általános cirkulációt modellező első szimulációkat a 60-as években készítették, s ma ezen a területen is elterjedtek a regionális modellvizsgálatok. A klímaprojekciók bizonytalansága elsősorban a fizikai és az emberi tevékenységgel kapcsolatos folyamatok leírásának közelítő jellegéből ered. A regionális éghajlati modell futtatások eredményeinek felhasználása hazánkban a 2010-es évek második felében indult meg, s a felhasználók sokkal tudatosabban használják a valószínűségi jellegű éghajlati információkat, mint az időjárás-előrejelzések esetében. Götz Gusztáv mindkét szakterület indulását olyan kéziratokkal támogatta (pl. Götz, 2003; 2004; 2005), melyeket több száz, a témával foglalkozó elméleti és gyakorlati publikáció tanulmányozásával és szintetizálásával készített. Ezeket az értékes, a magyar szakmai nyelv fejlődését is támogató írásokat nemcsak az oktatásban használják, de a szakemberek is gyakran lapozgatják őket a mai napig. Gabriella fontos mérföldkőként említette még az MMT Légekördinamikai Szakosztályának 2008-as megalakulását, melynek nyitó előadása a klíma-modellezési kutatásokról szólt, demonstrálva, hogy a jövőbeli éghajlatváltozás kutatása az időjárás számszerű előjelzésével közös dinamikai és modellezési eszköztáron alapul.

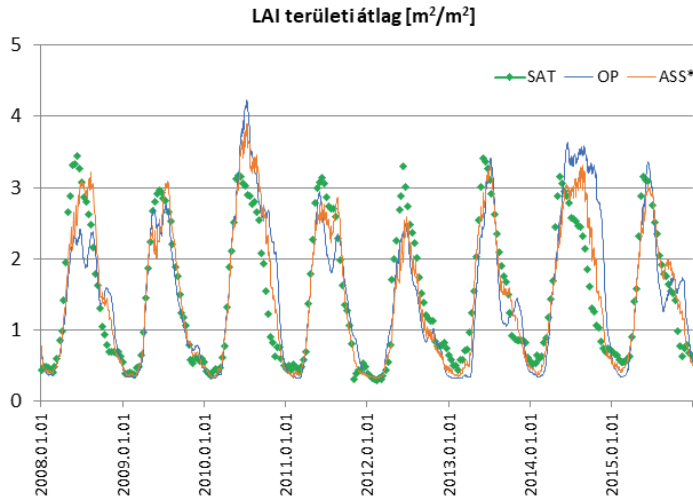
Válogatás a Götz Gusztáv publikációs díjjal jutalmazott munkákból

Az ülés második szekciójának előadásai azokba a munkákba engedtek betekintést, amelyek elnyerték az MMT Götz Gusztávról elnevezett díját. A díjat 2021-ben alapította a Társaság, azzal a céllal, hogy támogassa az alap- és alkalmazott kutatási eredmények,

továbbá az új innovációs ötletek rangos nemzetközi folyóiratokban történő megjelenését. Az elismeréssel ösztönözni kívánják a hazai kutatói utánpótlás-nevelést, szakmánk nemzetközi elismertségének növelését, valamint a magyarországi publikációs aktivitást.

Kolláthné Tóth Helga előadásában egy talaj-felszín adatasszimilációs rendszert mutatott be, amit azért adaptáltak az Országos Meteorológiai Szolgálatnál, hogy valós időben monitorozzák a felszín feletti biomasza fejlődését, a felszíni szén- és vízgőz-fluxusok, valamint a gyökérszóna talajnedvességének alakulását egy 8 km felbontású magyarországi területen (*Tóth és Szintai, 2021*). A rendszerben a SURFEX talajmodellt használták, melyben az ún. ISBA-A-gs fotoszintézis eljárás írja le a vegetáció időbeli fejlődését. A SURFEX modell futtatásához szükséges meteorológiai bemenő adatok közül a felszínközeli hőmérsékletet, a relatív nedvességet, a szelet és a csapadékot az ALADIN numerikus előrejelző modell szolgáltatta, a sugárzás adatokat pedig a LandSAF műholdas produktumból vették. A SURFEX modellt először adatasszimiláció nélkül futtatták 2008–2015-re. Ezt követően került sor az adatasszimilációs futásra, melyben a levélfelületi indexre (LAI) és talajnedvesség indexre (SWI) vonatkozó műholdas méréseket vettek figyelembe az ún. *kiterjesztett Kálmán-szűrő eljárással*. A LAI adatokat (2014 májusáig) a Spot/Vegetation és (2014 júniusától) PROBA-V műholdak, míg az SWI méréseket az ASCAT/Metop műhold szolgáltatták. Az adatasszimilációval és anélkül készített futtatás eredményeit egymással, illetve a műholdas adatokkal, valamint az ELTE hegyhátsági in-situ (LAI, talajnedvesség, vízgőz- és szén-dioxid-fluxus) méréseivel hasonlították össze. Az eredményeik alapján mindkét szimuláció visszaadja a biomasza és a talajnedvesség évek közötti változékonyságát, de adatasszimilációval pontosabb, realisztikusabb biomasza- és talajnedvesség analízis és előrejelzés érhető el, mint anélkül (*I. ábra*). Az eredmények jól hasznosíthatók az aszály-monitorozásban és a termésbecslésben is.

A számszerű éghajlati becslések készítésének fontos eszközei az általános cirkulációs modellek (general circulation model, GCM). A GCM-ek validálásakor a szimulációs eredményeiket mérésekkel, megfigyelésekkel, azaz egy referencia adatbázissal vetik össze. *Kristóf Erzsébet* egy olyan újszerű, a légköri távkapcsolati mintázatokra vonatkozó GCM validációs módszert mutatott be előadásában, amely közismert statisztikai eljárásokból épül fel és automatizáltan végrehajtható. A validációt az északi félgömbön, az 1951–2005 időszak téli hónapjaiban, hat 30-éves és tíz 10-éves időszak

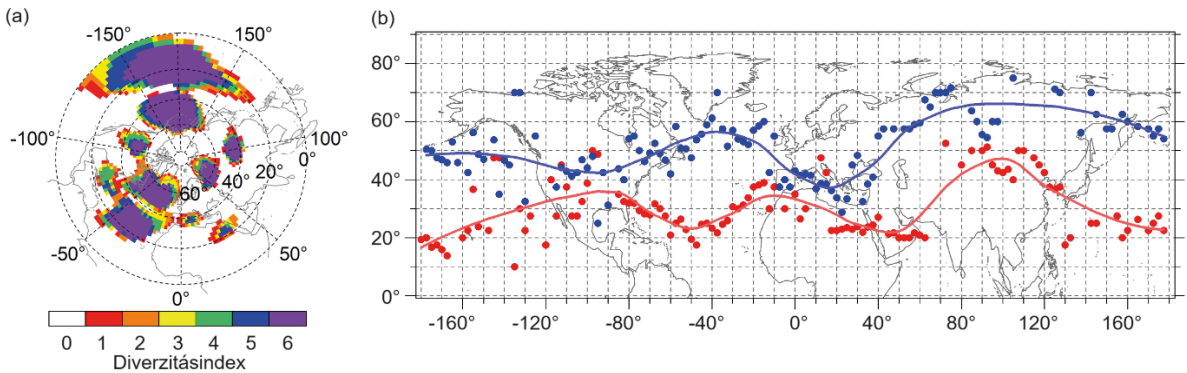


1. ábra. A levélfelületi index területi átlaga 2008 és 2015 között a teljes magyarországi tartományra műholdas mérések (zöld), valamint az adatasszimilációval (narancs) és az anélkül (kék) készített modell-előrejelzések alapján.

alapján végezték el (Kristóf et al., 2020). A módszer kulcsfontosságú lépése a távkapcsolatok azonosítása. Ehhez Wallace és Gutzler (1981) távkapcsolati módszerével – az 500 hPa-os geopotenciális magasságmező rácsponti idősorai közötti lineáris korrelációk kiszámításával – előállított legerősebb negatív korrelációk hemiszférikus mezőit használták fel. A távkapcsolatok legintenzívebben együtt változó területeinek meghatározásához potenciális akciócentrumpárokat azonosítottak, azaz olyan rácspontpárokat, amelyek egymással állnak a legerősebb negatív korrelációban. A GCM-ek

validálása, majd teljesítményük szerinti rangsorolásuk a legerősebb negatív korrelációk mezőire meghatározott népszerű statisztikai mérőszámok – például az átlagos négyzetes hiba négyzetgyöke – alapján sikertelennek bizonyult. Annak érdekében, hogy a validáció eredménye kevésbé legyen érzékeny a vizsgált időszakára és térségére, a legerősebb negatív korrelációmezőkön dimenzioredukciós eljárásokat alkalmaztak, vagyis az eredeti, sokdimenziós adatstruktúrából könnyebben áttekinthető mintázatokat állítottak elő. A 30-éves időszakok esetén diverzitásindexet számítva létrehozták a távkapcsolati mintázatok stabilitástérképeit (2.a. ábra) a következőképpen: rácspontként meghatározták azoknak az időszakoknak a számát, amelyekben a legerősebb negatív korreláció értéke alacsonyabb, mint az adott időszakhoz tartozó legerősebb negatív korrelációk hemiszférikus mezőjének alsó kvartilise. Utóbbit a távkapcsolatok előfordulásának küszöbértékeként határozták meg. A 10-éves időszakok esetén regressziós görbéket illesztettek a potenciális akciócentrumpárok északi és déli pólusaira, amelyek két sávban övezik az északi félgömböt (2.b. ábra). Majd a GCM-ek validációját a referencia adatbázis és a GCM-ek stabilitástérképei, illetve regressziós görbéi összehasonlításával végezték el.

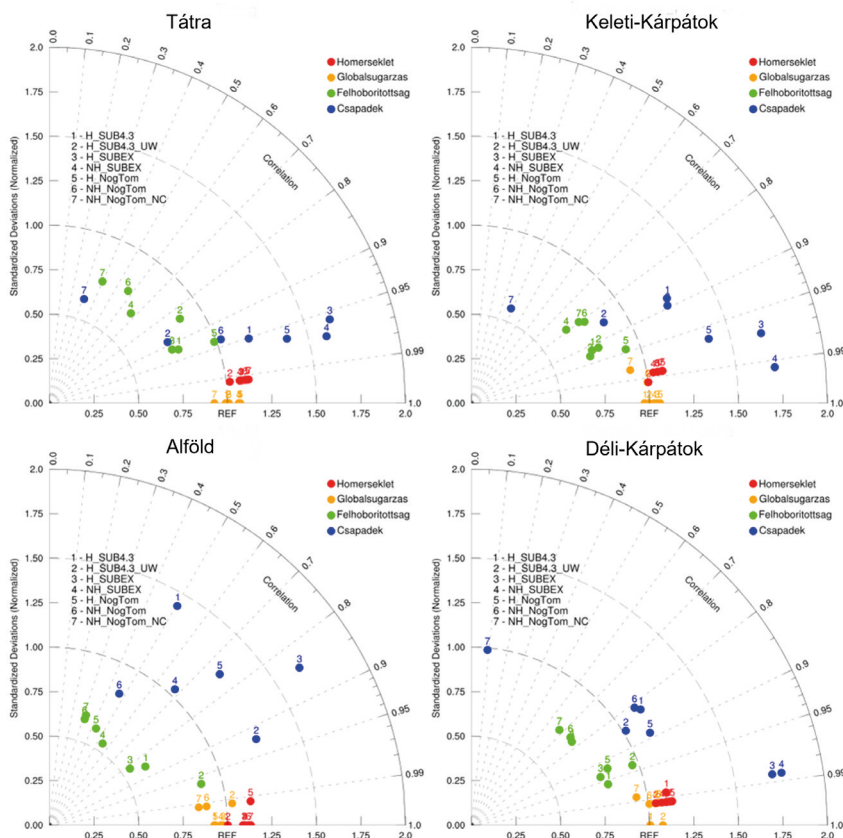
A jövőben várható éghajlatváltozás helyi jellemzőinek feltárására a regionális klímamodellek szolgálnak, melyek segítségével a globális klímamodellek eredményeiből kiindulva napjainkban jellemzően 10-25 km-es felbontású szimulációkat készítenek a kiválasztott földrajzi területre. Kalmár Tímea és munkatársai elvégezték a triezsti ICTP (International Centre for Theoretical Physics) által fejlesztett RegCM regionális



2. ábra. (a) A referencia adatbázisként használt ERA-20C reanalízis legerősebb negatív korrelációmezőiből képzett stabilitástérképe a hat 30-éves vizsgált időszak alapján. A diverzitásindex értéke 0, ha az adott rácspontban a hat vizsgált időszakban egyszer sem detektálható távkapcsolat, míg a diverzitásindex értéke 6, ha az adott rácspontban az összes vizsgált időszakban azonosítható távkapcsolat. (b) A potenciális akciócentrumpárok északi és déli pólusaira illesztett regressziós görbék atlanti-óceáni nézetű térképen, a tíz 10-éves vizsgált időszak esetén. A déli (északi) pólusokat és regressziós görbéket pirossal (kékkel) jelöltük.

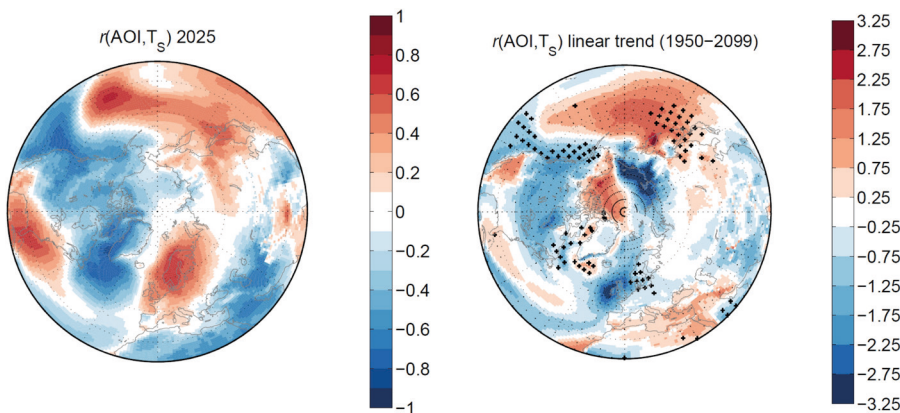
klimamodell 4.5-ös verziójának átfogó tesztelését a Kárpát-medence térségére (Kalmár *et al.*, 2021), s Tímea ennek eredményeiről nyújtott áttekintést előadásában. A RegCM4.5 már nem-hidrosztatikus dinamikával is rendelkezik, illetve a korábbi verzióhoz képest a másik lényeges fejlesztés, hogy egy új mikrofizikai sémát építettek a modellbe: a NogTom séma a nagytérségű felhő- és csapadékképződés realizisztikusabb leírására szolgál a korábbi SUBEX sémához képest. A tanulmány során a SUBEX séma módosított változatát is alkalmazták, amelyet kifejezetten a Kárpát-régióra optimalizáltak; továbbá a modell két planetáris határréteg (PHR) sémáját is tesztelték: a nem-lokális Holtslag és a lokális UW sémát. A modell-futtatásokat 10 km-es horizontális felbontás mellett az 1981–1990 időszakra készítették el, amihez a kezdeti- és peremfeltételeket az ERA-Interim reanalízis szolgáltatta. A validáció során a CarpatClim rácsponti mérési adatbázis adataival vetették össze a szimulációs eredményeket, s nemcsak a csapadék és hőmérsékleti értékeket, hanem a globálsugárzást, illetve a felhőborítottságot is vizsgálták. A tesztelés során megállapították, hogy a NogTom mikrofizikai séma javítja az eredményeket a SUBEX sémához képest a Kárpát-medence térségében, de összességében a módosított SUBEX (SUB4.3) séma teljesít a legjobban (3. ábra). A SUB4.3 csökkenti a csapadék és a felhőzet hibákat, azonban a hőmérsékleti értékekre kevésbé van hatással. A PHR sémák közül az újabb UW séma a felhőzeti, illetve a hőmérsékleti hibákat jelentősen csökkenti a síkvidéki területeken a Holtslag sémához képest. A nem-hidrosztatikus dinamika szerepe egyértelműen felismerhető a csapadéknál, különösen a Kárpátok vonulatainál, ahol a csapadék felülbecslése 10–15%-kal magasabb a hidrosztatikus dinamikát alkalmazó szimulációkhoz képest. A legjobb teljesítményt a hidrosztatikus dinamikával, SUBEX és UW sémákkal készített szimuláció nyújtotta a Kárpát-régióra. A kapott eredmények segítséget nyújtanak a modelltől származó bizonytalanságok csökkentésében, illetve hasznos információt szolgáltatnak mind a modellfejlesztők, mind a felhasználók számára.

Az utóbbi években egyre szélesebb körben alkalmaznak az ún. sokasági éghajlati szimulációkat az éghajlatváltozás és az éghajlat belső változékonyságának



3. ábra. A 10 km-es felbontású RegCM-szimulációk Taylor-diagramjai különböző régiókban a havi átlaghőmérsékletre, a globálsugárzásra, a felhőborítottságra és a csapadékösszegre vonatkozóan a 1981–1990 időszakban a CarpatClim mérési adatokhoz viszonyítva. A Taylor-diagram 3 mérőszámot mutat egyszerre: a korrelációt, a szórást és a centralizált átlagos négyzetes hibát. A függőleges tengellyel bezárt szög, valamint az origó körüli koncentrikus körök a referenciát és szimulált havi átlagértékek korrelációját, valamint szórásukat mutatják. A referenciát reprezentáló (REF) ponttól vett távolság mutatja az adott RegCM-szimuláció CarpatClimhez képest számított négyzetes középérték hibáját. Az adatok normáltak, így a négyzetes hiba értékek a megfigyeléstől vett relatív eltérést jelentik. Optimális esetben a modell-szimulációkat jelölő szimbólumok REF pont közelében helyezkednek el.

vizsgálatára. Ezek olyan szimulációk összességét foglalják magukba, melyben a sokaság tagjai kissé különböző kezdeti feltételekből indulnak ki, azonban ugyanazon fizikai törvényeknek és kényszereknek engedelmeskednek (valamint azonos éghajlati modellel készültek). Haszpra Tímea előadásában azt mutatta be, hogyan lehet a legjobban kiaknázni ezen szimulációkat, és miért célszerűbb ezek felhasználásával, az ún. snapshot-megközelítésben elemezni az éghajlatváltozás hatásait. A snapshot-attraktorok elméletével igazolható, hogy tetszőleges kezdeti feltételekből induló szimulációk sokasága az adott kényszerek között lehetséges időjárási állapotok összességéhez konvergál. Azaz a sokaság



4. ábra. (a) Az r sokaságalapú snapshot korrelációs együttható az AOI arktikus oszcillációs index és a T_s felszínhőmérséklet között 2025-re a Community Earth System Model Large Ensemble (CESM1-LE) szimulációiban az RCP8.5 forgatókönyv mellett. (b) Lineáris trend (10^{-3} év^{-1}) az r -ben az 1950-2099 időszakra a CESM1-LE esetén 2005-ig a megfigyelt légköri üvegházgáz- és aeroszol-koncentráció értékek, majd az RCP8.5 forgatókönyv figyelembevételével. A pontok olyan rácspontokat jelölnek, ahol a trend 95%-os szinten szignifikáns. Keresztek jelzik, ahol ezen kívül az r -ek 95%-os szinten szignifikánsak az 1950-2099 időszakban, azaz ahol végig „erős is a kapcsolat” a két változó között.

tagjai egy olyan időfüggő eloszlást definiálnak, mely a karakterisztikus konvergenciaidő után minden időpillanatban statisztikailag jól jellemzi a lehetséges állapotok tárházát, azok előfordulási valószínűségét: vagyis a sokaság kirajzolja az időben változó snapshot-atraktort. Az éghajlat pillanatnyi belső változékonyságát ennek (véges) kiterjedése határozza meg. Mivel a sokasági tulajdonságok, így a meteorológiai változók valószínűségi eloszlása is előrejelezhető statisztikai értelemben minden pillanatban, így az egyedi idősoroknál jellemzően alkalmazott szubjektív időbeli statisztikák (pl. mozgóátlag esetén rögzített hosszúságú időablakok) használata elkerülhető, valamint bármelyik mennyiség kényszerekre adott változása is elemezhető a snapshot értékek (pl. sokasági átlag, sokasági szórás) idősor-analízisével (pl. 4. ábra). Az előadó bemutatta, hogy a snapshot-szemléletben elért eredményeket hogyan lehet használni a légköri távkapcsolatok (El Niño–déli oszcilláció; észak-atlanti oszcilláció; arktikus oszcilláció) terén (Haszpra *et al.*, 2020), valamint a légköri szennyeződések szétterjedésének intenzitása és a hógolyó-Föld (teljes mértékben jég- és hóborította Föld) kialakulásának témájában.

Az emlékvíz tapasztalatai

A tudományos előadások után a rendezvény egy könnyedebb programpontra zárta: Radnóti Gábor az emlékvíz alkalmából összeállított szakmai feladvány megoldásait, tapasztalatait összegyezte.

A megoldandó feladvány két részből állt. A 20 feleltválasztós kérdésből álló kvíz a dinamikus meteorológia és a numerikus prognosztika 1-2 állomását elevevitte fel, valamint néhány jellemző, aktuális kérdést vetett fel az ensemble előrejelzések, a dinamikai rendszerek, illetve a klímadinamika területéről. A kérdések többségét Götz Gusztáv Káosz és prognosztika című könyve ihlette. A bátor jelentkezőknek két bónusz kérdéssel is meg kellett birkóznuk, melyek közül az egyik egy valószínűség-számítási feladat volt,

a másik pedig a híres pillangó-effektusra vonatkozott. A feladványok megoldására 12 meteorológus kolléga vállalkozott, s ha hinni lehet a szóbeszédnek, akkor eközben az OMSZ könyvtárában megnőtt a kereslet a Káosz és prognosztika című könyv iránt. Gábor az előadásában bemutatta a megoldásokat és kiemelte azokat a kérdéseket, melyekre több kitöltő is rossz választ adott (ilyen volt például a különös attraktor névadójára vonatkozó kérdés – nem Edward Lorenz keresztelte el így). Kedvenc, de egyáltalán nem könnyű valószínűség-számítási példájára két teljes megoldás is érkezett (Haszpra Timeától és Salavec Pétertől), s néhányan a probléma számítógépes beprogramozásával is megörvendeztették őt. A kvíz és a bónusz



3. foto. Lakatos Mónika, az MMT elnöke átadja Salavec Péternek a Götz Gusztáv emlékére meghirdetett kvíz legjobb kitöltőjének járó nyereséget.

kérdések megoldásában az első helyet végül Salavec Péter szerezte meg, akinek teljesítményét egy féléves Természet Világa magazin előfizetéssel ismerte el a Meteorológiai Társaság (3. fotó), a második helyen pedig *Bölöni Gergely* és *Szintai Balázs* osztozott.

Irodalom

- Bartha I.*, 2006: A Balatoni viharjelzés. OMSZ Kiadvány.
- Czelnai R., Götz G., Iványi Zs.*, 1982: Bevezetés a meteorológiába II. – A mozgó légkör és óceán. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Götz, G.* (szerk.), 1966: Sturmwarnung am Balatonsee. OMSZ Hivatalos Kiadványok 30, Budapest.
- Götz G., Rákóczi F.*, 1981: A dinamikus meteorológia alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Götz, G., Mészáros, E., Vali, G.*, 1991: Atmospheric Particles and Nuclei. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Götz G.*, 2001: Káosz és Prognosztika. Országos Meteorológiai Szolgálat.
- Götz G.*, 2003: Ensemble előrejelzések. Kézirat, a 28. Meteorológiai Tudományos Napokon elhangzott előadás bővített változata, 43 pp.
- Götz G.*, 2004: A klímadinamika alapjai. Kézirat, Meteorológiai Tudományos Bizottság, Légkördinamikai Munkabizottság, 41 pp.
- Götz G.*, 2005: Az éghajlat dinamikájának néhány nyitott kérdéséről. 31. Meteorológiai Tudományos Napok beszámolókötet, OMSZ, 10–61.
- Haszpra, T., Topál, D., Herein, M.*, 2020: On the Time Evolution of the Arctic Oscillation and Related Wintertime Phenomena under Different Forcing Scenarios in an Ensemble Approach. *Journal of Climate* 33, 3107–3124. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0004.1>
- Kalmár, T., Pieczka, I., Pongrácz, R.*, 2021: A sensitivity analysis of the different setups of the RegCM4.5 model for the Carpathian region. *International Journal of Climatology* 41, S1, E1180–E1201. <https://doi.org/10.1002/joc.6761>
- Kristóf, E., Barcza, Z., Hollós, R., Bartholy, J., Pongrácz, R.*, 2020: Evaluation of Historical CMIP5 GCM Simulation Results Based on Detected Atmospheric Teleconnections. *Atmosphere* 11, 723. <https://doi.org/10.3390/atmos11070723>
- Tóth, H., Szintai, B.*, 2021: Assimilation of Leaf Area Index and Soil Water Index from Satellite Observations in a Land Surface Model in Hungary. *Atmosphere* 12, 944. <https://doi.org/10.3390/atmos12080944>
- Wallace, J.M., Gutzler, D.S.*, 1981: Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere Winter. *Monthly Weather Review* 109, 784–812. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1981\)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1981)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2)

Götz Gusztáv emlékkvív

Összeállította:

Radnóti Gábor, Ihász István, Szépszó Gabriella

1. Kinek a nevéhez fűződik a felismerés, hogy az időjárás előrejelzésének tudományos problémája tekinthető a hidro-termodinamikai egyenletrendszer megoldási problémájaként?

- Lewis Fry Richardson
- Carl-Gustaf Rossby
- Vilhelm Bjerknes
- Jule Charney
- Hermann von Helmholtz

2. Adott egy „primitív”, elegendően nagy méretű ensemble rendszer, amelynek minden tagja egy a klímaeloszlásból véletlenszerűen generált állapot. Legyen X egy ebből véletlenszerűen kiválasztott tag, Y pedig az ensemble átlaga. Mi igaz X és Y várható négyzetes hibájára, azaz MSE(X) és MSE(Y) viszonyára?

- $MSE(X)=2*MSE(Y)$
- $MSE(Y)=2*MSE(X)$
- $MSE(X)=MSE(Y)$
- $MSE(X)=4*MSE(Y)$
- $MSE(Y)=4*MSE(X)$

3. Az alábbiak közül melyik állítás hamis a 3-változós Lorenz rendszerrel kapcsolatban?

- A Rayleigh-Bénard konvekció egy egyszerűsített modellje.
- Megoldása a benne szereplő paraméterek minden értékére kaotikus.
- A rendszert bizonyos paraméter tartományban különös attraktor jellemzi.
- Bizonyos paraméter értékek mellett fraktál jellegű mutató, a Ljapunov exponensekből származtatott fraktál dimenzió 2 és 3 között van.

4. Ki az a numerikus prognosztikát sikeresen megalapozó tudós, aki a nagyságrendi analízis módszerének bevezetésével elsőként hozott létre a gyakorlati numerikus prognosztikai céljára alkalmas egyszerűsített egyenleteket, a kvázi-geosztrofikus közelítés formájában?

- Lewis Fry Richardson
- Carl-Gustaf Rossby
- Vilhelm Bjerknes
- Jule Charney
- Hermann von Helmholtz

5. Egy dinamikai rendszer viselkedésében a kontroll paraméter módosítására fellépő kvalitatív változás melyik alábbi fogalomhoz kapcsolódik?

- a) Bijekció
- b) Bilinearitás
- c) Birkhoff ergodikus tétel
- d) Bifurkáció

6. Mikor készült az első kísérleti jellegű szinoptikus térkép egy (a krími hadiflotta nagy részét elpusztító) fekete-tengeri vihar utólagos elemzése céljából?

- a) 1822. március 6-án
- b) 1855. február 19-én
- c) 1894. január 16-án
- d) 1914. szeptember 30-án

7. Edward Lorenz az 50-es években bevezetett egy fogalmat, mely nagy szerepet játszik az általános cirkuláció fennmaradásában. Mi ez a mennyiség?

- a) Potenciális örvényesség
- b) Hasznosítható potenciális energia
- c) Ekvivalens potenciális hőmérséklet
- d) Sebességpotenciál

8. Az abszolút örvényesség megmaradását hidrosztatikus, adiabatikus légkörben, súrlódás- és divergenciamentes áramlás esetén leíró egyenlet rendelkezik egy partikuláris hullám-megoldással. Hogy nevezik ezt a hullámot?

- a) Hanghullám
- b) Gravitációs hullám
- c) Rossby hullám
- d) Kelvin hullám
- e) Eady hullám

9. Kinek a nevéhez fűződik a különös attraktor elnevezés?

- a) Edward Lorenz adta ezt a nevet a 3-változós Lorenz-rendszer aszimptotikus megoldás trajektóriájára.
- b) Floris Takens és David Ruelle a Turbulencia Természetéről címmel írt tanulmányában adta ezt a nevet a turbulencia kaotikus jellegének bemutatásakor.
- c) Mikhail Rabinovich adta ezt a nevet a Rabinovich-Fabrikant attraktor felfedezésékor.
- d) Aleksandr Ljapunov vezette be a fogalmat a Markus-Ljapunov bifurkációs fraktálok jellemzésékor.

10. Ki az a tudós, aki a statisztikai előrejelzések korlátainak tanulmányozása közben, egy számítógépes kísérlet során felfedezte a napjainkban káosznak

nevezett jelenséget, azaz bizonyos nemlineáris differenciálegyenletekkel leírható determinisztikus rendszerek aperiodikusságát és a kezdeti feltételekre mutatott végtelen érzékenységet?

- a) Edward Lorenz
- b) Benoit Mandelbrot
- c) Arnt Eliassen
- d) Neumann János

11. Mikor végezte el Richardson a híres előrejelzési kísérletét, amely úttörő jelentőségű a numerikus prognosztika kialakulásában, még ha eredményesség szempontjából teljes kudarcba is fulladt?

- a) 1912
- b) 1922
- c) 1932
- d) 1942

12. Dinamikailag modellezhető-e az ENSO (El Nino – Déli Oszcilláció) jelenség?

- a) Eddig még nem sikerült.
- b) Elméletileg nem lehetséges.
- c) Igen.
- d) Nem.

13. Az északi félgömb évszakai szerint az El Nino jelenség mikor alakul ki leggyakrabban?

- a) Tavasszal
- b) Nyáron
- c) Ősszel
- d) Télen

14. Hány alapító tagállama volt az ECMWF-nek?

- a) 10
- b) 15
- c) 20
- d) 25

15. Hol született 1986-ban a következő, sokat idézett megállapítás: „Egyetlen prognózis sem teljes a prognózis bevalási valószínűségének a prognosztizálása nélkül”?

- a) Bracknellben
- b) Readingben
- c) Toulouse-ban
- d) Washingtonban

16. Melyik perturbációs módszer nem szerepel a Káosz és prognosztika című könyvben?

- a) Monte Carlo módszer
- b) Breeding módszer



75 éve született Dévényi Dezső

Ihász István

HungaroMet Nonprofit Zrt., ihasz.i@met.hu

A hazai numerikus prognosztikai tevékenység érdemi megalapozása bő 40 évvel ezelőttre nyúlik vissza. Az Eötvös Loránd Tudományegyetemen a meteorológus képzés megreformálása alapvetően Czelnai Rudolf kezdeményezésére valósult meg. Az egyetemi oktatásban Práger Tamás és Dévényi Dezső tevékenysége révén generációk ismerhették és szerethették meg a számszerű előrejelzés alapjait. A cikkben röviden áttekintjük az idén 75 évvel ezelőtt született Dévényi Dezső életútját.

Dézső Dévényi was born 75 years ago

The foundation of Hungarian numerical weather prediction activity dates back to more than 40 years ago. The reform of meteorology education at Eötvös Loránd University was basically implemented on the initiative of Rudolf Czelnai. Through the activities of Tamás Práger and Dezső Dévényi in university education, generations were able to get to know and love the basics of numerical forecasting. In this article, we briefly review the career of Dezső Dévényi, who was born 75 years ago.

A szakmai pálya első 20 éve

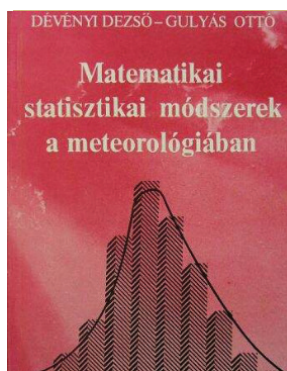
Dévényi Dezső 1948. június 4-én Keszthelyen született. 1973-ban az ELTE-n szerzett matematika-fizika tanári és meteorológus oklevelet. Egyetemi tanulmányai után az Országos Meteorológiai Szolgálatnál helyezkedett el, ahol elsősorban dinamikus meteorológiával és ezen belül numerikus prognosztikai kutatásokkal foglalkozott. Elsődleges feladata volt a légköri folyamatok modellezése és a kapcsolódó sztochasztikus és dinamikus módszerek fejlesztése. 1975–76-ban részt vett egy leningrádi adatasszimilációs tanulmányúton, majd néhány évvel később Észak-Koreában meghívottként elméleti meteorológiai előadásokat tartott – mintegy fél éven keresztül.

1976-tól a Szolgálat Numerikus Experimentációs Csoportjának tagja, majd 1979 és 1984 között a Központi Hivatal tudományos titkára volt. 1984-től több vezetői posztot is betöltött: a Hidrometeorológiai Osztály, majd 1985-től a Numerikus Módszerfejlesztő Osztály, 1988-tól a Távleőrejelzési Osztály, majd 1991-től az Előrejelző Főosztály vezetője lett.

1991-ben szerezte meg az MTA kandidátusi minősítését „*Műholdas adatok alkalmazása a meteorológiai mezők objektív analizisében*” című disszertációjának megvédésével. Még abban az évben az Egyesült Államokbeli Colorado államban vállalt kutatói tevékenységet, a NOAA Előrejelző Rendszerek Laboratóriumában (Forecast Systems Laboratory), ahol 1993-ig dolgozott. 1994-ben elvállalta az OMSZ elnökhelyettesi

pozíciót, így – mint később kiderült, átmeneti időre – hazatért Magyarországra. 1995-ig szolgált elnökhelyettesként, majd a negyvenes éveinek derekán családjával együtt úgy döntött, hogy munkáját Amerikában, Boulderben – a már korábban megismert – NOAA intézetben folytatja. 1996-ban kandidátusi címét PhD fokozatként ismerték el az ELTE-n, valamint doktori habilitációs vizsgát tett.

Oktatói, témavezetői tevékenység



A *Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában* könyv fedőlapja.

Mintegy 15 éven keresztül – az OMSZ-ban főállásban végzett munkája mellett – tanított az egyetemen, s Gulyás Ottóval közösen készítették az 1988-ban, a Tankönyvkiadó gondozásában megjelent, „*Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában*” című egyetemi tankönyvüket. Ezzel a jegyzettel elnyerték az MMT Szakirodalmi Nívódíját.

1983 és 2001 között 14 meteorológus hallgató diplomamunkáját segítette témavezetőként. Az egykori hallgatók egy része különböző szakterületeken az Országos Meteorológiai Szolgálatnál dolgozik ma is. Vannak köztük szép számmal külföldön nevet szerzett kutató tudósok éppúgy, mint a magán-meteorológia területére tért egykori tanítványok is. Két, ma már Amerikában élő szakember – Borbás Éva és Gyarmati Györgyi – PhD témavezetése is az ő nevéhez kötődik.

Szerette és támogatta az arra érdemes fiatalokat, a velük való foglalkozást, szakmai felkarolásukat is szívügyének tekintette. Az ő javaslatára szervezték meg 2009 júniusában Visegrádon az első magyarországi klímadinamikai nyári iskolát is. Három könyv, 20 referált folyóiratban megjelent cikk, 55 lektorált konferencia-cikk és más publikáció őrzi a nevét.

Amikor tehetette, igyekezett részt venni magyarországi rendezvényeken is, 2009. októberben így találkoztunk vele a Magyar Meteorológiai Társaság (MMT) Dobosi professzor emlékülésén, az OMSZ székházában. Boulderbe visszatérve 2009. november 26-án váratlanul elhunyt.



Dévényi Dezső 2009 októberében Readingben.

Dévényi Dezső emlékezete

Dévényi Dezső váratlan halála után a kortársak, a kollégák és a tanítványok megrendülten szembe-sültek a hatalmas ürrel, amit maga mögött hagyott. 2010 júniusában az MTA Légekordinamikai Albizottsága nyolc előadásból álló Emlékülést tartott, az előadások az MTA/MTB honlapján (<http://mtb.met.hu>) érhetők el.

Előadó	Az előadás címe
Czelnai Rudolf	Az adatasszimilációs probléma vizsgálatának kezdetei: Dévényi Dezső kapcsolódása L. S. Gandin iskolájához
Radnóti Gábor	Az ECMWF adatasszimilációs rendszere
Szunyogh István	Ensemble adatasszimiláció
Stan Benjamin	Rapid Update Cycle and Rapid Refresh at NOAA
Ihász István	Műholdmeteorológia és numerikus prognosztika: korai hazai vizsgálatok
Ihász István	Az operatív numerikus modellezés kezdeti évei Magyarországon: a svéd modell alkalmazása
Horányi András	Operatív numerikus modellek az OMSZ-ban: a svéd modelltől az AROME modellig
Tasnádi Péter	Dévényi Dezső oktatási tevékenysége

A 2010. júniusi Dévényi Dezső Emlékülés programja.

Az előadások alapján Dévényi Dezső halálának öt éves évfordulójára készült el a mintegy 90 oldalas Dévényi Dezső Emlékkötet.



A Dévényi Dezső Emlékkötet fedőlapja.

Major György akkori MMT elnök kezdeményezésére 2010. október 21-én a Magyar Meteorológiai Társaság emlékülésén idézték fel a résztvevők Dévényi Dezső életének főbb mozzanatait.

2011 elején az egykori kortársakat, tanítványokat képviselő szakemberek, valamint a család közösen megalapította a Dévényi Dezső Numerikus Prognosztikai Emlékérmet. Ezt az érmet olyan fiatal kutatónak ítéli oda, aki maradandó teljesítményt nyújtott azon meteorológiai szakterületek valamelyikén, amelyen Dévényi Dezső is tevékenykedett.

A 2011. március 23-i Meteorológiai Világnapon a család képviselője átvette a legmagasabb meteorológiai kitüntetést, a Schenzl Guido Emlékérmet. Ugyanezen alkalommal adták át első alkalommal a Dévényi Dezső Numerikus Prognosztikai Emlékérmet.

A Dévényi Dezső szellemi hagyatékának megőrzését szolgáló díjat az erre kijelölt testület ítéli oda. A díjat 2011-ben Havasi Ágnes, 2013-ban Pieczka Ildikó, 2015-ben Breuer Hajnalka, 2017-ben Szépszó



A Dévényi Dezső Numerikus Prognosztikai Emlékérem elő- és hátlapja.

Gabriella, 2018-ban Haszpra Tímea, 2019-ben Torma Csaba, 2020-ban Torma Péter, 2021-ben Allaga-Zsebeházi Gabriella, 2022-ben Sarkai Noémi, 2023-ban pedig Mile Máté érdemelte ki.

Irodalom

Dévényi D. és Gulyás O., 1988: Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában. Tankönyvkiadó, Budapest.

Dévényi D., 1991: A műholdas eredetű adatok alkalmazása a meteorológiai mezők objektív analizésében. ELTE TTK kandidátusi értekezés.

Sáhó Á., 2009: In memoriam Dévényi Dezső. *Léggör* 54(4), 11-12.

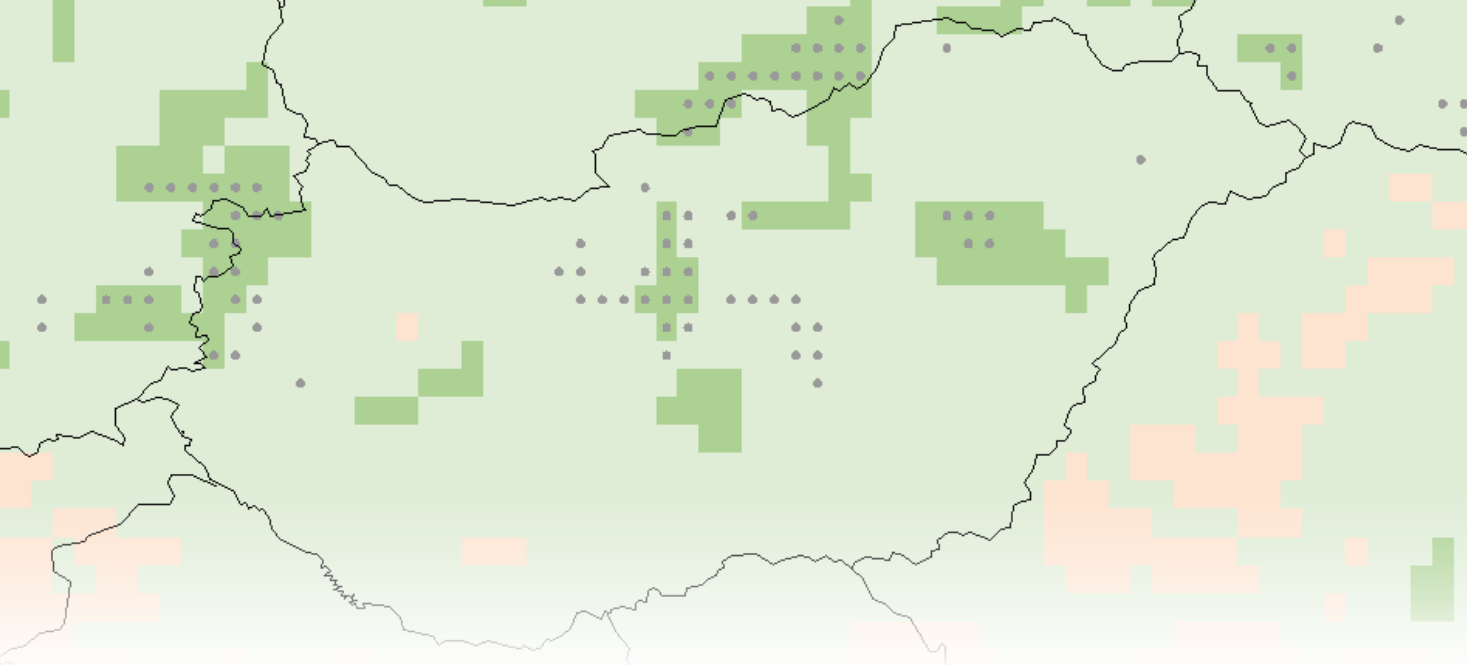
Tasnádi P., 2014: Dévényi Dezső a tanár. In *Dévényi Dezső Emlékkötet*, 83–87.

