

LÉGKÖR

69. ÉVFOLYAM 3. SZÁM

**LÉGKÖRI TÁVKAPCSOLATOK
NYOMÁBAN**

**MŰHOLDAS MÉRÉSEK ÉS
A MEDIKÁN**

NAGY VIHAROK 2023-BAN

**A FELHŐBORÍTOTSÁG
VÁLTOZÁSAI**

**AZ ÜVEGHÁZGÁZ
MÉRŐHÁLÓZATRÓL**

2024. JÚLIUS

*Tornádós szupercella, Farkas Tímea,
ViharVonal , Szombathely, 2024. június 9.*



*Mammatus felhők
Bohár Katalin, Zalaeegerszeg,
2024. július 13.*



*A fenti képen is látható szupercellához
kapcsolódó tölcsefelhő.
Kóbor Ágnes, Szombathely, 2024. június 9.*

*Csapadéksávok és szivárvány egy éppen kialakuló zivatarfelhő alatt.
Papp Péter, Viharzoo , Perkáta, 2024. április 20.*



LÉGKÖR

69. évfolyam 3. szám
2024. július

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

TARTALOM

HASZPRA TÍMEA, DRÓTOS GÁBOR, HEREIN MÁTYÁS, TOPÁL DÁNIEL: A pillanatkép-megközelítés az éghajlatváltozás vizsgálatának szolgálatában – Légköri távkapcsolatok nyomában sokasági éghajlati szimulációkkal <i>Using the snapshot approach for the investigation of climate change – Tracing atmospheric teleconnections by using ensemble climate simulations</i>	150
HÉRINCS DÁVID, DEZSŐ ZSUZSANNA: Mikrohullámú tartományú műholdas mérések használata medikánok esetén <i>Use of microwave satellite measurements in case of medicanes</i>	161
HORVÁTH ÁKOS, SZILÁGYI ESZTER: 2023 a nagy viharok éve <i>2023: the year of big storms</i>	172
HASZPRA LÁSZLÓ: Magyarország részvétele a pán-európai üvegházgáz mérőhálózatban <i>Hungarian contribution to the pan-European greenhouse gas monitoring network</i>	180
SOÓS VIRÁG, BREUER HAJNALKA: A felhőborítottság változásának vizsgálata az ERA5 reanalízis adatbázis alapján <i>Analysis of changes in cloud cover based on the ERA5 reanalysis database</i>	186
TÓTH RÓBERT: Kiváló társadalmi észlelők világnapi kitüntetése	192
TÓTH RÓBERT: Beszélgetés Somogyvári István pécsi észlelőnkkel	196
SZOLNOKI-TÓTIVÁN BERNADETT: 2024 tavaszának időjárása	200
ERDŐDINÉ MOLNÁR ZSÓFIA, KOVÁCS ATTILA VIKTOR: A 2024-es tavasz időjárása agrometeorológiai szempontból	205
FILMAJÁNLÓ	207
HÍREK	208
KISLEXIKON	212

CÍMLAPON: Szabó Dorottya: Alsóörsi hajnal

SZERZŐKNEK SZÁNT ÚTMUTATÓ

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



A pillanatkép-megközelítés az éghajlatváltozás vizsgálatának szolgálatában – Légköri távkapcsolatok nyomában sokasági éghajlati szimulációkkal

Haszpra Tímea, Drótos Gábor, Herein Mátyás, Topál Dániel

HUN-REN-ELTE Elméleti Fizikai Kutatócsoport, haszpratimi@gmail.com

DOI: 10.56474/legkor.2024.3.1

A sokasági éghajlati szimulációk és a pillanatnyi, sokaság felett számított statisztikák egy bizonyos konvergenciaidő után minden időpontban helyesen jellemzik az éghajlati rendszer adott kényszerek között lehetséges állapotainak összességét. Ennek matematikai igazolását a pillanatkép-attraktorok elmélete írja le. Így az időbeli statisztikákat használó módszerekhez képest pontosabban adható meg bármely mennyiség változása is éghajlatváltozás esetén. A cikk röviden bemutatja a pillanatkép-attraktor szerepét az éghajlat belső változékonyságában, a pillanatkép-megközelítés alkalmazását sokasági éghajlati szimulációkkal, valamint a pillanatkép-megközelítés előnyeit az időbeli módszerekhez képest az arktikus oszcilláció és a jelenséghez kötődő hőmérsékleti anomáliák példáján.

Using the snapshot approach for the investigation of climate change – Tracing atmospheric teleconnections by using ensemble climate simulations

Ensemble climate simulations and instantaneous statistics calculated across the ensemble characterize correctly the plethora of potential states of the climate system under the given forcings in every time instant after a certain convergence time. The mathematical concept of this is described by the theory of snapshot attractors. In this way, the change in any quantity under a changing climate can be determined more precisely compared to methods using temporal statistics. This paper explores the snapshot attractor's role in the internal variability of climate, demonstrating the application of the snapshot approach by using ensemble climate simulations, and its advantages over temporal methods on the example of the Arctic Oscillation and the related temperature anomalies.