A DÉVÉNYI DEZSŐ NUMERIKUS PROGNOZSTIKAI EMLÉKÉREM DÍJÁTADÓJA

2011 óta Dévényi Dezső kollégái, barátai és családja rendszeresen díjat ad át egy olyan fiatal kutatónak, aki maradandó teljesítményt nyújtott azon meteorológiai szakterületek valamelyikén, amelyeken Dezső is tevékenykedett. A megemlékezésekkel és a díjazott előadásával egybekötött ünnepi ceremóniát 2023. december 7-én tartották az OMSZ székházában. A névre szólóan gravírozott „Dévényi Dezső Numerikus Prognosztikai Emlékérmet”, valamint a vele járó 80 ezer forint értékű könyvtalványt ebben az évben *Mile Máté*, a Norvég Meteorológiai Szolgálat munkatársa vehette át az északi poláris területekre szóló számszerű időjárás-előrejelzésekre kifejlesztett műholdadat asszimilációjával foglalkozó PhD értekezéséért. A díjazottnak ezúton is gratulálunk!



Radnóti Gábor átadja a díjat Mile Máténak.



Utánpótlás-nevelés a numerikus modellezés szakterületen

Szépszó Gabriella

HungaroMet Nonprofit Zrt, szépszog@met.hu

DOI:10.56474/legkor.2024.1.2

A modellezés iránt érdeklődő meteorológus hallgatók számára az egyetemi képzésük kulcseleme a numerikus modellezés oktatása, aminek alapját az ELTÉ-n a numerikus előrejelzés című tantárgy jelenti. A tantárgy többévtizedes múltra tekint vissza, mely miközben megtanítja a meteorológiai modellekben használt numerikus módszerek elméleti hátterét, lehetőséget ad a hallgatóknak a gyakorlati alkalmazásra is, évről évre követve a szakterület fejlesztéseit. Az órákat a HungaroMet Nonprofit Zrt. szakemberei tartják, akik így közvetlen kapcsolatba tudnak kerülni leendő munkatársaikkal. A jelen írás a Magyar Meteorológiai Társaság Dévényi Dezső születésének 75. évfordulójára 2023. december 7-én rendezett ülésen elhangzott előadás összefoglalója.

Education of new numerical modelling experts in meteorology

For meteorologist students at the Eötvös Loránd University who intend to work in the area of modelling, the graduate course entitled Numerical Modelling is of key importance. This course dates back to the 1980s; it explains the theoretical background of the numerical methods applied in meteorology and provides room for practical modelling following the evolution of the area. The lectures are given by modelling practitioners of the meteorological service, who can get in touch with their potential colleagues in this way. The current paper is a summary of the presentation shown in the event organized by the Hungarian Meteorological Society in memory of Dezső Dévényi for his 75th birthday anniversary.

Bevezetés

A numerikus prognosztika, a klímamodellezés vagy a levegőminőségi előrejelzések iránt érdeklődő meteorológus hallgatók számára egyetemi képzésük során nagy jelentősége van a modellezéshez kapcsolódó kurzusoknak. Ezek egyik legfontosabbja a numerikus előrejelzés elnevezésű tantárgy. A kurzus az elméleti és gyakorlati alapok elsajátítása

mellett szemléletmódot is kíván adni a hallgatók számára, amire később a munkájuk során is támaszkodhatnak. Ezek között külön hangsúlyozza az éghajlati és a rövidtávú modellezés közös gyökerét és módszertanát, kiemelten foglalkozik a modellezés közelítő jellegével, valamint az ensemble előrejelzések fontosságával és helyes értelmezésével. Az alábbiakban röviden áttekintjük a numerikus modellezés oktatásának alakulását az elmúlt évtizedek alatt.

Tematika

A numerikus előrejelzés tantárgy 2 félévet ölel fel: az első szemeszter inkább az elméleti alapokra szorítkozik, míg a második gyakorlatiasabb. A tematika épít a szilárd matematikai, fizikai és dinamikus meteorológiai alapokra. Az első órákat a 80-as években Dévényi Dezső adta, aki az „orosz iskolát” követve nagy hangsúlyt fektetett a pontos és mély matematikai háttérre, az adatasszimiláció témájában például részletesen ismertette *Lev Gangyin* számításait. Dezső az órákat kézzel írt jegyzetei alapján tartotta (*Dévényi, 1991*), s a hallgatónak a sikeres vizsgázáshoz érdemes volt az előadásokat látogatni. Amikor egyre több időt töltött az Egyesült Államokban, fiatal kollégáit is bevonta az oktatásba: a 90-es évektől *Horányi András* az adatasszimiláció és a Galjorkin-módszerek, míg *Radnóti Gábor* a véges differencia módszerek és a numerikus stabilitás témájában tartotta megosztva az órákat, illetve időnként *Ihász István* is beugrott.

András és Gábor új fejezetekkel is kiegészítették a tananyagot: például míg Dezső elsősorban az optimális interpolációról beszélt az adatasszimiláció témakörében, András és Gábor bővítette ezt a részt a variációs módszerekkel, amihez az ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) továbbképzésére (*Bouttier and Courtier, 1999*) támaszkodtak. Több írott dokumentum is készült ebben az időben, például a Galjorkin-módszerekről a Haltiner-könyv (*Haltiner and Williams, 1983*) alapján. Az egyes fejezetek megértését számos papíron és táblán megoldható számítási példa segíti, melyek a mai napig részei a tananyagnak (egyébként az órákat akkor még írásvetítő segítségével tartották).

Gábor ECMWF-be való távozása után az óráit 2004-től *Szépszó Gabriella* vette át, és vele együtt *Hágel Edit* is csatlakozott az oktatókhoz. Kettejüknek köszönhető a tananyag nagy részének prezentációs formába öntése, az óra honlapjának kialakítása, a diszkretizációs módszerekről, a Galjorkin-módszerekről és az ensemble előrejelzésekről szóló fejezetek kisebb megújítása (pl. *Kalnay, 2002* alapján), valamint a re-analízisekről és az oldalsó határfeltételekről szóló előadások. Később *Böloni Gergely* bővítette az adatasszimilációt a Kálmán-filter elmélettel, illetve *Szűcs Mihálynak* köszönhetően kapnak a hallgatók ma részletes áttekintést a különböző perturbációs módszerekről. András, Gergely, Mihály és Gabriella 2013-ban két egyetemi jegyzetet is készítettek: az egyik (*Szépszó et al., 2013*) a főbb témaköröket tekinti át, a másik (*Szépszó, 2013*) pedig egy példatár. A parametizációk témájával *Práger Tamás* javaslatára bővült a tananyag, ezt az előadást *Allaga-Zsebeházi*

Gabriella gondozza. Az oktatók legfiatalabb generációja, *Jávorné Radnóczy Katalin* és *Kardos-Várkonyi Anikó* csatlakozásával az oktatásban használt eszközök is tovább bővültek, például gyakorlásra is használható, online megoldható kvíz kérdéssorokkal.

A kurzus 2. féléve mindig a hallgatók aktivizálását tűzte ki célul. Ebben a szemeszterben a 2010-es évekig olyan modellezési témákat dolgoztak fel a hallgatók, amiknek a részletes tárgyalására az előző félévben nem jutott idő. A kapcsolódó cikkek feldolgozása után a diákok előadást tartottak például az inicializációról, a szinguláris vektorok módszeréről vagy klímadinamikai témákról. 2010-től felkérés érkezett az ELTE Alkalmazott Analízis és Számításmatematikai Tanszékétől a Modellalkotás és természettudományos alkalmazások című gyakorlat oktatására. 2013-ban a mindkét tantárgyért felelős *Szépszó Gabriella* kísérleti jelleggel összevonta őket és kollégáival teljesen megújította a tartalmat. A szemeszter elején több numerikus modellezéshez kapcsolódó gyakorlati problémát kínálnak fel és mutatnak be. Miután a hallgatók ezek közül választottak, témavezetők segítségével kis csoportokban dolgozzák fel a témákat, az ahhoz kapcsolódó cikkek és szakirodalom áttekintésével, illetve a gyakorlati problémák numerikus szimulációjával. A szimulációkat többnyire az OMSZ szuperszámítógépén végzik, ahol az elmúlt években a különböző feladatokban használták az ALADIN/CHAPEAU, az OpenIFS (*Szépszó et al., 2019*), a SURFEX, az AROME és a Lorenz modelleket. Az elképzelés szerint a meteorológus és az alkalmazott matematikus hallgatók a vegyes csoportokban kölcsönösen megismerhetik az elmélet és a gyakorlat kapcsolatát, aminek hasznát vehetik későbbi pályafutásuk során is, amikor más tudományágak, szakterületek képviselőivel kell együttműködniük. A félév végén a csoportok bemutatják egymásnak és a többi témavezetőnek az elvégzett munkájukat. Az azóta is összevont kurzusra jelentkező hallgatók általában motiváltan dolgoznak a félév során. Ezt a következő idézet is bizonyítja, mely egy a diákoktól az évek során kapott pozitív visszajelzések közül: „Nagyon hasznosnak éreztem, hogy csoportokban kellett dolgoznunk, hiszen a későbbiekben ez elengedhetetlen, és érződött is, hogy e téren még sokat kell fejlődnünk. Szintén pozitívum, hogy a kurzust az Országos Meteorológiai Szolgálat numerikus modellezői tartották, így tőlük a legkorszerűbb tudást kaptuk meg. Véleményem szerint a numerikus előrejelzés 2. az egyik legjobb tantárgy volt az 5 év során, feltette az i-re a pontot, hiszen a megszerzett tudásra építve valós, korszerű feladatokon kellett csoportokban dolgoznunk.”

Az egyetemi keretrendszer

Mind a korábbi osztatlan, mind a jelenlegi bolognai rendszerre épülő egyetemi meteorológus képzésben a numerikus előrejelzésre az utolsó évben kerül sor. Ennek köszönhetően a modellezési szakterület, különösen a meteorológiai szolgálatnál folyó modellezés máig jelentős hátránnyal indul a szakdolgozók és diplomamunkázók bevezetésében, hiszen legkésőbb az utolsó előtti év nyarán a hallgatók már megkezdik a választott témájukkal kapcsolatos munkát. A tantárgy kötelező vagy választható jellege többször változott az elmúlt évtizedekben. Az osztatlan képzés során a teljesítése kötelező előfeltétele volt a meteorológus diploma megszerzésének. A bolognai rendszer kezdetén (ami a numerikus előrejelzés tantárgyat 2010-ben érte el) a Meteorológiai Tanszék kezdeményezésére csak a 2. félév maradt kötelező. Emiatt évekig az a furcsa helyzet állt fenn, hogy a hallgatóknak anélkül kellett gyakorlati feladatokkal foglalkozniuk, hogy előtte az elméleti háttérrel tanultak volna. Az OMSZ kérésére végül kötelezővé tették az 1. szemesztert (a 2. szemesztert pedig választhatóvá), de csak az időjárás-előrejelző szakirány számára. Az éghajlatkutató szakirány tananyagában így a modellezés marginális szerepet kapott, ami nem tűnt logikusnak tekintetbe véve, hogy Magyarországon már 2004 óta modellezési eszközökkel kutatják a jövőben várható éghajlatváltozást. Mára – részben az alacsony hallgató létszám miatt – a két szakirány egybeolvadt.

Az elhelyezkedés után

A modellező szakember képzése nem áll meg az egyetemi oktatással. Az elhelyezkedés után a pályakezdőnek számos tudnivalót kell elsajátítania. Az egyetemen hallgatott órák csak a meteorológiai modellezés felszínét érintik, így először is egy alapos irodalmi áttekintésre van szükség, ami mindig ahhoz a részterülethez kapcsolódik, amivel a kolléga foglalkozni fog. A meteorológiai szolgálatnál végzett fejlesztések azt a célt szolgálják, hogy az operatív modell-előrejelzések fokozatosan pontosabbak legyenek, s ez a közvetlen hasznosíthatóság nagy vonzereje az itt folytatott modellezési tevékenységnek. Sokak számára nem ismert, hogy a HungaroMetnél is van lehetőség doktori kutatással foglalkozni a fejlesztések irányvonalához kapcsolódó témákban. A fejlesztési folyamat során számos modellkísérlet elvégzésére van szükség, ehhez az ifjú munkatársnak meg kell ismernie a HungaroMet nagyszámítógépes és operatív futtatási környezetét; meg kell tanulnia a kísérletek

megszervezését mind szakmailag, mind az elérhető erőforrásokkal való gazdálkodás tekintetében; lényegében munka közben sajátítja el a verifikáció és az eredmények értelmezésének módszertanát. Ebben a hasonló témában dolgozó munkatársak is segítségére vannak, de idővel gyorsan nő az új kolléga felelőssége. A HungaroMetben végzett fejlesztői tevékenység az önálló és a csapatmunka elegye: általában minden munkatárs visz egy konkrét részterületet, míg az eredmények értelmezése és a célok kitűzése közösen történik. Kislétszámú csapatról lévén szó, az egymástól való tanulás lehetősége néhány év után kimerül, ezért a fejlődéshez elengedhetetlenek a nemzetközi kapcsolatok és továbbképzések. Ehhez kitűnő alapot adnak a konferenciák, a workshopok vagy az ECMWF képzései, de még inkább gyakorlat-orientált fejlődést tesznek lehetővé azok az ACCORD (A Consortium for CONvection-scale modelling Research and Development) és az RC-LACE (Regional Cooperation for Limited Area Modeling in Central Europe) modellezési konzorciumok által biztosított kutatói kiküldetések, amelyek során a kollégák általában 1-4 hetet töltenek egy fogadó intézménynél, és az ottani szakértőkkel közösen dolgoznak egy témán. Mindez igényli az angol nyelv bátor használatát, ugyanakkor a magyar modellezők az így szerzett tapasztalat birtokában nemzetközi munkakörnyezetben is megállják a helyüket.

Irodalom

- Bouttier F., Courtier P.*, 1999: Data assimilation concepts and methods. ECMWF, *Meteorological Training Course Lecture Series*.
- Dévényi D.*, 1991: Numerikus előrejelzés, 2. rész. Kézirat.
- Haltiner, G.J., Williams, R.T.*, 1983: Numerical Prediction and Dynamic Meteorology, 2nd Edition. J. Wiley & Sons Ltd.
- Kalnay, E.*, 2002: Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability. Cambridge University Press.
- Szépszó G.*, 2013: Feladatok a numerikus prognosztika témaköréből. In: Klasszikus dinamikus meteorológia feladatgyűjtemény II. (szerkesztette: *Weidinger T., Tasnádi P.*), elektronikus egyetemi jegyzet.
- Szépszó G., Bölöni G., Horányi A., Szűcs M.*, 2013: A numerikus időjárás modellek felépítése: tér- és időskála, adattaszimuláció, diszkretizáció, parametrizációk, valószínűségi előrejelzések, éghajlati modellezés. In: Alkalmazott számszerű előrejelzés (szerkesztette: *Weidinger T., Gyöngyösi A.Z.*), elektronikus egyetemi jegyzet.
- Szépszó, G., Sinclair, V., Carver, G.*, 2019: Using the ECMWF OpenIFS model and state-of-the-art training techniques in meteorological education. *Advances in Science and Research* 16, 39–47.



Metán: az ózonképződéstől az éghajlatváltozásig

Haszpra László

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

DOI: 10.56474/legkor.2024.1.3

A metán a légkörben legnagyobb mennyiségben előforduló szerves vegyület. Kémiai reakciói révén meghatározó szerepet tölt be a troposferikus ózonképződésben, üvegházhatású gázként pedig nem elhanyagolható mértékben befolyásolja a Föld éghajlatát. A tanulmány áttekinti a légköri metán forrásait és nyelőit, a metán által vezérelt légköri kémiai folyamatokat, továbbá a metánkoncentráció időbeli alakulását.

Methane: from ozone formation to climate change

Methane is the most abundant organic compound in the atmosphere. Through its chemical reactions, it plays a major role in the formation of tropospheric ozone, and as a greenhouse gas, it has a non-negligible influence on the Earth's climate. The paper reviews the sources and sinks of atmospheric methane, the chemical processes driven by methane, and the evolution of the atmospheric methane concentration.

Bevezetés

A légkört alkotó nyomgázok között mennyiségi szempontból a metán meglehetősen előkelő helyet foglal el. Az oxigén után a második legnagyobb mennyiségben jelen lévő kémiaiilag reaktívnek mondható anyag a száraz levegőben, emellett fizikai tulajdonságai miatt jelentős hatást gyakorol a Föld éghajlatára is.

A metán felfedezése Alessandro Volta nevéhez fűződik, aki 1777-ben tette közzé, hogy a mocsarakból feltörő légbuborékokban éghető gázt azonosított (*Volta*, 1777). A jelenségből, mai szemmel nézve, következtetett volna arra, hogy akkor a metán bizonyára a levegőben is megtalálható, de ez nem történt meg. Így, e felismerés hiányában, a metán légköri jelenlétének felfedezését általában Marcel Migeotte flamand csilla-

gász nevéhez kötik, aki 1948-ban a légkörön áthatoló napsugárzás infravörös spektrumát elemezve bukkant a metánra (*Migeotte*, 1948).

A metán forrásai és nyelői

Metán képződhet biogén, pirogén és termogén módon. Biogén metánról akkor beszélünk, amikor a szerves anyagok anaerob lebontása során a metanogén mikroorganizmusok anyagcseretermékeként keletkezik metán. Ilyen folyamatok zajlanak a lápos, mocsaras, vizenyős területeken, a hasonló környezetet mutató rizsföldeken, a szerves hulladékok lebomlása, kezelése során, de ez történik a természetes és a kérődzők emésztőrendszerében is. A szerves anyagok tökéletlen égése során keletkező metán a pirogén metán.

Ez a biomassza égésekor, égetésekor, illetve a biomasszából készülő bioüzemanyagok felhasználása során kerülhet a levegőbe. A föld mélyébe süllyedő szerves anyagokból a nagy nyomás és magas hőmérséklet hatására is keletkezhet metán. Az ily módon keletkező metánt nevezzük termogén metánnak. Ez jelenik meg a kőolaj és széntelepek kísérőgázában, ez alkotja a földgáz döntő részét, de a különböző vulkanikus jellegű folyamatokból felszabaduló metán is jellemzően termogén eredetű.

A metán egy szénatomból és négy hidrogénatomból álló molekula (CH_4), amelyben a szén lehet 12-es, 13-as és 14-es tömegszámú, míg a hidrogén 1-es, 2-es és 3-as tömegszámú. Legnagyobb gyakorisággal a könnyű, 12-es tömegszámú szénből és könnyű hidrogénatomból álló metánmolekulákkal ($^{12}\text{C}^1\text{H}_4$) találkozunk, de néhány más izotopológia¹ is mérhető mennyiségben van jelen a természetben (pl. $^{13}\text{C}^1\text{H}_4$, $^{12}\text{C}^1\text{H}_3^2\text{H}$, $^{13}\text{C}^1\text{H}_3^2\text{H}$ stb.). A különböző folyamatokban a metánizotopológok más és más arányban keletkeznek, ezért az izotópösszetétel-vizsgálatok segítenek a források beazonosításában (Sherwood *et al.*, 2017).

A globális metánkibocsátást, hasonlóan más légköri nyomanyagok kibocsátásához, két módon becsülhetjük meg. Egyrészt általánosíthatjuk az egyes jellemző forrástípusokra vonatkozó közvetlen hozamméréseket, mintegy alulról felfelé megbecsülve a légkörbe kerülő teljes anyagmennyiséget. Ezt az „alulról felfelé” módszert a szaknyelv bottom-up közelítésnek nevezi. Másrészt kihasználhatjuk, hogy a légköri koncentráció tér- és időbeli változásaiból, a légköri terjedést figyelembe véve, „felülről lefelé” következtethetünk a különböző földrajzi területek kibocsátására (top-down közelítés), melyeket összegezhethetünk. A top-down megközelítéssel csak területekre tudunk forráshozamot becsülni. Forrástípusra vonatkozó adatot csak akkor kaphatunk, ha az adott forrástípus a számítási területet kizárólagosan jellemzi (pl. óceán). A területi felbontást erősen korlátozza a rendelkezésre álló mérőhálózat sűrűsége, illetve a terjedési modellek bizonytalansága. Elvileg a bottom-up és a top-down közelítésnek ugyanarra a globális kibocsátásértékre kell vezetnie. Mindkét eljárásnak megvannak azonban a módszertani problémái, melyek miatt kisebb-nagyobb mértékben eltérő eredményre vezetnek. A globális természetes metánkibocsátás esetében az eltérés különösen nagy, jelezve a becslések nagy bizonytalansági tartományát (1. táblázat). Az eseti, pontszerű méréseken alapuló bottom-up becslés lényegesen nagyobb hozamokat becsül az édesvízi és geológiai forrásokra, mint a top-down megközelítés (Saunois *et al.*, 2020).

Természetes források	Tg/év
folyók, tavak	159 (117-212)
mocsarak, lápok	149 (102-182)
geológiai források	45 (18-65)
természetes	9 (3-15)
óceánok	6 (4-10)
vadon élő állatok	2 (1-7)
permafroszt	1 (0-1)
Összesen (bottom-up)	371 (245-488)
Összesen (top-down)	215 (183-248)

Antropogén források	Tg/év
állattenyésztés	109 (106-115)
olaj- és földgázkiterm.	70 (68-73)
hulladékkezelés	64 (55-77)
szénbányászat	38 (36-39)
rizstermesztés	31 (25-37)
biomassza égetés	17 (14-26)
bioüzemanyagok	10 (8-13)
közlekedés	5 (1-11)
ipari folyamatok	3 (1-5)
Összesen	356 (335-383)

1. táblázat. A természetes és antropogén metánkibocsátás 2008-2017 között és a becslések bizonytalansági tartománya (Canadell *et al.*, 2021). Az adatok kis mértékben eltérnek a Saunois és munkatársai által számított (Saunois *et al.*, 2020), a *Légkör 2022.* évi 2. számában is idézett (Haszpra, 2022) értékektől az időközben elvégzett pontosítások miatt.

Az antropogén források becslése kevésbé bizonytalan, a kétféle megközelítés lényegében egyező eredményt ad (1. táblázat). A legnagyobb tétel az állattenyésztés, a kérődzők metabolizmusa és a kapcsolódó trágyakezelés. A második legnagyobb tétel a kőolaj- és földgázkitermelés, a gázvezetékek szivárgása. A szénbányákban a széntelepek kísérőgázaként van jelen a metán, a süjtőlég, amelyet mindenképpen ki kell szellőztetni a robbanásveszély elkerülésére. Hasonló nagyságrendű a rizstermesztés metánkibocsátása, ami a vízzel elárasztott termőföldeken zajló anaerob bomlás eredménye. Mindent összevetve, napjainkban a légkörbe kerülő metán 50–60%-a antropogén eredetű lehet.

¹ Azokat az azonos atomi összetételű és szerkezetű molekulákat nevezzük izotopológoknak, melyek csak izotópösszetételükben térnek el egymástól.

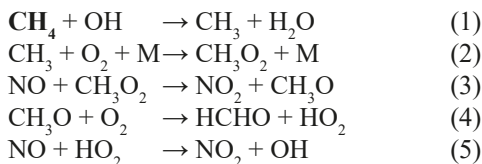
Feltételezve egy (kvázi)stabil összetételű légkört, ami bekerül, annak valamilyen formában, valamilyen módon ki is kell kerülnie onnan (2. táblázat). A metán egy kis része a talaj felé távozik a troposzférából: a talajlakó metanotróf mikroorganizmusok feldolgozzák, szén-dioxiddá oxidálják. A troposzférából a talaj felé távozó metánmennyiséghez hasonló mennyiség távozik a sztratoszférába. A légkörbe kerülő metán bő 90%-át azonban a troposzférikus kémiai reakciók távolítják el a levegőből. Itt a döntő szerepet a hidroxil gyökkel (OH) való reakció játssza.

Nyelők	Tg/év
talaj	30 (11-49)
sztratoszféra	31 (12-37)
CH ₄ + Cl	11 (1-35)
CH ₄ + OH	560 (483-682)
Összesen (bottom-up)	632 (507-803)
Összesen (top-down)	551 (501-572)

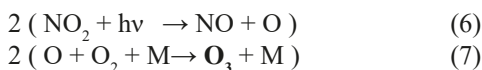
2. táblázat. A troposzférikus metán nyelőfolyamatainak hozama 2008-2017 között és a becslések bizonytalansági tartománya (Canadell et al., 2021).

A metán szerepe az ózonképződésben

A metán oxidációját a hidroxil gyök indítja be. A reakcióláncban képződő szerves és szervetlen gyökök, külső elektronhéjukon párosítatlan elektront tartalmazó, és ezért igen reaktív molekulák, a légkörben természetes módon is jelen lévő nitrogén-monoxidot (NO) nitrogén-dioxiddá oxidálják (NO₂):



Egy metánmolekula oxidációja során két molekula nitrogén-monoxid oxidálódik nitrogén-dioxiddá. A nitrogén-dioxid fény (hv) hatására elbomlik nitrogén-monoxidra és atomos oxigénre, ez utóbbi pedig a levegő oxigénmolekuláival ózonná egyesül:

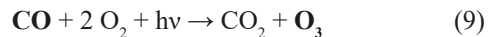


Ha végignézzük a reakcióláncot, akkor azt látjuk, hogy az (1) reakcióban felhasznált hidroxil gyökök

az (5) lépésben visszakapjuk, a keletkező metil (CH₃), metil-peroxi (CH₃O₂), metoxi (CH₃O) és hidroperoxil gyököt (HO₂) pedig fel is használjuk a reakcióláncon belül, de ugyanez történik a (6) reakcióban keletkező atomos oxigénnel is. A (3) és (5) lépésben elhasznált két nitrogén-monoxid molekulát pedig a (6) reakcióval kapjuk vissza. Az összevont, bruttó kémiai reakcióban tehát egy metánmolekulából két ózonmolekula keletkezik:



Az anyagmérleg tekintetében hasonlóan zajlik le a szén-monoxidnak (CO) az ugyancsak a hidroxil gyök által elindított (CO + OH) oxidációja is. Ebben a folyamatban azonban egy szénmonoxid-molekulából csak egy ózonmolekula keletkezik, ahogy ezt az összevont, bruttó reakció mutatja:



Bár a szén-monoxid jóval reaktívabb, mint a metán, légköri koncentrációja azonban egy nagyságrenddel kisebb, és fent látható módon ózonképző hatékonysága is alacsonyabb. A szennyeztetlen troposzférában az ózon döntő része metánból keletkezik, így a metánkoncentráció alakulása kihat a növényi károkat okozó troposzférikus ózon mennyiségére is.

A teljesség kedvéért meg kell említeni, hogy ózon a természetes forrásokból származó reaktív szénhidrogénekből is keletkezik, ezek mennyisége azonban a szennyeztetlen troposzférában csekély, járuléka kicsi. Merőben más azonban a helyzet a szennyezett légkörben. Az emberi kibocsátás, az eleve magas háttérkoncentráció miatt, a metánkoncentrációt ilyen környezetben is csak néhányszor tíz százalékkal növeli, miközben a tiszta levegőben csak nagyon csekély mennyiségben jelen lévő reaktív szénhidrogénekét nagyságrendekkel. Szennyezett területeken ezért az ózonképződésben a reaktív szénhidrogének játsszák a meghatározott szerepet, a metán hozzájárulása olyannyira csekély lehet, hogy adott esetben esetleg el is hanyagolható.

Egy kis reakciókinetikai kitérő

Hogy melyik nyomanyagból mennyi ózon lesz, azt alapvetően meghatározza a kiinduló lépés, az adott anyag és a hidroxil gyök reakciójának a sebessége, az időegység alatt elreagáló molekulák száma. Egy kémiai reakció sebessége, a kiindulási anyagok időegység alatti koncentráció-változása arányos a reakcióban részt vevő anyagok koncentrációjának szorzatával [1].

A reakció végbemenetelének az atomok/molekulák találkozásán kívül energetikai feltétele is van. Ezt fejezi ki a k arányossági tényező, amit az adott reakció sebességi együtthatójának nevezünk. Ha az összefüggést nem a keletkező, hanem az elreagáló, fogyó anyagokra írjuk fel, akkor szükségünk van még egy negatív előjelre is, hiszen az anyagmennyiség csökken:



$$d[A]/dt = -k[A][B], \quad (11)$$

ahol szögletes zárójellel a reakcióban résztvevő anyagok koncentrációját jelöltük. Feltételezve a B reagens állandó koncentrációját és eltekintve attól, hogy a sebességi együttható jellemzően a hőmérséklet függvénye, az A anyag koncentrációjának időbeli alakulása egyszerű formában megadható:

$$[A]_t = [A]_0 e^{-k[B]t}, \quad (12)$$

ahol $[A]_0$ a 0 időpontra, míg $[A]_t$ a t időpillanati koncentrációt jelöli. A fenti feltételek mellett A anyag koncentrációja időben exponenciálisan csökken. Azt az időt, amennyi idő alatt a kiindulási koncentráció e -ad részére csökken az adott anyag (kémiai) élettartamának nevezzük. Átlagos légköri viszonyok között metán esetében ez kb. 12 év, ami jelzi, hogy eléggé mérsékelten reaktív anyagról van szó.

A légkör nagyjából állandó összetétele megköveteli, hogy a kémiai reakciókban fogyatkozó (vagy más módon a légkörből kikerülő) anyagoknak utánpótlása is legyen. Ezért is bátorítottunk a fenti differenciálegyenletben B koncentrációját állandóként kezelni. Az anyagutánpótlást a fenti (11) differenciálegyenletnek egy nyereséget jelző taggal (E) való kibővítésével vehetjük figyelembe:

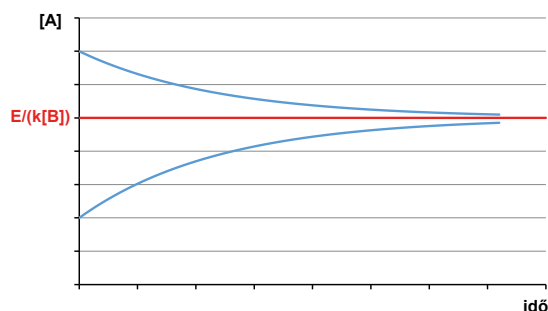
$$d[A]/dt = -k[A][B] + E, \quad (13)$$

Feltételezve ennek a tagnak az állandóságát, A anyag koncentrációjának időbeli alakulása a következő formában írható le:

$$[A]_t = [A]_0 e^{-k[B]t} + E(1 - e^{-k[B]t})/(k[B]) \quad (14)$$

A (14) egyenletben az exponenciális tagok idővel nullához tartanak, ezért a koncentráció exponenciális lefutással egy, az anyagutánpótlás által meghatározott koncentrációhoz tart (1. ábra). Konkrétan, a metánra megfogalmazva: ha a környezeti feltételeket állandónak tekintjük, akkor bármilyen kibocsátáshoz létezik

egy egyensúlyi koncentráció, melynél a koncentráció-függő kémiai fogyás egyensúlyba kerül a kibocsátás általi anyagutánpótlással. Ennek értéke a fentiek alapján $E/(k[B])$.

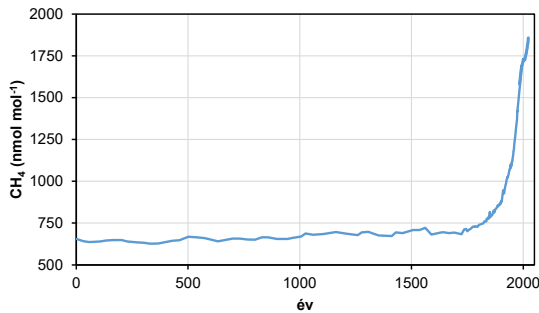


1. ábra. A koncentráció a kiindulási értéktől függően alulról vagy felülről időben exponenciálisan közelít az egyensúlyi értékhez, melynél az időegység alatti koncentráció-függő kémiai fogyás azonossá válik a kibocsátás által a légkörbe juttatott anyagmennyiséggel.

A metánkoncentráció alakulása

A légköri metán forrásainak tárgyalása során láttuk, hogy jelenleg az emberi tevékenység révén kerül a légkörbe a metánmennyiség legalább fele. Ennek nagy része az élelmiszertermeléshez és az energiatermeléshez kapcsolódik, így élelmiszer- és iparstatisztikai adatok böngészése nélkül is sejthető, hogy a távolabbi múltban az emberi kibocsátás lényegesen alacsonyabb lehetett. Az emberiség lélekszámának növekedésével egyre több élelmiszerre lett szükség, így nőtt az állattenyésztéshez és a rizstermesztéshez kapcsolódó metánkibocsátás. Nőtt ezzel a szerves hulladék képződése is. Különösen az elmúlt két-háromszáz évben az energiaigény is intenzív növekedésnek indult. Kezdetben a szén, a 20. századtól pedig egyre inkább a földgáz és a kőolaj is meghatározó energiahordozóvá vált. Az ipari folyamatok mellett belépett a közlekedés is a nagy kibocsátók közé. Összességében az elmúlt évtizedekben, néhány évszázadban jelentősen nőtt az emberi tevékenységhez köthető metánkibocsátás, ennek következtében pedig gyors ütemben nőni kezdett az egyre emelkedő kibocsátáshoz tartozó egyensúlyi szintet elérni próbáló légköri metánkoncentráció is (2. ábra).

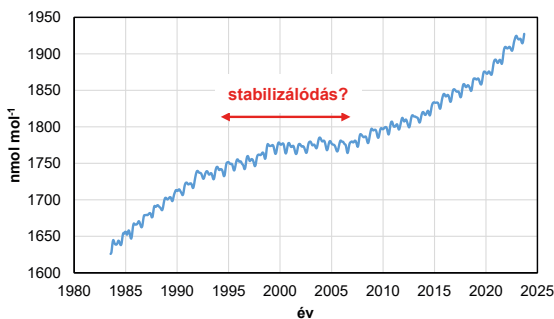
A metán úgynevezett üvegházhatású gáz, amely részben elnyeli a felszínről kiinduló, illetve magából a légkörből származó hőmérsékleti sugárzást. Az elnyelt energiát részben a felszín felé sugározza vissza, szabályozva ezzel bolygónk éghajlatát.



2. ábra. A metán légköri koncentrációjának alakulása a Déli-sarkvidéken időszerű méréseink kezdetétől napjainkig Macfarling Meure et al. (2006) (1-1993) és a NOAA [2] (1983-2022) adatai alapján. Az északi félgömbön tapasztalható magasabb koncentrációk miatt a globális átlagkoncentráció [3] mintegy 50 nmol mol⁻¹-al haladja meg a Déli-sarkvidéken mért értéket².

Az emelkedő metánkoncentráció tehát nem csak a környezetkárosító troposferikus ózon termelődését erősíti, de a Föld éghajlatának megváltozását is okozza. Ráadásul a nagy természetes metánforrások, például a mocsarak, vizenyős területek kibocsátása erősen éghajlatfüggő, azaz az emelkedő koncentráció bonyolult visszacsatolási folyamatokat indít meg. Az iparosodás kezdetétől az emberi tevékenységgel okozott légköri energetikai változásokat a sugárzási kényszerrel jellemezzük. Manapság ennek kb. 22%-át adja a metán, beleértve a sztratoszférában a metán oxidációjából keletkező vízgőzt is (Forster et al., 2021).

Kiterjedtebb rendszeres légköri metánkoncentráció mérések az 1980-as évek óta folynak egyrészt a NOAA globális mérőhálózatában, másrészt a WMO Global Atmosphere Watch program keretében. Az 1990-es évekre a metánkoncentráció emelkedése lelassult,



3. ábra. A metán globális átlagkoncentrációjának alakulása a kiterjedtebb mérések kezdetétől napjainkig a NOAA mérőhálózatának adatai alapján [3].

gyakorlatilag megállt. Ez azt sugallta, hogy a kibocsátás növekedése megállt, stabilizálódott, a koncentráció konvergálni kezdett az adott kibocsátásnak megfelelő egyensúlyi koncentrációhoz (3. ábra). A kibocsátás-becslések bizonytalansága mellett nem lehetett megmondani, hogy mely források kibocsátása csökkent, melyeké nőtt, hogyan állt elő a bruttó kibocsátás stabilizálódása, de tudományosan és éghajlatpolitikailag is jó volt abban bízni, hogy a metánkibocsátás növekedése talán már nem okoz tovább növekvő gondokat – ha már a szén-dioxid kibocsátás mérséklésében egy tapodtat sem sikerült előre lépni. Racionális magyarázatnak tűnt, hogy a Szovjetunió és a kelet-európai országok nehéziparának 1990-es évek elejei összeomlása eredményezhette a globális antropogén metánkibocsátás csökkenését vagy stabilizálódását.

A 2000-es évek végén azonban a koncentráció ismét emelkedni kezdett, és gyorsan kiderült, hogy nem valami természetes ingadozást, hanem egy erőteljesen emelkedő trend kezdetét látjuk. Az emberi kibocsátás növekedéséből ilyen gyors emelkedésre nem lehet következtetni. Felmerült, hogy talán a korábbi évek koncentráció-növekedés-lassulása volt valamilyen természetes anomália, és ez után csupán helyreállt a világ rendje, a gyorsuló növekedést az emberi kibocsátással azonban így sem lehet meggyőző módon alátámasztani.

A metánkoncentráció növekedésének okai

A légköri koncentráció akkor is emelkedik, ha nem a kibocsátás nő, hanem a nyelő gyengül. Amint az (1) reakciónál láttuk, a metánt meghatározó mértékben a hidroxil gyök fogyasztja. A második legfontosabb hidroxil gyök fogyasztó a szén-monoxid. Ha nő a szén-monoxid koncentrációja, akkor elvonja a hidroxil gyökök egy részét a metántól, lassul a metán oxidációja, a kikerülése, így végső soron változatlan kibocsátás mellett is nőni fog a koncentrációja. A légkör szén-monoxid tartalma azonban, ha enyhén is, de tendenciájában inkább csökkenő, mint növekvő (Zheng et al., 2019). Azaz a metán nyelője feltehetően nem csökken. A hidroxil gyök termelődés tartósabb megemelkedésére sem látszik ok, ami a 2000-es évek elején a metánfogyasztás megnövekedésével

² A metán száraz levegőre vonatkozó mol-arányát, melyet a szakirodalomban is gyakran leegyszerűsítve koncentrációként említenek, ma még sok helyen ppb-ben (parts per billion, 10⁹ térfogatrészt) adják meg. A ppb azonban nem SI mértékegység, ezért a mol-arány (koncentráció) megadására egyre inkább a vele számértékben azonos, SI mértékegységen alapuló nmol mol⁻¹ (nanomol/mol) a használatos.

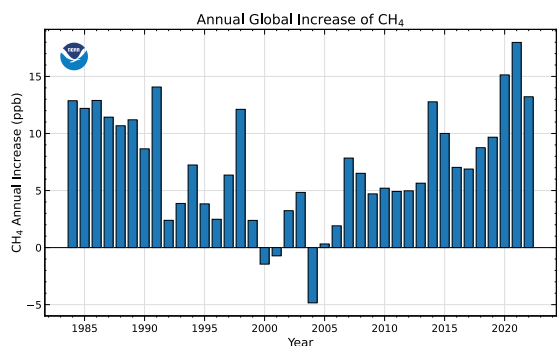
a metánkoncentráció emelkedését lefékezte volna (Zhao *et al.*, 2020). Sajnos, hidroxil gyökből magas reaktivitása miatt olyan kevés van a légkörben (átlagosan csupán minden 10-100 billiomodik molekula a levegőben), hogy mennyiségének közvetlen rendszeres és kiterjedt mérése még jelenleg sem lehetséges.

Ahogy már a metánforrások tárgyalásánál említettük, a különböző források a metánt más és más jellemző izotopológ arányban bocsátják a légkörbe, ami segít a források azonosításában és hozamuk megbecslésében [4]. Ilyen jellegű kutatások Magyarországon is folynak (Varga *et al.*, 2021). Az intenzív iparosodás kezdetétől a közelmúltig a légköri metán fokozatosan egyre „nehezebbé” vált, nőtt a légkörben a $^{13}\text{CH}_4/^{12}\text{CH}_4$ arány, ami a fosszilis eredetű és a biomassza égetésből származó pirogén metán növekvő részarányára utalt (Ferretti *et al.*, 2005). Ez a tendencia azonban éppen akkor fordult meg, amikor a 2000-es évek végén a metánkoncentráció újra növekedésnek indult, ami pedig a biológiai források, a mocsarak, vizenyős területek, az állattenyésztés és a rizstermelés növekvő hozzájárulását jelzi (Lan *et al.*, 2021). Alacsony $^{13}\text{CH}_4/^{12}\text{CH}_4$ arányú metán származhat az elsősorban az óceánfenéken, a kontinentális talapzaton, másodszorban a tundraövezet fagyott talajában felhalmozódott nagymennyiségű metánhidrátból is.

A korábban szintén említett top-down kibocsátás-becslés során a légköri metánkoncentráció tér-és időbeli változásából, valamint a légköri áramlásokra vonatkozó adatokból az úgynevezett inverz terjedési modellekkel megbecsülhető, hogy hol és mennyi metán kerül a levegőbe. Sokan feltételezték, hogy az emberi kibocsátáson túlmutató metánmennyiség a melegedés miatt lassan felengedő, magas szervesanyag-tartalmú permafrosztból kerül a levegőbe. Az inverz terjedési modellek azonban egyértelműen a trópusi területekre mutattak, jelezve, hogy a metánkibocsátás növekményének legalább 50-60%-a innen kerül a levegőbe, míg a maradék más helyekről, illetve antropogén forrásokból (Thompson *et al.*, 2018; Yin *et al.*, 2021; France *et al.*, 2022; Feng *et al.*, 2022; Shaw *et al.*, 2022). A háttérben nagy valószínűséggel maga az éghajlatváltozás áll. Az éghajlatváltozás miatt a trópusi öv egyes részein, főleg Afrikában és az Amazonas-medence nyugati részén a növekvő csapadékmennyiség miatt nő a mocsaras területek kiterjedése és hosszabb ideig maradnak fenn az időszakos mocsarak is. Mindez emelkedő metánkibocsátáshoz vezet (Nisbet, 2023; Zhang *et al.*, 2023).

A 2020-2021-es COVID-járvány miatt az üvegházhatású gázok kibocsátásában meghatározó országok többségében kiterjedt lezárások voltak, melyek jelentősen

visszavetették az ipari termelést és a közlekedést, az energiahordozók iránti igényt. Bár az antropogén metánkibocsátás nagyobb része a mezőgazdasághoz kapcsolódik, az energetikai szektor metánkibocsátásának 2020-ra becsült bő 5%-os csökkenése [5] alapján a metánkoncentráció esetében legalább a növekedés ütemének mérséklődését vártuk. Ezzel szemben 2020-ban a növekedés üteme nagyobb volt, mint bármikor korábban a kiterjedtebb mérések kezdete óta. A tempó 2021-ben tovább nőtt, 2022 pedig a 4. legnagyobb éves növekedési ütemet láttuk (4. ábra).



4. ábra. A légköri metánkoncentráció globális átlagának növekedési üteme a NOAA mérőhálózatának adatai alapján [3].

Felmerült, hogy ennek háttérében esetleg a légkör összetételének átmeneti megváltozása áll. Az ipari és közlekedési kibocsátás csökkenése ugyanis nemcsak a metán kibocsátását, hanem a nitrogén-oxidok légköri koncentrációját is csökkentette, ami az (5) folyamaton keresztül a metán oxidációjához rendelkezésre álló hidroxil gyök mennyiséget csökkentette, ezzel fékezve a metán távozását a légkörből (Stevenson *et al.*, 2022). A becsülhető változások azonban nem elegendők a tapasztalt metánkoncentráció-növekedés megmagyarázásához, és a földrajzi eloszlás sem támasztja alá, hogy ez lenne a fő ok. Nagy valószínűséggel a természetes metánkibocsátás további növekedése is benne van a 2020-ban észlelt erőteljes koncentráció-emelkedésben (Feng *et al.*, 2023).

A növekvő metánkoncentráció erősödő üvegházhatáshoz, gyorsuló éghajlatváltozáshoz és potenciálisan még több metán légkörbe kerüléséhez vezethet. Ez a pozitív visszacsatolás az éghajlatváltozás és a metánkibocsátás között ellehetlenítheti éghajlatvédelmi céljaink elérését.

A cikk a Magyar Meteorológiai Társaság Levegőkörnyezeti Szakosztályának 2023. április 13-i ülésén elhangzott előadás szerkesztett, rövidített változata.

Irodalom

- 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., and 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>, 2021
- Feng, L., Palmer, P. I., Parker, R. J., Lunt, M. F., and Bösch, H., 2023: Methane emissions are predominantly responsible for record-breaking atmospheric methane growth rates in 2020 and 2021, *Atmos. Chem. Phys.*, 23, 4863–4880, <https://doi.org/10.5194/acp-23-4863-2023>, 2023
- Feng, L., Palmer, P. I., Zhu, S., Parker, R. J., and Liu, Y., 2022: Tropical methane emissions explain large fraction of recent changes in global atmospheric methane growth rate, *Nature Communications*, 13, 1378, <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28989-z>, 2022
- Ferretti, D. F., Miller, J. B., White, J. W. C., Etheridge, D. M., Lassez, K. R., Lowe, D. C., Meure, C. M. M., Dreier, M. F., Trudinger, C. M., van Ommen, T. D., and Langenfelds, R. L., 2005: Unexpected changes to the global methane budget over the past 2000 years., *Science*, 309, 1714–1717, <https://doi.org/10.1126/science.1115193> 2005
- Forster, P., Storelvmo, T., Armour, K., Collins, W., Dufresne, J. L., Frame, D., Lunt, D. J., Mauritsen, T., Palmer, M. D., Watanabe, M., Wild, M., and Zhang, H., 2021: The Earth's energy budget, climate feedbacks, and climate sensitivity, 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., 2021.
- France, J. L., Lunt, M. F., Andrade, M., Moreno, I., Ganesan, A. L., Lachlan-Cope, T., Fisher, R. E., Lowry, D., Parker, R. J., Nisbet, E. G., and Jones, A. E., 2022: Very large fluxes of methane measured above Bolivian seasonal wetlands, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119, e2206345119, <https://doi.org/doi:10.1073/pnas.2206345119>, 2022
- Haszpra, L., 2022: Metán a légkörben: kockázatok és lehetőségek, *Légekör*, 67, 70-76, <https://doi.org/10.56474/legkor.2022.2.1>, 2022
- Lan, X., Basu, S., Schwietzke, S., Bruhwiler, L. M. P., Dlugokencky, E. J., Michel, S. E., Sherwood, O. A., Tans, P. P., Thoning, K., Etiope, G., Zhuang, Q., Liu, L., Oh, Y., Miller, J. B., Pétron, G., Vaughn, B. H., and Crippa, M., 2021: Improved Constraints on Global Methane Emissions and Sinks Using $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$, *Global Biogeochemical Cycles*, 35, e2021GB007000, <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2021GB007000>, 2021
- MacFarling Meure, C., Etheridge, D., Trudinger, C., Steele, P., Langenfelds, R., van Ommen, T., Smith, A., and Elkins, J., 2006: Law Dome CO₂, CH₄ and N₂O ice core records extended to 2000 years BP, *Geophysical Research Letters*, 33, L14810, <https://doi.org/10.1029/2006gl026152>, 2006
- Migeotte, M. V., 1948: Methane in the Earth's Atmosphere, *The Astrophysical Journal*, 107, 400–403, <https://doi.org/10.1086/145024>, 1948
- Nisbet, E. G., 2023: Climate feedback on methane from wetlands, *Nature Climate Change*, 13, 421–422, <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01634-3>, 2023
- Saunois, M., Stavert, A. R., Poulter, B., Bousquet, P., Canadell, J. G., Jackson, R. B., Raymond, P. A., Dlugokencky, E. J., Houweling, S., Patra, P. K., Ciais, P., Arora, V. K., Bastviken, D., Bergamaschi, P., Blake, D. R., Brailsford, G., Bruhwiler, L., Carlson, K. M., Carrol, M., Castaldi, S., Chandra, N., Crevoisier, C., Crill, P. M., Covey, K., Curry, C. L., Etiope, G., Frankenberg, C., Gedney, N., Hegglin, M. I., Höglund-Isaksson, L., Hugelius, G., Ishizawa, M., Ito, A., Janssens-Maenhout, G., Jensen, K. M., Joos, F., Kleinen, T., Krummel, P. B., Langenfelds, R. L., Laruelle, G. G., Liu, L., Machida, T., Maksyutov, S., McDonald, K. C., McNorton, J., Miller, P. A., Melton, J. R., Morino, I., Müller, J., Murguía-Flores, F., Naik, V., Niwa, Y., Noce, S., O'Doherty, S., Parker, R. J., Peng, C., Peng, S., Peters, G. P., Prigent, C., Prinn, R., Ramonet, M., Regnier, P., Riley, W. J., Rosentretter, J. A., Segers, A., Simpson, I. J., Shi, H., Smith, S. J., Steele, L. P., Thornton, B. F., Tian, H., Tohjima, Y., Tubiello, F. N., Tsuruta, A., Viovy, N., Voulgarakis, A., Weber, T. S., van Weele, M., van Werf, G. R., Weiss, R. F., Worthy, D., Wunch, D., Yin, Y., Yoshida, Y., Zhang, W., Zhang, Z., Zhao, Y., Zheng, B., Zhu, Q., and Zhuang, Q., 2020: The Global Methane Budget 2000–2017, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 1561–1623, <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>, 2020
- Shaw, J. T., Allen, G., Barker, P., Pitt, J. R., Pasternak, D., Bauguutte, S. J.-B., Lee, J., Bower, K. N., Daly, M. C., Lunt, M. F., Ganesan, A. L., Vaughan, A. R., Chibeskakunda, F., Lambakasa, M., Fisher, R. E., France, J. L., Lowry, D., Palmer, P. I., Metzger, S., Parker, R. J., Gedney, N., Bateson, P., Cain, M., Lorente, A., Borsdorff, T., and Nisbet, E. G., 2022: Large Methane Emission Fluxes Observed From Tropical Wetlands in Zambia, *Global Biogeochemical Cycles*, 36, e2021GB007261, <https://doi.org/10.1029/2021GB007261>, 2022
- Sherwood, O. A., Schwietzke, S., Arling, V. A., and Etiope, G., 2017: Global inventory of gas geochemistry data from fossil fuel, microbial and burning sources, version 2017, *Earth Syst. Sci. Data*, 9, 639–656, <https://doi.org/10.5194/essd-9-639-2017>, 2017
- Stevenson, D. S., Derwent, R. G., Wild, O., and Collins, W. J., 2022: COVID-19 lockdown emission reductions have the potential to explain over half of the coincident increase in global atmospheric methane, *Atmos. Chem. Phys.*, 22, 14243–14252, <https://doi.org/10.5194/acp-22-14243-2022>, 2022
- Thompson, R. L., Nisbet, E. G., Pisso, I., Stohl, A., Blake, D., Dlugokencky, E. J., Helmig, D., and White, J. W. C., 2018: Variability in atmospheric methane from fossil fuel and microbial sources over the last three decades, *Geophysical Research Letters*, 45, 11499–11508, <https://doi.org/10.1029/2018GL078127>, 2018
- Varga, T., Fisher, R. E., France, J. L., Haszpra, L., Jull, A. J. T., Lowry, D., Major, I., Molnár, M., Nisbet, E. G., and László, E., 2021: Identification of potential methane source regions in Europe using $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ measurements and trajectory modeling, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126, e2020JD033963, <https://doi.org/10.1029/2020JD033963>, 2021
- Volta, A., 1777: Sull' aria infiammabile nativa delle paludi, Nella Stamperia di Giuseppe Marelli, 1777.
- Yin, Y., Chevallier, F., Ciais, P., Bousquet, P., Saunois, M., Zheng, B., Worden, J., Bloom, A. A., Parker, R. J., Jacob, D. J., Dlugokencky, E. J., and Frankenberg, C., 2021: Accelerating methane growth rate from 2010 to 2017: leading contributions from the tropics and East Asia, *Atmos. Chem. Phys.*, 21, 12631–12647, <https://doi.org/10.5194/acp-21-12631-2021>, 2021
- Zhang, Z., Poulter, B., Feldman, A. F., Ying, Q., Ciais, P., Peng, S., and Li, X., 2023: Recent intensification of wetland methane feedback, *Nature Climate Change*, 13, 430–433, <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01629-0>, 2023
- Zhao, Y., Saunois, M., Bousquet, P., Lin, X., Berchet, A., Hegglin, M. I., Canadell, J. G., Jackson, R. B., Deushi, M., Jöckel, P., Kinnison, D., Kirner, O., Strode, S., Tilmes, S., Dlugokencky, E. J., and Zheng, B., 2020: On the role of trend and variability in the hydroxyl radical (OH) in the global methane budget, *Atmos. Chem. Phys.*, 20, 13011–13022, <https://doi.org/10.5194/acp-20-13011-2020>, 2020
- Zheng, B., Chevallier, F., Yin, Y., Ciais, P., Fortems-Cheiney, A., Deeter, M. N., Parker, R. J., Wang, Y., Worden, H. M., and Zhao, Y., 2019: Global atmospheric carbon monoxide budget 2000–2017 inferred from multi-species atmospheric inversions, *Earth Syst. Sci. Data*, 11, 1411–1436, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1411-2019>, 2019

[1] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Reakcióössesség> (2023.05.12.)

[2] <https://gml.noaa.gov/dv/iadv/graph.php?code=SPO&program=ccgg&type=ts> (2024.01.09.)

[3] https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_ch4/ (2024.01.09.)

[4] <https://research.noaa.gov/article/ArtMID/587/ArticleID/2769/New-analysis-shows-microbial-sources-fueling-rise-of-atmospheric-methane> (2023.05.12.)

[5] <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2023> (2023.05.12.)



Hőmérsékleti extrémumok Európában várható alakulásának elemzése az Éghajlatváltzási Kormányközi Testület Interaktív Atlasza alapján

Divinszki Ferenc, Kis Anna, Pongrácz Rita

ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, difeco01@gmail.com

DOI:10.56474/legkor.2024.1.4

Az ENSZ Éghajlatváltzási Kormányközi Testülete (IPCC) 2021–22-ben publikálta a klímaváltozással kapcsolatos 6. Értékelő jelentését. Ennek részeként elérhetővé vált az adatsorokat, scenáriókat egy helyen összegyűjtő Interaktív Atlasz is. Ennek segítségével cikkünkben a három európai IPCC-nagyrégióban hőmérsékleti extrémumok jövőben várható gyakoriságát vizsgáltuk. Az összehasonlított scenáriók és területek közül a forró napok számában a legnagyobb növekedést az RCP8.5 és a Mediterrán nagyrégió esetén kaptuk (átlagosan 29 nap a 2081–2100 időszakra az 1986–2005 referencia-időszakhoz képest). Összességében a kisebb sugárzási kényszer változások esetén, illetve az Észak-Európa nagyrégióban várhatók kisebb mértékű gyakoriság-növekedések, sőt, itt az RCP2.6 scenárió szerint nem is várható változás a 35 °C-ot meghaladó maximumhőmérsékletű napok évi számában.

The analysis of projected changes in temperature extremes across Europe based on the IPCC Interactive Atlas

The United Nations' Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) recently published its Sixth Assessment Report (AR6) in 2021–22. As an important part of AR6, an Interactive Atlas was provided, which collects the available datasets and scenarios used in climate research. We studied the projected changes in the frequency of temperature extremes in the IPCC WGI reference regions using this Atlas. The greatest increase in the frequency of temperature extremes is expected in the Mediterranean Region, following the RCP8.5 scenario (29 days on average in the annual number of very hot days by 2081–2100 compared to 1986–2005). In general, smaller increases are implied by the lower radiative forcing changes, and in the Northern Europe Region, namely, no changes are projected in the annual number of days with a maximum temperature exceeding 35 °C in the case of RCP2.6.

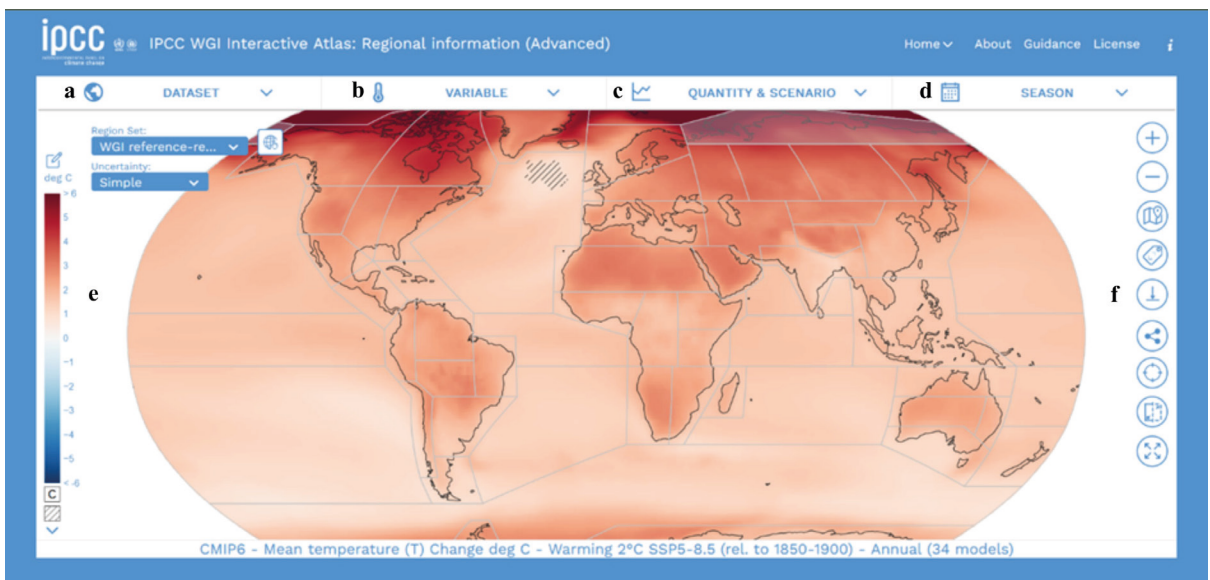
Bevezetés

A klímaváltozást leggyakrabban a globális átlaghőmérséklet növekedésével jellemezzük. Számunkra azonban mégsem a fokozatosan emelkedő hőmérséklet okozza az igazán komoly problémákat, hanem az olyan extrém hőmérsékletek (magas és alacsony egyaránt), amelyekre éppen az eddigi ritka előfordulásuk miatt nem vagyunk kellőképpen felkészülve. Ilyen esetekben a tájékozottság és az egészségügy felkészültsége kiemelten fontos, hiszen a hőmérsékleti extrémumok közvetlen egészségügyi kockázatot jelentenek, elsősorban az idősebbek, a kisgyermekek és a betegségben szenvedők körében. Márpedig a globális felmelegedés során egyre gyakrabban kell hőhullámokra készülnünk Európa-szerte (pl. *Seneviratne et al.*, 2021). 2022 a második legforróbb év volt Európában, a nyugati és déli területeken pedig a valaha detektált legmelegebb a megbízható mérések kezdete óta (*Copernicus Climate Change Service (CS3)*, 2023). Nagy-Britanniában július 19-én a hőmérséklet elérte a 40,3 °C-ot (*Yule et al.*, 2023), Írorszában 1887 óta nem mértek olyan magas hőmérsékletet, mint július 18-án. A hőhullámok Németországra és Svédországra is kiterjedtek. Az északi és a nyugati területek mellett délen is jelentős hőhullámok alakultak ki júniusban és augusztusban (*WMO*, 2023). Olaszországban, Rómában 2022. június elején és végén is több napon át 30 °C-ot meghaladó maximumhőmérsékleteket mértek, a legmagasabbat június 28-án (38,0 °C-ot). 2023-ban az előző évi La

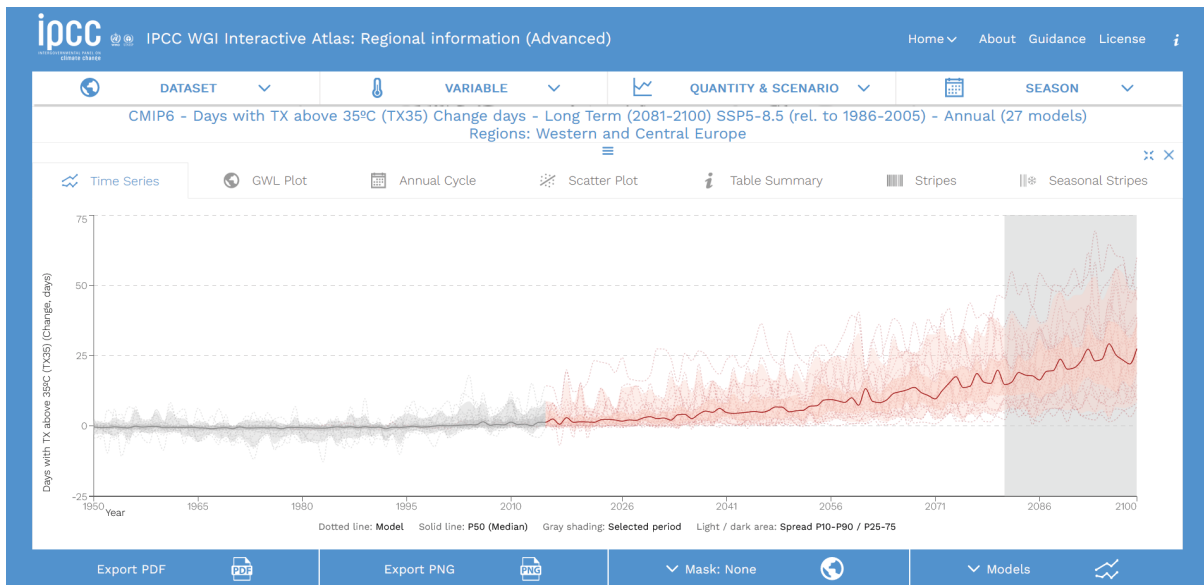
Niña fázist felváltó El Niño hatására [1] még jelentősebb hőmérsékleti extrémumok alakultak ki. Szicíliában több állomáson is 40 °C fölé kúszott a hőmérséklet júliusban [2]. Görögországban és Spanyolországban is hasonló hőmérsékletek uralkodtak, Görögországban több szigeten erdőtüzek súlyosbították a helyzetet. Ezeknek a közelmúltbeli eseményeknek a hatására felmerül a kérdés, milyen folyamatok, növekedési trendek várhatók Európában a század második felében a hőmérsékleti extrémumokban.

Az IPCC Interaktív Atlasza

A fentebb feltett kérdés megválaszolásában a legfontosabb eszközünk az IPCC új, Interaktív Atlasza volt [3], melyet a hatodik jelentésének részeként adott közre az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület 1. Munkacsoportja (*Gutierrez et al.*, 2021; *1. ábra*). A felhasználói felület könnyen kezelhető, és rengeteg lehetőséget biztosít a kutatásra. A múltira vonatkozó különböző, méréseken alapuló adatbázisok is elérhetők (*1. ábra*): például az E-OBS Európára. Az online atlasz jelentős része azonban inkább a jövőre összepontosít, és a vonatkozó legfrissebb, CMIP6 globális klímamodell szimulációs adatbázis mellett lehetőségünk van az ötödik IPCC jelentésben használt, CMIP5 keretében készült globális klímamodell szimulációkat (*Taylor et al.*, 2012), valamint a kontinenseket, nagyobb régiókat tartalmazó regionális klímamodell szimulációkat, azaz a CORDEX



1. ábra. Az IPCC Interaktív Atlaszának felhasználói felülete. A betűjelek a használathoz szükséges legfontosabb paneleket jelzik.



2. ábra. Az IPCC által definiált nagyrégiókra vonatkozó adatok egyik megjelenítési lehetősége. A grafikonon a modellszimulációk évi hőmérsékleti anomália idősorai láthatóak a Nyugat- és Közép-Európa nagyrégióra 1950 és 2100 között, referencia-időszak: 1986–2005.

adatbázisokat (Giorgi et al., 2009) is vizsgálni. Ez utóbbiak még a CMIP5 modellszimulációk leskálázásával készültek. A szimulációk esetén választhatunk a rendelkezésre álló RCP (van Vuuren et al., 2011) és a legújabb SSP scenáriók (Riahi et al., 2017) közül is. Lehetőségünk van korrigált szimulációkat is választani, ebben az esetben azonban a scenáriók száma csökken, mivel az RCP scenáriók közül csak az RCP2.6 és RCP8.5 forgatókönyvek esetén történt meg a központosított hibakorrektúra.

Ezek alapján aztán többféle változó, index jövőbeni várható változását elemezhetjük. Főként a hőmérsékleten, illetve csapadékon alapuló mutatószámok közül választhatunk, például fagyos napok száma, forró napok száma, 5 nap alatt lehullott maximális csapadékmennyiség, vagy egymást követő száraz napok maximális száma, de vizsgálhatjuk a tengervíz változó hőmérsékletét, vagy akár a felszínközeli ózontartalmat is (1.b ábra). Az adatokat, modelledményeket három különböző 20 éves időszakra tudjuk lekérni a közeli jövőtől egészen a 21. század végéig (az Értékelő Jelentésben szereplő időszakokkal összhangban: 2021–2040, 2041–2060, 2081–2100), a változásokat pedig az általunk választott referencia-időszak (erre öt lehetőség áll rendelkezésre: 1850–1900, 1961–1990, 1981–2010, 1986–2005, 1995–2014) értékeihez tudjuk hasonlítani (1.c ábra). Amennyiben az adott index az év bizonyos szakaszában nem releváns, esetleg a vizsgálat csak bizonyos évszakokra terjed ki, leszűkíthetjük az évet

a nekünk megfelelő időszakra, akár egyetlen hónapra is (1.d ábra). A szemléletesség és összehasonlíthatóság érdekében a skálák egyenileg változtathatók (1.e ábra). A már szokásosnak mondható nagyítás, kicsinyítés vagy megosztás funkciók mellett nagyon hasznos része az atlasznak, hogy a képernyőn megjelenő adatok NetCDF, PNG és GeoTIFF formátumban is letölthetőek (1.f ábra). Így az atlasz által megjelenített térképek mellett lehetőségünk van elkészíteni a saját ábráinkat, illetve kisebb területekre szűkíthetjük a vizsgálatunkat (például csak a Magyarországot érintő rácspontok figyelembevételével). A GeoTIFF formátum azt is lehetővé teszi, hogy saját térinformatikai rendszerbe töltsük az adatokat és további feldolgozást végezzünk rajtuk.

Ahogy a felhasználói felületen is látszik, az atlasz fel van osztva az IPCC által meghatározott nagyrégiókra (Iturbide et al., 2021). Az adatokat ezen régiókra specifikusan is meg tudjuk jeleníteni, azokra rákatintva. A felületen akár két térkép is kiválasztható egyszerre, és ezáltal összehasonlítható egymással. Vizsgálhatjuk az adott indexre és régióra vonatkozó modellek idősorait a század végéig (2. ábra), a változó évszakos menetét, vagy a területre vonatkozó, a modellek szimulációja által létrehozott klímacsíkokat. Az ábrázoláshoz számolt adatok ebben az esetben is külön lementhetők.

Elemzésünket az atlasz megjelenítési lehetőségeit, ábráit, diagramjait és táblázatait felhasználva készítettük el. Európát három IPCC-nagyrégió fedte le: az Észak-Európa nagyrégió (NEU), a Nyugat- és

Közép-Európa nagyrégió (WCE; ebben található Magyarország területe), illetve a Mediterrán nagyrégió (MED). A hőségindexek közül ebben a cikkben a 35 °C maximumhőmérséklet feletti napok (TX35, forró napok) éves számának változását vizsgáljuk, az 1986–2005-ös referencia-időszakhoz viszonyítva. A választható adatbázisok közül az EURO-CORDEX adatbázist használtuk fel, mely az elérhető legjobb rácsfelbontással (0,11°) rendelkezik a kontinensre (Jacob et al., 2014). Példaként a scenáriók közül az RCP2.6 azonnali, nagymértékű antropogén kibocsátás-csökkentéssel számoló és az RCP8.5 antropogén kibocsátás-csökkentés nélküli scenárió mellett az RCP4.5-öt használtuk fel (Moss et al., 2010; van Vuuren et al., 2011). Az eredményeket elsősorban a 2041–2060-as, illetve 2081–2100-as időszakra mutatjuk be részletesebben.

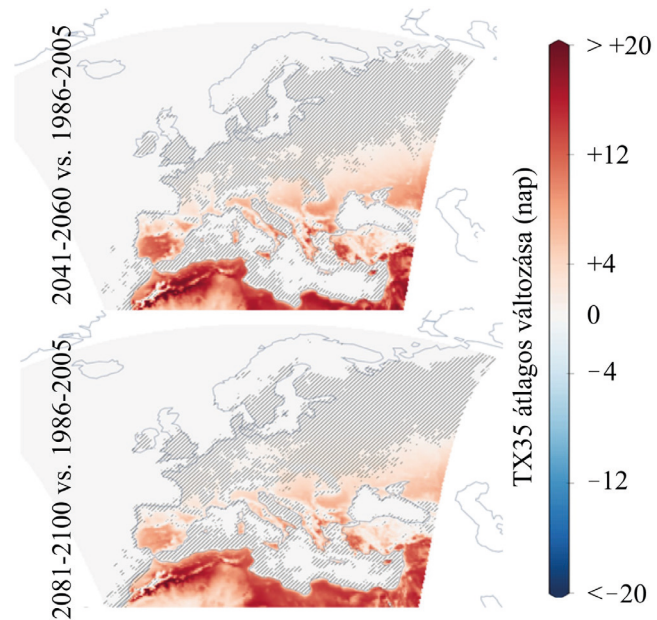
Eredmények

A referencia-időszakhoz viszonyított változások, tendenciák vizsgálatához először érdemes magát az 1986–2005-ös időszakot megfigyelni (3. ábra). A modellfuttatásokkal kapott eredmények alapján látható, hogy a TX35 index eloszlása már a múltban is jelentős területi eltéréseket mutatott az éghajlati különbségek miatt. Elsősorban egy észak-déli irányú növekedés figyelhető meg, míg az észak-európai területeken az index értéke 0 és 5 nap közötti, addig Dél-Európában már akár 35–40 nap is lehetett a 35 °C maximumhőmérséklet feletti napok éves száma. A zonalitás



3. ábra. A forró napok területi eloszlása Európában az 1986–2005-ös referencia-időszakban modellfuttatások alapján (forrás: [3])

mellett a másik fő meghatározó tényező a domborzat. A közbezárt medencékben, mint például a Pó medencéjében, vagy a Kárpát-medencében a környező területekhez képest magasabb, akár 10 napot meghaladó volt a TX35 átlagos éves értéke a referencia-időszakban.

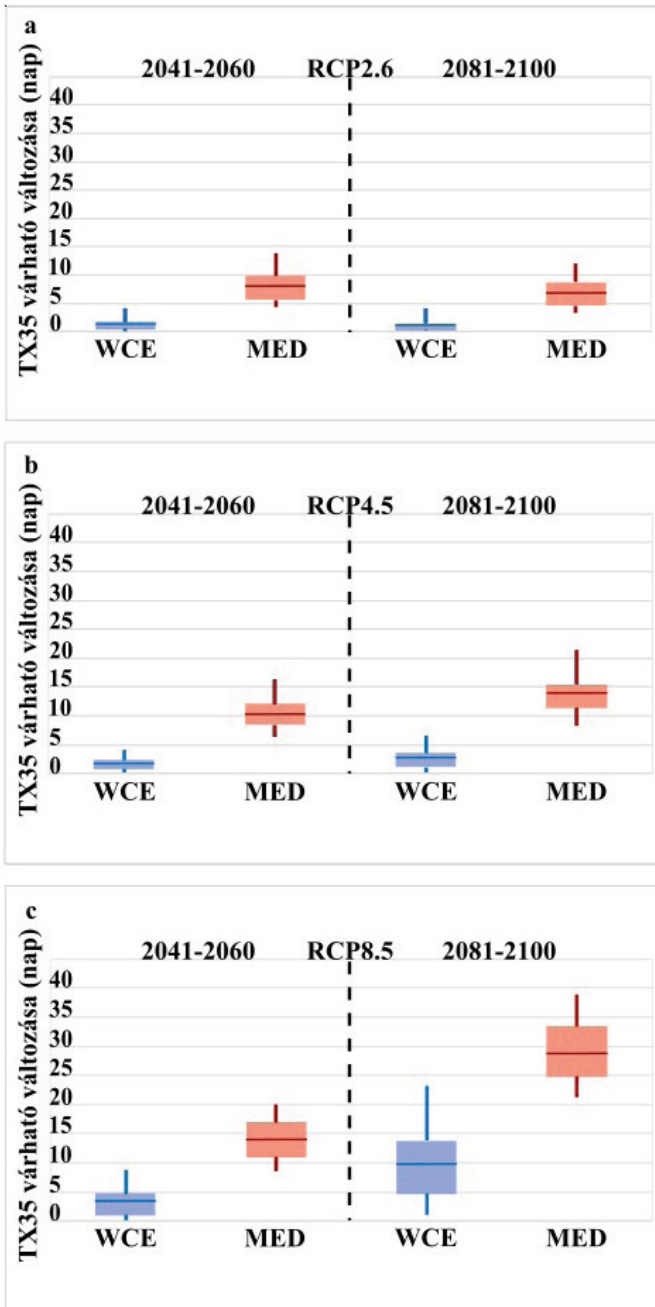


4. ábra. A forró napok várható változása az RCP2.6 scenárió esetén, [3] alapján. A csíkozás a bizonytalanságot jelöli, ezeken a területeken a modellszimulációk kevesebb mint 80%-a mutat ugyanolyan előjelű változást.

A hegyvidéki területeken (például az Alpokban vagy a Pireneusokban) viszont az előbbinél jelentősen kisebb növekedés tapasztalható.

Észak-Európa már a referencia-időszakban sem volt súlyosan érintett terület, ez pedig sem a 2041–2060-as, sem a 2081–2100-as időszakban nem fog változni. Az átlaghőmérséklet ettől függetlenül emelkedik ebben a régióban is (Christensen et al., 2019), de az index által meghatározott, kiugróan magas hőmérsékleti értékek a területi elhelyezkedésből fakadóan a jövőben is rendkívül ritkák maradnak, bármelyik scenáriót is vizsgáljuk.

Az RCP2.6 scenárió a legkisebb többlet sugárzási kényszerrel számoló forgatókönyv (lényegében a Párizsi Megállapodásban szereplő globális 2 °C-os küszöböt nem meghaladó melegedést feltételezi), így a legkisebb növekedés is itt várható a TX35 indexben az európai nagyrégiókban (4. ábra). A Nyugat- és Közép-Európa nagyrégióban, amelyben Magyarország is található, már jelentősebb változás várható, mint Észak-Európában. A növekedés mediánértéke a szimulációk alapján 1,4 nap középtávon és 1,2 nap hosszútávon (5.a ábra). Ennél magasabb a várható növekedés a régió délebben fekvő területein, Franciaországban, a Pó-völgyében, a Kárpát-medencében és Ukrajnában, míg az északabbra fekvő területeken nem lesz jelentős változás a referencia-időszakhoz képest. Ebből látható,

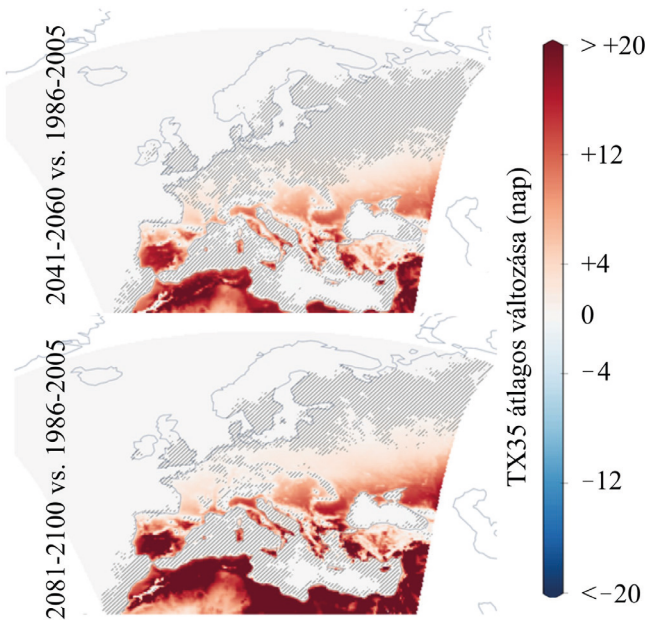


5. ábra. A modellszimulációk alapján várható változások a Nyugat- és Közép-Európa, illetve Mediterrán nagyrégióban az RCP2.6 (a), RCP4.5 (b) és RCP8.5 (c) szcenárió esetén, [3] alapján; referencia-időszak: 1986–2005. A dobozok az alsó- és felső kvartilisek által határolt értékeket, míg a vonalak az 5. és 95. percentiliseket mutatják. A grafikonokat az Interaktív Atlaszból táblázatos formában letölthető adatokból készítettük.

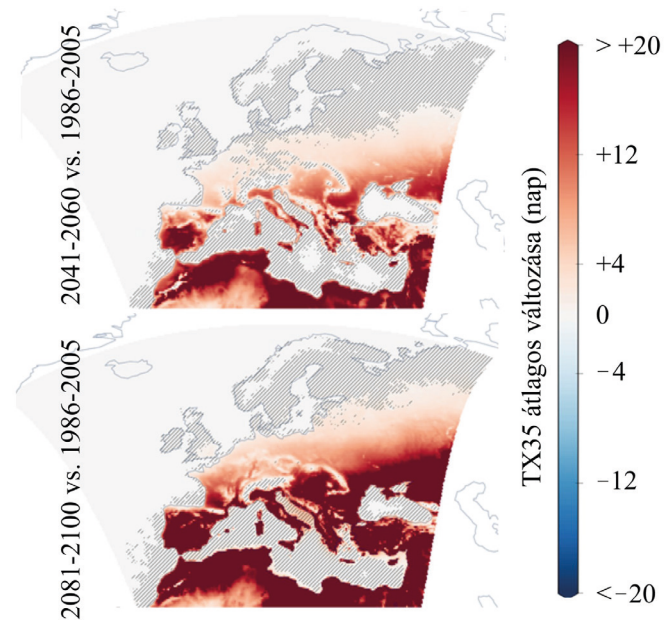
hogy a régió nem homogén, szemben az Észak-Európa nagyrégióval, ahol nem kaptunk jelentősebb területi különbségeket. A földrajzi elhelyezkedés és a domborzat hatásai ugyanis itt már jobban észrevehetők. A legpesszimistább modellszimuláció alapján akár több mint négy napos növekedés is elképzelhető, ehhez képest a legoptimistább várakozások az éves átlagértékben csak minimális, 0,1 napos növekedést vetítenek előre. A szimulációk többsége azonban inkább jelentősebb növekedést jelez, a mediánértékek ugyanis mind a 2041–2060, mind a 2081–2100 időszakban a felső kvartilishez közelítenek. Első pillantásra érdekes, hogy a szimulációk középtávon nagyobb növekedést mutatnak, mint hosszútávon. Ugyanakkor ez valójában mégsem meglepő, hanem a szcenárió jellegéből adódik: mivel az RCP2.6 szcenárión belül az éghajlati kényszer változásának irányában is feltételezünk fordulatot, azaz az évszázad során a sugárzásikényszer-többlet előbb 3 W/m²-re nő, majd a század végére 2,6 W/m²-re csökken.

A harmadik európai nagyrégió, a Mediterrán nagyrégió a másik két területhez képest még nagyobb emelkedésre számíthat a 35 °C maximumhőmérséklet feletti napok éves számában. A növekedés fő központja Dél-Olaszország, Görögország és az Ibériai-félsziget lesz, ezeken a területeken akár 14 nap növekedés is kialakulhat a század közepére, már az RCP2.6 szcenárió esetében is. Ez majdnem duplája a növekedés mediánjának, amely 8,1 nap, illetve 6,8 nap 2041–2060-ra, illetve 2081–2100-ra (5. a ábra). A szimulációk alapján azonban akár majdnem két héttel több forró napra lehet számítani 1986–2005-höz képest a területen mindkét vizsgált időszakban. Mivel már a referencia-időszakban is Európán belül a Földközi-tenger vidéke volt a hőmérsékleti extrémumokkal leginkább sújtott terület, és a többi régióhoz képest a várható növekedés is itt lesz a legnagyobb, így a hatalmas különbség Dél-Európa és a kontinens többi része között tovább fog nőni. Emellett az RCP2.6 szcenárió korábban említett speciális jellege is jobban kidomborodik a szimulációk értékeiben.

Az RCP4.5 szcenárióval futtatott CORDEX szimulációk egyfajta középútat jelentenek az RCP2.6 és RCP8.5 között, azt feltételezve, hogy a fosszilis energiahordozók felhasználását a 21. század közepe felé kezdjük el jelentősebben csökkenteni (6. ábra). Így egyik elvárásunk az volt, hogy a TX35 index növekedése a két véglet között fog alakulni. A másik pedig, hogy mivel az RCP2.6 szcenárióval ellentétben az RCP4.5 folyamatosan (bár lassuló ütemben) emelkedő sugárzási kényszerrel számol, a 2041–2060-as időszakban mutatott növekedésnek alacsonyabbnak kell lennie a 2081 és 2100 közöttinél.



6. ábra. A forró napok várható változása az RCP4.5 scenárió esetén, [3] alapján. A csíkozás a bizonytalanságot jelöli, ezeken a területeken a modellszimulációk kevesebb mint 80%-a mutat ugyanolyan előjelű változást.



7. ábra. A forró napok várható változása az RCP8.5 scenárió esetén, [3] alapján. A csíkozás a bizonytalanságot jelöli, ezeken a területeken a modellszimulációk kevesebb mint 80%-a mutat ugyanolyan előjelű változást.

A Nyugat- és Közép-Európa nagyrégióban már markáns növekedés várható az RCP2.6 scenárióhoz képest. A modellek alapján korábban is jelenlévő területi különbségek megmaradnak, azonban megnő azon területek aránya, ahol a TX35 növekedése kifejezetten jelentős lesz. Az RCP2.6 scenárió által is jelentősen érintett területek az RCP4.5 esetén is jobban érintettek lesznek (például a Kárpát-medence továbbra is ezek közé a területek közé fog tartozni), átlagosan akár 9 nappal is nőhet a forró napok éves száma, ami kiugróan magas ebben a nagyrégióban. Ennél sokkal alacsonyabb, 1,8, illetve 2,7 nap mértékű növekedésre lehet általánosan számítani az 2041–2060, illetve 2081–2100 időszakban, ha az egész nagyrégiót egyben nézzük (5.b ábra). Ez nem tűnik jelentősnek, de az RCP2.6 scenárió szerint a 2041–2060 időszakban várható 1,4 nap növekedésnek majdnem a duplája valószínű az RCP4.5 forgatókönyvet követve, igaz, csak a század végére. Ráadásul a bizonytalanság is megnő az RCP2.6-hoz képest. Bár mindkét scenárió legoptimistább modellszimulációi csupán 0,1 nap növekedést jeleznek, a legpessimistább modellszimuláció az RCP4.5 esetén több mint két nappal nagyobb változást vár, mint az RCP2.6 esetében. A modellszimulációk szórása tehát megnő, és a forró napok éves számának várható növekedése szélesebb tartományt fed le, mint az RCP2.6 esetén.

Ahogy az a Nyugat- és Közép-Európa nagyrégió esetében is elmondható, a Mediterrán nagyrégióban is növekedés várható a forró napok éves számában az RCP2.6 scenárióhoz képest. Más európai területekkel össze sem hasonlítható mértékű növekedés várható, amely Olaszország és Görögország tengerparti, illetve az Ibériai-félsziget belső területein akár 17 nap mértékű is lehet az évszázad végére az 1986–2005-ös időszakhoz viszonyítva. A környezetéhez képest várhatóan kisebb emelkedésre számító területek visszahúzódnak a Pireneusok, a Dinári-hegység és az Appenninek magasabb régióira. A növekedés mediánértéke az RCP2.6 esetén látott 8,1 és 6,8 napról 10,4 és 13,9 napra nő az RCP4.5 scenárió szerint (5.b ábra). Figyelemre méltó, hogy ezek a mediánok az RCP2.6 esetén a 2041–2060 időszakban a szimulációk felső kvartilisébe, a 2081–2100 időszakban pedig a felső 5%-ba tartoznának. A referencia-időszakhoz képest évente átlagosan akár 1–2 héttel több forró nap is kialakulhat középtávon, a század végére pedig, ha a legpessimistább szimuláció valósul meg, nem elképzelhetetlen a háromhetes növekedés sem.