1. Bevezetés: az éghajlat belső változékonysága

Az utóbbi években egyre nagyobb teret hódítanak az egyazon modellel készített, különböző kezdeti feltételekből induló sokasági éghajlati szimulációk (single-

model initial-condition large ensemble (SMILE)) (Deser et al., 2020; Lehner et al., 2020). Ezzel párhuzamosan kifejlődött az úgynevezett *pillanatkép-megközelítés* vagy *pillanatkép-szemlélet* (angolul *snapshot approach/view*), mely a kaoszelméletnek a tetszőlegesen időfüggő kényszerek hatása alatt fejlődő rendszerekre

vonatkó kiterjesztését alkalmazza a változó éghajlat problémájára, és amely a sokasági szimulációk tagjaira mint párhuzamos éghajlati realizációkra tekint. A párhuzamos éghajlati realizációk elmélete a pillanat-kép-megközelítés szemléletes megfogalmazása.

Dióhéjban mindez egyszerűen azt jelenti, hogy azon egyetlen éghajlati realizáció helyett, amelyben élünk (azaz amit ismerünk, megfigyelhetünk, illetve a jövőben meg fogunk tapasztalni) még végtelen sok másik éghajlattörténetünk is kibontakozhatott volna az éghajlati kényszerek (pl. a légkör tetejét elérő napsugárzás mértéke, az üvegházgázok koncentrációja) ugyanezen idősorai mellett. Látni fogjuk ugyanakkor, hogy minde mellett az egyes meteorológiai változók értékei minden pillanatban bármely realizáció esetén csupán egy meghatározott, korlátos tartományba eshetnek. A pillanatkép-szemléletben minden időpontban az éghajlati rendszernek az aktuális kényszerek között lehetséges állapotainak összességét tekintjük, pl. a légkör esetén a pillanatnyi lehetséges időjárásokat. Ezek közül természetesen mindig csak egyet, a megfigyelt állapotot tapasztaljuk meg a valóságban. Azonban a többi lehetséges állapot is fontos számunkra, többek között azért, mert az éghajlati rendszer előrejelezhetetlen, káosz-szerű viselkedése (2.1. fejezet) következtében még a kényszerek idősorainak feltételezett ismerete mellett sem tudható, hogy a jövőben mely állapot fog megvalósulni a lehetségesek közül, azaz egy-egy egyedi realizáció nem reprezentatív e tekintetben.

A tény, hogy adott kényszerekhez az éghajlati rendszer nem egyetlenegy állapota társul, hanem azoknak egy véges kiterjedésű halmaza, megnyilvánul a meteorológiai mennyiségek egyedi realizációkban, pl. mérési idősorokban megfigyelhető időbeli ingadozásaiban is. A belső változékonyság hagyományos értelmezése ezen időbeli ingadozásokon alapul. Ez fogalmilag mindaddig megfelelő, amíg a kényszerek rögzítettek, vagy csak lassan változnak. Azonban, ha a lehetséges állapotok eloszlása valamely külső kényszer változása miatt gyorsan változik, egy egyedi realizáció időfejlődése nem fogja jól jellemezni az éghajlati rendszert. Ezzel szemben a pillanatkép-megközelítésben a belső változékonyságot a lehetséges állapotok összessége írja le minden egyes időpillanatban, amelynek így az időbeli megváltozása is egzaktul vizsgálható.

A cikkben bemutatjuk, hogy az éghajlati rendszer belső változékonyságát meghatározó ún. pillanatkép-attraktor áll amögött, hogy a sokasági éghajlati szimulációk kellő idő eltelte után minden időpontban jól tükrözik az éghajlati rendszer pillanatnyi lehetséges állapotainak előfordulási valószínűségét. Mivel

ily módon lehetséges minden egyes pillanatban ezen állapotok tárházának koncepcionálisan helyes jellemzése, így a szubjektivitást is tartalmazó időbeli statisztikák számítása helyett a sokasági szimulációk eredményeit, az éghajlatváltozás hatásait célszerűbb pillanatkép-megközelítésben, pillanatnyi, a sokaság felett számított statisztikák, majd ezek időfejlődésének segítségével kiértékelni.