Az RCP8.5 scenárió a CORDEX adatbázis legnagyobb sugárzásokényszer-változással számoló forgatókönyve, a feltételezett változás több mint háromszorosa az RCP2.6-nak és majdnem duplája

az RCP4.5-nek (7. ábra). Így azt várjuk, hogy a legnagyobb növekedés is e scenárió szerint alakul ki a referencia-időszakhoz képest.

A Nyugat- és Közép-Európa nagyrégióban egyértelműen megfigyelhető az elvárt, jelentős növekedés a másik két scenárióhoz képest. A régió egyik jellegzetessége, hogy a szimulációk időbeli előrehaladásával jól láthatóan csökkennek azok a területek, ahol a TX35 index megváltozása nem jelentős. Például a hűvösebb, északra fekvő részeken a 2041–2060-as időszakban még bizonytalan a forró napok éves számának növekedése a referencia-időszakhoz képest, míg 2081–2100-ra nemcsak, hogy egyértelmű, hanem jelentős is lesz az emelkedés. Utóbbi időszakban már csak az Alpok magasán fekvő vonulatai tűnnek ki a sötétvörös árnyalatból, jelezve, hogy a növekedés várhatóan nem lesz jelentős. Ezzel szemben a leginkább érintett térségekben, mint például a Kárpát-medencében, 2041–2060-ra akár két héttel is megnőhet a forró napok éves száma, 2081–2100-ra pedig a növekedés elérheti a három hetet is. A mediánértékekben is jelentős változás valószínűsíthető (5.c ábra). Középtávon a 3,4 nap mértékű emelkedés majdnem duplája az RCP4.5 forgatókönyv szerinti mediánnak. Ennél még inkább megdöbbentő, hogy az RCP8.5-ön belül, az évszázad végére a medián majdnem megháromszorozódik, és majdnem tíz nappal több forró nap várható éves átlagban, mint az 1986–2005 időszakban.

Végül a Mediterrán nagyrégió az RCP8.5 scenárió szerint továbbra is a leginkább érintett nagyrégió marad Európában. A környezetéhez képest kisebb növekedéssel számoló területek, különösen az évszázad végére, teljesen eltűnnek, mindössze a Pireneusok és a Dinári-hegység legmagasabb részein lesz mérsékelt a forró napok éves számának növekedése. Az alacsonyabb hegységek, mint például az Appenninek, mérséklő hatása viszont szinte teljesen eltűnik 2081–2100-ra. Ahogy már a Nyugat- és Közép-Európa nagyrégió esetében is említettük, a vizsgálati időszakok között jelentős különbségek mutatkoznak a növekedés mértékében, a középtávú értékekhez képest a hosszútávú szimulációs eredmények többszörösükre emelkednek (5.c ábra). Például a növekedés mediánja két hétről majdnem egy hónapra nő, a referencia-időszakhoz képest. A legpesszimistább modellek között is jelentős a különbség, a 2041–2060 időszakban a lehetséges legmagasabb növekedés 20 nap, míg a 2081–2100 időszakban már 38,8 nap. Ez a jelentős ugrás a két időpont között a szimulációkból számított többi percentilisen is megfigyelhető.

Összefoglalás

Elemzésünk azt jelzi, hogy a forró napok éves száma Európa-szerte, eltérő mértékben ugyan, de növekedni fog a 21. század során. A várakozásoknak megfelelően a gyors antropogén kibocsátás-csökkentést feltételező RCP2.6 scenárió szerint valószínűsíthető a legkisebb növekedés, és az eddigi ütemben folytatódó antropogén üvegházgáz-kibocsátással számoló RCP8.5 scenárió esetén a legnagyobb. Területileg az Észak-Európa nagyrégióban lesz a legkevésbé érzékelhető a változás a referencia-időszakhoz képest, ez elsősorban a terület földrajzi elhelyezkedéséből fakad, illetve abból, hogy a választott indexben szereplő napi maximumhőmérsékleti küszöbérték rendkívül magas, és a pólushoz közeledve ilyen jelentős hőmérsékleti extrémum nem jellemző. A meghatározó zonális különbségek miatt a legsúlyosabb helyzetben egyértelműen a Mediterrán nagyrégió lesz (ezt már 2022 és 2023 nyarán is tapasztalhattuk), ahol más európai területekhez képest sokkal nagyobb mértékben növekedhet majd a forró napok éves száma, főleg az RCP8.5 scenárió megvalósulása esetén, ami az üvegházhatású gázok antropogén kibocsátásának jelenlegi mértékű növekedését feltételezi. Ez is kiemeli a mitigáció fontosságát, azaz hogy globálisan és regionálisan is szükséges a fosszilis energiahordozók használatának jelentős visszafogása, minél előbbi, minél gyorsabb csökkentése.

Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat a PD-138023 és K-129162 NKFI projektek, valamint az RRF-2.3.1-21-2022-00014 Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium támogatta. Köszönet az IPCC Interaktív Atlasznak az adatok és az ábrák elérhetőségéért.

Irodalom

- Christensen, O.B., Kjellström, E., Dieterich, C., Gröger, M., Meier, H.E.M., 2022: Atmospheric regional climate projections for the Baltic Sea region until 2100. *Earth Syst. Dynam.* 13, 133–157.
<https://doi.org/10.5194/esd-13-133-2022>
- Copernicus Climate Change Service (C3S), 2023: European State of the Climate 2022.
<http://doi.org/10.24381/gvaf-h066>
- Giorgi, F., Jones, C., Asrar, G.R., 2009: Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *World Meteorological Organization (WMO) Bulletin* 58(3), 175.

- Gutiérrez, J.M., Jones, R.G., Narisma, G.T., Alves, L.M., Anjad, M., Gorodetskaya, I.V., Grose, M., Klutse, N.A.B., Krakovska, S., Li, J., Martínez-Castro, D., Mearns, L.O., Mernild, S.H., Ngo-Duc, T., van den Hurk, B., Yoon, J.-H., 2021: Atlas. In [eds. Masson-Delmotte, V. et al.]. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <http://interactive-atlas.ipcc.ch/>
- Iturbide, M., Gutiérrez, J. M., Alves, L.M., Bedia, J., Cerezo-Mota, R., Gimenez, E., Cofiño, A.S., Di Luca, A., Faria, S.H., Gorodetskaya, I. V., Hauser, M., Herrera, S., Hennessy, K., Hewitt, H.T., Jones, R.G., Krakovska, S., Manzanaras, R., Martínez-Castro, D., Narisma, G.T., Nurhati, I.S., Pinto, I., Seneviratne, S.I., van den Hurk, B., Vera, C.S., 2020: An update of IPCC climate reference regions for subcontinental analysis of climate model data: definition and aggregated datasets. *Earth Syst. Sci. Data* 12, 2959–2970. <https://doi.org/10.5194/essd-12-2959-2020>
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J-F, Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., You, P., 2014: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Change* 14, 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Moss, R., Edmonds, J., Hibbard, K., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.E., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Wilbanks, T.J., 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, 747–756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- Riahi, K., van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B.C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J.C., KC, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humpenöder, F., Da Silva, L.A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Strefler, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J.C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A., Tavoni, M., 2017: The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environ. Change* 42, 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- Seneviratne, S.I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Di Luca, A., Ghosh, S., Iskandar, I., Kossin, J., Lewis, S., Otto, F., Pinto, I., Satoh, M., Vicente-Serrano, S.M., Wehner, M., Zhou, B., 2021: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In [eds. Masson-Delmotte, V., et al.] *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press. 1513–1766. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.013>
- Taylor, K.E., Stouffer, R.J., Meehl, G.A., 2012: An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, 485–498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J-F, Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K., 2011: The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109, 5. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- WMO, 2023: State of the Global Climate in 2022. WMO-No. 1316. ISBN: 978-92-63-11316-0
- Yule, E.L., Hegerl, G., Schurer, A., Hawkins, E., 2023: Using early extremes to place the 2022 UK heat waves into historical context. *Atmos. Sci. Lett.* 24(7), e1159. <https://doi.org/10.1002/asl.1159>
- [1] https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc.shtml
- [2] https://www.ogimet.com/display_synopsc2.php?lang=en&estado=Ital&tipo=ALL&ord=REV&nil=SI&fmt=txt&ano=2023&mes=07&day=01&hora=00&anof=2023&mesf=07&dayf=31&horaf=23&send=send
- [3] <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>



A 2022-2023-as téli szezon összefoglaló elemzése a Bükk-fennsíki Mohos-töbör és Vörösmeteor-töbör mérései alapján

Dobos András, Kerékgyártó Róbert, Dobos Endre

Miskolci Egyetem, Földrajz-Geoinformatika Intézet, dobosbandi@hotmail.com

DOI:10.56474/legkor.2024.1.5

A Bükk-fennsíki töbrök különleges, a környezetüknél jóval hidegebb mikroklimával rendelkeznek, a töbrökben kialakuló hideg-légmedence (inverziós légrétegződés) hatás miatt. Ezek a töbrök lehetnek Magyarország hidegpólusai. 2022 nyarán a Miskolci Egyetem Földrajz-Geoinformatika Intézetének közreműködésével új meteorológiai mérőállomással bővült a Bükk-fennsíki mérőhálózat, melyet a Zsidó-réti Mohos-töbörben helyeztek ki. A Kerékgyártó Róbert és csapata által a Vörösmeteor-töbörben üzemeltetett állomással együtt immár két automata, online állomás küldi az élő adatokat a töbrőaljakból. Az új adatok birtokában lehetőség nyílik az eltérő domborzati, geometriai és növényborítottsági adottságokkal rendelkező Mohos- és Vörösmeteor-töbrök összehasonlító elemzésére a 2022/23-as téli szezon viszonylatában.

Summary analysis of the 2022-2023 winter season based on the measurements in the Mohos-sinkhole and Vörösmeteor-sinkhole in Bükk-plateau

The Bükk Plateau sinkholes have a special microclimate that is much colder than their surroundings, due to the cold-air pool (temperature inversion) effect that develops in the sinkholes. These sinkholes can be the cold poles of Hungary. In the summer of 2022, with the cooperation of Institute of Geography and Geoinformatics of University of Miskolc, a new meteorological station was installed in the measuring network on the Bükk Plateau, which was placed in the Mohos sinkhole in Zsidó-meadow. Along with the station operated by Róbert Kerékgyártó and his team in Vörösmeteor sinkhole, two automatic online stations send live data from the bottom of the sinkholes now. With the new data, it is possible to compare the Mohos and Vörösmeteor sinkhole areas of different topography, geometry and plant cover characteristics in the 2022/23 winter season.

Az Északi-középhegység legnagyobb átlagmagasságú területe a Bükk-fennsík, melyet fejlett karsztformakincs jellemez. Legmarkánsabb felszínalakítási megjelenései az oldásos töbrök és töbrősorok,

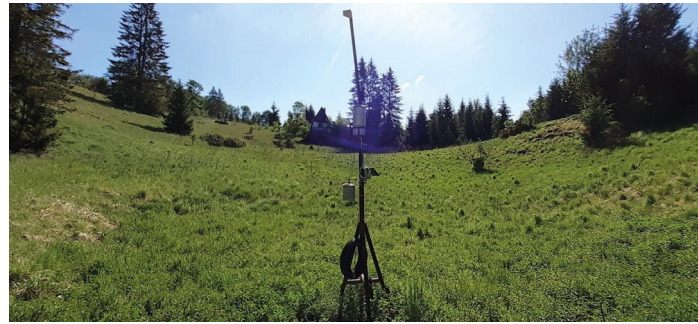
melyek tál alakú, homorú felszíni bemélyedésként jellemezhetők és különös, környezetükhöz képest szélsőségesen hideg, harmadlagos mikroklimájukról is ismertek (Wagner, 1964).

A töbrök mikroklímáját a domborzat, mikrodomborzat, tengerszint feletti magasság, az adott töbör geometriai, geomorfológiai jellemzői, a növényzeti borítottság és a külső időjárási körülmények együttesen indikálják. Ezen fő paraméterek összessége és egymáshoz való viszonyulása adja meg az adott terület kisugárzási jellemzőit, amelyek kedvező fennállása esetén a felszín felett képződő hideg légrétegek, nagyobb fajlagos sűrűségüknek köszönhetően a töböroldalakból a lefolyástalan töböralj felé szivárognak. A töböraljban megülve, majd kitöltve azt az inverziós légrétegződés egyfajta hideg légmedencét hoz létre, mely környezetének hőmérsékletéhez képest jelentős, akár több tíz fokok negatív anomáliaként jellemezhető (Bárány-Kevei, 2011).

A kisugárzási periódusokban képződött hőmérsékleti inverzió jellemzői a felszín felett két méterrel is eredményesen követhetők, így, a jelenlegi meteorológiai sztenderdek szerint is érdemes méréseket folytatni bennük. Több esetben (Olaszország, Szlovénia, Ausztria) a karsztfennsíkok töbrei adják az egyes országok mindenkori hőmérsékleti minimum értékeit, valamint a Közép-Európában detektált, hivatalos minimum értéket is (-52 °C, Grünloch-töbör, Ausztria) (Steinacker et al., 2007). A hazai töbrök monitorozása így a nemzetközi trendekkel egyezik. A Bükk-fennsíkon jelenleg nagy mintavétellel történik adatgyűjtés, Kerékgyártó Róbert és csapata 14 ponton folytat méréseket, a Miskolci Egyetem Földrajz-Geoinformatika Intézete pedig 2022 júliusa óta üzemeltet automata meteorológiai mérőállomást a Mohos-töbörben.

A kutatás céljai

Célunk egyrészt feltárni a bükk-fennsíki töbrök diverzitását és a környezeti tényezők változásának hatásait a töbrökön belül érvényesülő mikroklímára, másrészt felhívni a figyelmet a térség kiemelt természeti értékeire. A bükki töbrök inverziós hajlama ugyanis különleges növényvilágot generál, olyan fajokból, amelyek klimatikusán a Bükknél jóval hidegebb területeken élnek meg, természetes közegükben. Érdekes továbbá a töbrökben megfigyelhető, hőmérsékleti inverziós légrétegekhez igazodó, fordított növényzeti rétegződés, amely a magashegységekhez hasonló fajösszetétellel, de fordított módon valósul meg a töböroldalakon. A töböralj felé haladva váltja egymást a bükkös, a fenyvesek (nem természetes a Bükkben, de a töbrök északi kitettséggű oldalán különösen gyakori) és a borókások, melyek aztán hidegkedvelő társulásokban végződnek a töböraljban (Bátori et al., 2014).



1. abra. Kerékgyártó Róbert és csapata meteorológiai mérőállomása a Vörösmeteor-töbörben.

A töbör mikroklíma jelenség tehát összetett tényezők hatására jön létre és összetett hatással jár a töbrök ökológiai környezetére, amely visszahat annak mikroklimatikus trendjeire. Például azzal, hogy a takaratlan felszínek kisugárzási tulajdonságai jelentősen jobbakk az erdőszült területeknél (Bátori et al., 2014). A nagyobb kisugárzási potenciál viszont drasztikusan csökkent az átlag és minimum hőmérsékleti értékeket a töbrön belül, ezzel gátolva az erdőszülést.

A cikk most a Bükk-fennsík két, a hideg légmedence viselkedésének szempontjából érdekes töbrének 2022/23-as téli szezonjában produkált eredményeit mutatja be, egymás tükrében. A tanulmány társszerzője (Kerékgyártó Róbert) komoly monitoring rendszert üzemeltet pusztán szakmai elhivatottságból a Bükk-fennsíkon. Az adatbázis értékét pedig tovább növeli annak reprezentativitása a töbör mikroklíma-rendszere által közvetlenül nem érintett kontrollterületek bevonásával. A Vörösmeteor-töbörben működő, saját fejlesztésű automata meteorológiai mérőállomás



2. abra. A Vörösmeteor-töbörbe zajló mérések leghidegebb reggele 2021.02.07-én.

(1. ábra) mért adatai valós időben bárki számára követhetők [1], ezzel értékes közérdekű adatokat szolgáltatva a szakma iránt érdeklődőknek.

A Kerékgyártó Róbert és csapata révén méltán közzismert, 2009 óta mérés alatt álló Vörösmeteor-töbör, 2021.02.07-én az országban eddig mért legalacsonyabb hőmérsékletet produkálta $-35,5\text{ °C}$ -kal (2. ábra).

Az összehasonlító elemzés tárgyát képező másik töbör a Zsidó-réti Mohos-töbör, melynek monitoringja 2022.07.16-án kezdődött, a Miskolci Egyetem Földrajz-Geoinformatika Intézetének lebonyolításában (3. ábra). Szintén 2 méteren mérő, automata állomásunk sajnos nyilvánosan nem követhető élőben, így havi rendszerességgel adunk ki írásos kutatási összefoglalókat. A komplex mérőállomás talajhőmérsékleti és a töbör mikroklíma szempontjából kiemelkedő fontosságú felszínközeli léghőmérsékleti adatokat is gyűjt. A mérések ebben az esetben még túlságosan rövid ideje zajlanak ahhoz, hogy tendenciális megállapításokat vonhassunk le, de már ez a rövid mérési periódus is sok érdekes adattal szolgált, közte az első végigmért téli szezonjának országos minimum hőmérsékleti értékével.

Ezen első, összehasonlítható mérési eredményeket ismertetjük a 2022–2023-as téli szezon időszakában.



3. ábra. iMetos 3.3-as automata meteorológiai mérőállomás a Mohos-töbörben.

A vizsgált töbrök rövid jellemzése

A Mohos és Vörösmeteor töbrök eltérő jellegű dolinák, így más-más hatótényezők befolyásolják mikroklímájuk alakulását. A szakirodalom által jelenleg

az egyik legjelentősebbnek tartott indikátor a töbör mikroklíma alakulásának szempontjából az úgynevezett sky-view faktor. Ez a töbör területének égbolt felé való nyitottságát jellemző mérőszám, amely a nettó kisugárzási energiaveszteség szempontjából lényeges (Whiteman et al., 2004). Ez az érték a töbröt esetlegesen körülvevő növényzettel együtt számolt mutató, mivel az erdőborítottság jelentősen redukálja az adott töbör kisugárzási potenciálját.

Az 1. táblázat tartalmazza a vizsgált töbrök alapadatait és a becsült sky-view faktort. A töbrök területének meghatározása nem egzakt, így az adatok főként egymás tükrében informatívak. Az adatok a kifolyási pontok és a zárt erdőhatár (Mohos-töbör esetében) vonalára reprezentatívak.

Tulajdonság	Mohos-töbör	Vörösmeteor-töbör
WGS koordináták	48° 3'55.11"É, 20°27'48.01"K	48° 4'49.36"É, 20°30'5.26"K
terület	48,400 m ²	45,300 m ²
kerület	917 m	778 m
töböralj t.sz.f. magassága	822,5 m	755 m
becsült sky-view faktor	0,92-0,94 (növényzettel)	0,78-0,8 (növényzettel)

1. táblázat. A Mohos és Vörösmeteor töbrök topográfiai és geometriai jellemzői

Vörösmeteor-töbör

A Vörösmeteor-töbör a Bükk-fennsíki Nagymező északi peremterületén található. A töböralj 755 méter magasságban fekszik. Karakterisztikájában zártabb, mélyebb töbör, erdőszültsége jelentős. A Vörösmeteor egyébként erdészeti szempontból nézve a nyílt karszttól a zárt erdőig megy. Az erdőszülés és mikroklíma kölcsönhatásainak nyomon követése az egyik célja a mérésnek.

Mikroklimatikus jellemzője a relatíve alacsonyabb tengerszint feletti magasság és mélyebb fekvése lévén, hogy a Mohos-töbörrel összevetésben minden irányt figyelembe véve az átlagos szélről való védettsége nagyobb, így kevésbé kitett az esetlegesen az inverziós légrétegződést befolyásolni képes légáramlatoknak. A monitoringrendszer környezetkímélő módon az egykori sífelvonó állványzatára települt.

A felülnézeti felvételen (4. ábra) jól látszik az északi kitettségű oldal erdőszültsége. Ennek ellenére a töbör geometriai mutatói és elhelyezkedése kedvező a töbör mikroklíma érvényesüléséhez. Védettsége pedig az abszolút szélsőségekhez képest dinamikusabb



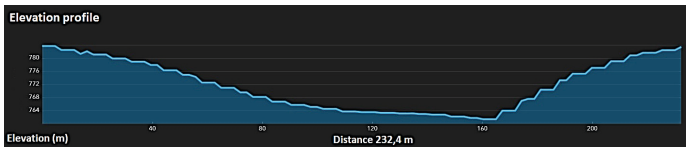
4. ábra. A Vörösmeteor-töbör felülnézeti képe.



6. ábra. A Mohos-töbör felülnézeti képe.

időjárási körülmények között is lehetőséget teremthet a hideg légmedence kialakulására.

Az 5. ábra a Vörösmeteor-töbör leghosszabb keresztmetszetének magasságprofilja. Összevetve a Mohos-töbör profiljával látható, hogy jóval zártabb.



5. ábra. A Vörösmeteor-töbör leghosszabb, É-D-i metszetének magasságprofilja.

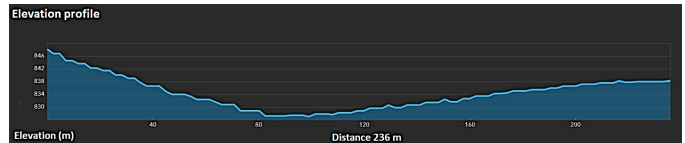
Mohos-töbör

A Mohos-töbör a Bükk-fennsík délnyugati részén elhelyezkedő Zsidó-rét déli peremterületén található (6. ábra). A töböralj tengerszint feletti magassága 822,5 méter. A Vörösmeteor-töbörnél jóval kevésbé erdőszült.

Karakterisztikáját tekintve keleti, déli és részben nyugati irányokból egy, a töböraljtól számolva több mint száz méter magas hegygerinc övezi. Észak felé viszont teljesen nyitott. Miután a Kárpát-medence uralgó széljárása északnyugatis, a téli félévben anticiklonális helyzetekben É-ÉK-K-i irányú, így ilyen esetekben, ha nincs a tökéleteshez közelítő szélcsend, a Mohos-töböralj hőmérsékleti diagramja kevésbé lesz szabályos, mint a Vörösmeteor-töböré. Északias nyitottsága miatt kevésbé szélvédett. Jól szemlélteti ezt a cikkben feldolgozott esettanulmány. Különleges fekvése leginkább az önárnyék szempontjából érdekes. Ugyanis a téli félévben a délről övező hegykaréj elnyújtja a kisugárzási periódusok hosszát.

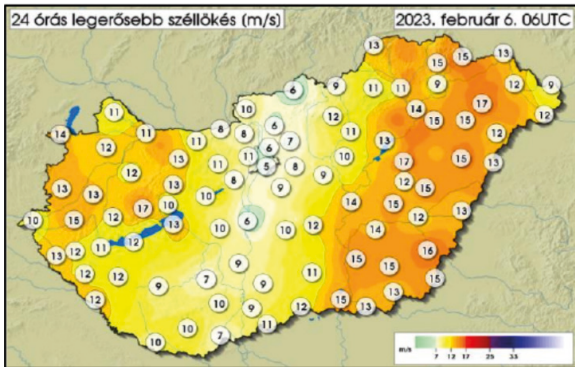
Nyugodt körülmények között érvényesülnek a Mohos-töbör jó sky-view faktor adottságai, ilyenkor 2–3 °C különbség is fennállhat a Vörösmeteor és a Mohos töbrök napi minimumértékei között a Mohos-töbör javára. Ellenben, ha az idő nem teljesen nyugodt, esetenként a teljes hideg légmedence képződés is kimaradhat a Mohos-töbörben, amíg a Vörösmeteorban kialakul az inverziós légréteg. Jó példa erre 2023 januárja, amikor a dinamikus légköri helyzetek sokasága nem engedte érvényesülni a Mohos-töbör nyitottabb jellegű adottságait, és a havi abszolút minimum hőmérséklet a Vörösmeteor-töbörben állt be -16,2 °C. Ez is bizonyítja, hogy mennyire komplex rendszerek befolyásolják a töbrök adott magasságokban mért hőmérsékleti görbéinek alakulását.

A Mohos-töbör magassági profilja (7. ábra) a Vörösmeteoréval összevetve jóval nyitottabb, amely egyrészt jobb kisugárzási adottságokat, másrészt mérsékeltbb védettséget biztosít az esetlegesen zavaró mértékű légáramlatokkal szemben.



7. ábra. A Mohos-töbör leghosszabb, Dk-Ény-i metszetének magasságprofilja.

A töböraljban az inverziós légrétegződés ellenálló képessége annak kiépülésével növekszik. A nagyobb fajsúlyú, sűrűbb, a töbörben megült hidegebb légrétegek felett ugyanis elsiklanak a lamináris áramlatok. Az inverziós légréteg eróziójának szempontjából a turbulens légáramlatok fejtik ki jelentősebb hatásukat. A lamináris áramlatokkal szemben a turbulens áramlatok



8. ábra. Magyarország 24 órás legerősebb szellőkés térképe, 2023.02.06-án. (forrás: OMSZ [2]).

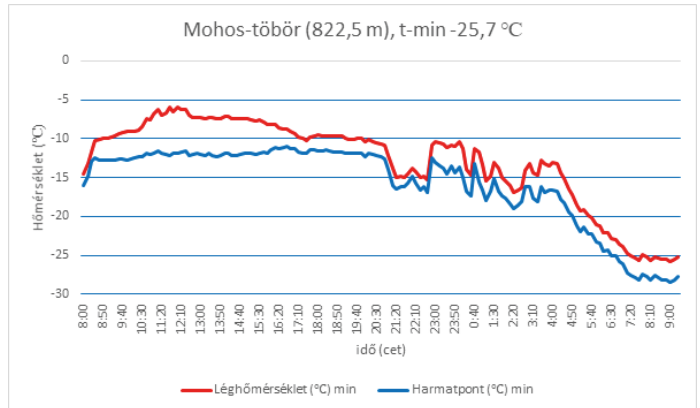
képesen a hidegebb légrétegekben keverő, homogenizáló hatást érvényesíteni, amely az inverziós légréteg részleges vagy teljes felszámolódását eredményezheti (Dorninger et al., 2011). A védettebb Vörösmeteor-töbör ezirányban is kevésbé érzékeny, mint a Mohos.

Eseti példa a Mohos-töbör és a Vörösmeteor-töbör zavaró tényezőkre való reagálására 2023.02.07-én

A 9. és 10. ábrán a 2023. február 7-ére virradóan végbement időszakos zavaró esemény hideg légmedencére tett hatása figyelhető meg a Mohos és Vörösmeteor töbrökben. Ekkor a Kárpát-medence egy anticiklon szélén helyezkedett el, melynek keleti peremén fagyos levegő szivárgott le, egészen a Balkán-félsziget déli részéig. A hideg levegő északkeleti irányból tehát állandó mozgásban volt. Az északnyugati-Kárpátok szélármékában a Duna-Tisza közének jelentős területén nyugalomba került, azonban a Kisalföld és a Keleti-Alföld területén dinamikus maradt a légkör (8. ábra) (OMSZ Napijelentés kiadvány [2]).

Ezen két jellemző áramlási rendszer peremén helyezkedett el a Bükk-hegység, ahol egészen a hajnali órákig nem állt el teljesen a szél. A jellemzően gyenge, de konstans légmozgás hatása pedig élesen elkülönül a vizsgált két töbör esetében, azok eltérő mértékű szélvédettségének köszönhetően.

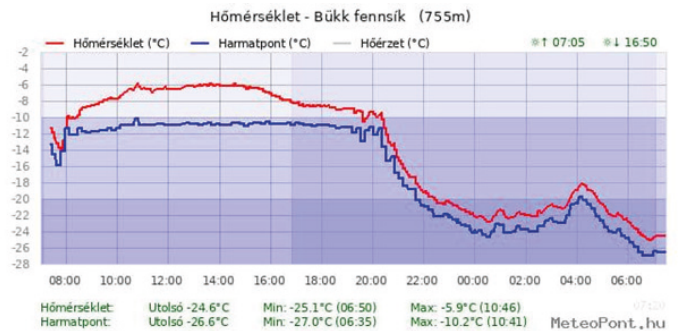
A Bükk-fennsíkot méréseink alapján ekkor közel fél méteres hótakaró borította. A vastag hótakaró pedig amellet, hogy az egyik legnagyobb kisugárzási potenciállal rendelkező természetes kisugárzó közeg, homogenizálja az alacsonyabb növényzetet és beborítva azt újabb egységes kisugárzó felszíneket hoz létre (növeli a pillanatnyi „sky-view” faktort).



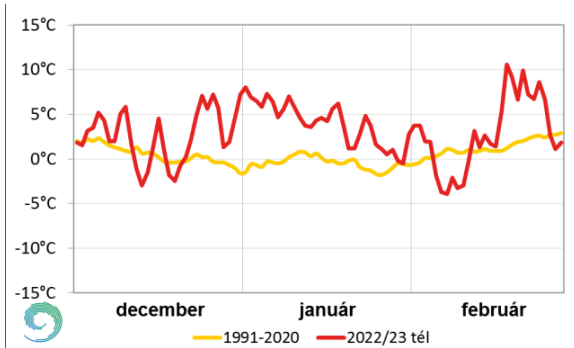
9. ábra. A Mohos-töbör felszín felett 2 méterrel rögzített hőmérsékleti és harmatpont görbéje 2023.02.06-07-én.

A Mohos-töbör (9. ábra) északkeleti irányba nyitott töbör, így az 5–8 km/h-s szellőkések állandó zavarást jelentettek a derült égbolt és vastag hótakaró mellett egyébként jónak mondható körülmények között. Nagyjából hatodikán este nyolc órától kezdett mérséklődni a légmozgás. Ezt a Mohos-töbörben gyors hőmérsékletcsökkenés követte, -10 °C-ról -16 °C-ra 20:40 és 21:10 között -5 °C-os esssel. Ezt követően a csökkenés megállt és körülbelül -10 °C és -16 °C között nagyokat ingadozva nem történt szabályszerű változás hetedike hajnali négy óráig, amikor a szélesebbesség és felszínközeli hideg légtömegek egyensúlya átbillent és elkezdődött az inverziós légrétegződés stabil kiépülése. Közben a légáramlás tovább mérséklődött és reggel 6 óra után teljesen elállt.

Reggel hatra a hőmérséklet már -22 °C-ig süllyedt és közeledett a napfelkelte. Az önárnyéknak köszönhetően azonban a kisugárzási periódus jóval a napfelkelte utániig tolódott a Mohos-töbörben, így a hajnali minimum hőmérséklet 9:00-kor -25,7 °C-on állt be.



10. ábra. A Vörösmeteor-töbör felszín felett 2 méterrel rögzített hőmérsékleti és harmatpont görbéje 2023.02.06-07-én, a Meteopont.hu felületén (forrás: Meteopont.hu [1]).



11. ábra. 2022/23 telének sokéves átlagtól való eltérése (forrás: OMSZ ([3]).

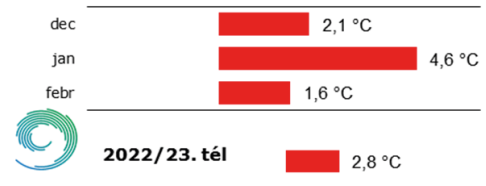
Ezzel szemben az ÉK-i irányból jóval védettebb Vörösmeteor-töbörben (10. ábra) hatodika este nyolc óráját követően szabályos, zavartalanhoz közelítő görbe mellett indult meg a hőmérséklet csökkenése. Nagyjából 2 óra alatt, 20:30 és 22:30 között 10 fokot csökkenve 11 óra előtt átlépte a -20 °C -ot. Ekkor a Mohos-töbörben -15 °C körül ingadozott a hőmérséklet.

A Vörösmeteor zavart görbével, de tovább hűl -23 °C -ig, ahol egy nagyobb mértékű szél általi zavarás bár károsítja, de nem szünteti meg a töbörben kiépült inverziós légrétegződést. Hajnal négy után még rövid ideig kicsivel -20 °C fölé melegszik a 2 méteren rögzített hőmérséklet, de még ekkor is 4-5 fokos a negatív különbség a még mindig szabálytalan, ingadozó hőmérsékleti görbét produkáló Mohos-töbörrel szemben. A Vörösmeteor-töbör 2 méteren mért hőmérséklete a teljes szélcsend beálltával visszazuhan, és 7-én reggel 6:50-kor tetőzik $-25,1\text{ °C}$ -on.

Ekkor a Mohos-töbör -23 °C körül áll és stabilan hűl az időközben optimálissá váló körülmények között. A töbrök környezetének domborzati különbségei ezen a ponton válnak látványosan mérhetővé. A Vörösmeteor-töbör északias védettsége védelmet nyújtott az ÉK-i irányú légáramlatoktól, így a kisugárási periódus túlnyomó hányadában minimális zavarás mellett érvényesülni tudtak az inverziós légrétegződés kiépülésének szempontjából releváns hatótényezők.

Ezzel szemben a Mohos-töbörben hajnal negyig csak rövidtávú beszakadásokat produkált a két méteren mért hőmérsékleti görbe, esetenként több, mint 10 °C -os hőmérsékleti különbséggel a Vörösmeteor-töbör javára. A zárt geometria védelmet biztosított a nem tökéletes körülményekkel szemben.

Párhuzamosan a Mohos-töbör hajnali négy óra után, mikor a körülmények zavartalanná váltak, a derült, szélcsendes hajnalon -13 °C -ról $-25,7\text{ °C}$ -ra hűlt, reggel 9-ig.



12. ábra. 2022/23 telének sokéves átlagtól való eltérése, havi lebontásban (forrás: OMSZ ([3]).

A két töbör hajnali minimumhőmérsékletének beálltában 2 óra 10 perc különbség volt. Végül $0,6\text{ °C}$ -al a Mohos-töbörben volt hidegebb ezen a hektikus éjjelen.

Ez az esettanulmány jól szemlélteti a két Bükk-fennsíki fagykatlan sajátosságait. Ezek a Mohos-töbör esetében a kedvező „sky-view” faktor és a déli hegykaréj önárnyéka, és észak felőli kitettsége a légmozgásnak. Míg a Vörösmeteor-töbör esetében a zártabb geometria, szélvédettség, de kedvezőtlenebb „sky-view” faktor és rövidebb kisugárási periódus.

A 2022-2023-as téli szezon meteorológiai jellemzése

Az 1901 óta országos átlagban második legenyhébb, $+2,8\text{ °C}$ -os hőmérsékleti anomáliát hozó 2022/23-as téli szezon (11. ábra), és az azt eredményező meteorológiai viszonyok tükrében a Bükk-fennsík hideg légmedencéi megerősítik, miért olyan különlegesek ezek a fagyos katlanok.

Az Országos Meteorológiai szolgálat 2022/23-as téli szezont feldolgozó cikkéből ([3]) kiderül, hogy országos átlagban 2022 decembere $2,1\text{ °C}$, 2023 januárja $4,6\text{ °C}$, míg februárja $1,6\text{ °C}$ -os pozitív anomáliával telt el, jelentős nyugatias áramlás mellett (12. ábra).

A 2022-2023-as téli szezon mért adatainak statisztikai elemzése

Ahogy a 11. ábra is mutatja, hőmérsékleti szempontból országosan csak rövidebb periódusok alakultak a sokéves átlag közelében vagy az alatt. Az országos átlag természetesen nem értelmezhető egy az egyben egy hegyvidéki klímaövön belül elhelyezkedő mikroklimatikus területre. Mégis fontos trendeket közöl a Kárpát-medence időjárása, ezzel pedig a töbröket érő hatótényezők tekintetében. Látható, hogy hosszú távú, nyugodt, hidegebb periódusról csak február első felében beszélhetünk. Valamint december első kétharmada tekinthető átlagközelinek. Ezen periódusokban alakultak ki a legalacsonyabb minimumhőmérsékletek országosan és töbör szinten is.

Mérési időszak	December	Január	Február	December	Január	Február
mérés helye	Mohos-töbör	Mohos-töbör	Mohos-töbör	Vörösmeteor-töbör	Vörösmeteor-töbör	Vörösmeteor-töbör
havi középhőmérséklet, (5 perces átlag) °C	-2,4	-0,6	-4,7	-1,5	-0,5	-3,9
havi t-min °C	-27,5	-14,9	-28,2	-24,4	-16,2	-27,0
havi t-max °C	10,9	8,2	10,9	9,8	12,4	10,7
t-min átl. °C	-8,2	-5,5	-11,9	-7,0	-5,0	-10,1
t-max átl. °C	2,3	2,2	2,2	2,8	2,7	2,3
havi absz. hőingás	38,4	23,1	39,1	34,2	28,6	37,8
fagyos napok (db)	26,0	28,0	26,0	31,0	27,0	26,0
napi átlag ≤ 0 °C (db)	20,0	18,0	20,0	17,0	13,0	21,0
téli napok (db)	6,0	8,0	11,0	8,0	7,0	10,0
zord napok	11,0	7,0	13,0	6,0	6,0	12,0
t-min ≤ -15 °C	4,0	0,0	12,0	3,0	1,0	10,0
t-min ≤ -20 °C	4,0	0,0	7,0	2,0	0,0	4,0

2. táblázat. A 2022/23-as téli szezon mért, feldolgozott adatai a Mohos és Vörös-meteor töbrökben, havi lebontásban.

Az összehasonlító elemzés a Bükk-fennsíkon mért adatok értelmezhetősége végett statisztikai alapon referenciaként hozza az országos mérőhálózat OMSZ által publikált adatait. Így a töbröket érintő negatív hőmérsékleti anomália szemléletesebb módon érzékeltethető.

A 2. táblázat 13 kategóriában mutatja be a Vörös-meteor és Mohos-töbörök 2022-2023-as téli szezonjának mért adatainak egységesített mutatóit. Az adatok egymással összehasonlítható, ugyanazon mérési módszertan szerint, felszín felett 2 méterrel rögzített, feldolgozott értékek. A különböző módon számolt átlag és szélsőértékek mellett a 2., 3. és 4. táblázat a napok hőmérsékleti mutatói szerint szakmai nevezéktan alapján osztályozza a vizsgált időszak adott kategóriákban érintett naptári napjait.

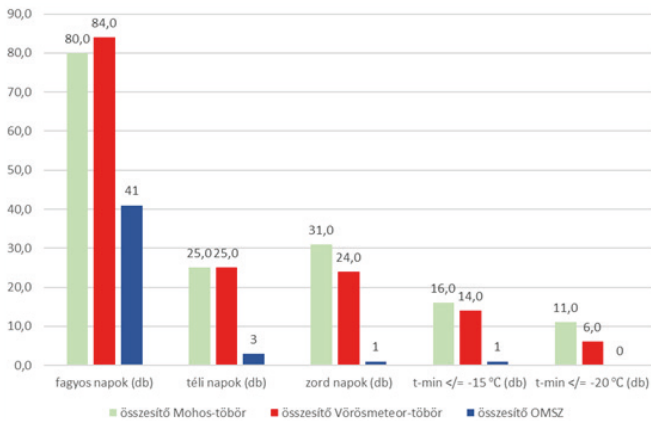
Jelentésük a következő: fagyos nap: $t\text{-min} \leq 0 \text{ °C}$, hideg nap: napi átlaghőmérséklet $\leq 0 \text{ °C}$, téli nap: $t\text{-max} \leq 0 \text{ °C}$, és zord nap: $t\text{-min} \leq -10 \text{ °C}$. Továbbá a t-min. az adott időintervallum legalacsonyabb, míg a t-max. a legmagasabb hőmérsékleti értékét jelenti.

A 3. táblázat a 2022/23-as téli szezon összesített értékeit tartalmazza a Mohos és Vörösmeteor-töbrökben mért értékek alapján, melyek a teljes periódus havi értékeiből számított mutatók. A vizsgált időszak legalacsonyabb rögzített hőmérséklete (2. táblázatban zöld háttérrel kiemelve) a Mohos-töbör esetében $-28,2 \text{ °C}$ míg a Vörösmeteor-töbörben $-27,0 \text{ °C}$ volt. Az országos

meteorológiai mérőhálózat által regisztrált abszolút minimumérték ugyanezen vizsgált időszakban $-15,3 \text{ °C}$ volt Gagybátorban (OMSZ, Napijelentés kiadvány ([2])).

mérési időszak	2022-2023 tél	2022-2023 tél
mérés helye	Mohos-töbör	Vörösmeteor-töbör
téli középhőmérséklet, (5 perces átlag) °C	-2,6	-2,0
havi t-min átl. °C	-23,5	-22,5
havi t-max átl. °C	10,0	11,0
t-min átl. °C	-8,5	-7,4
t-max átl. °C	2,3	2,6
t-min °C	-28,2	-27,0
t-max °C	10,9	12,4
abszolút hőingás °C	39,1	39,4
fagyos napok (db)	80,0	84,0
napi átlag ≤ 0 °C (db)	58,0	51,0
téli napok (db)	25,0	25,0
zord napok	31,0	24,0
t-min ≤ -15 °C	16,0	14,0
t-min ≤ -20 °C	11,0	6,0

3. táblázat. A 2022/23-as téli szezon összesített értékei a Mohos és Vörösmeteor-töbrökben mért értékek alapján.



13. ábra. A Mohos és Vörösmeteor töbrök összehasonlító ábrája az országos értékekkel, fagyos, téli, zord valamint -15, -20 Celsius fok alatti t-min-ek viszonylatában.

mérési időszak	összesítő	összesítő	összesítő
mérés helye	Mohos-töbör	Vörösmeteor-töbör	OMSZ
fagyos napok (db)	80	84	41
téli napok (db)	25	25	3
zord napok (db)	31	24	1
t-min <= -15 °C	16	14	1
t-min <= -20 °C	11	6	0

4. táblázat. A Mohos és Vörösmeteor töbrök összehasonlító táblázata az országos értékekkel, fagyos, téli, zord, valamint -15, -20 Celsius-fok alatti t-min-ok viszonylatában.

A közösen értelmezendő 13. ábra és 4. táblázat a Vörösmeteor és Mohos töbrök 2022/23-as téli szezonjának fagyos, téli és zord napjainak számát mutatja be, kiegészítve a -15 °C és -20 °C alatti napi minimum hőmérsékleti értékek mennyiségével. Az összehasonlító ábrákat az országos mérőhálózat által regisztrált országos átlag és szélsőértékeket tartalmazó OMSZ által publikált „2022/23 telének időjárása” ([3]) című összefoglaló adatai színesítik, ugyanazon kategóriákban.

Az országos átlaggal való összevetést indokolja, hogy a mikroklíma rendszerek eredményezte adatok kontextusba helyezve informatívabbak. Hosszú távon az adatok klimatológiai feldolgozása is referenciapontok használatával lesz célszerű, ennek hiányában a töbör mikroklíma kevésbé értelmezhető anomáliaként.