2. A pillanatkép-attraktor és a sokasági éghajlati szimulációk

2.1. A pillanatkép-attraktor

Az éghajlat belső változékonysága, amint láttuk, nem takar mást, mint hogy a rendszer nincs ugyanabban az állapotban minden időpillanatban, még rögzített éghajlati kényszerek mellett sem. A nehézséget az jelenti, hogy előrejelezhetetlen, hogy a rendszer mely állapotokon fog keresztül menni hosszú távon. Ez az előrejelezhetetlenség analógiába állítható az alacsony dimenziós disszipatív kaotikus rendszerek mozgásállapotának az előrejelezhetetlenségével (*Lorenz, 1963; Ott, 1993; Tél és Gruiz, 2002*). Az alacsony dimenziós kaotikus rendszerekben a hosszú idő elteltével lehetséges végtelen sok mozgásállapotot a rendszer kiterjedt, de egyben fraktál szerkezetű kaotikus attraktora írja le (ilyen a szélesebb körben is ismert, pillangó alakú Lorenz-féle különös attraktor is (*Lorenz, 1963*)). Hasonló állítás igaz az éghajlati rendszerre is, így a belső változékonyság az éghajlat káosz-szerű¹ jellemzője.

A végtelen sok mozgásállapot közül egyes állapotok körül nagyobb, más állapotok körül kisebb a ténylegesen megvalósuló mozgásállapot előfordulási valószínűsége. A káoszelmélet szerint, habár az egyedi mozgások hosszú távon előrejelezhetetlenek, a kaotikus attraktor és a rajta hosszú távon, egy bizonyos konvergenciaidő elteltével kialakuló valószínűségi eloszlás egyértelmű, és tetszőleges pontossággal meg is határozható (*Ott, 1993; Tél és Gruiz, 2002*).

Az ún. pillanatkép-attraktort annak kapcsán vezeték be a fizikusi közösségben, hogy leírják, hogyan viselkedik egy rendszer tetszőleges, időfüggő kényszer esetén. 1990-ben Romeiras és munkatársai felhívták a figyelmet a disszipatív dinamikai rendszerek egy érdekes tulajdonságára: egyetlen, zajjal terhelt trajektória szétkent alakzatot rajzol ki a fázistérben, azonban

¹ Habár az időjárás és az éghajlati rendszer elemeinek dinamikája turbulens (*Vallis, 2017*), egyúttal káosz-szerűnek is tekinthető a tárgyalt értelemben.

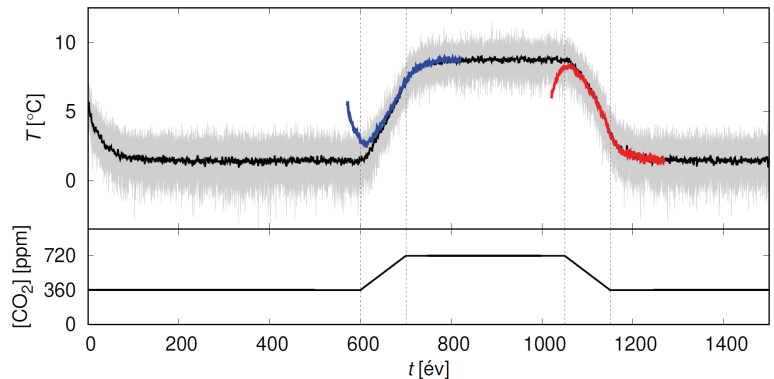
különböző kezdeti feltételekből induló mozgások sokasága, ha ugyanazt a zaj-realizációt használják az egyes trajektóriák mentén, egy strukturált (fraktál) szerkezetű mintázatot hoz létre minden pillanatban (Romeiras *et al.*, 1990). Ez az objektum a *pillanatkép-attraktor*. A pillanatkép-attraktor az időfüggő kényszer miatt folyamatosan változtatja az alakját, szemben az időfüggetlen hagyományos kaotikus attraktorokkal, amikkel olyan disszipatív rendszerekben találkozhatunk, melyekben a disszipáció hatását időben állandó vagy periodikus külső hatás ellensúlyozza (Lorenz, 1963; Ott, 1993). Ettől eltekintve hasonló tulajdonságokkal rendelkezik, mint egy hagyományos kaotikus attraktor, így pl. a trajektóriák ezen is egy egyértelmű valószínűségi eloszláshoz konvergálnak.

Érdeemes megjegyezni, hogy a lehetséges állapotok összességét kirajzoló pillanatkép-attraktor kiterjedése véges, azaz megadott kényszer mellett a változók csak bizonyos, korlátok közé szorított értékeket vehetnek fel. A valós éghajlatunkra vonatkoztatva ez azt jelenti, hogy a fennálló éghajlati kényszerek mellett a belső változékonyság következtében is csak bizonyos tartományban lehet pl. a felszíni átlaghőmérséklet értéke, amely a pillanatkép-attraktor erre a változóra vonatkozó vetületének tekinthető (lásd az 1. ábrán egy szimuláció esetén a világosszürke sávot).