Összegzés

Összegzésképpen elmondható, hogy a Bükk-fennsíki töbrök negatív hőmérsékleti anomáliája egyértelműen kimutatható. A mérések felszínközeli kiterjesztése indokolt, hogy a hideg légmedence további tulajdonságai váljanak ismertté.

A vizsgált töbrök mikroklíma rendszerének reakciója a külső időjárási hatásokra azok domborzati, geometriai adottságai alapján változik. Az égbolt felé való nyitottság, erdősültség mértékének különbsége a mért adatokban nyomon követhető.

Következésképpen a Mohos-töbör mikroklíma indikátor adottságai tökéletes, zavartalan kisugárzási körülmények között érvényesülnek jobban, ezzel szemben a Vörösmeteor-töbör dinamikusabb légköri helyzetekben is képes teret biztosítani az inverziós légrétegződés kialakulásának.

Irodalom

Bátori, Z. Vojtkó, A. Erdős L. and Vojtkó, A., 2014. A bükki erdős és gyepes töbrök növényzetének hőmérsékleti és talajnedvességi indikációja. *Kitaibelia*, 19(2),331–338.

Dorninger, S. Whiteman, C. D. Bica, B. Eisenbach, S. Pospichal, B. and Steinacker, R. 2011: Meteorological Events Affecting Cold-Air Pools in a Small Basin.. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 50, 2223–2234.

Bárány-Kevei, I., 2011: Néhány adat a bükki töbrök mikroklímájához *A Miskolci Egyetem Közleményei, Bányászat*, 82, 171–176.

Steinacker, R., Whiteman, C. D., Dorninger, M., Pospichal, B., Eisenbach, S., Holzer, A. M., Weihs, P., Mursch-Radlgruber, E., & Baumann, K., 2007. A Sinkhole Field Experiment in the Eastern Alps. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 88, 701–716.

Wagner, R., 1964: Lufttemperaturmessungen in einer Doline des Bükk-Gebirges. *Zeitschr. für Angewandte Meteorologie* 5(3-4), 192–199.

Whiteman, C.D., T. Haiden, B. Pospichal, S. Eisenbach, and R. Steinacker, 2004: Minimum Temperatures, Diurnal Temperature Ranges, and Temperature Inversions in Limestone Sinkholes of Different Sizes and Shapes. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 43, 1224–1236.

[1] <http://bukk.meteopont.hu/> (2023.04.26)

[2] https://www.met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelen-tes/ (2023.04.26)

[3] https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evszakok_idojarasa/ (2023.04.26)



A jégeső előrejelzés verifikációja

Baár Péter, Csirmaz Kálmán, Kelemen Tibor

HungaroMet Nonprofit Zrt, baar.p@met.hu

DOI:10.56474/legkor.2024.1.6

Az Országos Meteorológiai Szolgálat 2018 óta végez jégeső előrejelzést a Nemzeti Agrárgazdasági Kamara részére. Az előrejelzés során kiadott riasztások verifikációjához megalkottunk egy úgynevezett radaros jéges feltételt, aminek segítségével a radarmérések alapján kellő tér- és időbeli pontossággal meg tudjuk határozni, hogy a konvektív cellák nagy valószínűséggel okoznak-e felszínre elérő jégesőt. Emellett az ECMWF modellből számolt konvektív paraméterezőket is vizsgáltuk, hogy megtudjuk, elkülöníthető-e a felszínre elérő jégszemeket produkáló zivatarok kialakulásának körülményei a nem jéges zivatarokétól. Ez a tanulmány betekintést enged a fent említett radaros és modell alapú jégesség meghatározásának módszertanába, valamint bemutatja a verifikáció során felhasznált legfontosabb mutatókat és a 2023-as év eredményeit.

The verification of hail forecasts

Since 2018, Hungarian Meteorological Service has made hail forecasts for the National Chamber of Agriculture. To verify the issued forecasts, we needed to create a weather radar-based method wherewith it is possible to decide with high probability that a convective cell produces hail on the ground or not. By this, hailstorm detection with good frequency and spatial resolution is feasible. Additionally, we examined whether the conditions for the formation of hailstorms can be separated from ordinary storms based on the derived (so-called convective) parameters of the ECMWF fields to gain applicable utilities in forecasting hailstorms. Finally, we present our most significant indices which are used in the verification, and some results from 2023.

A Nemzeti Agrárgazdasági Kamara (továbbiakban NAK) 2018 óta működteti a 986 talajgenerátorból álló országos jégkármentesítő rendszert, amelyhez az Országos Meteorológiai Szolgálat (továbbiakban OMSZ), 2024 áprilisától pedig a HungaroMet Nonprofit Zrt. biztosítja a meteorológiai támogatást. Ennek keretében a szolgáltató az adott évi védekezési időszakban – április 15-től szeptember 30-ig – naponta háromszor, 7, 13 és 19 órakor küld figyelemztető

előrejelzést járási szinten a NAK számára, hogy mely területeken nem kizárt a jégeső előfordulása a következő 6 vagy 12 órás időszakban. Emellett az aktuális időjárási helyzet folyamatos követésével ultrarövidtávú valószínűségi előrejelzéseket is készít, melyeket riasztások formájában továbbít a NAK felé. A riasztásokat 2–3 órával a jégeső előtt kell kiadni, és legfeljebb 1 órával az utolsó jégszemek hullása után le kell venni.

A valószínűségi előrejelzés során négy kategóriát különítettünk el: 0, <30, 30–60 és >60% valószínűség. Ezekhez rendre a zöld, citromsárga, narancssárga és piros színek társulnak. A kiadott riasztásokat havi szinten verifikáljuk, megvizsgáljuk, hogy térben és időben mennyire voltak pontosak az előrejelzések. Ahhoz azonban, hogy ezt megtehesük, szükség van egy szisztematikus és kellően jó tér- és időbeli felbontással rendelkező adatsorra arra vonatkozóan, hogy hol és mikor fordulhatott elő jégeső. A legjobb tér- és időbeli felbontással a radarmérések rendelkeznek, melyeken a jégesőt okozó konvektív cellák mozgása és fejlődése is megfigyelhető.

Radaros jégdetektálás

Az országos jégkarmérséklő rendszerben a talaj-generátorok döntő többsége nem automata berendezés, az őket üzemeltető generátorkezelők a készülékek be- és kikapcsolása mellett folyamatos jégészlelési munkát is ellátnak. Az általuk 767 fix észlelői ponton 2019 és 2022 között végzett észleléseket egy logisztikus regresszió alapuló gépi tanulási módszer felhasználásával vetettük össze az OMSZ-nál előálló 3 dimenziós, 1 km-es felbontású, kompozit radarmérések eredményeivel. A választott matematikai módszer különösen többparaméteres vizsgálat esetén nagyobb szabadsági fokú küszöbsokaságot kínál a jeges/nemjeges radarmérések elválasztására. Alapvetően az alábbi paramétereket vizsgáltuk:

- oszlopmaximum radarreflektivitás (Z),
- VIL,
- VIL Density,
- H_{45} és H_0 magasságkülönbsége (továbbiakban dH), ahol H_{45} a 45 dBZ felső határának magassága, H_0 a 0 fokos hőmérséklet magassága (mindkettő km-ben),
- H_{45} és a W_0 magasságkülönbsége (továbbiakban dW), ahol a W_0 a 0 fokos nedves hőmérséklet magassága (mindkettő km-ben).

A 0 fokos szint magasságától függően három légkörtípust különítettünk el, és ezekben külön vizsgáltuk a jégészleléseket és a radarméréseket: nyári ($H_0 > 3000$ m), köztes ($2500 \text{ m} < H_0 \leq 3000$ m) és tavaszi-őszi vagy hűvös alsólégkörös ($H_0 \leq 2500$ m). A köztes helyzet egyfajta pufferezónaként szolgál a nyári és a hűvös alsólégkörös helyzetek között, így a kétféle eset között nincs éles ugrás.

A megfeleltetés során megkerestük az észlelés napján az adott pont körüli 5x5 km-es négyzeten áthaladt maximális H_{45} -tel rendelkező radarjelet. Amennyiben

nem fordult elő legalább 45 dBZ-t elérő reflektivitás, a napi maximális dBZ értéket vettük, de ha ez nem haladta meg a 40 dBZ-t, az észlelést kiszórtuk a vizsgálatból. Az egész napos feltételt az indokolta, hogy a tapasztalatok szerint az észlelésekhez tartozó konkrét időpontok nem voltak megbízhatóan közölve. Ezen felül nyári és köztes helyzetben megköveteltük a H_{45} létezését, mivel ekkor lehet az észlelést bevinni matematikailag értelmes vizsgálatokba. Ezzel nyári helyzetekben az észlelések <2%-át, köztes helyzetekben ~3%-át szűrtük ki. A tavaszi-őszi helyzetben a H_{45} létezését nem követeltük meg, mivel ilyen helyzetben túl sok jégészlelést, az esetek 21%-át szűrtük volna ki.

Emellett igyekeztünk számszerűsíteni a radaros mennyiségeket azokban a konvektív esetekben is, amikor a felhőből nem hullott jég. Ehhez a jégészlelések pontjaiban megnéztük azokat az időszakokat, amikor nem történt észlelés, de az észlelőhelyhez legközelebbi radarrácspontra 40 dBZ feletti volt az oszlopmaximum reflektivitás. A nyári és köztes időszakban megköveteltük a H_{45} létezését (így összehasonlítható a jeges esetekkel), valamint csak akkor tartottuk meg a nem jeges pixel, ha a mérés előtti vagy utáni 15 perces intervallumban előfordult villám a 10 km sugarú környezetben. Ezzel a feltétellel elsődlegesen a radarzajokat, másodsorban a nimbostratus felhőzetbe ágyazódott erősebb góccokat igyekeztünk kiszűrni. Hűvös alsó légkör esetén ezt a feltételt nem követeltük meg, mivel ilyen körülmények között a jégesőhöz nem szükséges zivatartermékenység.

Az igen erős konvektív cellák esetén alkalmaztunk egy további, együttes feltételrendszert is a potenciálisan elmaradt jégészlelések kiszűrésére: a reflektivitás meghaladta az 55 dBZ-t, a VIL a 15-öt, és a dH ≥ 5 km (ekkor a Holleman-módszerrel számolt Hail Probability >95%). Ez utóbbiakat szintén kihagytuk a feldolgozásból.

Az optimális elválasztó paraméter(párost) és a hozzá tartozó küszöböt (vagy összefüggést) klaszszifikációs gépi tanulási eljárással próbáltuk megtalálni, amivel analitikus módon megadható két pont-halmazt (jeges és nem jeges) optimálisan elválasztó görbe egyenlete. Mivel a vizsgálat során kétféle kimenetet vizsgálunk (jeges, illetve nem-jeges észleléshez, mint függő változóhoz tartozik-e az adott paraméterérték, mint független változó), ezért bináris klaszszifikációs eljárásra volt szükségünk, a logisztikus regresszió pedig egy ilyen klaszszifikációs módszer.

Mivel a nem-jeges mérések száma egy nagyságrenddel nagyobbak adódtak a jegesekéhez képest, ezért *rétegzett véletlen mintavételezési eljárással* a nem-jeges pontok közül kiválasztottunk a jeges mérések számával

megegyező számú darabot. Így az előfordulási arányuknak megfelelően kerültek be elemek a kiválasztott mintába, miközben a kapott kisebb számosságú minta statisztikailag kellően jól reprezentálja az eredeti sokaságot. Ugyanakkor a véletlen mintavételi eljárás minden egyes alkalommal más és más sokaságot állít elő a logisztikus regresszió számára (még ha a rétegzettség miatt többé-kevésbé hasonlót is), a kapott összefüggések mintavételről mintavételre különbözni fognak. Hogy mekkora ingadozást jelent ez az eredményekben, ennek eldöntésére összesen 10 véletlen nem-jeges mintát állítottunk elő, és mind a 10 mintával elvégeztük a regressziós modellképzést. Nyári és hűvös alsólégköri helyzetben a jeges és nem-jeges sokaságot véletlenszerűen felbontottuk egy tréning és egy teszt adatsorra (0,7–0,3 arányban), az elválasztó-paramétereket a tréning adatsorra állapítottuk meg. A logisztikus regressziós modellt az összes radaros paraméterre egyenként (egyváltozós eset) és ezek tetszőleges kombinációira (kétváltozós eset) elvégeztük. A legjobb elválasztónak pedig azt a paraméter(párost) tekintettük, ami a 10 teszt adatsorra alkalmazva a legtöbbször a legmagasabb score-ral (megfelelően besorolt megfigyelések és az összes megfigyelés aránya) rendelkezett. Mivel a köztes helyzet esetszáma meglehetősen alacsony, ezért itt ezt a ketté bontást nem alkalmaztuk, szimplán a teljes adatsorra felállított logisztikus regresszió tulajdonságait vizsgáltuk.

A fenti vizsgálatot elvégezve az alábbi eredményeket kaptuk a H_0 alapján megkülönböztetett légkörtípusokra. Azt mondjuk, hogy egy radar rácspontnak megfeleltetett területen nagy valószínűséggel hullik a jég, ha az adott rácspontban a paraméterekre teljesül az 1. táblázatban bemutatott feltétel, amit jeges feltételnek nevezünk.

Légköri helyzet	Feltétel	Score
Nyári	$dH \geq 2,5535 \text{ km}$	0,939
Köztes	$dW > 1,458 + 0,0645 \cdot \text{VIL}$	0,906
Tavaszi-őszi	$\text{VIL} > 21,8959 - 0,435 \cdot Z$	0,912

1. táblázat. A jeges feltétel.

Modell szerinti jegesség

A közepes szélességeken előforduló nyári zivatarok mindegyike tartalmaz szilárd halmazállapotú csapadékelemeket. A jegeső előrejelzésénél és a verifikációnál

a fő kérdés az, hogy ezek a szilárd csapadékelemek meg tudnak-e akkorára hízni, hogy a felhőből kihullva a felszínre érkezésig még ne olvadjanak el. A vizsgálat célja az volt, hogy megvizsgáljuk, elkülöníthető-e a felszínre elérő jégzemeket produkáló zivatarok kialakulásának körülményei a nem jeges zivatarokétól. Az eljárás során vizsgáltuk a labilitási mérőszámokat (erős kapcsolatban vannak a feláramlás intenzitásával), szélnyírást (növekedésével szervezettebb feláramlások jönnek létre) és a légköri nedvességet, mivel szárazabb légállapot esetén inkább a térfogatot jelentősebben növelő száraz növekedés a jellemző, másrészt a hulló jég szem száraz levegőre tegen keresztül hullva nagyobb mértékű hőelvonást tapasztal, ami az olvadás mértékét csökkentheti.

A paraméterek vizsgálatához az ECMWF-ből az OMSZ-ban számolt konvektív paraméter mezőket vettük alapul 2019 és 2022 között a védekezési időszakban. A mezők 2019-ben naponta kétszer (00 és 12 UTC-s ECMWF futásból), 2020-tól pedig már naponta négyszer (00, 06, 12 és 18 UTC-s ECMWF futásból) álltak elő 1 órás kimeneti sűrűséggel, 0,1 fok horizontális felbontással. Ezenfelül a radaros jégdetektáláshoz hasonlóan a H_0 értéke alapján 3 légkörtípust különítettünk el (nyári, köztes, tavaszi-őszi).

A vizsgált időszakban mindig az elérhető legfrissebb modellfutásból származó időlépcsőt vettük és megállapítottuk járási szinten, hogy az időpontot megelőző és azt követő fél órában teljesült-e a radaros jeges feltétel az adott járásban. Amennyiben igen, akkor az abba a járásba eső ECMWF rácsponti értékek közül kigyűjtöttük a szélsőértékeket az összes vizsgálandó paraméterre a jeges zivatarokat jellemző adathalmazhoz.

A nem jeges helyzetek megállapításához kinyerjük az adott ECMWF időlépcsőből azokra a járásokra vonatkozóan a paraméterek szélsőértékeit, melyekben a jeges feltétel az időlépcsőt megelőző és az azt követő fél órában nem teljesült, de volt 40 dBZ-t meghaladó reflektivitás érték. Nyári és köztes helyzetekben akkor vettük csak figyelembe a modell rácsponti értékeit, ha a 40 dBZ reflektivitás időpontját megelőző 15 és az azt követő 5 percen az adott járásban előfordult villám. A villámok figyelembevétele a radaros jégdetektálásnál ismertett okok miatt volt szükséges. A kapott halmazból kiszűrtük továbbá azokat az értékeket, melyek esetén a nem-jeges cella időpontja előtti és az azt követő egy órában az országban bárhol előfordult olyan cella, ami teljesítette a jeges feltételt. Ezt a szűrést az indokolta, hogy a jeges és nem-jeges időjárási helyzeteket időben minél inkább elszeparáljuk egymástól, mert egymáshoz közeli járások esetén,

ha az egyik jeges míg a másik nem, akkor is hasonló a konvektív paraméterek értékei. A ± 1 órás időablakkal a cellák életciklusát, a kialakuló és összeroskadó cellák okozta torzítást vesszük figyelembe. Természetesen ezzel kiszűrjük azokat a nem-jeges cellákat, amelyek például az ország másik felében alakultak ki, más meteorológiai körülmények között, és végül nem is váltak jegessé. A jeges és nem-jeges helyzetekben a paramétereket elkülönítettük napszak szerint is. Az időszakok határát a napkeltéhez és napnyugtához kötöttük, de alkalmaztunk egy +2 órás eltolást.

A jeges/nem-jeges halmaz közti optimális elválasztó paraméter(páros) és a hozzá tartozó küszöbérték(ek) megkeresése a radaros jégdetektáláshoz hasonlóan *logisztikus regresszióval* történt. Paraméterpárokat nem az összes paraméterből képeztünk, csupán a labilitási paramétereket kombináltuk a nedvességi, valamint nyírási (vagy kompozit) paraméterekkel. Abban az esetben, amikor a minták elemszámában nagyságrendi különbség fordult elő, akkor a bővebb mintából *rétegzett véletlen mintavételi eljárással* választottunk ki elemeket a vizsgálathoz. A radaros jeges feltétel megalkotásához hasonlóan most 10 véletlen jeges mintát állítottunk elő, valamint egy fix nem-jeges sokaságot (a minta a továbbiakban az adott jeges minta és a fix nem-jeges sokaság együttesét jelenti).

Az adott mintát véletlenszerűen felbontottuk tréning és teszt adatsorra 0,75–0,25 arányban, azaz a teljes adatsor háromnegyedére állítottuk fel a logisztikus regressziót (tréning), ezt követően pedig megvizsgáltuk,

hogy a kapott regresszió hogyan teljesít az egynevednyi minta, a regressziós modell számára ismeretlen adatsor esetében (teszt). Egy teljes mintán belül a leghatékonyabb elválasztónak azt a paramétert vagy paraméterpárost tekintettük, amelynek a regressziós összefüggése a tesztelés során a 10 mintából a legmagasabb átlagos score értéket érte el.

A vizsgálatok elvégzése után az alábbi eredményeket kaptuk a H_0 alapján megkülönböztetett légkörtípusokra. Azt mondjuk, hogy egy modell rácspontnak megfelelő területen, amennyiben elégségesek a feltételek zivatarok kialakulásához, azokat felszint eléró jégszemek kísérhetik, ha az adott rácspontban a paraméterekre teljesül a 2. táblázatban bemutatott feltétel, amit modell szerinti jegességnek nevezünk.

Verifikáció

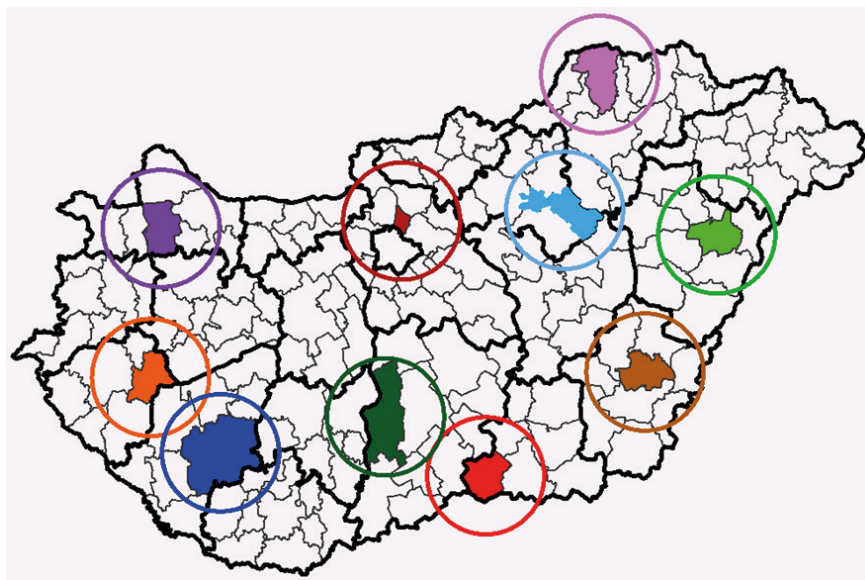
A radaros jeges feltétel segítségével 5 perces időbeli, 1 km-es térbeli felbontással meghatározhatjuk, hogy nagyobb valószínűség mellett hol és mikor fordulhatott elő jégeső, vagyis rendelkezésünkre áll a verifikációhoz elengedhetetlen, kellő tér- és időbeli felbontással rendelkező adatsor.

Bár a riasztások kiadásakor az elsődleges szempont, hogy mi várható a járásokban a riasztás kiadását követő 2 óra múlva, nem szabad figyelmen kívül hagyni az előrejelzésekben mindig jelen lévő térbeli bizonytalanságot. Ezen felül a zivatarok kialakulását meghatározó légköri feltételek és kényszerhatások jellemzően nem egy adott járásra koncentrálnak, valamint az átlagos járások meteorológiai értelemben relatív picinek tekinthetők, így általában lehetetlen pontosan megmondani, hogy a közigazgatási határok melyik oldalán fog konkrétan kialakulni a zivatar és azon belül a jégeső. Ezért az egyes riasztások vizsgálata során nem csak az adott járást, de annak egy meghatározott környezetét is figyelembe vesszük.

A környezet definiálásához minden járás esetén vettük az adott járás és a vele szomszédos járások területének összegét, majd kiszámoltuk az így kapott, 1700 és 6700 km² között változó területek mediánját. Ez ~4000 km² volt, ami egy hozzávetőlegesen 35,7 km sugarú körnek felel meg. Mivel a legnagyobb kiterjedésű

Légköri helyzet	Napszak	Feltétel	Score
Nyári	Nappal	$AVERHO6 < 0,4087 * MLCAPE - 169,17$	0,8066
	Éjszaka	$163,487 * SSI + 350,32 < SREHO3R$	0,7559
Köztes	Nappal	$8,2083 * MLCAPE + 0,00342 > WETBULBO$	0,6847
	Éjszaka	$3,7776 * EHI + 9,7779 < SHEARO6$	0,7379
Tavaszi-őszi	Nappal	$313,0532 * BLI + 1948,867 < WETBULBO$	0,8692
	Éjszaka	$46,64574 * SSI + 64,543 < SREHO3R$	0,8535

2. táblázat. A modell szerinti jegesség. Az AVERHO6 a 0–6 km-es réteg átlagos relatív nedvessége, a SREHO3R a 0–3 km-es rétegben a zivatarhoz képesti relatív helikalitás jobbra térülő szupercella esetén, a SHEARO6 a 0–6 km-es szélnyírás, a WETBULBO a 0 fokos nedves hőmérséklet magassága és az EHI az energia helikalitás index.



1. ábra. A járások környezetét bemutató ábra.

járás átmérője durván 63,5 km, így a 35,7 km sugarú kör ezt is lefedi. A járások környezetét az 1. ábrán szereplő színes járások és körök mutatják be.

Az előrejelzések bizonytalansága a riasztások levételénél is megnyilvánul, emiatt a levétel után számolunk egy türelmi, lecsengési idővel, amit védelmi időnek nevezünk. Ez azt fejezi ki, hogy bár az előrejelző úgy ítéli meg, hogy az adott helyzetben a narancs riasztási fokozat már nem indokolt egy járáson, de sok esetben a környező járásokban még aktív konvektív cellák miatt a jégeső esélye lassabban csökken a területen. A tapasztalatok szerint a védelmi idő alkalmazásával gyorsabban kerülnek le a riasztások és a lecsengés során kihagyhatók utólag feleslegesnek ítélt alacsonyabb fokozatú (például narancssárgát követő rövidebb citromsárga) riasztások is.

A verifikáció során többek között az alábbi mutatókat vizsgáljuk:

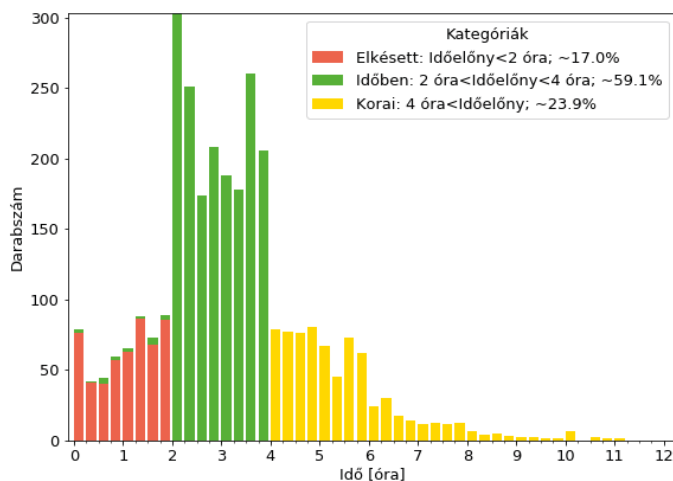
- mekkora időelőnyvel sikerült kiadni a riasztásokat,
- a járásban vagy környezetében mikor teljesült az utolsó jéges feltétel a levételhez képest,
- mennyi ideig voltak fenntartva a fölösleges riasztások,
- a riasztások fenntartásának mekkora hányada volt indokolt,
- az egyes riasztási fokozatoknak mekkora volt a beválási hatékonysága.

A riasztások időelőnyének meghatározásához megkeressük a kiadás utáni első jéges feltétel teljesülést a járásban vagy annak környezetében.

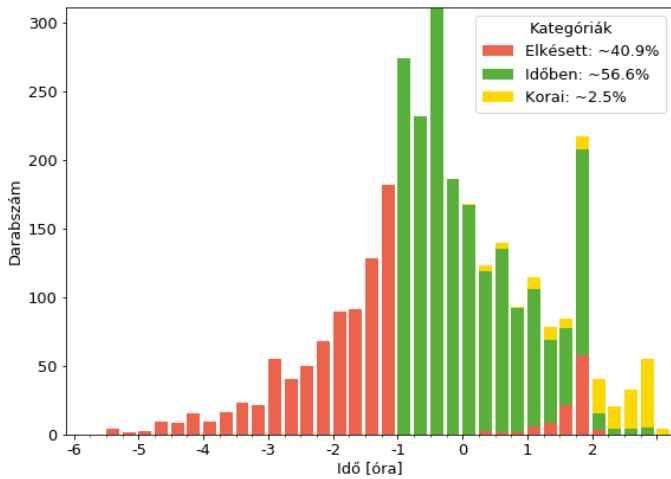
Mivel a riasztásokat ideális esetben 2–3 órával az első jéges cella előtt kell kiadni, így minden olyan riasztást, aminek az időelőnye nem éri el a 2 órát, elkésettnek tekintünk. Amennyiben az időelőny 2 és 4 óra közötti, úgy időben, ha 4 órát meghaladó, akkor túl korán kiadott riasztásnak minősül. Abban az esetben, ha a riasztás kiadása és a védelmi idő letelte között egyáltalán nem fordult elő jéges feltétel teljesülés, úgy az adott riasztás felesleges volt. A 2023-ban kiadott narancssárga

riasztások időelőnyét a 2. ábra mutatja be.

Az egymást követő riasztások levételének és kiadásának értékelése bizonyos esetekben ellentmond egymásnak. Például, ha volt egy piros riasztás, aminél a levétel után 1 óra 25 perccel, de a riasztás védelmi idejében még teljesült a jéges feltétel, akkor időben történt a levétel. Ugyanakkor az ezt követő riasztásnak az időelőnye ugyanarra a jéges feltétel teljesülésre 1 óra 25 perc, vagyis mivel nincs meg a szükséges 2 órás időelőny elkésettnek minősül, korábban kellett volna kiadni. Mivel a piros levétele (megfelelő időpontban történt) és a például narancssárga kiadása



2. ábra. A 2023-ban kiadott narancssárga riasztások időelőnyének megoszlása negyedórás felbontással.



3. ábra. A 2023-ban kiadott szükséges narancssárga riasztások levételének időbelisége negyedórás felbontással.

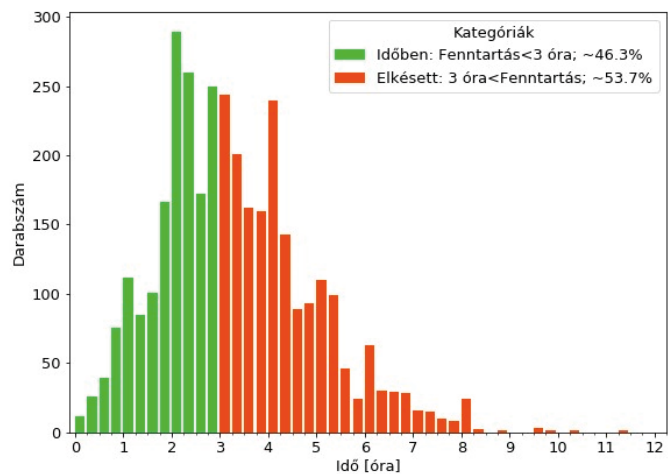
(korábban kellett volna meglépni) egy időpontba esik, így logikai ellentmondás lép fel. Ezt az ellentmondást mindig a magasabb fokozatú riasztás javára oldjuk fel és azt mondjuk, hogy a piros riasztást időben vettük le, következésképp a narancssárgát is időben adtuk ki. Ilyen helyzeteket jelölnek a 2. ábrán a 0–2 órás intervallumban, a piros oszlopok tetején megjelenő kisebb zöld sávok. Összességében a 2. ábra alapján elmondható, hogy amikor teljesült a radaros jeges feltétel a narancssárga riasztások kiadása után, akkor döntő többségében időben lettek kiadva a riasztások, de kiemelten a 0–1 órás intervallumban az elkésett riasztások száma nem lett kellően alacsony.

A levételek értékelésekor az utolsó jeges feltétel teljesülés időpontját vetjük össze az adott riasztás levételének idejével. A levétel elkésett, ha az utolsó jeges feltétel teljesülés és a levétel között több, mint 1 óra telt el. Amennyiben az utolsó jeges feltétel teljesülés és a levétel között legfeljebb 1 óra telt el vagy a feltétel teljesülése még a védelmi idő alatt történt, úgy időben, ha a védelmi időn túl, akkor túl korán került le az adott riasztás. A 2023-ban kiadott narancssárga riasztások levételének eloszlását a 3. ábrán mutatjuk be. Az ábrán a 0 időpont jelzi a levételt, a negatív tartomány a levétel előtti, a pozitív pedig a levételt követő időszakban előforduló jeges feltétel teljesüléseket mutatja be. Természetesen a levételek értékelésénél is figyelembe vesszük a korábban említett esetleges logikai ellentmondásokat, amiket most is a magasabb fokozatú riasztás javára oldunk fel. A pozitív tartományban szereplő

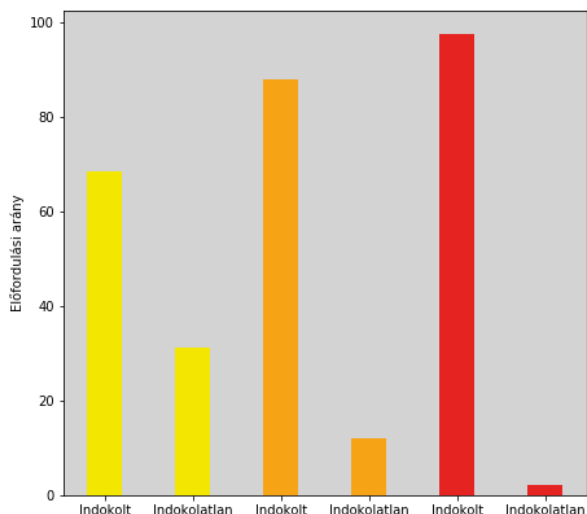
elkésett levételek azt jelzik, hogy a narancssárga riasztás után pirosra emeltük a fokozatot, de a piros riasztás időelőnye nem érte el a szükséges 2 órát, így az elkésett, a riasztási fokozat megemelését korábban kellett volna meglépni. A 3. ábra alapján a narancssárga riasztások döntő többségében időben kerültek megszakításra, de kiváltképp a 2–3 órát meghaladó kivárások (-2 – -3 órától balra) esetén hamarabb is lekerülhettek volna a riasztások.

A felesleges riasztások levételét a riasztások fenntartási ideje alapján értékeljük. Amennyiben 3 órán belül lekerültek a feleslegesen kiadott riasztások, akkor időben, ellenkező esetben túl későn történt a levétel. A 4. ábra alapján a narancssárga riasztások esetén kiemelten a 3–4 órás intervallumban alakultak túlzottan magasán az esetszámok, a magasabb fenntartási idők felé már erősebb lecsengés látható. A 3–4 órás fenntartások esetén fontos szerepet játszik a bizonytalanság, hiszen 2–3 órás időelőnyrel kell kiadni a riasztásokat, de ha az időjárási helyzet nem a várakozások szerint alakul, akkor nagyon kevés idő marad az előrejelző számára, hogy a változást felismerje, és az adott riasztást időben megszüntesse. A probléma egy megoldása lehet, ha a 3 órás határt 4-re toljuk.

A riasztás-fenntartás indokoltságának vizsgálata során nemcsak a radarméréseket vesszük figyelembe, hanem a fentiekben bemutatott modell szerinti jegességet is, így az indokoltság vizsgálatát elvégezzük a radarmérések és a modell előrejelzések alapján külön-külön, valamint ezek együttes figyelembevételével.



4. ábra. A 2023-ban kiadott felesleges narancssárga riasztások fenntartási idejének megoszlása negyedórás felbontással.



5. ábra. A 2023-ban kiadott riasztások összesített fenntartási idejének megoszlása az indokoltság szerint külön-külön mindhárom riasztási kategóriára (citrom, narancs és piros), a radarmérések és a modell előrejelzések együttes figyelembevétele esetén.

telével is. Példaként a két adatsoron történő együttes meghatározást mutatjuk be, de külön-külön is hasonló módon számítjuk a riasztások fenntartásának indokoltságát. Indokoltnak tekinthető a riasztás fenntartása, ha legalább a radarmérésekben megjelentek a jeges cellák vagy legalább az ECMWF modell alapján számolt különféle, a zivatar- és jegeső-képződési potenciált számszerűsítő paraméterek mezői alapján valószínűsíthető volt azok kialakulása. Az eljárás során meghatározásra kerülnek az egyes riasztásokhoz tartozó ideális kiadások és levételek, vagyis azok az időpontok, amikor ki kellett volna adni, illetve le kellett volna venni az adott riasztást.

Az eljárás szerint a riasztást a radarmérésekben megjelenő első jeges cella előtt három órával, vagy az első jeges modell időlépcső előtt három órával kellett volna kiadni. Ez az ideális kiadás időpontja. Amennyiben a radarmérések és a modell előrejelzések által meghatározott ideális kiadások időpontja nem esik egybe, úgy a korábbi időpontot választja az eljárás, mivel legalább az egyik feltétel szerint indokolt volt a riasztás kiadása. Az eljárás az ideális levétel időpontjának az utolsó jeges cella utáni fél óra vagy az utolsó

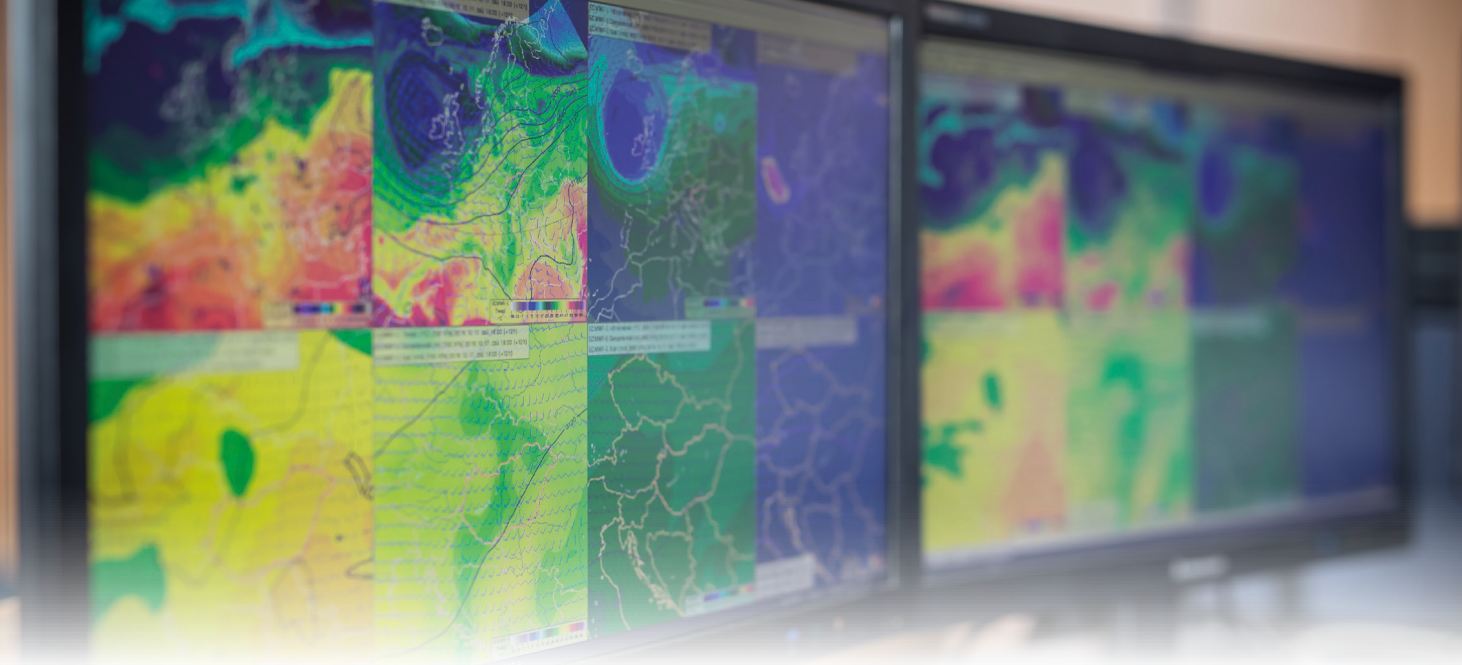
jeges modell időlépcső utáni fél óra leteltét választja. Amennyiben a két időpont nem esik egybe, úgy a későbbi időpontot vesszük, mert hasonlóan a kiadás időpontjához, a levételnél is legalább az egyik feltétel szerint indokolt volt a riasztás fenntartása.

Egy riasztás tényleges fenntartási idejéből indokoltnak tekinthető az egyes ideális kiadás és levétel párok között eltelt idő. Indokolatlan a riasztás tényleges fenntartási idejéből minden másodperc, ami nem volt indokolt. Az 5. ábra a 2023-ban kiadott citromsárga, narancssárga és piros riasztások indokoltságát mutatja be a radarmérések és a modell előrejelzések együttes figyelembevétele mellett. Az ábra színei az egyes valószínűségi kategóriákba eső riasztásokat jelölik. Az ábra alapján 2023-as évben a riasztások fenntartásának jelentős része indokolt volt és az egyes riasztási kategóriákban az indokoltság aránya a riasztás fokozatával és így a jegeső valószínűségével folyamatosan növekszik.

Végezetül a 3. táblázatban bemutatjuk, hogy a 2023-ban kiadott különböző fokozatú riasztások esetén hogyan alakult a beválási hatékonyság. Beválási hatékonyság alatt azt értjük, hogy az adott fokozatú riasztások mekkora hányadánál fordult elő jeges feltétel teljesülés a radarmérésekben a riasztás kiadása és a védelmi idejének letelte között. Látható, hogy a 2023-as évben mind a négy riasztási fokozat az elvárt intervallumba esett.

Fokozat	Hatékonyság	Elvárt
zöld	95,0%	>90%
citromsárga	20,7%	<30%
narancssárga	46,2%	30-60%
piros	71,7%	>60%

3. táblázat. Az egyes riasztási fokozatok beválása a radaros jeges feltétel alapján.



Interjú Radnóti Gáborral (nyugdíjba vonulása alkalmából)

Szépszó Gabriella

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

Radnóti Gáborral, az Országos Meteorológiai Szolgálat és az Európai Középtávú Előrejelző Központ modellezési fejlesztésekért felelős volt munkatársával beszélgettünk.

Szépszó Gabriella: Nagyon örülök, hogy elfogadtad a felkérést, hogy beszéljessünk a rendkívül széles ívet bejáró szakmai életutadról, és beavassuk a fiatal kollégákat is abba, hogyan indult a numerikus előrejelzés Magyarországon, és hogyan alakultak magyar közreműködéssel is azok a nemzetközi kezdeményezések, amik ma meghatározóak a hazai operatív időjárás-előrejelzés szempontjából.

Mi érdekelt fiatal korodban és hogyan vezetett ez ahhoz, hogy meteorológus lettél? Úgy tudom, te sem a meteorológusok azon alfajához tartozol, akik méréseket folytattak a családi kertben.

Radnóti Gábor: Véletlen, utolsó pillanatban hozott döntés volt. 4. gimnáziumban, a felvételi határidő előtt pár nappal változtattam meg szándékomat, és a műszaki egyetem helyett jelentkeztem az ELTE TTK meteorológus szakára. Előtte azt sem tudtam, hogy van ilyen szak, és hogy mik a felvételi tárgyak. A környezetemben mindenkit nagyon megleptem ezzel. Mivel matek és fizika felvételi tárgyra készültem amúgy is, ez a változtatás nem okozott technikai problémát.

Sz. G.: Kik voltak meghatározó személyek számodra a pályádon?