A pillanatkép-megközelítés mint éghajlati alkalmazás azonban csak közel két évtizeddel Romeiras *et al.* (1990) úttörő munkája után bontakozott ki, miután tőlük függetlenül Ghil *et al.* (2008) és Chekroun *et al.* (2011) rámutattak a matematikai irodalomban már létező fogalom várható jelentőségére az éghajlat dinamikájának vizsgálatában és az éghajlatváltozás megértésében (ők *visszahúzási attraktorként* (*pullback attractor*) hivatkoztak rá). Az éghajlatváltozás esetében azonban nem a kényszer zajossága, hanem az éghajlati kényszerek folytonos és sima változása következtében időfüggő a pillanatkép-attraktor (Bódai and Tél, 2012).

2.2. A párhuzamos éghajlati realizációk – a pillanatkép-attraktor előállítása sokasági éghajlati szimulációkkal

Rögtön felmerül a kérdés, hogyan lehet egy pillanatkép-attraktort, vagyis az adott éghajlati kényszerek között az éghajlati rendszer lehetséges állapotainak



1. ábra. Lent: Az előírt CO_2 -koncentráció forgatókönyve. Fent: A [k. h. 17° ; é. sz. 47°] rácspontra (Kárpát-medence) vonatkozó éves átlaghőmérséklet (T) a légköri legalsó modellszinten (kb. 450 m-rel a felszín felett) a Planet Simulator közepes összetettségű éghajlati modellel végzett három ($t = 0$, $t = 570$, $t = 1020$ évben induló), egyenként 40 tagú sokasági szimulációban az előírt CO_2 -forgatókönyv mellett. A vastag fekete, kék és piros vonalak a sokaságátlagot jelzik a három sokasági szimulációban, míg a vékony világosszürke vonalak a $t = 0$ -ban induló szimuláció 40 tagjának idősorai. Forrás: Herein *et al.* (2016).

összességét előállítani, ami az éghajlat pillanatnyi belső változékonyságát rajzolja ki. Romeiras *et al.* (1990) cikkében leírtakhoz hasonlóan éppen úgy, hogy számos, különböző kezdeti feltételből induló trajektóriát követünk megfelelően hosszú ideig, ugyanazon differenciálegyenlet-rendszer lehetséges megoldásaiként. Mivel az éghajlati rendszer lényegében kaotikus, egy bizonyos idő, a konvergenciaidő elteltével minden éghajlati szimuláció „elfelejti” a kezdőfeltételeit (azaz pillanatnyi állapotaik összessége már független attól, hogy milyen kezdőfeltételekből indultak), és a külső kényszerek kormányozzák őket. Az olyan éghajlati szimulációk összessége, melyek különböző kezdőfeltételekből indulnak, de ugyanazon fizikai törvényeknek és kényszereknek engedelmeskednek, a karakterisztikus konvergenciaidő után már egy *egyértelmű, időben változó eloszlást definiál*, és statisztikailag helyesen jellemzi az adott kényszerek között az éghajlati rendszer lehetséges állapotainak tárházát, azok valószínűségeloszlásával együtt (Drótos *et al.*, 2015; Drótos *et al.*, 2017). Azaz a konvergenciaidő után kirajzolják az éghajlati rendszer pillanatkép-attraktorát minden egyes pillanatban annak fentebb említett valószínűségeloszlásával együtt. A szimulációknak az ezen eloszláshoz való közeledése a disszipatív rendszereknek megfelelően közelítőleg exponenciális ütemű (Herein *et al.*, 2016; Drótos *et al.*, 2017).

Az egy modellel készített, különböző kezdeti feltételekből induló *sokasági* (*ensemble*) *éghajlati szimulációk* épp az előbb említett tulajdonságúak, így

összhangban állnak a pillanatkép-megközelítés alkalmazásával, annak természetes és fontos technikai eszközeivé válhatnak az éghajlat vizsgálata során. A pillanatkép-attraktorok elméletében ezeket a szimulációkat *párhuzamos éghajlati realizációknak* (vagy *párhuzamos klímátörténeteknek*) szokták nevezni (Bódai et al., 2017; Herein et al., 2017; Tél et al., 2020), minthogy időben párhuzamosan, de természetesen nem azonos módon fejlődnek, és mindegyikük a megadott éghajlati kényszerek időfejlődése mellett lehetséges egy-egy sorsot mutat. Megjegyzendő, hogy a párhuzamos éghajlati realizációk ötlete csaknem ugyanebben a formában már 1978-ban felvetődött Leith (1978) munkájában egy klasszikus statisztikus mechanikai analógia alapján, azonban nem terjedt el a kutatói közösségekben.