R. G.: Több ilyen volt. Egyetemista koromból *Gulyás Ottó*t külön szeretném megemlíteni. Ő ugyan nem volt meteorológus, statisztikusként hosszú éveket töltött az OMSZ-nál. Kiváló tanár volt, és pontosan értette,

mire van szüksége egy meteorológusnak a valószínűségi számítás és matematikai statisztika területéről. Utolsó évben *Dévényi Dezső* tanította a numerikus prognosztikát. Őt is mindenképp meg kell említenem, már csak azért is, mert ő szinte rögtön „pályára állított”, amikor felajánlotta, hogy a diploma megszerzése után a nemrég alakult numerikus prognosztikai osztályra menjek dolgozni. Tovább folytatva a sort meg kell emlékezni a nemrég szintén elhunyt *Götz Gusztávról*, akinek lenyűgöző volt széles szakmai látóköre és elméleti felkészültsége. Aztán úgy hozta a sors, hogy sok időt töltöttem a szakmában külföldön. Mindenképp ki kell említenem az ALADIN projekt vezetőjét, mentorunkat, *Jean-Francois Geleynt*. Sajnos már ő sincs közöttünk. A readingi évekből külön nem említenék senkit: te is tapasztalhattad, hogy az egy kiváló társaság, szenzációs koponyákkal, felkészültséggel és elhivatottsággal, nehéz és igazságtalan lenne bárkit is kiemelni.

Sz. G.: Hogyan kezdted el az OMSZ-ban dolgozni? Mindig is modellezéssel akartál foglalkozni?

R. G.: Az egyetem utolsó évében *Dévényi Dezső* hívására kerültem a frissen alakult numerikus modellező osztályra. Egyetemi tanulmányaim során világgossá vált, hogy amennyiben a szakmában helyezkedem el, ez az a terület, ami igazán érdekel. Szerencsés volt az időzítés, épp akkor, végzésem idején alakult

ez az osztály. Ezzel egy időben elkészült az OMSZ új számítóközpontja is egy akkori mércével szuper-számítógépnek tekinthető „mainframe” géppel, amely alkalmas volt arra, hogy egy korszerű numerikus előrejelző modell fusson rajta. Nem sokkal később az intézet vezetése felismerte, hogy a mi területünkön is nemzetközi együttműködésben érdemes gondolkodni. Először a svéd meteorológiai intézettel (SMHI) lépett intézetünk kapcsolatba, és Dezső vezetése alatt az osztályunk sikeresen adaptálta az SMHI korlátos tartományú modelljét, amely a 80-as évek ECMWF modelljén alapult. Ezt a modellt néhány évig operatív módon is futtattuk. A hazai „csapatból” ki kell emeljem *Ihász Istvánt*, aki az adaptációs munka dandárját végezte. Aztán a 90-es évek elején Toulouse-ban elindult az ALADIN projekt, és ez többünk számára meghatározó volt. *Horányi Andrással* együtt a projekt elejétől kezdve részt vettünk a modell fejlesztésében.

Sz. G.: Mesélj a toulouse-i évekről és munkáról.

R. G.: 1991-ben kezdtük a munkát. Évente több hónapot töltöttünk ott, magyar részről eleinte legtöbbit András és én. Az első években az év nagyobb részében ott voltunk. Formálisan ösztöndíjasok voltunk, a meteorológiai iskola kampuszában laktunk. Úgy éltünk, mint a diákok, pedig közülünk többen már 40 fölött jártak.

Sz. G.: A fiatal korban épített szakmai vagy egyéb kapcsolatok általában később is meghatározóak az ember életében. Sokukkal tartjátok ma is a kapcsolatot?

R. G.: Jó társaság volt, a környező országokból odaérkező fiatal és kevésbé fiatal szakemberek, akikkel a franciákkal közösen dolgoztunk az ALADIN modell kifejlesztésén, majd operatív üzembe állításán. A kampusz és a munkahely mind egy helyen volt, munka és szabadidő összemosódott, szinte bent éltünk az intézetben. Túlzás nélkül mondhatom, életreszóló barátságok szövődtek ott, különböző nemzetiségű, de eléggé hasonlóan gondolkodó emberek között. (Aztán az élet úgy hozta, Readingben is összekerültem néhány régi toulouse-i baráttal.) Toulouse-ban mindig olyan témán dolgoztunk, amire épp szükség volt, én magam kezdetben a digitális szűrő inicializációs eljárás implementálásán, később az oldalsó határfeltételek kidolgozásán, majd kód optimalizáción.

Sz. G.: A kódismeretedet messze földön is emlegetik. Többször fültanúja voltam, amikor az ECMWF-ben a kollégáid a kóddal kapcsolatos kérdéseikkel is hozzád fordultak, mondván hogy te még a mások számára mágikusnak tűnő, rég a feledés homályába merült eredetű változókról (pl. a híres NPRO-MA-ról) is meg tudod mondani, hogy milyen céllal hozták létre és hogyan kell jól beállítani.



Gábor és Dezső 1991-ben az OMSZ tetején. A képet készítette: Stan Benjamin (a NOAA munkatársa).

R. G.: Az ALADIN modell a francia globális ARPEGE modell korlátos tartományú változata, és mivel az ARPEGE az ECMWF-fel közös számítógépes kód, az évek során megismerkedtünk az ECMWF modelljével is. Rendszeresen részt vettünk a modell verziók tesztelésében, ami évente egy vagy két intenzív, 6-8 hetes adaptációs és tesztelési munkát jelentett. Ennek során tapasztalatot szereztünk az operatív követelmények megvalósításában. Mindez nagyon hasznos volt későbbi pályám során is. A közép-európai LACE projekt 1996-ban indult, és ennek keretében sok időt töltöttem felváltva Toulouse-ban és Prágában is.

Sz. G.: Mi volt a munkanyelvetek Toulouse-ban? Az ARPEGE és az ALADIN forráskódjában például szinte minden megjegyzés francia nyelvű. Használtátok ezt a nyelvet a mindennapokban?

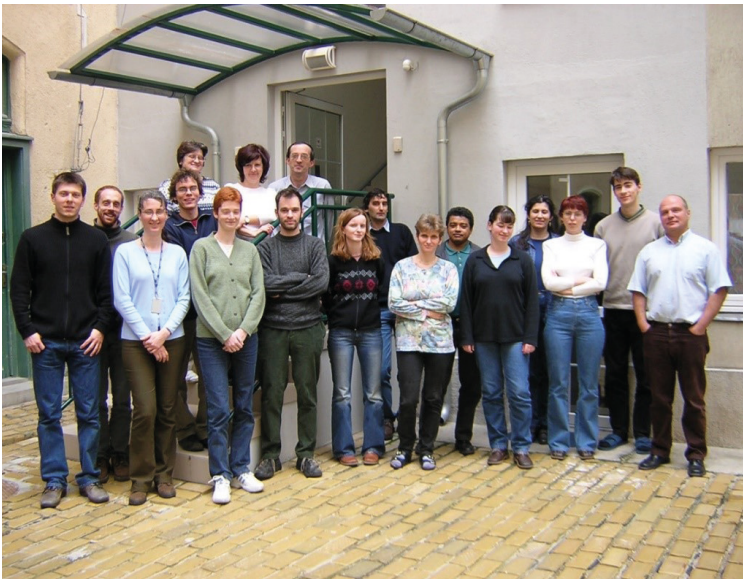
R. G.: A kezdetekkor közülünk senki nem beszélt franciául. Én személy szerint a későbbiek során sem nagyon sajátítottam el a nyelvet, hiába töltöttem Toulouse-ban rengeteg időt. A munkanyelv az angol volt. A projekt során egy elég speciális „közép-európai angolt” fejlesztettünk ki, vegyítve akár magyar és francia szavakkal, tükörfordításokkal. Ez számunkra szórakoztató és teljesen világos volt, de ha véletlenül közénk keveredett egy angol anyanyelvű, az kezdett kételkedni saját nyelvtudásában vagy az ALADIN-osok épelméjében. András ilyenkor megmagyarázta az illetőnek, hogy ne aggódjon, ez egy ausztrál nyelvi fordulat, nézzen nyugodtan utána.

Sz. G: Úgy tudom, Andrással úgy gyakoroltatok, hogy még egymással is csak angolul beszéltek. Próbáltatok a magyar nyelvet népszerűsíteni a társaságban?

R. G.: Igen, a kezdeti időszakban Toulouse-ban akkor is angolul beszélünk, amikor kettesben voltunk. Eleinte gyakorlás volt, később már inkább szórakozás. Próbáltunk a forráskódba is becsempészni érdekes nyelvi fordulatokat, de arra nem esküszöm meg, hogy ezek átmentek a „code review” folyamaton. A projekt legtöbb törzstagja kapott egy becenevet, néhányan A tanú című filmből. A névadók általában mi voltunk Andrással, és csak kevesen sértődtek meg a beceneven.

Sz. G: Neked mi a beceneved?

R. G.: Én *Gulyás Elemér* voltam, András pedig *Virág Árpád*. Ez azóta volt így, hogy egy DWD (német meteorológiai szolgálat – szerk.) elleni kispályás focimeccsen oldalba rúgtam András, akiben rögtön felsejlett, hogy Gulyás Elemér leverte szegény Virág elvtárs veséjét. (A tanúban Elemér a Horthy-korszak rendőrségi verőembere, Árpád pedig kommunista pártfunkcionárius, akik a történelem forgatagában felváltva voltak üldözök és üldözöttek – szerk.) Készült egy ALADIN kvíz is, amelyben ilyen, a projekt belső életével kapcsolatos kérdésekre kellett válaszolni, és csak az igazán bennfentesek voltak képesek közel hibátlanul kitölteni.



Az OMSZ Numerikus Előrejelző Osztálya 2004-ben Budapesten. Balról jobbra: Kertész Sándor, Kullmann László, Bujdosó Ildikó, Bölöni Gergely, Putsay Mária, Hágel Edit, Povázsay Judit, Kiss Gergely, Ihász István, Szépszó Gabriella, Horányi András, Benkéné Csima Gabriella, Roger Randriamampianina, Szoták Regina, Kerényi Judit, Kolláthné Tóth Helga, Vörös Miklós, Radnóti Gábor. A képet készítette: Rajnai Márk (szintén az Osztály munkatársa).

Sz. G: Amikor megismertelek, akkor („még nem sejtettem, hogy” Gulyás Elemérnek hívnak és) a numerikus előrejelzést tanítottad az egyetemen. (Egyébként úgy tapasztaltam, hogy sokakat ezek a képzés 5. évében tartott órák állítottak modellezési pályára.)

Hogyan érezted magadat a katedra másik oldalán?

R. G.: A numerikus előrejelzés tanítását Dezsőtől vettük át Andrással és eleinte Istvánnal közösen. Mivel ezekben az években sok időt töltöttünk külföldön (Toulouse-ban vagy a prágai központú Közép-Európai ALADIN LACE Központban), többen kellettünk a tanítás zökkenőmentes lebonyolításához. Az ELTÉ-n előadni és vizsgáztatni megtisztelő feladat, amit örömmel végeztünk mindenféle ellenszolgáltatás igénye nélkül. Külön öröm volt, hogy a tanításon és vizsgáztatáson keresztül megismerhettem egy teljes „meteorológus generációt”, akik az 1993 és 2003 közti 10 évben végeztek. Témavezető csak 1-2 esetben voltam, főleg azért, mert túl sokat voltam külföldön.

Sz. G: Ezekben az időkben már a Numerikus Előrejelző Osztály vezetője voltál. Milyen volt „főnök szerepbe” kerülni? Változott a kollégáiddal a viszonyod? Milyen típusú vezető voltál?

R. G.: A numerikus előrejelző osztály vezetését 2002-ben vettem át, és ezt a szerepet két évig töltöttem be, readingi munkavállalásom kezdetéig. A főnök szerep nekem nem volt testhezálló több okból. Egyrészt az osztályhoz tartoztak olyan szakmai tevékenységek is, amelyekben egyáltalán nem éreztem magam otthon (pl. műholdmeteorológia és nowcasting), és nem volt inyenre, hogy szakmailag „irányítsak” olyan szakembereket, akik a saját területüket sokkal jobban ismerik, mint én magam. Másrészt az adminisztratív feladatokat terhesnek és sokszor feleslegesnek éreztem. Nem utolsó sorban pedig mint vezetőnek, olyan döntések meghozatalában is részt kellett vennem, amelyekkel nem értettem egyet és amelyeket nem szerettem (mint például létszámleépítés, fizetések meghatározása, jutalom szétosztása).

Sz. G: Én úgy emlékszem ezekre az időkre, hogy egy végtelenül segítőkész főnök voltál, aki kész volt minden szakmai problémán időt és fáradságot nem kímélve gondolkodni. Tisztelettel és kíváncsian viszonyultál azokhoz

a szakterületekhez is, amikhez kevésbé értettél, s a kollégák közötti kisebb-nagyobb konfliktusokat is igyekeztél a magad barátságos módján elsimítani.

R. G.: Voltak persze kellemes oldalai is a vezető szerepnek: a szakterületemen történő munka irányítását élveztem, és próbáltam részt venni a technikai lebonyolításban is. A legemlékezetesebb és örömtelibb események az OMSZ-os időszakomból az ALADIN modell hazai adaptációja és operatív bevezetése és a nemzetközi együttműködésben töltött idő voltak. Mindent összevetve azonban úgy érzem, jókor jött a lehetőség, hogy „új szakmai életet” kezdhessek Readingben az ECMWF-nél.

Sz. G: Az elsők között kerültél a közép-európai ALADIN társaságból az ECMWF-be még Magyarország Európai Unióhoz való csatlakozása hajnalán, 2004-ben. Hogyan kezdődött ez? És milyen volt egy olyan munkakörnyezetbe belecsöppenni, ahol egy egész intézet foglalkozik modellezési fejlesztésekkel?

R. G.: A pályaválasztáshoz hasonlóan itt is nagy szerepe volt a véletlennek. Ahogy egyre többet dolgoztam az ECMWF/ARPEGE/ALADIN kód együttesén, már régóta gondoltam, hogy jó lenne egyszer majd az ECMWF-ben dolgozni. De konkrétan nem figyeltem az álláshirdetéseket. Akkoriban nem is nagyon voltak kelet-európai alkalmazottak Readingben, kivéve az egykori Jugoszláviából (Jugoszlávia a keleti blokkból egyedül alapító tagország volt az ECMWF-ben). Aztán 2003 decemberében kaptunk egy e-mailt Readingből, hogy kiírtak egy 2-éves konzultánsi állást a határfeltétel projekt keretében, és számítanak ránk, az ALADIN projekten dolgozókra, hogy valakit érdekelni fog. Akkor azonnal kértem egy meghallgatást az OMSZ elnökétől, és megegyeztünk, hogy megpróbálom, és ha sikerül, lemondok az OMSZ-os osztályvezetői állásomról. Így is történt, az állást megkaptam, és akkor még úgy tűnt, két év után majd visszatérek az OMSZ-ba. A sors másképp hozta. A határfeltétel projekten, amire felvettek, néhány hónapot dolgoztam csak. Akkor vezette be az ECMWF az ún. early delivery operatív rendszert, ami sokkal gazdaságosabbá tette az operatív előrejelzés szolgáltatást és szükségtelessé vált, hogy a határfeltétel projektben egy lebutított, ún. 3D-FGAT rendszert működtessünk a 4D-Var adatasszimiláció helyett. (Mindkét asszimilációs technika az előrejelzés kezdeti feltételének



2020-ban az ECMWF-ben dolgozó egykori ALADIN-osok (Reading).

meghatározására szolgál – szerk.) Ezért aztán belefolytam az adatasszimilációs részleg általános munkájába. 2011-ig rövid projektekben kaptam munkát 1-2 éves szerződések keretében, és főleg megfigyelési hatástanulmányokat készítettem. (Ezekben egy adott megfigyelési típus asszimilációba való bevonásának hatását tesztelik az előrejelzés minőségére – szerk.) Aztán 2011-ben megpályáztam egy új pozíciót, amely a kutatók által kifejlesztett új modellverziók tesztelését, operatív részlegnek történő átadását fedte le. Nyugdíjba vonulásomig ebben a pozícióban voltam. Ez egy nagyon izgalmas munka volt, a maga kényelmetlenségeivel: sokszor éjjel ébresztettek, amikor az operatív előrejelzés hajnali futtatásával gond volt. Ilyenkor gyorsan ki kellett találni valamit, hogy a tagországok időben vagy minimális késéssel megkapják a 0 UTC-kor induló 10-napos előrejelzést.

Sz. G: Mióta elkezdted az ECMWF-ben dolgozni, számos kolléga követett Közép-Európából. Hányan is dolgoznak ott az ALADIN-csapatból?

R. G.: Amikor másodikként Readingbe kerültem, a szlovák *Marta Janisková* már ott volt pár éve. Az ő PhD témája szorosan kötődött az ECMWF-ben is újnak számító egyszerűsített fizikai parametrizációhoz, ami a tangens lineáris és adjungált változatával együtt a diabotikus 4D-Var alapját képezi. (A 4D-Var ECMWF-ben használt változatának erőssége, hogy a gradiens-számítás során egyszerűbb közelítések helyett a modell tangens-lineáris és adjungált változatát alkalmazzzák. Ez a két modellverzió igényli a fizikai parametrizációk egyszerűsített változatának kidolgozását

és fenntartását minden kódváltoztatás során – szerk.) Azóta a hajdani ALADIN csapatból már több, mint tucatnyi szakember fordult meg az ECMWF-nél, többségük ma is ott van. Az ALADIN-os csapatmunka remek bevezetés az ECMWF-es karrierhez is, ezért úgy gondolom, megálljuk a helyünket az ECMWF-nél.

Sz. G: **Mi az, amit szerinted itthon is meg lehetne honosítani az ECMWF-es munkakörnyezetből? Olyasmire gondolok, ami nem pénzkérdés, és nem annak a speciális helyzetnek az eredménye, hogy sok külföldi kolléga van összezárva egy kisvárosban.**

R. G.: Ezek nehezen szétválasztható dolgok. Az ECMWF-nél dolgozni véleményem szerint nagy presztízs és természetesen anyagilag is kiemelkedő lehetőség. Ezért az ECMWF abban a helyzetben van, hogy minden kiírt állásra válogathat a legtapasztaltabb, legmegfelelőbb jelentkezők közül. Az emberek többsége az ECMWF-nél tisztában van azzal, mennyire privilégizáltak, hogy ott dolgozhatnak, és ennek megfelelően elkötelezettek is. A jó anyagi körülmények pedig biztosítják, hogy teljes mértékben a munkára koncentrálhasson az ember. Világos, hogy ezek a lehetőségek nem teljesen állnak rendelkezésre egy tagországi meteorológiai szolgálatnál. Ami az ECMWF-nél különösen megragadott, és ami talán elvonatkoztható a fentiekől, az a viszonylag kevés bürokrácia és az innovációra való fogékonyság. Az ECMWF vezető szerepéhez nagyban hozzájárul, hogy mindig elsőként próbál minden újítást bevezetni, kész kockázatot vállalni, legyen az egy új műholdas adattípus asszimilációja vagy éppenséggel a mesterséges intelligencia használata.

Sz. G: **Emlékszem például, hogy a COVID-19 vírus-helyzet idején az ECMWF azonnal lépéseket tett arra, hogy a repülőgépes forgalom nagymértékű csökkenése miatt az asszimilációból kieső repülőgépes méréseket más megfigyelési típusokkal pótolja. Az is egyedülálló, ahogyan a mesterséges intelligencia keltette kihívásokra reagál: az időjárás-előrejelzés témájában ez 5 évvel ezelőtt még meglehetősen futurisztikusnak tűnt, 3 éve az ECMWF már úttervet készített a téma körüljárására, ma pedig már a nagy tech cégekkel közösen dolgozik azon, hogy a modellezés melyik szegmensében lehet hatékonyan alkalmazni ezeket az eljárásokat.**

R. G.: A szakmánkban nincsenek titkos algoritmusok, a már ismert, „okos” emberek által kitalált dolgokat kell implementálni, és minimalizálni a fejlesztés és az operatív bevezetés közti időt, csak annyi időt szánva a tesztelésre, amennyi feltétlenül szükséges. Ezekben az ECMWF nagyon pragmatikus és szinte minden újdonságot a világon elsőként vezet be operatív módon. Ez már önmagában 1–2 év előnyt biztosíthat a beválási

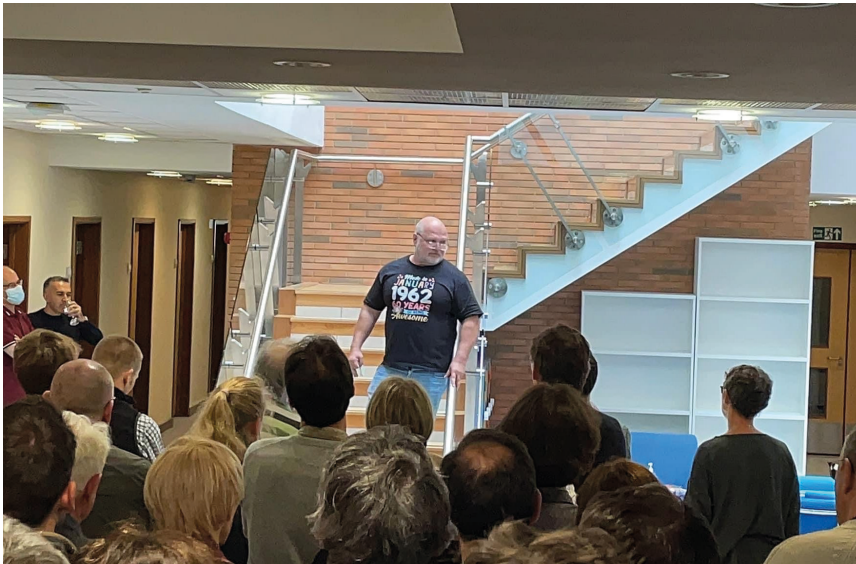
statisztikákban. Egy másik dolog, ami talán elsajátítható, hogy a beosztott dolgozó erkölcsi megbecsülése azonos a főnökével és anyagiakban sem nagy a különbség. A vezetők tisztában vannak azzal, hogy a sikerhez épp olyan fontosak a kutatók, a fejlesztők, a technikai guruk, mint a jó menedzserek. Ez hozzájárul ahhoz, hogy a legjobb emberek azokban a pozíciókban maradjanak, ahol a leghasznosabbak tudnak lenni.

Sz. G: **Az ECMWF-ben a kollégák egy része közösen sportol, például kis csapatokban járnak futni vagy tollasozni. Sőt, az ECMWF-nek van egy kicsi, de jól felszerelt konditerme is, ami különösen jól jön a stresszes időszakokban. Te tudtál időt szánni a testedzésre? A fényképeket elnézve úgy látom, hogy izomtömegben is nőtt a tekintélyed az ott töltött 18 év alatt.**

R. G.: A readingi társasági élet fontos részét képezi a közös sportolás. Személy szerint én voltam az asztalitenisz felelőse, több intézeti szintű pingpong versenyt is szerveztem, és alakult egy ECMWF-es pingpong csapat, amellyel részt vettünk a readingi városi ligában, és az évek során egész a harmadosztályig küzdöttük fel magunkat. Az én fő sportom azért az erőemelés maradt, több kollégával, barátal együtt jártunk a „gym”-be. Ahogy readingi életem során gyarapodtam vagy 25 kilót, tényleg valami izom is tapadhatott rám. Amikor Readingbe kerültem, alig bírtam kinyomni a mázsát, fekvőnyomásban ma már 160 kiló körül járok.

Sz. G: **Amikor visszavonultál, itthon rögtön megtapasztalhattad a magyar meteorológia sajátos viszonyait. Hogyan élted meg a 2022. augusztus 20. körüli eseményeket? Például a környezetben lévő szakmabeliekben milyen visszhangot keltett a történet?**

R. G.: Az előrejelzésekben rejlő bizonytalanság részben ismereteink hiányából, módszereink, modelljeink tökéletlenségéből adódik. Egy *Edward Lorenz* nevű meteorológus és matematikus híres felfedezése óta (ami pillangó-effektus néven vált közismertté) azt is tudjuk már vagy 60 éve, hogy előrejelzéseink objektíven is bizonytalanságot kell tartalmazzanak. Ez rossz hír, el kell fogadjuk, hogy az előrejelezhetőségnek mindig lesznek korlátai, ez a folyamatokat leíró nemlineáris rendszer sajátossága. Ráadásul a bizonytalanság mértéke esetről esetre, helyről helyre változó. Ez azt is jelenti, hogy bizonyos esetekben és helyeken, bizonyos időtávon túl objektíven lehetetlen teljes bizonyossággal megállapítani, hogy mi fog történni, legyenek akármilyen pontosak a méréseink és a tudományos módszereink. Ezért célszerű, sőt, szükségszerű előrejelzéseinket valószínűségi formában megfogalmazni. Egy valószínűségi formában megfogalmazott előrejelzés nemcsak



Bücszítató az ECMWF-es kollégák gyűlésében (Reading, 2022).

a legvalószínűbb scenáriót ismerteti, hanem egyúttal az adott előrejelzésben rejlő aktuális bizonytalanságot is számszerűsíti.

Egy ilyen előrejelzés esetén a sikeresség fogalma nem magától értetődő. A bizonytalanság objektív jelenléte miatt az, hogy egy előrejelzés sikertelen, nem jelenti azt, hogy elhibázott. Előbbit többé-kevésbé egy laikus is meg tudja állapítani rögtön az előrejelzés időtartamának elmúltával, utóbbi eldöntése alapos szakmai vizsgálatot igényel, azaz megvizsgálható, hogy az előrejelzés elkészültének pillanatában rendelkezésre álló információk alapján az adott időpontban a kiadott előrejelzés és a hozzárendelt valószínűség indokolt volt-e. Márpedig felelősségre vonás csak szakmai mulasztás és hiba esetében indokolt. Amennyire tudom, mint általában, ez a szóban forgó augusztus 20. estére, Budapestre OMSZ által kiadott előrejelzés is a rendelkezésre álló mérési, megfigyelési adatokon (rádiószondás felszállások adatai, radar információk stb.) túl az ECMWF és az ALADIN/AROME számítógépes modellek előrejelzéseire alapozva készült. Ezek nemzetközi fejlesztésű modellek, így természetesen az esetnek volt nemzetközi visszhangja. Az ECMWF-ben néhány nappal az eset után megvizsgálták, a különböző globális modellek miként kezelték ezt a helyzetet. Úgy találták, hogy minden modell lényegében hasonló eredményre jutott a hajnali futtatásban, amelyre alapozva kellett a döntést meghozni. Így szerintem hamisak azok a hazai állítások, melyek szerint más lett volna a helyzet, ha az OMSZ más modelleket használt volna.

Sz. G.: Milyen idehaza nyugdíjasként? Vártad-e a nyugdíjazást, mint itthon sokan? Hogyan töltöd az idődet? Mész még Readingbe, tartod a kapcsolatot a kollégákkal?

R. G.: Igen, vártam a nyugdíjazást. Nem véletlen, hogy saját döntésre, 1 évvel az esedékesség előtt előnyüdjimba vonultam az ECMWF-től. 18 évet töltöttem ott, mindezen idő alatt gyakorlatilag ingáztam Magyarország és Anglia között, átlagosan minden második héten hazajöttem meghosszabbított hétvégre. Ez 60-hoz közeledve egyre fárasztóbb volt, ezért akartam már nyugdíjba vonulni. Nem

szakadtam el teljesen Angliától és Readingtől, évente többször kilátogatok, találkozom ottani barátaimmal, elmegyek egy-egy Liverpool vagy jobb híján Chelsea meccsre, sétálok Reading belvárosában és Londonban. Viszont sokan a readingi társaságból ma már Bonnban dolgoznak (az ECMWF 2019-ben Bolognában és 2021-ben Bonnban is nyitott egy-egy új székhelyet, s számos kolléga költözött oda Readingből – szerk.), ezért ha kocsival megyek, általában ott is megállok. Kicsit szomorú, hogy a cég így szétszéledt. Ezenkívül is sokat utaztatok feleségemmel: a nyugdíjba vonulásom óta eltelt évben meglátogattuk egy kedves régi toulouse-i és readingi barátunkat (*Sylvie Malardelt*, aki egyébként az ALADIN projekt névadója – szerk.), aki most Réunionon kutatja a trópusi ciklonok dinamikáját (a francia meteorológiai szolgálatnak az indiai-óceáni Réunion szigetén is van egy bázisa – szerk.). A közelmúltban egy dél-európai autós kiránduláson is voltunk.

Sz. G.: Milyen most az erőnléted?

R. G.: A sport életem fontos részét képezi, ahogy öregszem, egyre inkább. Sajnos a térdem jelenlegi testsúlyommal nem bírja a teniszt, de továbbra is rendszeresen pingpongozok, emelem a súlyokat. Talán egyszer megmérettetem magam egy szenior fekvényomó bajnokságon (ehhez kéne még néhány kilót rápakolni a rúdra). Igyekszem mindenhova kerékpáron közlekedni, mostanában hetente teszek egy biciklis Pilis-kört a szentendrei szigeti házunktól Pilisszentlászlón keresztül Visegrádra és vissza, utána megmártózom a Dunában.

Sz. G.: Köszönöm a beszélgetést, jó egészséget és sok örömet kívánok a terveidhez!



2023 őszenek időjárása

Paszternákné Marton Annamária, Szentés Olivér

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

Az Országos Meteorológiai Szolgálat mérései alapján 2023-ban az őszi hónapok hőmérsékletének átlaga 2,6 °C-kal haladta meg az 1991–2020-as normált, ezzel a legmelegebb őszt 1901 óta.

A hőmérséklet és csapadék időbeli alakulása

Szeptember 3,5 °C-kal, október 3,4 °C-kal, míg november 0,8 °C-kal volt melegebb az 1991–2020-as sokéves átlagnál (1. ábra). Országos átlagban az őszi csapadékösszeg meghaladta a sokévi átlagot, annak negyedével érkezett több csapadék (125%), melynek évszakon belüli eloszlása azonban nagyon egyenetlen volt. Az őszi egy csapadékban szegény szeptemberrel indult, országos átlagban 40%-kal kevesebb csapadék érkezett. Ezt egy közel átlagos október követte, majd egy rendkívül csapadékos november zárta a sort, amikor a normál érték több mint 2-szerese hullott. Ezzel 1901 óta a 9. legcsapadékosabb november lett.

A küszöbnapok számában is tetten érhető a meleg őszt (1. táblázat). A szeptember a nyár meghosszabbításaként folytatódott, így nem meglepő, hogy



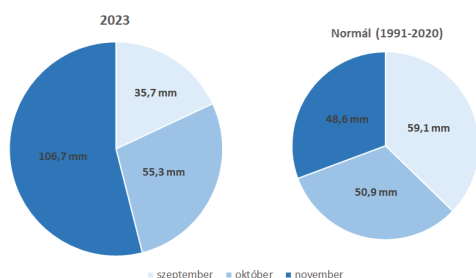
1. ábra. Az országos havi és az évszakos középhőmérséklet eltérése a sokévi (1991–2020-as) átlagtól 2023 őszen (interpolált adatok alapján).

a megszokottnál mintegy 3-szor több, szám szerint 28 nyári nap és 5-ször több hőség nap adódott. 10 fagyos nap volt, a megszokott 13 nap helyett, téli napot idén nem regisztráltunk. A normál értéknél jelentősen több csapadékos nap jellemezte a 2023-as őszi időjárását a rendkívül csapadékos november miatt. A havas napok száma megegyezett a sokévi átlaggal, míg 3 zivataros nap volt a megszokott 2 nap helyett.

Az évszak során országos átlagban 197,7 mm csapadék hullott, ami az 1991–2020-as átlag 125%-a, ez azt jelenti, hogy a megszokottnál csapadékosabb volt a 2023-as év ősze, különösen egyenetlen időbeli eloszlással. Míg a tavalyi évben a szeptember volt a megszokottnál jóval csapadékosabb, addig 2023-ban novemberben

Éghajlati indexek értékei 2023 őszen és ezek sokévi átlagai		
	2023	1991-2020
Nyári nap ($T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$)	28	10
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
Csapadékos nap ($r \geq 0,1 \text{ mm}$)	34	28
Havas nap	2	2
Zivataros nap	3	2

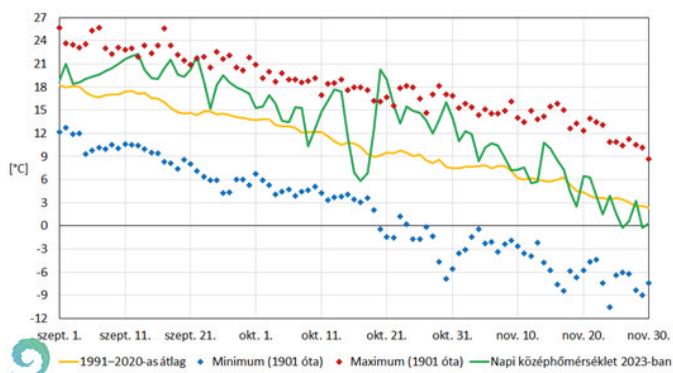
1. táblázat. A 2023-as őszt során jegyzett különböző éghajlati indexek és ezek 1991–2020-as sokéves értékei.



2. ábra. A 2023-as őszi havi csapadékösszegei és a normál területarányos kördiagramon (mértékegység: mm).

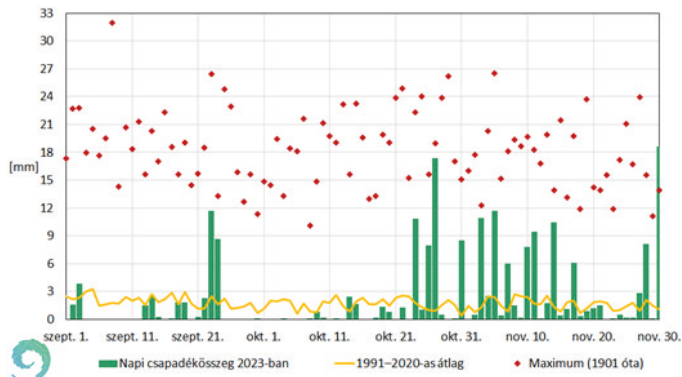
érkezett meglehetősen nagy csapadéktöbblet. A kördiagramok területei arányosak a havi és évszakos csapadékösszegekkel. Mivel a 2023-as őszi esetén a megszokott csapadékmennyiség 125%-a hullott le, ezért a két kördiagram között jól érzékelhető a különbség (2. ábra). Szeptemberben a normál érték 60%-a jelentkezett (35,7 mm), októberben 9%-kal hullott több a megszokottnál, novemberben az átlag kétszeresét is meghaladta a havi összeg (106,7 mm), ezzel 9. helyre került 1901 óta a legcsapadékosabb novemberek sorában.

A 3. ábrán a 2023-as őszi napi középhőmérsékletei, sokéves átlagai, valamint az 1901 óta tapasztalt szélsőértékei láthatók. Nyáriassal kezdődött az őszi. Szeptember 3-án egy hidegfront érintette térségünket, melynek hatására főként az ország északkeleti részén alakultak ki záporok, zivatarok. A hevesebb zivatarokat helyenként 70 km/h-t meghaladó szélleőkésék, felhőszakadás és jégeső kísérte. A hidegfront számottevő lehűlést nem hozott, csupán a sokéves átlagig hűtötte vissza a napi középhőmérsékletet. A következő tíz napban anticiklon hatása alá került a Kárpát-medence, ezért napról-napra emelkedett a hőmérséklet, és a napi maximumok egyre nagyobb területen haladták meg a 30 °C-ot. Szeptember 12-én új országos legmagasabb minimumhőmérséklet rekord született, Budapest János-hegy állomáson csak 21,8 fokra hűlt le a levegő. Másnap egy hullámzó frontrendszer torlasztó hatásának köszönhetően a napi középhőmérséklet országos átlaga elérte a 22,3 fokot, ami az évszak legmagasabb átlaga lett (6. ábra). Ugyanezen a napon, szeptember 13-án mértük az évszak legmagasabb hőmérsékletét Kiskunfélegyházán, 35,0 °C-ot. Szeptember 13-án éjszaka megérkezett a frontrendszer, eleinte a Dunántúl északnyugati területein okozott lokálisan jelentős mennyiségű csapadékot és zivatarokat. Másnap többnyire a Duna vonalától keletre hullott eső, alakultak ki záporok, zivatarok, helyenként felhőszakadások (pl. Tiszabecs: 63,2 mm). A napi középhőmérséklet



3. ábra. Országos napi középhőmérsékletek 2023 őszi, a sokéves átlag (1991-2020), illetve a szélsőértékek 1901 óta homogenizált, ellenőrzött, interpolált adatsorok alapján.

2 °C-ot csökkent, majd a hűlés lassan folytatódott a következő napokban is, de még ekkor is több mint 2–3 °C-kal meghaladta az ilyenkor megszokottat. A Kelet-európai-síkság felett egy hatalmas kiterjedésű anticiklon épült ki, melynek hatására Közép-Európában száraz, túlnyomóan napos idő volt jellemző. A Kárpát-medence fölé meleg levegő áramlott, a növekvő napi középhőmérsékletek és a csökkenő sokévi átlagok közti különbség szeptember 18-ra elérte a 6 °C-ot. Késő délután egy gyenge hidegfront érte el a térségünket, és főként az északnyugati és északkeleti területeken okozott helyenként esőt, záporokat. Szeptember harmadik dekádjának kezdetén még mindig nyáriasan meleg és száraz idő volt jellemző. A napi középhőmérsékletek országos átlaga még mindig 20 °C felett alakult, miközben a maximum hőmérsékletek 30 °C körül tetőztek. Szeptember 22-én Győrben és Balatonlellén csak 19,9 °C-ig, majd szeptember 23-án Debrecen Kismacs állomáson csak 20,3 °C-ig hűlt le a levegő, melyek új országos legmagasabb napi minimumhőmérséklet rekordok. Szeptember 23-án egy kiterjedt



4. ábra. Országos napi átlagos csapadékösszegek 2023 őszi, a sokéves napi átlagok (1991-2020), illetve a maximumok 1901 óta homogenizált, ellenőrzött, interpolált adatsorok alapján.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet			
	Hőmérséklet	Állomás	Napja
szepember	35,0 °C	Kiskunfélegyháza	szepember 13.
október	30,3 °C	Tiszaalpár	október 20.
november	21,2 °C	Pocsaj	november 3.
A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet			
	Hőmérséklet	Állomás	Napja
szepember	4,2 °C	Zabar	szepember 29.
október	-5,3 °C	Zabar	október 18.
november	-10,5 °C	Zabar	november 26.

2. táblázat. A őszi hónapok során mért legmagasabb és legalacsonyabb hőmérsékletek 2023-ban.

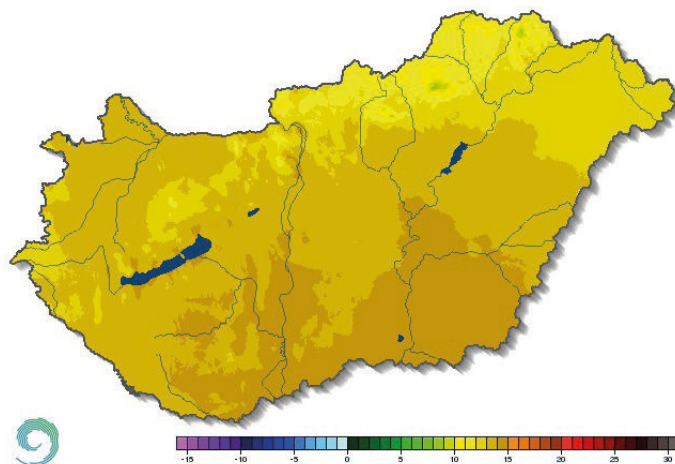
frontrendszer érkezett, és jelentős mennyiségű csapadékot hozott eső, záporosó formájában, helyenként zivatarok is kialakultak. Országos átlagban közel 12 mm csapadék hullott, és néhol 50 mm-t meghaladó napi csapadékösszeg is előfordult (pl. Vízvár: 56,0 mm). Másnap dél felől egy mediterrán ciklon húzódott térségünk fölé. A Dunántúlon és északkeleten a szél nagy területen megerősödött, a magasabban fekvő helyeken és a Balaton térségében viharos széllekeések is előfordultak. A Dunántúlon lévő csapadékrendszer fokozatosan gyengült, miközben az ország keleti területein több hullámban alakultak ki zárporok és zivatarok, néhol jégesőről is érkezett jelentés. A napi középhőmérséklet a sokévi átlag közelébe süllyedt, majd a csapadék megszűnése után újra emelkedni kezdett. A kelet-európai-síkság felett egy hatalmas kiterjedésű anticiklon épült ki, melynek peremén a Kárpát-medencében száraz, napos időjárás volt a jellemző. A hónap utolsó napján egy gyenge hidegfront érkezett kisebb esővel, gyenge záporokkal. A rövid megszakitást követően folytatódott a meleg, száraz levegő beáramlása, így tovább gyarapodott a csapadékmentes napok száma (4. ábra). Bár 4-én egy hidegfront érkezett, csapadék ekkor sem hullott. A szeles, változékony időjárás miatt pár fokkal csökkent a napi középhőmérséklet, de még így is a sokévi átlag felett maradt. Jelentős változás október 8-án vette kezdetét, amikor egy markáns hidegfront érkezett, az északnyugati szél megerősödött, viharossá fokozódott; másnap pedig elszórta eső, záporosó fordult elő. Október 9-én, az ősszel először a sokévi átlag alá csökkent a középhőmérséklet, és az első őszi fagyok is megjelentek az északi és északkeleti országrészben. A folytatásban egy hullámszerű frontrendszer előoldalán ismét jelentős melegedés zajlott le. Egészen október 15-ig az átlagosnál magasabb volt a hőmérséklet, ezt követően egy hidegfront hozott lehűlést és némi csapadékot.

Október 16-18. között a sokéves átlag alá csökkent a napi középhőmérséklet, 17-én 4,4 °C-kal maradt el tőle, ami a legnagyobb negatív anomália volt 2023 őszen. 17-én és 18-án országszerte fagypont alatt volt a napi minimumhőmérséklet. 19-én viszont – ahogy egy melegfront haladt át hazánk felett – erőteljes melegedés kezdődött. 20-án már 20,3 °C volt az országos napi középhőmérséklet, mely pontosan 11,1 °C-kal haladta meg az ilyenkor szokásos értéket. Ez volt az évszak során a legnagyobb pozitív középhőmérséklet anomália, ami nem egészen egy héttel a legnagyobb negatív után következett be, jól szemléltetve ezáltal a hét szélsőséges hőmérsékleti viszonyait. Október 20-án 20,3 fok volt az országos napi átlagérték, Tiszaalpáron pedig 30,3 fok volt a legmagasabb hőmérséklet. Mindkettő a legmagasabb érték október 15. után, ami a XX. század kezdete óta Magyarországon előfordult. Október 20–22. között több országos napi melegrekord is megdőlt. 20-án Péren 19,5 °C volt a minimumhőmérséklet, és október 21-én Szeged belterület állomáson mindössze 20,6 °C-ig hűlt le a levegő, Körösszakálon 28,1 °C-os maximumhőmérsékletet mértek, majd másnap hajnalban (október 22-én) ugyanitt csupán 17,1 °C-ig csökkent a hőmérséklet. Október 21-én hajnalban zivatar is kialakult, és egy hullámszerű hidegfront hatására intenzív csapadékhullás kezdődött (pl. Drávaszabolcs: 39,2 mm). 24-én egy nyugat felől érkező front hatása alá került a Kárpát-medence, ezért változékony, de az évszakhoz képest még mindig enyhe időjárás uralkodott. 26-án egy kimélyülő ciklonnak köszönhetően kiadós mennyiségű csapadék érkezett, főképp az ország középső térségében. 27-én a ciklon hidegfrontja mentén még heves záporok, zivatarok is kialakultak. A szél nagy területen megerősödött, sőt zivatarok környezetében viharos volt, helyenként pedig 90 km/h-t meghaladó széllekeések is előfordultak. Balatonszemes platform állomásunkon 33,6 m/s-os (121 km/h-s) széllekeést mértünk. Szentes közelében tornádó is kialakult. A napi csapadékmennyiség országos átlaga megközelítette a 18 mm-t, az északi országrészben 30–40 mm-t is mértünk, míg a Mátrában 50 mm feletti összegek is előfordultak. Kékestető Meteorológia állomáson 80,5 mm-t regisztráltunk, ami új napi csapadékrekorndnak számít. 28-tól egy nyugat felől érkező ciklon előoldalára kerültünk. Ezen a napon még előfordultak térségünkben záporok, zivatarok, sőt a déli területeken néhol jégesőt is észleltek. 29-től a délies széllel egyre enyhébb levegő áramlott fölénk, így ismét 16 °C fölé került országos átlagban a napi középhőmérséklet. A 31-én érkező hidegfront ezt mérsékelte, de még így is a sokéves

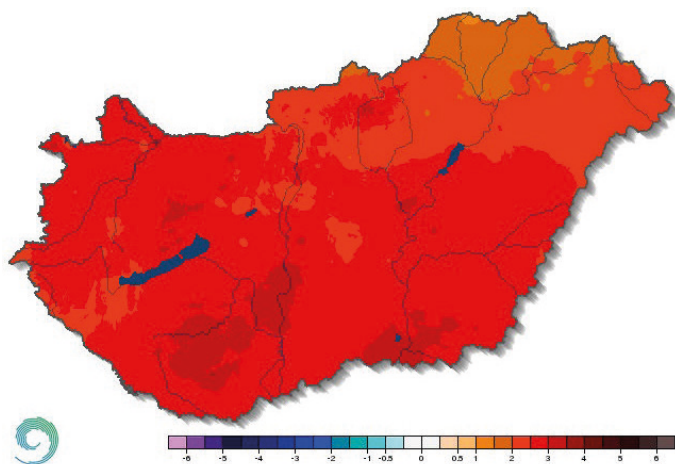
A hónap legnagyobb csapadékosszege			
	Csapadék	Állomás	
szeptember	94,0 mm	Vése	
október	164,9 mm	Kékestető Meteorológia	
november	202,0 mm	Szuha Mátraalmás	
A hónap legkisebb csapadékosszege			
	Csapadék	Állomás	
szeptember	8,5 mm	Adony	
október	13,2 mm	Kondoros	
november	48,7 mm	Hagyárosbörönd	
24 óra alatt lehullott maximális csapadék			
	Csapadék	Állomás	Napja
szeptember	63,2 mm	Tiszabecs	szeptember 14.
október	80,5 mm	Kékestető Meteorológia	október 27.
november	50,7 mm	Kisszállás külterület	november 14.

3. táblázat. Az őszi hónapok során mért legnagyobb és legkisebb havi csapadékösszegek, valamint a 24 órás maximumok 2023-ban.

átlagnál 6 °C-kal enyhébb nappal zárult a hónap. Emellett a hidegfront jelentős mennyiségű csapadékot is hozott magával: 31-én délelőtt nyugatról kelet felé zivatarrendszer vonult át hazánkon, intenzív csapadék-hullás, viharos szellőkések és helyenként jégeső kíséretében. Novemberben is folytatódott a gyakori front-átvonulások okozta változékony, nagyon csapadékos és szeles időjárás. A hónap elején még előfordultak 20 °C-ot meghaladó maximumhőmérsékletek (Pocsaj: 21,2 °C), majd fokozatos lehűlés vette kezdetét. November 7-én éjszaka egy hidegfront vonult át a Kárpát-medence fölött, másnap is folytatódott a hideg levegő beáramlása, és ezzel a sokéves átlag közelébe került a napi középhőmérséklet. November 9-én átmenetileg egy anticiklon vált uralkodóvá térségünkben, ezért többfelé fagyott, a nappali csúcsértékek pedig már többnyire 15 fok alatt maradtak. November 10-11. között egy hullámzó frontrendszer alakította térségünk időjárását, sokfelé hullott belőle jelentős mennyiségű csapadék, az ország keleti felén sok felé meghaladta a 20 mm-t, helyenként a 30 mm-t is (pl. nov. 11., Jávorkút: 39,4 mm). A magasabb hegységekben havazás is előfordult. November 14-én egy ciklon melegfrontja okozott jelentős melegedést, az országos napi középhőmérséklet több mint 4 °C-kal haladta meg a sokéves átlagot. A délnyugati határszélen 20 fok közelébe emelkedett a maximumhőmérséklet (pl. Babócsa: 19,7 °C). Jelentős mennyiségű csapadék is érkezett, a déli, délnyugati tájakon helyenként a 40 mm-t is meghaladta a napi összeg. Ezen a napon hullott a Bács-Kiskun



5. ábra. A 2023-as őszi középhőmérséklete (°C).



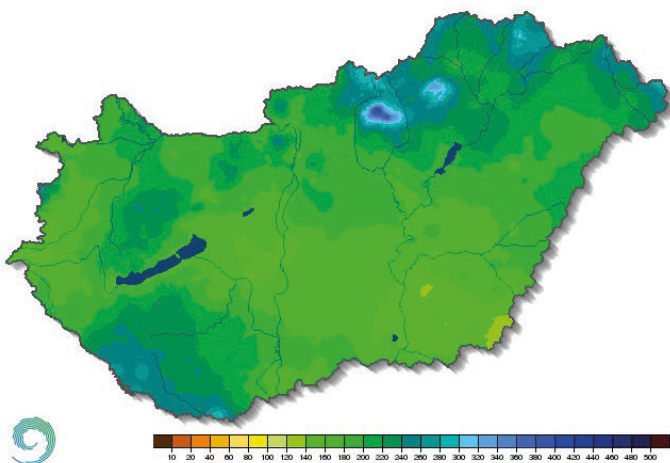
6. ábra. A 2023-as őszi középhőmérsékletének eltérése a sokévi (1991-2020) átlagtól.

vármegyei Kisszálláson a hónap legnagyobb napi csapadékosszege (50,7 mm). November 15-én az ország jelentős részén előfordultak erős szellőkések, a Dunántúl északi felén viharossá fokozódott a szél. Budapest János-hegy állomásunk 30,9 m/s-os (111 km/h-ás) szellőkést mért. November 17-én egy ciklon fejlődött ki Közép-Európa felett, ami szeles és csapadékos időt okozott hazánkban. A legtöbb csapadék a Tiszántúlon hullott, míg a legerősebb szellőkéseket a Dunántúlon detektáltuk. A ciklon hidegfrontja mögött jelentősen visszaesett a hőmérséklet, november 19-én hajnalban az ország szinte egészen fagypont alá csökkent a hőmérséklet. November 20–21-én egy mediterrán ciklon melegfrontja súrolta az országot és hozott csapadékot a déli, délnyugati területekre. November 22-től az átlaghoz közeli hőmérsékletek váltak jellemzővé,

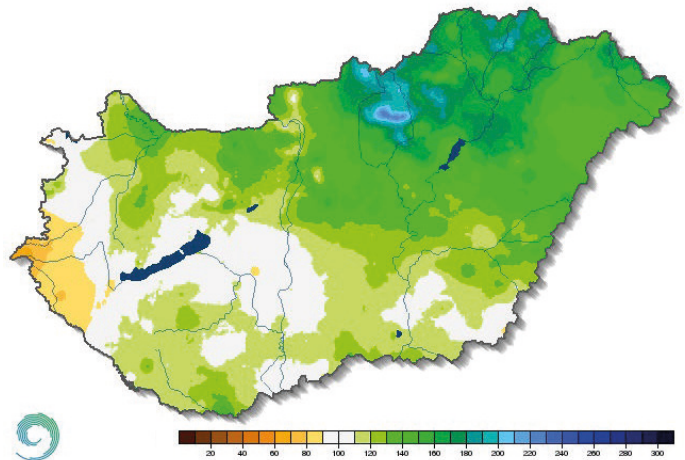
éjszakai fagyokkal és 5–10 °C közötti maximumhőmérsékletekkel. November 24-én egy újabb hidegfront érkezett, melynek hatására a hónap végéig a sokéves átlagnál 2–3 °C-kal hidegebb volt. Ebben az időszakban mérték Zabaron a hónap legalacsonyabb hőmérsékletét is (-10,5 °C). November 28-án egy mediterrán ciklon okozott országos esőzést, az északi területeken havazást. November utolsó napján egy újabb ciklon érte el térségünket, ezen a napon országos átlagban több mint 18 mm csapadék hullott. Így ez lett az ős legcsapadékosabb napja. A legtöbb csapadék az ország középső részén érkezett, nagy területen meghaladta a 30 mm-t. Az északi határ közelében havazott, és a legvastagabb, 25 cm-t meghaladó hóréteg a Zempléni-hegységben alakult ki.

A hőmérséklet térbeli eloszlása

Magyarország legnagyobb részén az ős középhőmérséklete 13–15 °C között alakult (5. ábra). Az északnyugati területeken, az Északi-középhegységben, a Dunántúli-középhegységben és a nyugati határterületeken volt hűvösebb. A Mátrában és a Zempléni-hegységben a legmagasabban fekvő területeken 10 °C alatt maradt az évszakos átlag. A leghűvösebb évszakos összeg Kékestetőn adódott (8,7 °C), míg a legmagasabb értéket Szeged belterület állomáson kaptuk (15,2 °C). Hazánk teljes területén az 1991–2020-as átlag felett alakult a 2023-as ős középhőmérséklete (6. ábra). Az ország túlnyomó részén 2–3 °C-os pozitív anomália adódott. A déli megyékben a normáltól vett eltérés, nagyobb összefüggő területeken, még a 3 °C-ot is meghaladta. A legkisebb pozitív anomália Borsod-Abaúj-Zemplén vármegyében volt (1–2 °C).



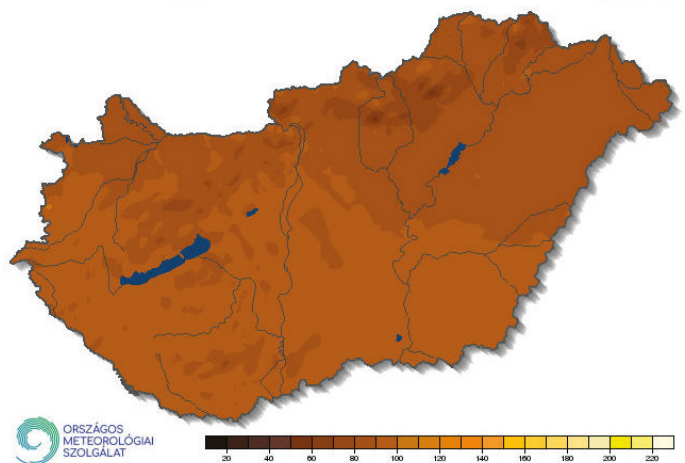
7. ábra. A 2023-as ős csapadékösszege (mm).



8. ábra. A 2023-as ős csapadékösszege a sokévi (1991–2020-as) átlag százalékos arányában kifejezve.

A csapadék térbeli eloszlása

Az évszak csapadékösszege országos átlagban 197,7 mm. A Dunántúl délnyugati és az ország északkeleti részén találjuk a legcsapadékosabb tájakat, különösen a Mátrában hullott sok csapadék (Kékestető: 403,5 mm). Ezeken a területeken és a hegyvidékeinken is 220 mm feletti évszakos csapadékösszegek voltak jellemzőek (7. ábra). A legszárazabb területeket az Alföldön a Körös–Maros közén, míg a Dunántúlon a nyugat-magyarországi peremvidéken találjuk, az előbbi esetén 120–160 mm, míg az utóbbinál 140–180 mm volt jellemző. A legkisebb csapadékösszeget, 53,4 mm-t Nyírlugos állomáson mértük. 2023 őszen csapadékanomália szempontjából jól látható egy délnyugatról északkelet felé növekvő



9. ábra. A 2023-as ős globálsugárzás összege (kJ/cm²).

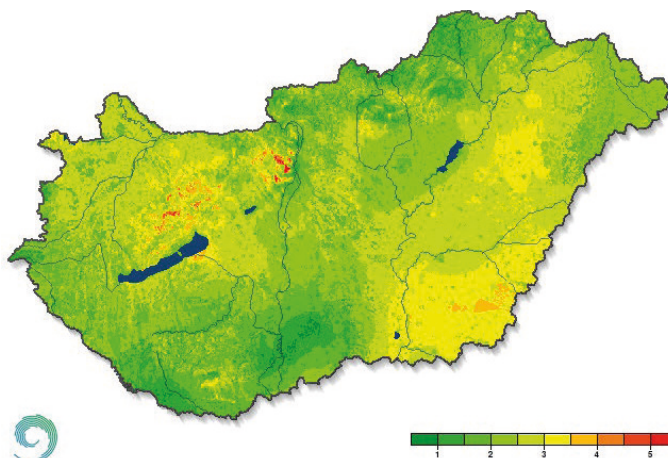
tendencia (8. ábra). A délnyugati részekben átlaghoz közel pozitív (120–140%), átlagos (90–110%) és negatív eltérések (70–90%) is megjelentek, míg északkelet felé haladva a pozitív anomália válik jellemzővé (130–180%), az Északi-középhegységben kiemelkedően nagy (180–230%).

A globálsugárzás térbeli eloszlása

Ősszel hazánk legnagyobb részén 90–110 kJ/cm² globálsugárzás volt jellemző, a déli területeken 100–110 kJ/cm², az ország északi vidékein 90–100 kJ/cm² között alakult a beérkező mennyiség. A legalacsonyabb értékeket (70–90 kJ/cm²) a magasabban fekvő területeken kaptunk (9. ábra).

A szélsébség térbeli eloszlása

Az országon belül jobbra 1 és 3 m/s között volt az átlagos szélsébség, az előző évhez képest nagyobb területi különbségek adódtak. A legalacsonyabb értékek a Dunántúl déli részén, a Duna-Tisza közén és az Északi-középhegységben fordultak elő (10. ábra). A legmagasabb átlagértékek a Bakonyban és a Budai-hegyvidéken fordultak elő, ahol a hegycsúcsok közelében 5 m/s-ot meghaladó őszi



10. ábra. A 2023-as őszi átlagos szélsébsége 10 m-es magasságban (m/s).

átlagos szélsébségek is születtek. A síkvidékek közül a legszelesebb Békés és Csongrád-Csanád vármegyék voltak (3–4 m/s). A legnagyobb szellőkést október 27-én rögzítettük, amikor egy hidegfront átvonulása során többfelé viharossá fokozódott a szél, és Balatonszemes platform állomásunkon 33,6 m/s-os szellőkést mértünk.

2023. őszi időjárási adatainak összesítője

Állomás	Sugárzás, kJ/cm ²	Hőmérséklet, °C						Csapadék, mm			Szél
	évszakos összeg	évszak közép	eltérés	max	napja	min	napja	évszak összes	átlag %-ában	r ≥ 1 mm napok	viharos nap (f _v ≥ 15 m/s)
Szombathely	95	13,1	2,6	29,8	2023.09.11	-2,0	2023.11.26	159	96	24	12
Nagykanizsa	93	12,7	2,4	30,9	2023.09.11	-4,7	2023.11.26	181	84	23	5
Pér	-	13,3		30,9	2023.09.12	-4,1	2023.11.23	165	104	24	15
Siófok	92	14,8	3,0	29,8	2023.09.18	-2,2	2023.11.29	171	111	26	23
Pécs	90	14,8	3,2	31,8	2023.09.12	-3,7	2023.11.29	230	127	22	14
Budapest	90	13,8	2,4	31,6	2023.09.12	-3,5	2023.11.29	204	143	27	2
Miskolc	79	12,5	2,1	31,6	2023.09.13	-6,0	2023.11.27	248	166	27	0
Kékestető	85	8,7	2,1	23,1	2023.09.13	-8,3	2023.11.26	368	183	31	40
Szolnok	91	14,3	2,9	32,9	2023.09.13	-3,3	2023.11.26	172	130	20	8
Szeged	97	14,5	3,1	33,9	2023.09.13	-3,9	2023.11.27	150	115	19	12
Napkor	87	13	2,4	31,7	2023.09.13	-6,2	2023.11.27	200	148	29	11
Debrecen	87	13,5	2,6	32,3	2023.09.13	-6,1	2023.11.27	172	133	24	6
Békéscsaba	-	14,1	2,8	33	2023.09.13	-4,8	2023.10.26	176	127	20	12



2023 őszének időjárása agrometeorológiai szempontból

Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila Viktor

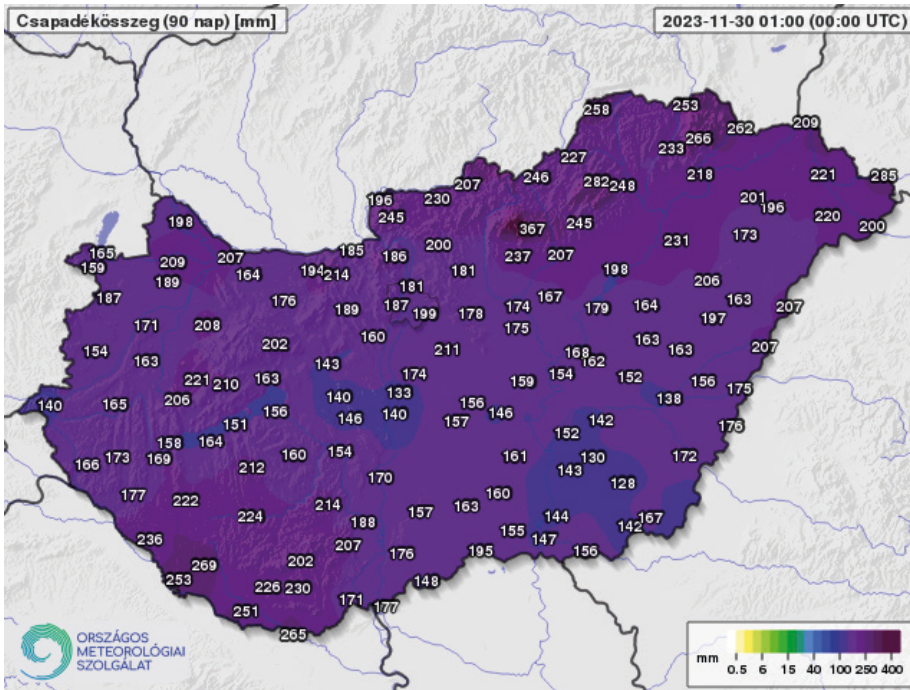
HungaroMet Nonprofit Zrt., molnar.zs@met.hu

Az idei ősz elég későn kezdődött, nyáriansan meleg, nagyrészt száraz, napos időjárás segítette nyári kapás növényeink, valamint az őszi gyümölcsök érését. Október második felétől fordult csapadékosra az idő, de a hőmérséklet egészen november utolsó dekádjáig magasabban alakult az ilyenkor szokásosnál. Ugyanakkor utolsó őszi hónapunk végén már beköszöntött a tél, főként az északi országrészben sokfelé alakult ki átmenetileg összefüggő hóréteg.

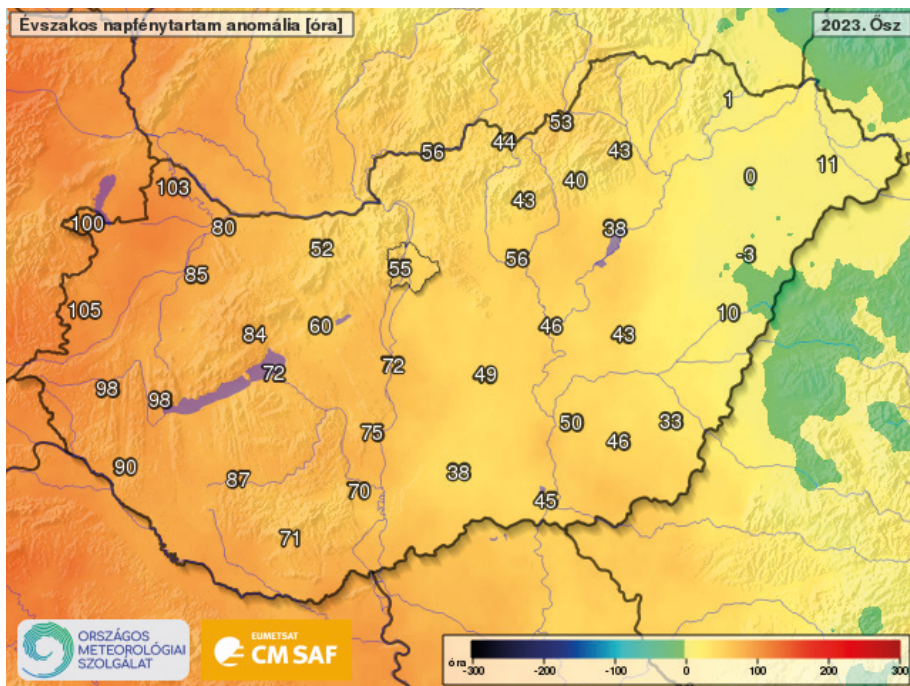
Augusztus utolsó és szeptember első napjaiban több hullámban érkezett csapadék, ami sokfelé megöntözte a földeket a repce magágy előkészítéséhez, majd vetéséhez. A következő hetekben viszont a legtöbb helyen száraz, ugyanakkor meleg időjárás uralkodott gyakran 27–32 fok közötti maximumokkal, ami nagyon jó feltételeket teremtett már a növény száradás fázisában járó kukorica és napraforgó számára az optimális szemnedvesség eléréséhez. Az őszi gyümölcsök éréséhez is ideális volt a napos, meleg idő. A talaj, felszín közeli rétege azonban főként az Alföldön és a Dunántúlon egyre jobban kiszáradt, a csírázás és kelés fázisában járó őszi káposztarepce ennél jóval több nedvességet igényelt volna. Szeptember utolsó dekádjában érkezett országos eső, ekkor az Alföldön sokfelé néhány nap alatt több esett, mint a megelőző 30 napban összesen. Szeptember végétől azonban visszatért a száraz, meleg időjárás, ekkorra nyári kapás növényeink is beértek, a napraforgó aratása már a hónap közepén elkezdődött, majd a kukorica betakarítását is elkezdték szeptember végén.

Október elején az őszi kalászosok magágy előkészítéséhez még elegendő nedvesség állt rendelkezésre a talajban, ezt követően azonban ismét hamar kiszáradt a talaj az ekkor jellemzően 4-6 leveles repceállományok alatt, és az elvetett kalászosok számára sem volt elegendő nedvesség a keléshez. A mélyebb rétegek már az ősz elejére kiszáradtak, és azóta sem pótlódtak nedvességgel.

Október közepén a 30 napos csapadékösszeg jellemzően 10–40 mm hiányt mutatott a sokéves átlaghoz képest, és az NDVI műholdas index az Alföldön jóval kevesebb zöld tömeg mennyiséget mutatott az ilyenkor szokásosnál. A talajok őszi-téli feltöltődése október utolsó dekádjában kezdődött. Eleinte főként a Dunántúlon és az északi országrészben hullott jelentősebb mennyiségű eső, majd november első hetétől az Alföldet is kiadós csapadék öntözte, ami az elvetett gabonák korai fejlődéséhez és a repce megerősödéséhez egyaránt jól jött. A csapadékos időjárás kisebb megszakításokkal november végéig kitartott, így az ősz folyamán 130 és 270 mm közötti csapadék hullott hazánkban (1. ábra). 200 mm



1. ábra. 90 napos csapadékösszeg 2023. november 30-án (mm).



2. ábra. A napsütéses órák számának eltérése a sokéves átlagtól 2023 őszén.

fölötti mennyiséget az északkeleti országrészben és a Dunántúl déli részén mérhettünk, míg az Alföld délkeleti tájain és a Mezőföldön sokfelé 150 mm

az évszak második felében csapadékos időben jól meg tudtak erősödni, bár a novemberben az Alföldön gyakran jellemző belvíz borítás nem tett jót nekik.

alatt maradt az évsza-
kos csapadékösszeg,
ami hazánk túlnyomó
részén meghaladta
a sokéves átlagot.

Az őszi végére az északi és a nyugati országrészben sokfelé telítetté vált a talaj felső egy méteres rétege, az Alföldön pedig többfelé alakultak ki belvízfoltok. A napraforgó betakarításával nagyrészt végeztek már az esős idő beállta előtt, és azok a gazdák jártak jól, akiknek a kukoricát is sikerült learatni még október utolsó dekádja előtt. A hőmérséklet nem esett vissza számottevően az esős idővel, lassú lehűlés volt a jellemző az őszi második felére, és még november közepén is 10–15 fok körül alakult a legmelegebb órák hőmérséklete, de 20 fokok is előfordultak, bár ekkortól már rendszeressé váltak a nagy területre kiterjedő éjszakai fagyok.

November utolsó napjaiban hűlt le jelentősen az idő, és ekkor a csapadék is már részben hó formájában érkezett. Összességében azonban az idei őszi 2–3 fokkal melegebb, és a Dunántúlon jelentősen naposabb (2. ábra) volt a sokéves átlagnál.

Az őszi vetések a hosszan tartó meleg és

Hírek

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

49. Meteorológiai Tudományos Napok – Multidiszciplináris válaszok az éghajlatváltozás kihívásaira

2023. 11. 16–17. ■ A 49. Meteorológiai Tudományos Napok központi témái az éghajlatváltozás kihívásai, környezeti, társadalmi és gazdasági következményei voltak, valamint az, hogy a különböző területek hogyan reagálnak a változó körülményekre. A program szorosan illeszkedett az éghajlatváltozás hazai vizsgálata során meghatározott célkitűzések, valamint az eddigi kutatások, fejlesztések során elért eredmények bemutatásához, kitérve az egyes témakörök előzményeire is. A tervezett előadások kapcsolódtak az éghajlatváltozás által előidézett és befolyásolt jelenségek feltárásához, monitorozásához és modellezéséhez, az okozott problémák és azok mértékének bemutatásához, a kockázatok méréséklésére tett válaszok tudományos megalapozottságú tervezéséhez. A rendezvényen az éghajlatváltozás multidiszciplináris tárgyalása érdekében a hazai meteorológus közösség tagjai mellett a témakörben érintett szakterületek képviselői, előadói is megszólaltak.

Szanka Gábor, a HungaroMet Nonprofit Zrt. (2023-ig: OMSZ) elnöke köszöntötte a résztvevőket, és tartalmaz együtt gondolkodást kívánt az elkövetkező két napra, majd Bozó László az MTA rendes tagja, megnyitotta a 49. Meteorológiai Tudományos Napokat.

A szekciók és előadások címei magukért beszélnek, hiszen mind valamilyen módon kötődik az éghajlatváltozás témaköréhez. Az előadások elérhetők a rendezvény honlapján, a <https://www.met.hu/rolunk/rendezvenyek> weboldalon, a rendezvény nevére kattintva. Az előadások meghallgathatók az MTA YouTube csatornáján.

AZ ÜLÉSEK PROGRAMJA

1. szekció: Éghajlatváltozás 2023, levezető elnök: Faragó Tibor, kandidátus

- **Faragó Tibor kandidátus:** Növekvő és veszélyes környezeti hatásaink
- **Bartholy Judit, MTA doktora:** Világszerte több és intenzívebb időjárási szélsőség?
- **Gelencsér András, MTA levelező tagja:** Arcsall a globális dekarbonizáció felé – realitás vagy hiú ábránd?
- **Botos Barbara EM klímaügyekért felelős utazó nagykövet:** panel felvezető előadás
- **Ürge-Vorsatz Diána PhD:** Az IPCC AR6 Szintézis Jelentés fő üzenetei

- **Panel beszélgetés** (résztvevők): Gelencsér András, MTA levelező tagja, Botos Barbara EM klímaügyekért felelős utazó nagykövet, Bartholy Judit, MTA doktora
- **Rostási Ágnes PhD, Gelencsér András, MTA levelező tagja:** Lehetőség és kihívás: Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium (ÉMNL)

2. szekció: Adatbázisok, levezető elnök: Major György, MTA rendes tagja

- **Izsák Beatrix, Szentes Olivér, Bihari Zita, Bokros Kinga, Hercsényi László, Lakatos Mónika PhD, Tótván Bernadett:** Reprezentatív meteorológiai adatok biztosítása a múlt és a jelen éghajlatának megismerésére
- **Kern Anikó PhD, Dobor Laura PhD, Hollós Roland, Kis Anna PhD, Fodor Nándor PhD, Barcza Zoltán PhD:** A FORESEE klímaadatbázis: múlt, jelen, jövő
- **Szépszó Gabriella PhD, Allaga-Zsebeházi Gabriella, Bordi Sára, Megyeri-Korotaj Ofília, Schuchné Bán Beatrix, Zempléni Zsuzsanna:** Az éghajlatváltozás hatásainak komplex vizsgálatát támogató információs rendszer fejlesztése
- **Bihari Zita:** Megfigyelt éghajlatváltozás 30 éves klímanormálok és egy készülő éghajlati atlasz tükrében

3. szekció: Modellezés, levezető elnök: Geresdi István, MTA doktora

- **Schuchné Bán Beatrix:** Nem-hidrosztatikus modellek a hazai klímaváltozás vizsgálatában: A Harmonie-Climate modell tesztelése, első eredmények
- **Pongrácz Rita PhD, Bordi Sára, Szabó Péter:** Összetett extrém események vizsgálata – szeles és csapadékos időjárás Magyarországon
- **Ferenczi Zita PhD, Tóth Anita, Kövesi-Lázár Krisztina:** Levegőminőség projekciók előállítása a CHIMERE kémiai transzport modellel
- **Vincze Miklós PhD:** Mit tanulhatunk az extrém időjárási helyzetek gyakoriságáról laboratóriumi modellkísérletekből?

4. szekció: Éghajlatváltozás – települési környezet, levezető elnök: Unger János, MTA doktora

- **Zempléni Zsuzsanna, Allaga-Zsebeházi Gabriella:** Alkalmazkodási lehetőségek vizsgálata a SURFEX modellel Budapesten
- **Gál Tamás PhD:** Városklíma és klímaváltozás
- **Hoffer András PhD, Meiramova Aida, Tóth Ádám PhD, Jancsek Turóczi Beatrix PhD, Gelencsér András, MTA levelező tagja:** Háztartási hulladékok égetésének hatása a levegőminőségre
- **Mészáros Róbert PhD, Leelőssy Ádám PhD, Varga-Balogh Adrienn, Horváth Krisztina Kitti, Gula Miklós, Tordai Ágoston, Vincze Csilla:** A levegőminőség lehetséges változásai a klímaváltozás hatására

5. szekció: Éghajlatváltozás – vízi környezet, levelező elnök: Bozó László, MTA rendes tagja

- **Magyari Enikő, MTA levelező tagja:** Későglaciális és kora-holocén gyors klímaváltozási események mechanizmusának proxy és modell alapú értelmezése a Kárpát-medencében: a 8200 és 11900 éves lehűlések
- **Bernát Gábor PhD:** Az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium a Balatoni Limnológiai Kutatóintézetben
- **Mádlné Szőnyi Judit, MTA doktora, Trásy-Havril Tímea PhD, Szabó Zsóka, Szijártó Márk PhD, Zentainé Czauner Brigitta PhD, Tóth Ádám PhD:**

Innovatív alkalmazkodási megközelítés a hidrológiai szélsőségek kiegyenlítésére a felszínalatti vízáramlások bevonásával

- **Fierpasz Ádám, Horváth Zsófia PhD, Vad Csaba Ferenc PhD:** A klímaváltozás időszakos szikes tavakra gyakorolt hatásainak vizsgálata műholdas távérzékeléssel
- **Liptay Zoltán PhD és Engloner Attila PhD:** A klímaváltozás lehetséges hatásai a nagy folyók vízminőségére

6. szekció: Éghajlatváltozás – társadalmi, gazdasági kérdések, levelező elnök: Gelencsér András, MTA levelező tagja

- **Lakatos Mónika PhD, Izsák Beatrix, Bokros Kinga, Szentes Olivér:** Rövid idejű, intenzív csapadékok vizsgálata mérnöki feladatok kiszolgálásához
- **Viskolcz Béla, kandidátus:** Mitigáció csökkentés, és kisléptékű alkalmazkodás: ipari lehetőségek
- **Dr. Boussoussou Nora PhD:** Atmoszferikus paraméterek hatásai az akut szív és érrendszeri betegségekre – az atropocén kor környezetegészségügyi kihívásai

Zárszó – Bozó László, MTA rendes tagja

Megszűnt az Országos Meteorológiai Szolgálat

2023.12.31. ■ Az Országos Meteorológiai Szolgálat az 547/2023. (XII. 12.) Kormányrendelet értelmében 2023. december 31-én jogutód nélkül megszűnt. Az általa ellátott feladatokat 2024. január 1-től a HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. vette át. A több mint 150 évre visszanyúló tradíciónak megfelelően a HungaroMet Zrt. meteorológiai adat-, információgyűjtő és elemző szervezet, amely egyre inkább információszolgáltató szervezetté is vált. Ennek megfelelően a Társaság Magyarország területén szinoptikus mérő- és észlelő hálózatot működtet, magaslégköri rádiószondás méréseket biztosít, működteti a meteorológiai radarhálózatot és a villámlokalizációs-rendszert, biztosítja ezen információk begyűjtését, ellenőrzését, feldolgozását, a meteorológiai adatbázis fenntartását, folyamatos feltöltését. Időjárás elemző és előrejelző tevékenységet folytat, amelyhez nemzetközi előrejelzési központokban elérhető legkorszerűbb előrejelzési produktumokat és saját futtatású előrejelzési modelleket használ fel. Mindezen tevékenységek végzéséhez szükséges és a tevékenységek eredményeként létrejött információk cseréjére fenntartja és fejleszti a Meteorológiai

Világszervezet (WMO) és a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (ICAO) által koordinált telekommunikációs csatornák magyar szakaszát, gondoskodik a hazai meteorológiai adatoknak a nemzetközi távközlési rendszerbe való beadásáról, és a hazánkat érintő adatok elvételéről és feldolgozásáról. A felsorolt feladatok magas szintű ellátásának érdekében a HungaroMet Zrt. kutató-fejlesztő tevékenységet is végez. E tevékenységek eredményeként a HungaroMet Zrt. élet-és vagyónvédelmi tevékenységeket lát el: időjárási katasztrófa - előrejelzés, balatoni, velencei-tavi és tiszai-tavi viharjelzés, vegyi- és nukleáris szennyeződés terjedésének előrejelzése, biztosítja egyes államigazgatási intézmények, valamint az állam által felügyelt szervezetek és tevékenységek – együttműködési megállapodásban szabályozott – meteorológiai kiszolgálását (polgári repülés, vízügy, katasztrófavédelem). Ezen feladatok mellett 2024-től a Társaság hangsúlyos szerepet kapott az időjárásfüggő megújuló energiák támogatásában és a globális felmelegedés következtében fellépő időjárás jelenségek hatékony kezelésének elősegítésében, valamint környezetvédelmi feladatokat is ellát.

Elhunyt Turopoli Béla, egykori munkatársunk

2023. 11. 06. ■ Mély fájdalommal tudatjuk, hogy egykori munkatársunk, Turopoli Béla 2023. november 6-án, életének 74. évében örök nyugovóra tért. Búcsúztatása szűk családi körben történt. Nyugodjék békében!

Turopoli Béla 1970. május 18-tól 2010. március 31-ig – nyugdíjazásáig – az Országos Meteorológiai Szolgálat kötelékében végezte feladatait. Az 1968-ban, a Sallai Imre általános gimnáziumban megszerzett érettségijén kívül moziüzemvezető és gépkezelő szakképzettséget szerzett. Ez utóbbi lehet a magyarázata annak, hogy előszeretettel dokumentálta az OMSZ jeles eseményeit, kiváló minőségű fotókat és filmfelvételeket készítve. Az intézmény életéről, a meteorológia szakmai berkeiből összeállított számos filmanyagot őrzött. 1970. május 18-tól az Országos Meteorológiai Szolgálat Mezőgazdasági Tájékoztatói Osztályán laboráns munkakörben kezdett dolgozni. Szervezeti változások után az Éghajlati és Agrometeorológiai Önálló Osztály, majd a Kereskedelmi és Szolgáltató Iroda ügykezelője lett. Az éghajlati adatbázis archiválásában, a klimatológiai tájékoztatásban vett részt. A későbbiekben



a kiadványszerkesztésben, a rendezvényszervezésben, a marketing tevékenység megvalósításában vállalt nagy szerepet. 2006-ban Számítástechnikai szoftverüzemeltető OKJ-s szakképesítést szerzett. 2010. március 31-én ment nyugdíjba, de ezt követően is tartotta a kapcsolatot kollégáival, szívesen részt vett a nyugdíjas találkozókön.

2019-ben Életfa Emlékplakettet vehetett át, az OMSZ érdekében 40 éven keresztül végzett elkötelezett, hűségese munkája elismeréseképpen.

Nekrológ - Dr. Illés László

2023. 12. 21. ■ Dr. Illés László meteorológus, a Magyar Meteorológiai Társaság tagja, kedves kollégánk, a Budapesti Tollaslabdázók Szövetsége alapító, majd tiszteletbeli elnöke, életének 90. évében, 2023. december 21-én eltávozott közülünk. Illés László Pécsen született 1934. június 23-án. Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán 1956-ban szerzett meteorológus diplomát. Az Országos Meteorológiai Intézetben helyezkedett el szinoptikus munkakörben, a Ferihegyi repülőtéren dolgozott. 1972-ben doktorált "A Kárpátok hatása a nyomás, a szél és a hőmérséklet mezejére északi és északkeleti anticiklonális időjárási helyzetekben" című dolgozatával. 1978 augusztusában a Rövidtávú Előrejelző Osztályra helyezték. 38 éven keresztül a szinoptikus munkakör minden szintjén dolgozott.

A Magyar Rádióban az 1970-es évek közepétől egészen nyugdíjazásáig tájékoztatta a hallgatókat az időjárás alakulásáról. A Magyar Televízió "5 perc meteorológia" című műsorában 1978-tól 2003-ig szerepelt, mint meteorológus. Munkájáért 1981-ben MTV Nívódíjat kapott. Nyugdíjazása után a Duna Televízióban lépett fel az időjárási tájékoztatókban.

Illés László életének a meteorológián kívül a tollaslabdázás is szerves része volt, amit az is jelez, hogy még 80 éves kora fölött is eljárta tollaslabdázni, a játékkal csak utolsó éveiben hagyott fel. Nemcsak aktívan üzte ezt a sportot, hanem annak hazai szervezésében is részt vett. 1960-tól tollaslabda



játékvezető és versenybíró volt. 1966-tól a Budapesti Tollaslabdázók Szövetsége alapító elnöke, később pedig a szövetség tiszteletbeli elnöke lett. Elévülhetetlen érdemeket szerzett a tollaslabdázás, mint versenysport elterjesztésében, az utánpótlás-nevelés fejlesztésében, valamint a tollaslabdázás, mint szabadidősport felkarolásában Magyarországon. Az 1970-es és 80-as években az Országos Meteorológiai Szolgálatban működő Meteorológiai Sportegyesület – melynek elnöke volt – szervezésében került megrendezésre az országos tollaslabda tömegsport verseny, ahol két kategóriában, amatőrök és profik küzdhettek meg egymással. 1993-ban a Nemzetközi Tollaslabda Szövetségtől életmű díjat kapott, 2004-ben Budapest Sportjáért aranygyűrű kitüntetést vehetett át.

Emlékét szeretettel és tisztelettel őrizzük.

Elhunyt Dunkel Zoltán, az OMSZ nyugalmazott elnöke

2023. 12. 26. ■ Megrendülten tudatjuk, hogy dr. Dunkel Zoltán meteorológus, címzetes egyetemi docens, a Magyar Meteorológiai Társaság egykori elnöke és tiszteleti tagja, az Országos Meteorológiai Szolgálat nyugalmazott elnöke, kedves kollégánk életének 75. évében, 2023. december 26-án elhunyt. Nyugodjék békében!

Dunkel Zoltán Budapesten született 1949. szeptember 26-án. Egyetemi tanulmányait az ELTE Természettudományi Karán folytatta matematika tanári és meteorológus szakon. 1975-ben a diploma megszerzése után két évig a Meteorológia Tanszéken gyakornokként dolgozott. 1978-ban doktorált "A szennyezőanyagok terjedésének vizsgálata szélcsatornában" című dolgozatával. Az OMSZ munkatársa volt 1977-től. 1984-től a Mikrometeorológiai, majd az Agrometeorológiai Osztály vezetője lett (1991–1993). 1995–1998 között az OMSZ tudományos titkára volt. 1997-ben az ELTE-n földtudományi PhD fokozatot szerzett. 1999 és 2001 között Brüsszelben, kölcsönzött nemzeti szakértőként, az EU COST titkárságon dolgozott. 2002–2005 között az OMSZ Nemzetközi Osztályát vezette. Az OMSZ elnöke volt 2005 és 2007, valamint 2011 és 2013 között.

A Debreceni Egyetemen növénytermesztési és kertészeti témakörben PhD fokozatot szerzett "A területi párolgás meghatározásának módszerei mezőgazdasági hasznosítású területekre" című értekezésével 2002-ben. Címzetes egyetemi docens lett (2002, Szent István Egyetem), majd habilitált doktor (2006, Budapesti Corvinus Egyetem), valamint egyetemi magántanár (2007, Budapesti Corvinus Egyetem). A firenzei Accademia dei Georgofili levelező tagja lett 2008-ban. 2009-ben a Pannon Egyetem címzetes egyetemi tanára lett. Oktatott az ELTE-n, a Kertészeti és a Kaposvári Egyetemen. 2013 és 2015 között a KE Agrometeorológiai és Vízgazdálkodási Csoport vezetőjeként dolgozott.