A fenti gondolatok bemutatására a Herein et al. (2016) tanulmányt követve egy közepes összetettségű éghajlati modellt használunk. Az 1. ábra a Planet Simulator (PlaSim, Fraedrich et al., 2005) modellel készített három, egyenként 40-40 tagot magában foglaló sokasági éghajlati szimuláció eredményét szemlélteti az ábra alsó részén látható előírt CO₂-forgatókönyv mellett a Kárpát-medence és környezetének éves átlaghőmérsékletére kb. 450 m-es magasságban. Megfigyelhető, hogy bármilyen csekély is az eltérés a kiindulási feltételekben (itt ezt a sokaság kezdeti felszíni nyomásmezői közötti legfeljebb 10 hPa-os véletlen perturbáció jelenti), a kezdőfeltételekre való érzékenység miatt a szimulált hőmérsékleti idősorok exponenciálisan szétterjednek, ahogyan azt a $t = 0$ -ból induló világoszürke vonalak mutatják. Azaz a rendszer az egyedi trajektóriák szempontjából valóban előrejelezhetetlenné válik. Ez a kezdeti szétterjedés, vagyis a dinamika előrejelezhetetlensége az eredete az éghajlat belső változékonyságának. Fontos felhívni rá a figyelmet, hogy ez a szélesedés nem tart örökké, véges lesz, hiszen a pillanatkép-attraktorok elméletének megfelelően bármilyen kezdőfeltételből induló szimuláció konvergál az adott kényszerek között lehetséges állapotok összességéhez, és eléri a véges kiterjedésű pillanatkép-attraktort.

Mivel a PlaSim éghajlati modell 10^5 nagyságrendű változóval dolgozik (Fraedrich et al., 2005), a segítségével előállítható pillanatkép-attraktorok is ezzel megegyező dimenziójú térbe vannak beágyazva. Ezért az áttekinthetőség kedvéért az éghajlati modellekkel végzett szimulációk esetén az attraktorok egy-egy mennyiségre vonatkozó vetületét (jelen esetben a légköri legalsó modellszint éves átlaghőmérsékletét) érdemes ábrázolni. Az attraktor létezését erősíti a $t = 570$. és $t = 1020$. évben indított másik két sokasági éghajlati szimuláció: ezek kékkel és pirossal jelölt sokaságát is exponenciális

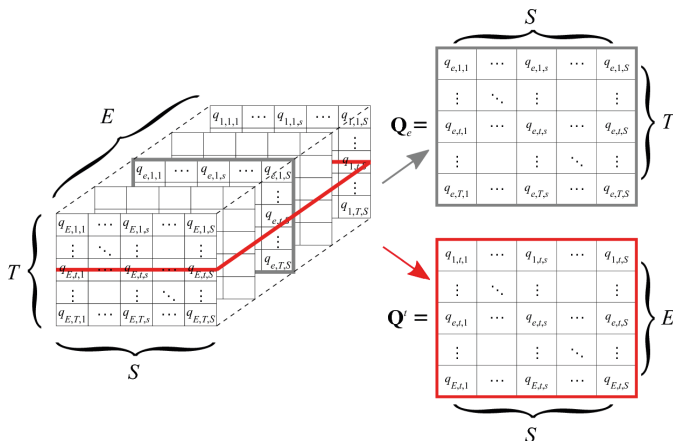
gyorsasággal simul bele a $t = 0$ -ban indított szimulációk fekete sokaságátlag-görbéjébe. Fontos kiemelni, hogy a hőmérséklet sokaságátlag-görbéje körüli szórás nem a szimulációk „hibáját” jellemzi, hanem az éghajlat pillanatnyi belső változékonyságának mértékét számszerűsíti.

Érdeemes azt is megemlíteni, hogy a pillanatkép-attraktornak egy tetszőleges időpontbeli alakját, így az éghajlati rendszer éppen lehetséges állapotainak valószínűségeloszlását is, a változó éghajlati kényszerek addig az időpontig tartó története is befolyásolja a rendszer késleltetett válasza révén. Így a kérdéses időpontban az éghajlati kényszerek pillanatnyi értékeinek állandóvá tételével futtatott sokasági éghajlati szimulációk segítségével előálló kaotikus attraktor (amely így már egy stacionárius éghajlatot ír le) eltér az ugyanazon pillanathoz tartozó, az időfüggő kényszerek történetét is magában foglaló pillanatkép-attraktortól.

3. Számítások a pillanatkép-megközelítésben

Ahogy fentebb említettük, az éghajlati rendszer kaotikus jellegű viselkedése következtében egy-egy egyedi éghajlati szimuláció nem reprezentatív, a belőle levont következtetések félrevezetőek lehetnek (pl. Drótos et al., 2015; Herein et al., 2017; Haszpra et al., 2020a,b). Azonban a sokasági éghajlati szimulációk által meghatározott pillanatnyi sokasági statisztikai jellemzők, a változók valószínűségi eloszlása egyértelműen meghatározhatók a konvergenciaidő eltelte után. Mivel az éghajlati rendszer lehetséges állapotainak koncepcionálisan helyes jellemzése ily módon minden egyes pillanatban hozzáférhető, így elkerülhető az egyetlen idősből számított időbeli statisztikák használata az ezzel járó szubjektivitással együtt (ami pl. mozgóátlag esetén az időablakok hosszának, vagy detrendálás esetén a trendfüggvénynek a kiválasztásából adódik). A hagyományosan egyetlen idősor elemzése során alkalmazott különböző éghajlati statisztikákat (mint pl. (idő)átlagot, szórást, vagy a távkapcsolatokat jellemző korrelációs együtthatókat) sokasági szimulációk esetén a sokasági dimenzió mentén célszerű számítani minden egyes időpillanatban (2. ábra), hogy az adott pillanatot matematikai értelemben helyesen jellemezzük.

Természetesen a sokasági statisztikák pontosságát befolyásolja a sokasági szimuláció tagjainak száma, hasonlóképpen ahhoz, mint ahogy egyetlen szimuláció vagy mérési idősor idősor-analízise esetén is meghatározza az eredmények megbízhatóságát



2. ábra. A pillanatkép-megközelítés és az egyetlen idősoron alapuló értelmezés összehasonlítása. Bal: Egy tetszőleges Q változó sokasági szimulációkban előállított értékei egy 3D-s mátrix elrendezésében ($t = 1, \dots, T$ az idő, $s = 1, \dots, S$ a tér, $e = 1, \dots, E$ pedig a sokasági dimenziót jelöli). Jobb: A Q változó egy egyedi szimuláció (e) hagyományos, időbeli statisztikáinak számításához használt Q_e ill. egy egyedi pillanat (t) sokasági statisztikáinak számításához használt Q_t szelete.

az adatpontok száma (pl. az alkalmazott időablakok hossza). Azonban a pillanatkép-szemléletben a statisztikák pontosítására van lehetőség a sokaság növelésével (amennyiben azt a számítógépes kapacitás megengedi). *Milinski et al.* (2020) tanulmánya szerint egyes célokra (pl. a globális felszínközeli hőmérséklet trendjének $\pm 15\%$ -os hibahatáron belüli becslésére) már egy 5 tagú sokaság is megfelelően pontos eredményt ad, azonban más esetekben, mint a belső változékonyság időfejlődésének ugyanilyen pontosságú becslése, akár 50, vagy kisebb hibakorlátú becslések, kisebb skálájú jelenségek esetén akár 100 tagra is szükség lehet.

Hasonló eredményekre jutottak a szerzők *Lee et al.* (2021) tanulmányában az éghajlat belső változékonyságának egy kifejeződésének példáján, az El Niño–déli oszcilláció (ENSO) jelenség kapcsán: az alapvető jellemzőinek és fizikai folyamatainak leírásához legalább 50, míg a háttér-klimatológia számításához már csak legalább 12 tag szükséges. Hőmérsékleti és csapadék-szélsőértékek esetén azonban az éghajlati kényszerre adott válasz és a belső változékonyságban (a változók sokasági szórásában) fellépő változás detektálásához a rácsponttól a globális skáláig *Tebaldi et al.* (2021) szerint általában elegendő legfeljebb 30 tag is. Jelenleg az ismertebb éghajlati modellek sokasági szimulációi általában 40–100 tagot foglalnak magukba (pl. Community Earth System Model Large Ensemble Project (CESM-LE): 40 tag (*Kay et al.*, 2015), Max Planck Institute Earth System Model Grand Ensemble: 100 tag (*Maher et al.*, 2019), Canadian Earth System Model

(2nd version) Large Ensemble: 50 tag (*Kirchmeier-Young et al.*, 2017; *Kushner et al.*, 2018)), ezért a fentiek alapján alkalmasnak tekinthetők az éghajlat belső változékonyságának leírására.

Egyedi idősorokból számított statisztikák esetén (pl. két változó közötti korreláció számításakor) előzetesen gyakran szükséges a trend és a szezonális kiszűrése az idősorokból (az alapul szolgáló idősorok stacionáriussá alakítása), az időbeli autokorreláció jelenléte pedig jelentősen csökkentheti az effektív mintanagyságot. Az utóbbi két probléma a pillanatnyi sokaságstatisztikák esetén nem fordul elő, hiszen egyetlen időpont önmagában „stacionárius”, valamint a sokasági tagok – abból adódóan, hogy a konvergenciaidő után már elfelejtették kezdőfeltételeiket – egymástól függetlennek tekinthetők. Érdemes megemlíteni, hogy a pillanatkép-megközelítés időintervallumra kiértékelt mennyiségekre is alkalmazható (pl. éves/téli átlaghőmérsékletre is) (*Drótos et al.*, 2015).