1998-tól az Időjárás folyóirat szerkesztő bizottságának tagja. A Physics and Chemistry of Earth (JPCE) folyóiratnál vendégszerkesztő volt 1999, 2001, 2003, 2005, 2010 években. A Légkör folyóirat szerkesztő bizottságának elnöke volt 2010 és 2021 között. Gazdag publikációs tevékenységét több mint 150 cikk, könyvrészlet mutatja.



Többek között a WMO Agrometeorológiai Bizottságának tagja (1992–2012), illetve elnöke (1998–2006) volt. A Magyar Meteorológiai Társaságnak (MMT) 1974-től volt tagja. Aktív tevékenységet folytatott a bizottságokban, majd a Társaság elnökeként dolgozott 2010–2022 között. 2023-ban tiszteleti taggá választották.

Szakmai tevékenysége elismeréseként megkapta a Pro Meteorológia Emlékplakettet (2005) és a Honvédelemért Emlékérem I. fokozatát, majd Schenzl Guidó díjat (2014). 2013. augusztus 20-án dr. Fazekas Sándor vidékfejlesztési miniszter Magyar Érdemrend Lovagkeresztje kitüntetést adott át neki a négy évtizedes kiemelkedő szakmai munkája, a meteorológiai szolgáltató tevékenység fejlesztése, megújítása, a lakossági és szakmai tájékoztatás minél szélesebb körű igénybevételének biztosítása érdekében kifejtett tevékenysége elismeréseként.

Gazdag szakmai útvonalból is kitűnik, hogy Dunkel Zoltán nagyon szerette a hivatását, fontosnak tartotta a meteorológia népszerűsítését, a szakmai hagyományok tiszteletét. Emlékét szeretettel és tisztelettel őrizzük.

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI

Elismerések átadása és új Ifjúsági díj bevezetése az MMT 2023. májusi közgyűlésén

Röviden ismertetjük a 2023-ban megtartott előadói üléseket, hogy képet kapjunk a szakosztályok és területi csoportok tevékenységéről. Az önálló szervezések után soroljuk fel azokat az üléseket, melyek több szakosztály közös szervezésében valósultak meg. Ezek mellett a kiemelt társasági eseményeket is megemlíthetjük.

Az **Agro- és Biometeorológiai Szakosztály** 2023. április 4-én előadóülést tartott „Aktualitások az aerobiológiában” címmel. Előadók: Szigeti Tamás, Páldy Anna és Magyar Donát.

Előadások:

- *Szigeti Tamás*: Fejlesztések a polleninformációs szolgáltatásban. NNK Közegészségügyi Laboratóriumi és Módszertani Főosztály
- *Páldy Anna*: Az „indikátor” növények pollenszezon jellemzőinek változása a 30 éves Aerobiológiai Hálózat adatbázisa alapján. NNK Közegészségügyi Laboratóriumi és Módszertani Főosztály
- *Magyar Donát*: A klímaváltozás és ezzel kapcsolatos globális megatrendek hatása a mikroszkopikus gombák terjedésére Magyarországon

A Szakosztály második előadóülése szeptember 27-én volt. A Magyar Hidrológiai Társaság Környezetvédelmi Szakosztályával, a Magyar Hidrológiai Társaság Mosonmagyaróvári Területi Szervezetével, a VEAB Agrártudományi Szakbizottsága Növénytermesztési és Agrárdigitalizációs Munkabizottságával, illetve a Széchenyi István Egyetem Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar Vízgazdálkodási és Természeti Ökoszisztémák Tanszékével közösen szervezte a rendezvényt. Témája „A légkör-talaj-víz-növény rendszer kutatása napjaink változó környezeti viszonyai között.” volt.

Előadások:

- *Kalocsai Renátó*: A légkör-talaj-víz-növény rendszer kutatása a Széchenyi István Egyetem Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar Vízgazdálkodási és Természeti Ökoszisztémák Tanszékén
- *Csapó Imre, Bácskai Tamás, Csáki Ferenc*: Északi-szigetközi vízellátó rendszer kapacitás-bővítése
- *Lakatos Gyula*: Az Európai Globális Megatrendek (EU GMT) tanítása a felsőoktatásban
- *Haime Chen, Lara Rúbia Borges Silva, Sütöriné Diószegi Magdolna, Kardos Levente*: Városi fafajták

légköri nehézfém akkumulációjának vizsgálatai Budapesten

- *Szakál Pál, Kalocsai Renátó, Vámos Ottília, Vasas Dávid, Szakál Tamás*: A higrágyák és különböző komplex vegyületek hatása a növénytermesztésben
- *Giczi Zsolt, Koltai Gábor*: A talajnedvesség mérések eredményei a Szigetközben
- *Varga Zoltán*: Az éghajlatváltozás aszálygyakorlóságra gyakorolt hatásainak vizsgálata regionálisan

Az **Éghajlati Szakosztálynak** négy előadóülése volt 2023-ban. A Magyar Hidrológiai Társaság Hidraulikai és Műszaki Hidrológiai Szakosztályával közösen tartott előadóülést 2023. március 8-án „A 2022-es év meteorológiai és hidrológiai értékelése” címmel.

Az ülésen az alábbi **előadások** hangzottak el:

- *Szentes Olivér, Marton Annamária, Bokros Kinga, Izsák Beatrix, dr. Lakatos Mónika, Szolnoki-Tótván Bernadett, Bihari Zita*: A 2022. év értékelése éghajlati szempontból
- *Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila*: 2022 a történelmi aszály éve - az év agrometeorológiai áttekintése
- *Vaszko András*: Veszélyes időjárási események 2022-ben
- *Csik András, Varga György*: A 2022. év hidrológiai jellemzése
- *Nagy Eszter Dóra*: Hazai kis és közepes vízgyűjtők válaszüzejének vizsgálata

A második előadóülés témája a „Felhők földjén – Meteorológusok élményei a hegyekből” volt. 2023. június 29-én az alábbi **előadások** hangzottak el:

- *Salavec Péter*: Néhány kirándulólhely a Felvidéken és Csehországban: történelmi emlékhelyek, világörökségi helyszínek és időjárási események
- *Szentes Olivér*: Az OMSZ-ból az Alpok tetejére

A szakosztály harmadik előadóülését 2023. október 11-én tartotta Ambrózy Pál tiszteletére.

Előadások:

- *Bartholy Judit*: Jó volt együtt dolgozni vele - közös felvidéki gyökerek
- *Bihari Zita*: Ambrózy Pál únyi csapadékmérései
- *Tóth Róbert*: Ambrózy Pál Tanösvény

A negyedik előadóülést közösen rendezte a Légkördinamikai szakosztállyal, amely a Közös szervezések részben található.

A **Légkördinamikai Szakosztály** négy előadó-ülést tartott tavaly, ebből kettő közös szervezés volt. 2023. március 17-én tartott előadórésztémája a megújuló energiatermelést kiszolgáló időjárás-előrejelzések utófeldolgozása volt.

Az elhangzott **előadások**:

- *Kornyik Miklós*: AROME előrejelzés-korrekciónál gépi tanulási módszerekkel
- *Baran Sándor, Baran Ágnes*: Energiatermeléshez használt időjárási mennyiségek előrejelzéseinek statisztikai utófeldolgozása
- *Tajti Dávid, Jávorné Radnóczy Katalin*: Megújuló energia célú előrejelzések statisztikai utófeldolgozása – operatív alkalmazás

Második előadórésztémáját 2023. november 6-án tartotta Götz Gusztáv emlékére.

A rendezvényen elhangzott **előadások**:

- *Bozó László*: Götz Gusztáv szakmai életútja
- Személyes megemlékezések Mészáros Ernőtől, Ihász Istvántól, Horváth Ákostól és Horányi Andrásról
- *Szépszó Gabriella*: Az ensemble előrejelzések és a klímadinamika fejlődése
- *Tóth Helga*: Felszíni adatasszimilációs kutatások az Országos Meteorológiai Szolgálatnál
- *Haszpra Timea*: Az éghajlatváltozás nyomában sokasági éghajlati szimulációkkal snapshotmegközelítésben
- *Kristóf Erzsébet*: Légköri távkapcsolati mintázatok azonosítása dimenzióredukációs módszerek alkalmazásával
- *Kalmár Timea*: A RegCM klímamodell különböző beállításainak érzékenységi elemzése a Kárpát-régióra
- *Radnóti Gábor, Ihász István, Lakatos Mónika*: Szakmai kvíz – kérdések, megoldások, díjátadó

A **Levegőkörnyezeti Szakosztály** 2023. február 24-én előadórésztémát tartott, melynek témája a „Destination Earth On-Demand Extremes Digital Twin” projekt bemutatása volt.

Előadások:

- *Randriamampianina Roger*: A Destination Earth On-Demand Extremes Digital Twin (DE_330) projekt célkitűzései
- *Ferenczi Zita*: Hatások modellezése a DE_330 projekten belül – Levegőminőség

A második előadórésztémáját 2023. április 13-án került sor „A metán nyomában” témakörben.

A rendezvényen az alábbi **előadások** hangzottak el:

- *Haszpra László*: Metán: Az ózonképződéstől az éghajlatváltozásig

- *Kis-Kovács Gábor*: A metán a nemzeti kibocsátási leltárban
- *Fodor Alex és Zsamboki Bence*: GHG Solutions koncepció

A **Nap- és Szélenergia Szakosztály** 2023. március 29-én tartotta előadórésztémáját, melynek témája a megújuló energia hasznosítása volt a katonai műveletek során. **Előadó**: *Péliné Németh Csilla*. Továbbá egy közös előadórésztémát szervezett a Légkördinamikai Szakosztállyal.

A **Repülésmeteorológiai Szakosztály** 2023. április 19-én szervezte előadórésztémáját.

Előadások:

- *Tuba Zoltán*: Jegesedési indexek vizsgálata a 2006-2021 időszak reanalízis (ERA-5) adatai alapján
- *Wenhardt Tamás*: Magyar Honvédség Balti Fegyveres Légvédelmi Készletű ALEGYSÉG meteorológiai biztosítása
- *Bottyán Zsolt, Gyöngyösi András Zénó, Kardos Péter, Simon Sándor, Szabó Tamás, Tuba Zoltán, Vránics Dávid Ferenc, Zováthy Örkény*: Hazai részvétel a 2024-re tervezett WMO UAS demonstrációs kampányban
- *Kardos Péter*: UAS mérések adatasszimilációs vizsgálata konténer technológián alapuló WRF-Queue rendszerben

A **Távérzékelési Szakosztály** 2023. február 28-án az új generációs Meteosat műholdról tartott előadást. **Előadó**: *Putsay Mária*: Milyen új információk várhatók a Harmadik Generációs Meteosat műhold leképező berendezésétől?

A második előadórésztémáját 2023. április 26-án került sor *Nagy-Kurunczi Rita és Tamási Gábor* jóvoltából a „Digitális ablak az égboltra – webkamerák a meteorológia szolgálatában” címmel

A **Róna Zsigmond Ifjúsági Kör** 2023. október 3-án tartotta előadórésztémáját, melynek témája „Méhék és méhészkedés meteorológus szemmel” volt. **Előadó**: *Vincze Csilla*.

A **Debreceni Területi Csoport** és az **Eger-Bükkvidéki Területi Csoport** nem tartott előadórésztémát 2023-ban.

A **Pécsi Területi Csoport** és az **MTA MTB Légkörfizikai és Levegőkémiai Albizottsága** felhőfizikai szemináriumot szervezett (Friday Afternoon Cloud Physics Talk (FACT)) november 10-én.

Előadások:

- *Cséplő Anikó:* (PTE, FDI): A légkör és a talaj nedvességtartalmának hatása a ködképződésre
- *Kurcsics Máté:* (OMSz, PTE FDI): Szinoptikus folyamatok által vezérelt lejtőszél a Bakony-Balaton térségben
- *Peterka András:* (PTE, FDI): Ködök mezoskálájú modellezése

A **Szegedi Területi Csoport** 2023. március 17-én tartotta előadójelentését.

Előadások:

- *Kacsova Csenge:* A városi fák ökoszisztéma szolgáltatásait befolyásoló fiziológiai és környezeti tényezők komplex vizsgálata egy szegedi utcai fasor példáján
 - *Guo Yuchen:* Urban air temperature pattern estimation using satellite-based LST: A case study in Szeged, Hungary
 - *Khabibolla Almaskhan:* Assessment of the heat load in Central Asian cities using models of the urban climate and comparison with monitoring data
- A második előadójelentésre november 29-én került sor.

Előadások:

- *Lékó-Kacsova Csenge, Kiss Márton, Gulyás Ágnes:* A városi fák szállópor-megkötésének és települési léptékű mintázatának irodalmi áttekintése a fiziológiai és környezeti tényezőkkel összefüggésben
- *Novák Attila, Kolcsár Ronald, Czucz Bálint, Kiss Márton:* Az ökoszisztémák állapota és a mikroklíma-szabályozás kapcsolata – kvalitatív evidenciaszintézis a települési zöldfelületekre vonatkozóan
- *Kiss Márton, Kolcsár Ronald, Lékó-Kacsova Csenge, Novák Attila:* Városklíma a környezetstatisztikában – az ökoszisztéma-számlák módszertani kérdései a mikroklíma-szabályozás és a légszennyezésmegkötés témájában

A **Szombathelyi Területi Csoport** az évi tavaszi szemeszterének első előadását március 28-án *Dr. Lakó Katalin* tartotta Svájcra. Az előadás a Magyar Földrajzi Társasággal közösen került megrendezésre.

2023. április 15-én megrendezte a *13. Szőlő és Klíma konferenciát* Kőszegen.

2023. évi tavaszi szemeszterének második előadására április 25-én került sor, melynek előadója és címe: *Koroknai Anikó:* Elvesztett év nyomában – Ausztrália és a rokon kapcsolatok felfedezése.

2023. évi őszi programsorozata egy kiállításal kezdődött október 10-én *Klíma és én* címmel. Az őszi szemeszter előadása október 17-én volt, melynek címe: Finnország építész szemmel, *Kovács Péter* jóvoltából.

Közös szervezések:

Az MMT **Légkördinamikai**, illetve **Nap- és Szélerenergia Szakosztálya** az MTA-MTB **Légköri Erőforrás Albizottsággal** egy közös előadójelentést szervezett október 16-án.

A rendezvényen az alábbi **előadások** hangzottak el:

- *Szanka Gábor:* Megnyitó
- *Balog Richárd:* Az időjárásfüggő termelés előrejelzés szerepe a villamosenergia-rendszer irányításban
- *Luczay Péter:* Az időjárásfüggő termelők hatása a villamosenergia- és a szabályozásirányítási-rendszerekre; fókuszban: a napenergia
- *Dr. Szépszó Gabriella:* Modell-előrejelzések fejlesztése napenergiával kapcsolatos felhasználásra
- *Dr. Horváth Ákos, Peterka András, dr. Geresdi István:* A WRF-MEANDER rendszer napenergia előrejelzés irányú fejlesztése
- *Dr. Mayer Martin János:* Napenergia termelés előrejelzéssel kapcsolatos kutatás a Műegyetemen
- *Dr. Kádár Péter:* Napenergia potenciál becslés és termelés előrejelzés
- *Sinkovics Bálint:* Fotovillamos energiatermelés előrejelzését célzó kutatások az Energetikai Kutatóközpontban
- *Dr. Bugya Titusz:* Egy működő termelésbecslő rendszer szervezésének, tervezésének, kialakításának, működésének és befejezésének tapasztalatai
- *Dr. habil. Weidinger Tamás:* Szemelvények a szél- és napenergia előrejelzések meteorológiai/klimatológiai háttéréről, oktatási vonatkozásairól

Az MMT **Légkördinamikai és Éghajlati Szakosztálya**, valamint az MTA-MTB **Légköri Erőforrás Albizottsága** 2023. november 27-én közös előadójelentést szervezett. Az ülésen az alábbi előadásokat hallhattuk:

- *Hegedüs Adrienn:* Rövidtávú energiameteorológiai előrejelzések operatív alkalmazása a német villamosenergia-piacon
- *Szentes Olivér és Izsák Beatrix:* A mérésektől a reprezentatív éghajlati adatbázisig: globálisugárzás, szél

MMT szervezések:

Az MMT 2022. decemberi közgyűlése tiszteleti tagjává választotta *prof. dr. Zbigniew Ustrnult*, a Lengyel Meteorológiai és Vízgazdálkodási Intézet Krakkói Regionális Részlegének és a Jagelló Egyetem Éghajlati és Meteorológiai Tanszékének munkatársát.

A cím átadása ünnepi előadói ülés keretében történt. Időpontja: 2023. május 8. hétfő. Az emlékülésen elhangzott **előadások**:

- *Zbigniew Ustrnul*: Changes in atmospheric circulation in Central Europe in the last 140 years
- *Mika János*: Kísérlet a lokális napi időjárás objektív tipizálására lengyel-magyar együttműködésben

Prof. Dr. Thomas Foken, ny. egyetemi tanár az MMT külföldi tiszteleti tagja Magyar Meteorológiai Társaság és az ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet Meteorológiai Tanszéke közös szervezésében előadóülést tartott 2023. november 29-én.

Az előadás címe: Theodore von Kármán and his influence on atmospheric turbulence research (Kármán Tódor és hatása a légköri turbulencia kutatásra).

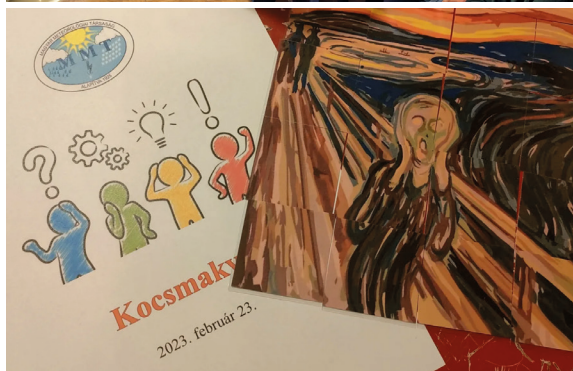
Az MMT 2023. december 7-én előadóülést tartott Dévényi Dezső születésének 75. évfordulója alkalmából. Ezt követően került sor a Dévényi Dezső Numerikus Prognosztikai Emlékérem eredményhirdetéséhez kapcsolódó tudományos szemináriumra az Emlékérem Bizottság szervezésében.

Előadások:

- *Ihász István*: Dévényi Dezső szakmai pályája
- *Buránszkiné Sallai Márta*: Dévényi Dezső korai munkássága, az első szakdolgozó szemével
- *Kovácsné Izsák Beatrix*: Dévényi Dezső utolsó szakdolgozójaként szerzett „életre szóló” tapasztalatok
- *Szépszó Gabriella*: Utánpótlás-nevelés a numerikus modellezés szakterületen

A Szakosztályok és Területi Csoportok ülésein elhangzott előadások többsége és az előadásokról készült videófelvételek, valamint fotók, ha készültek, a Magyar Meteorológiai Társaság honlapján elérhetők: www.mettars.hu.

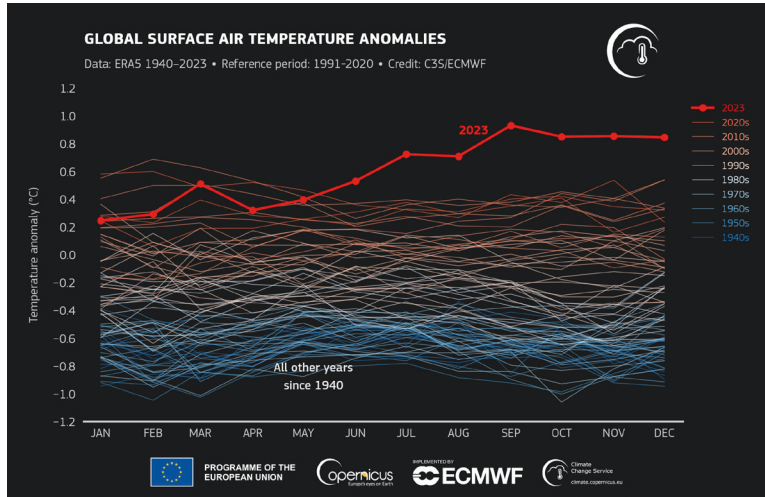
Közösség építő szakmai eseményeink is sokakat vonzottak. Február 23-án kocsmakvizt rendeztünk (képeinken), március 15-én a Budai hegységben kirándultunk, népszerűsítettük a meteorológiát a Föld Napjához kapcsolódóan április 22-én és a Földtudományos Forгатagon november 11-12-én. Schenzl Guidó fotó kihívást és múltidéző sétát tartottunk az első „OMSZ” igazgató születésének 200. évfordulója alkalmából szeptember 28-án.



LAPSZEMLE

Érdekes publikációk, cikkek, tanulmányok, amelyek nem fértek a Légkör hasábjaira

2023 rekordmeleg, a globális felszínhőmérséklet anomália megközelíti az 1,5 Celsius fokal küszöböt



2024. január ■ A Kopernikusz Éghajlatváltozási Szolgálat (C3S) jelentése szerint 2023 az eddigi legmelegebb év volt 1850. óta. A globális felszínhőmérséklet anomália ugyanis megközelítette a 1,5 °C-ot, ami a párizsi klímamegállapodás egyik küszöbértéke. A tavalyi év jóval melegebbnek bizonyult a 2016-osnál is, amely az eddigi csúcstartó volt 1,2 °C-kal.

2023-ban a napok közel 50%-a több mint 1,5 °C-kal volt melegebb az 1850-1900-as, iparosodás előtti időszak átlagánál, novemberben pedig két nap is – erre eddig nem volt példa – több mint 2 °C-kal haladta meg ezt az értéket. Júniustól decemberig minden egyes hónap átlaghőmérséklete rekordnak számított.

A tavalyi év a második legmelegebb év volt Európában, 1,02 °C-kal túlszárnyalva az 1991–2020-as átlagot (2020-ban volt csak ennél is melegebb). Kontinensünkön 2023-ban 11 hónapban volt átlag feletti a hőmérséklet, a szeptember pedig az eddigi legmelegebb szeptember volt a mérések szerint.

Az antarktisi tengeri jég kiterjedése az elmúlt évben példátlanul alacsony volt. 2023 februárjában mind a napi, mind a havi kiterjedés elérte a történelmi minimumot. Az északi sarki tengeri jégkiterjedés az év 8 hónapjában volt rekordalacsony szinten.

A szén-dioxid és a metán légköri koncentrációja azonban tovább emelkedett és 2023-ban rekordszintet ért el, 419 ppm, illetve 1902 ppb értékkel.

A globális átlagos tengerfelszín hőmérséklet tartósan és szokatlanul magas volt, és az aktuális évszakhoz képest rekordszintet ért el az áprilistól decemberig tartó időszakban. A magas óceáni hőmérsékletek fő okozója hosszú távon az üvegházhatású gázok koncentrációjának folyamatos növekedése, de 2023-ban hozzájárult ehhez az El Niño déli oszcilláció (ENSO) is.

A 2023-ra becsült globális erdőtűz okozta szén-dioxid-kibocsátás 2022-hez képest 30%-kal nőtt, ami nagyrészt a Kanadában tartósan fennálló erdőtűzeknek volt köszönhető.

A HungaroMet Nonprofit Zrt. honlapján (met.hu) elérhető a teljes cikk, a https://www.met.hu/ismeret-tar/meteorologiai_hirek/index.php?id=3394 linken, vagy a QR kódot beolvasva.



Az eredeti forrás és további információ a <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record> linken, vagy a lenti QR kódot beszkennelve található.



Kislexikon

biogén: élő anyagból származó vagy azzal kapcsolatos folyamatok, elemek. (In: *Haszpra László: Metán: az ózonképződéstől az éghajlatváltozásig*)

digitális szűrő inicializációs eljárás: az inicializáció során az adatasszimiláció eredményeként előállított kezdeti feltételben egyensúlyba hozzák a légköri nyomás- és szélmezőt, kiszűrve a hullám-megoldások közül a meteorológiai szempontból irreleváns, nagy amplitúdójú nagyfrekvenciás hullámokat, melyek nem-kívánatos zajokat okozhatnak az előrejelzésben. A digitális szűrő technika a modell néhány órára való – adiabatikus folyamatokra korlátozott – hátraintegrálása, majd teljes előreintegrálása révén, az állapotathatózókra súlyozott átlagolás alkalmazásával végzi el ezt a folyamatot. (In *Szépszó Gabriella: Interjú Radnóti Gáborral*)

helikalitás: maga a helikális szó jelentése csavarvonal alakú, tehát ez is mutatja, hogy a \sim az áramlás csavarvonalyszerűségét jellemző mérőszám (horizontális áramlás esetén). A \sim a zivatarok, szupercellák élettartamának becslése során alkalmazhatjuk. (In: *Baár Péter et al.: A jégeső előrejelzés verifikációja*)

kód optimalizáció: az előrejelző modell számítógépes kódjának olyan átszervezése, aminek köszönhetően a modell futtatása gyorsabbá és hatékonyabbá válik anélkül, hogy megváltoztatná az előrejelzés tartalmát. (In: *Szépszó Gabriella: Interjú Radnóti Gáborral*)

kód review folyamat: az előrejelző modell fejlesztésekor születő új számítógépes kódrészlet ellenőrzése és összehangolása a meglévő modellekkel. (In: *Szépszó Gabriella: Interjú Radnóti Gáborral*)

logisztikus regresszió: olyan matematikai eljárás, amely segítségével csoportosíthatjuk az adatainkat. A rendelkezésre álló adatpárok helyett az adatok valószínűségével ad becslést. (In: *Baár Péter et al.: A jégeső előrejelzés verifikációja*)

metabolizmus: élő szervezetekben végbemenő anyag- és energiaáramlást kifejező orvosi/biokémiai fogalom. (In: *Haszpra László: Metán: az ózonképződéstől az éghajlatváltozásig*)

metanogén: metánt termelő mikroorganizmusok egy csoportja. (In: *Haszpra László: Metán: az ózonképződéstől az éghajlatváltozásig*)

metanotrof: olyan mikroorganizmusok, amelyek oxidálják a metánt (szén – és energiaforrásként metánt használnak). (In: *Haszpra László: Metán: az ózonképződéstől az éghajlatváltozásig*)

permafroszt: állandó fagy/örök fagy. Olyan (elsősorban) talajokra vonatkozik, amelyek hőmérséklete legalább két egymást követő évben $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, vagy ez alatt marad. Többnyire a sarkvidékek (északi), Sziberia, Kanada, Alaszka területe és magashegységek területén fordul elő. (In: *Haszpra László: Metán: az ózonképződéstől az éghajlatváltozásig*)

pirogén: égés vagy hó alkalmazásának hatására keletkezett. (In: *Haszpra László: Metán: az ózonképződéstől az éghajlatváltozásig*)

rétégzett véletlen mintavétel: egy statisztikai eljárás, ahol a sokaságot egy vagy több megválasztott szempont szerint csoportosítjuk, majd a csoportokból véletlen mintát generálunk. Ezáltal a teljes sokaság vizsgálata helyett egy, a sokaságot leképező kisebb elemszámú minta alapján tudunk statisztikai következtetéseket levonni. (In: *Baár Péter et al.: A jégeső előrejelzés verifikációja*)

sújtólég: bányalégnek, vagy vihedernek is nevezik. A metán és a levegő robbanóképes keveréke, amely fogalom elsősorban a mélyművelésű bányászatból (elsősorban szénbányák) ismert. (In: *Haszpra László: Metán: az ózonképződéstől az éghajlatváltozásig*)

termogén: hő hatására keletkező. (In: *Haszpra László: Metán: az ózonképződéstől az éghajlatváltozásig*)

töbör: gyakori és jellegzetes felszíni karsztforma. Néhány méter-száz méter átmérőjű, kerekded, tölcser alakú zárt szintvonalú mélyedés, gödör (a dolinánál kisebb). (In: *Dobos András et al.: A 2022-2023-as téli szezon összefoglaló elemzése a Bükk-fennsík Mohos-töbör és Vörösmeteor-töbör mérései alapján*)

TANULMÁNY

Bokros Kinga, Lakatos Mónika: A fűtési foknapok változása a múlt század elejétől napjainkig. 2/66

Bokros Kinga, Lakatos Mónika: Szőlészeti klímaindexek alakulása a múlt század elejétől a Soproni borvidék területén 4/183

Dobi Ildikó, Bíróné Kircsi Andrea, Péliné Németh Csilla: Nap- és szélenergia hasznosítás helyzete 2020-ban és 2021-ben. 1/28

Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila Viktor: A 2022-es aszály agrometeorológiai elemzése. 1/20

Horváth Ákos, Breuer Hajnalka: A víz körforgalma a légkörben és a 2022-es rendkívüli aszály meteorológiai háttere. 1/2

Németh Ákos: 20 éves az Országos Meteorológiai Szolgálat Minőségirányítási Rendszere. 2/74

Péliné Németh Csilla, Bíróné Kircsi Andrea, Dobi Ildikó: Szélenergia innovációk a világban. 3/126

Simon Gergő: Az Országos Meteorológiai Szolgálat közösségi médiás tevékenysége: új kommunikációs formák a hiteles meteorológiai adatok közlésében. 2/80

Szentes Olivér: Szárazság Magyarországon 2022-ben és a múltban. 1/9

Szépszó Gabriella, Baran Ágnes, Baran Sándor, Jávoriné Radnóczy Katalin, Korniyk Miklós, Tajti Dávid: Sugárzásra és magassági szélre vonatkozó rövidtávú előrejelzések operatív statisztikai utófeldolgozása. 3/118

Szilágyi Eszter, Horváth Ákos: A 2022. decemberi hidegbetörés és korábbi extrém téli időjárási helyzetek az USA-ban. 2/58

Varga Zoltán: Az éghajlatváltozás szőlőtermesztésre gyakorolt potenciális hatásainak vizsgálata országosan, hosszú adatsorok alapján. 4/190

Vincze Csilla, Leelőssy Ádám, Mészáros Róbert: A légköri állapothatározók és a változó éghajlat hatása a házimehekre (Apis mellifera). 3/138

Vincze János Farkas: Szőlőszüret idejének megválasztása a XVIII. századi Jászságban. 4/197

V. Horn Valéria: Városi lakókörnyezet javítása zöldszerkezetekkel 1. 3/131

V. Horn Valéria: Városi lakókörnyezet javítása zöldszerkezetekkel 2. 4/204

KRÓNIKA

Baranka Györgyi: Schenzl Guidó születésének bicentenáriuma – A tudós, szerzetes, tanár. 4/210

Breuer Hajnalka: Az Európai Meteorológiai Társaság 2023-as konferenciájának összefoglalója 4/232

Dobi Ildikó, Fejes Edina: Interjú dr. Radics Kornéliával. 3/161

Erdődiné Molnár Zsófia: A 2022/23-as tél időjárása agrometeorológiai szempontból. 2/94

Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila Viktor: Agrometeorológiai visszatekintő. 3/174

Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila Viktor: A 2023-as nyár időjárása agrometeorológiai szempontból. 4/230

Fejes Edina: 25 éves az Országos Meteorológiai Szolgálat Stúdiója. 85/2

Fejes Edina: Meteorológiai Világnap – 2023. 2/85

Lakatos Mónika, T. Puskás Márta: Schenzl Guidó 200 – Fotó kihívás és múltidéző séta a Magyar Meteorológiai Társaság szervezésében. 4/236

Major György: Tünczer Tibor szakmai életútjának adatai, 1/40

Marton Annamária: 2022 őszenek időjárása, 1/48

Marton Annamária: A 2022. év időjárása. 2/102

Marton Annamária, Szolnoki-Tótván Bernadett: 2023 tavaszának időjárása. 3/168

Marton Annamária, Szentes Olivér: 2023 nyarának időjárása. 4/224

Oláh Róbert: 150 éve hunyt el Balla Károly. 4/220

Szabó Bernadett: Az időjárás-jelentések egy stúdiós szemével. 2/88

Szabó Bernadett: Schenzl Guidó bicentenáriuma. 4/217

Szabó Dorottya: Hajók az időjárás markában. 3/148

Szolnoki-Tótván Bernadett: 2022/2023 telének időjárása. 2/96

Tóth Róbert: Visszaemlékezés három agrometeorológusra. 3/154

Tóth Róbert, Kiss Márton: Kiváló társadalmi észlelők világnapi kitüntetése. 3/157

Varga László, Nagy József: Emlékezés Dombai Ferencre (1953-2023). 4/221

Zaveczki-Hoffmann Lilla, Lakatos Mónika: Beszámoló a Magyar Meteorológiai Társaság Szakosztályainak és területi csoportjainak 2022. évi tevékenységéről. 2/110

FOTÓ

Márta Róbert (címlap): Jégszillag (2019. január 22., Kecskemét).

Kolláth Kornél, Lakatos Mónika: Évszakos fotógaléria. borítók/1

Harcz Endre: Hullámfelhők Zala fölött (Becsehely, 2023.január 3.)

Pintér István: Tajtékzó Balaton és tépett gomolyfelhők (Fonyód, 2023. február 4.)

Veres Viktor: Téli konvekció szivárvánnyal (Budapest, 2023. február 1.)

Bujdosó Bence: Pirkadati fények a repülőtéren, felvonuló melegfronti felhőzettel (Budapest. február 3.)

Szabó Dorottya (címlap): A fűzfői Balaton (Balatonfűzfő, 2022. április 18.).

Kolláth Kornél, Lakatos Mónika: Évszakos fotógaléria. borítók/2

Jóni Károly: Lencsefelhők az átvonult front mögött (2023. március 11.)

Deák István: Porvihar Császáz (Komárom-Esztergom vármegye) határában (Császáz, 2023. március 11.)

Böke Ferenc: Tavaszzi zivatarfelhő' kócos' üllővel és csapadéksávokkal (Cegléd, 2023. március 8.)

Fodor Szabolcs: Márciusi konvekció mammákkal (Ruzsa, Csongrád-Csanád vármegye, 2023. március 28.)

Miskolczi Panny Timi, Légkőoptikai Facebook csoport: Melléknep és Cirrocumulus (Salgótarján, 2023. március 18.)

Szilvási Norbert, METÉSZ: Görgőfelhővel érkező zivatar a lemenő Nap háttérvilágításával (Nyírkarász, 2023. március 25.)

Kiss Kevin (címlap): Klasszikus szupercella (Drávaszabolcs, 2023. július 13.)

Kolláth Kornél, Lakatos Mónika: Évszakos fotógaléria. borítók/3

Somogyi Csaba: Nem-mezociklonális tornádó Óbuda felett (Budapest, 2023. június 6.)

Bruckner Valcsák Viktória: Peremfelhős zivatar. (Mohács, 2023. április 15.)

Bánkúti Leticia: Turbulens felhővel érkező balatoni vihar (Fonyód, 2023. május 16.)

Kövesligeti István: Sarki fény Salgó várából (Salgó, 2023. április 23.)

Horváth Renáta: Hideg légtó a Balaton felett (2023. május 4.)

Kolláth Kornél, Lakatos Mónika: Évszakos fotógaléria. borítók/4

Schidru Péter, ViharVonal Facebook csoport: Zivatarlánc érkezik a Balaton fölé (Fonyód, 2023. augusztus 29.)

Jakab Gyula Csaba: Tornádó Hegyköztöttek (Bihar megye) mellett (2023. szeptember 3.)

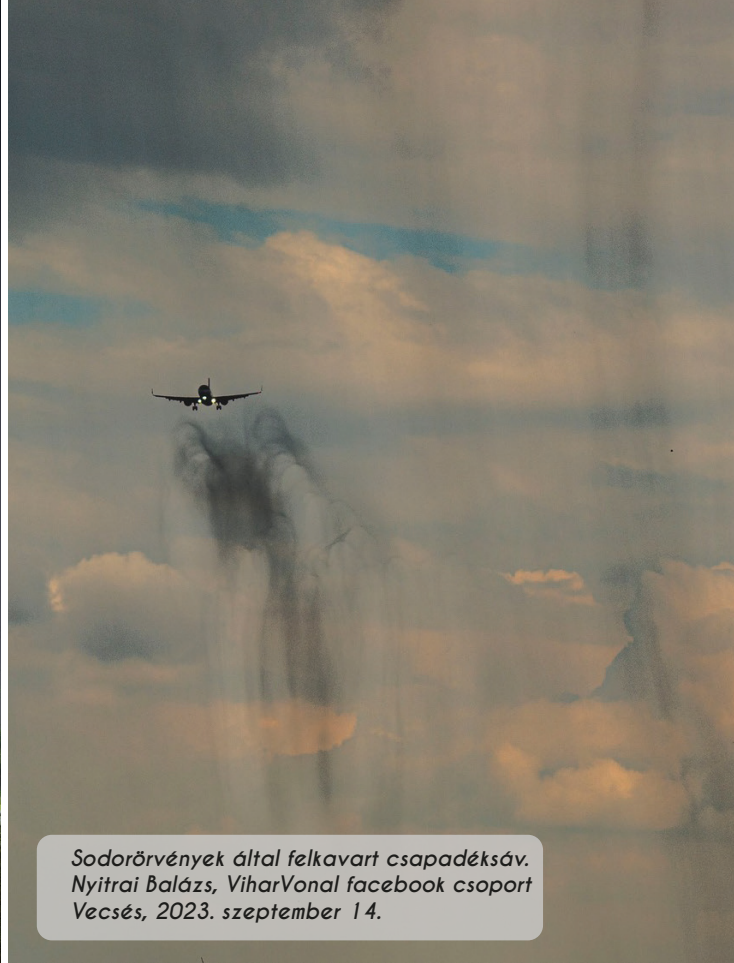
Szűcs Gábor: Vörös lidércek a Csehország délkeleti részén fejlődő zivatarok felett (Gyula, 2023. augusztus 26–27. éjszaka)

Tóth László: Párasság a Bodroghözben napkeltekor (Bodrogheresztúr, 2023. augusztus 27.)

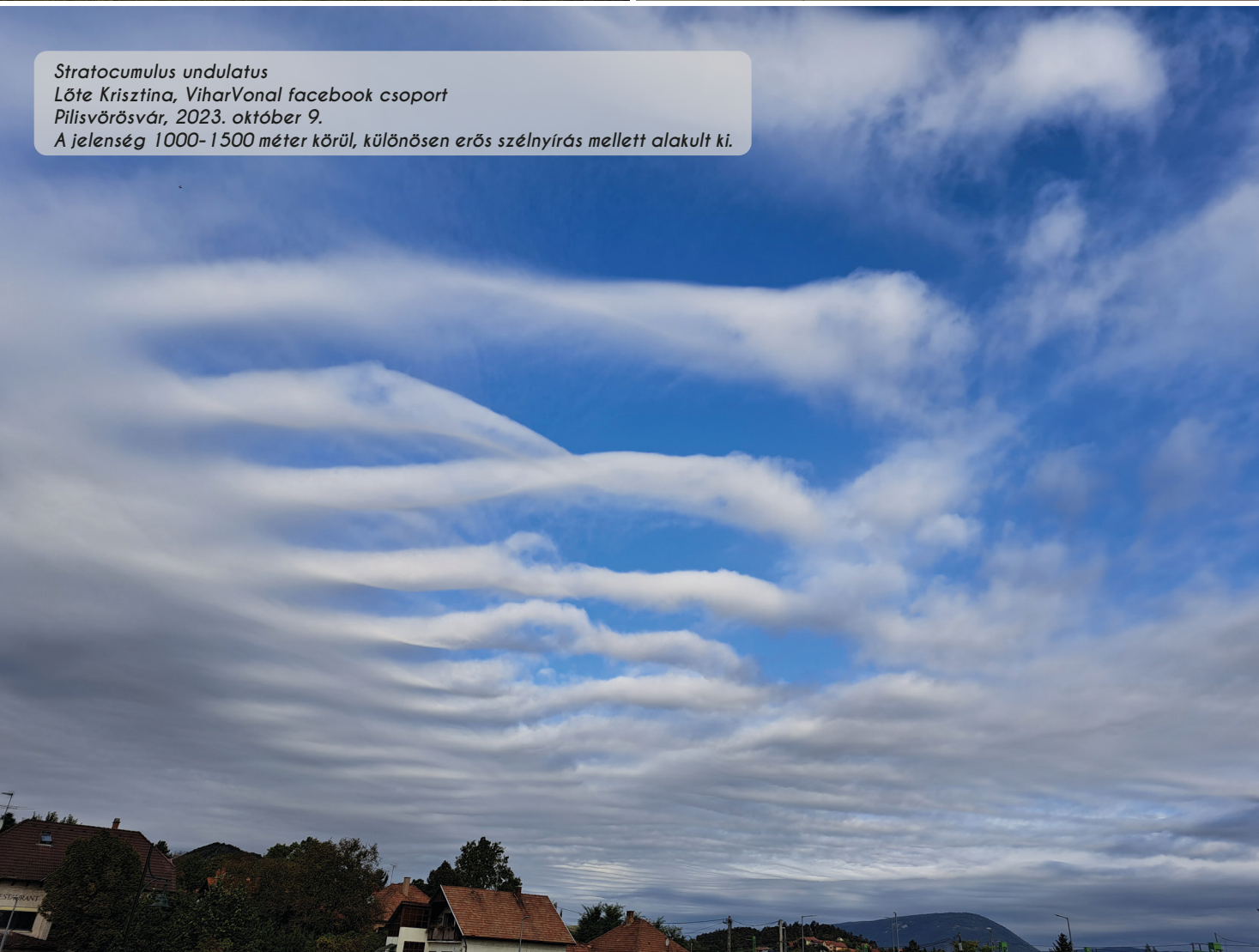


*Körülírt holdhaló
Bali Andreá, Légekoptika facebook csoport
Zalaegerszeg, 2023. december 29.*

29/12/2023 AndySYS



*Sodorórvények által felkavart csapadéksáv.
Nyitrai Balázs, ViharVonal facebook csoport
Vecsés, 2023. szeptember 14.*



Stratocumulus undulatus

*Lőte Krisztina, ViharVonal facebook csoport
Pilisvörösvár, 2023. október 9.*

A jelenség 1000-1500 méter körül, különösen erős szélnyírás mellett alakult ki.

ÁPRILIS 1-TŐL VIHARJELZÉS A TAVAINKON

KÖVESSE A VIHARJELZÉST

A WWW.MET.HU/IDOJARAS/TAVAINK OLDALON.

TÖLTSE BIZTONSÁGOSAN IDEJÉT A BALATONON,
A VELENCEI-TAVON ÉS A TISZA-TAVON!



Magyar Meteorológiai Társaság

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

www.mettars.hu

METEOROLÓGIAI INFORMÁCIÓK ÉS ÉRDEKESSÉGEK

ELŐREJELZÉS

AKTUÁLIS, MÉRT ADATOK

ÉGHAJLAT

VESZÉLYJELZÉS, RIASZTÁS

LÉGSZENNYEZETTSÉG