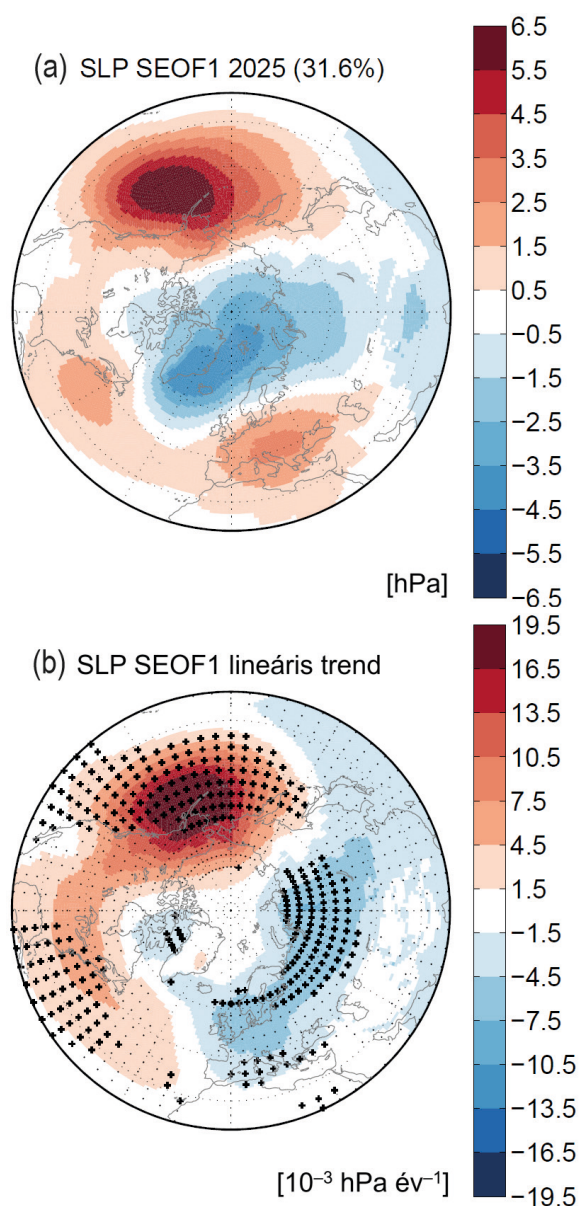
4. Légköri távkapcsolatok pillanatkép-megközelítésben

4.1. Pillanatkép empirikus ortogonális függvények (SEOF) analízise

Az éghajlat belső változékonysága megnyilvánulhat meteorológiai mezőkben kialakuló jellegzetes mintázatokban és ezekhez kötődő időjárási távkapcsolatokban is. Ezen mintázatok felderítésére gyakran alkalmazzák az empirikus ortogonális függvények (EOF) analízisének módszerét². Az EOF analízis skalár mezők változékonyságának vizsgálatára alkalmazható, célja a legfontosabb módusok (térbeli mintázatok, oszcillációk) meghatározása, melyekkel a legnagyobb részben magyarázható a mezőben tapasztalt változékonyság (*Preisendorfer*, 1988). A térbeli mintázatok, azaz az „egy helyben álló oszcillációk” fázisainak ingadozásait a főkomponens (principal component, PC) adatsorok, a módusok „fontosságát” a magyarázott variancia írja le. A hagyományos, egyetlen skalár mező időbeli fejlődésének elemzését célzó EOF analízis a választott referencia-időszakra vonatkozó időátlagot eltávolítva a mezőből egy anomáliamatrixot hoz létre, és az ebből előállított kovarianciamatrix alapján határozza meg az oszcillációk térbeli szerkezetét és fázisaik időbeli változását.

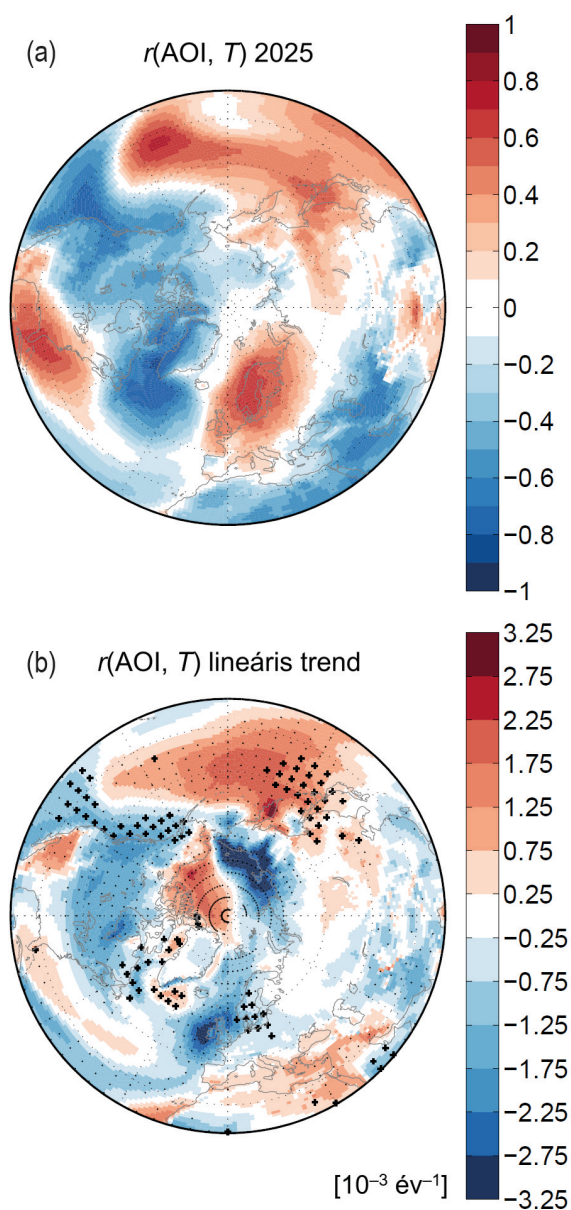
A *Haszpra et al.* (2020b) tanulmányban kidolgoztuk a hagyományos, idősoron végzett EOF analízisnek a pillanatkép-megközelítésbeli párját, a pillanatkép

²Más néven: főkomponens-analízis.



3. ábra. (a) December-február (DJF) vonatkozó átlagos tengersizti légnyomás (SLP) anomáliák a vezető EOF módusra vetítve (SLP regressziós térképek) [hPa] 2025-re a CESM-LE szimulációkban RCP8.5 forgatókönyv mellett (magyarázott variancia zárójelben). (b) Lineáris trend [10^{-3} hPa év $^{-1}$] az SLP regressziós térképeken 1950-2099-re. A pontok olyan rácspontokat jelölnek, ahol a trend szignifikáns 95%-os szinten. Keresztek jelzik, ahol ezenkívül a regressziós együtthatók is átlagosan szignifikánsak 95%-os szinten (ahol „nagy az AO amplitúdója”).

Forrás: Haszpra et al. (2020b,c).



4. ábra. (a) Az r sokaságalapú pillanatnyi korrelációs együttható az AOI és a T között 2025 DJF időszakára a CESM-LE szimulációiban az RCP8.5 forgatókönyv mellett. (b) Lineáris trend (10^{-3} év $^{-1}$) az r -ben az 1950-2099 DJF időszakra. A pontok olyan rácspontokat jelölnek, ahol a trend 95%-os szinten szignifikáns. Keresztek jelzik, ahol ezenkívül az r -ek 95%-os szinten átlagosan szignifikánsak az 1950-2099 időszakban, azaz ahol „erős is a kapcsolat” a két változó között.

Forrás: Haszpra et al. (2020b,c).

EOF (snapshot EOF, SEOF) analízist. A pillanatkép-megközelítésben az SEOF analízist a hagyományos eljárással ellentétben nem egy-egy sokasági tag egy mezőjének idősorán, hanem időpillanatonként – az éghajlati rendszer aktuálisan lehetséges állapotai alapján – a sokasági dimenzióban végezzük el, első lépésként a sokaságátlatot eltávolítva az adatokból. Ahogyan a 3.a ábra is szemlélteti, így minden időpillanatban meghatározható a keresett oszcilláció térbeli szerkezete, és ezen mintázat időbeli változásait is nyomon lehet követni. A következő fejezet az SEOF analízisnek alkalmazását mutatja be az arktikus oszcilláció példáján.

4.2. Az arktikus oszcilláció pillanatnyi jellemzése és időbeli változása

Az arktikus oszcilláció (AO) az északi féltekén az é. sz. 20° és az é. sz. 90° között a tengerszinti légnyomásmezőkben (sea level pressure, SLP) fellépő gyűrűszerű anomália, ellenkező előjellel az Arktiszon és az é. sz. 37°–45°-nál (Thompson and Wallace, 1998). Az AO fázisait az AO-index (AOI) írja le, amely azt számszerűsíti, hogy a sarki levegő milyen mértékben jut el a közepes szélességekre: pozitív AOI esetén a futóáramlás erősen zonális és időben viszonylag állandó, a sarki térség hidegebb és az alacsonyabb szélességek melegebb levegője közti front markáns, míg negatív AOI esetén gyengébb zonális szelek jellemzők, a poláris hideg levegő nagyobb mértékben juthat el délebbre. Így az AO fontos szerepet játszik az északi félteke különböző térségeinek időjárásának alakulásában.

Az AO jelenséget hagyományosan egy adott referencia-időszakra az SLP mezőn az é. sz. 20°-tól északra végzett EOF analízis vezető módusaként, az AOI-t pedig az ehhez tartozó, referencia-időszakra standardizált első főkomponens-idősor alapján definiálják (Thompson and Wallace, 2000).

A Haszpra et al. (2020b) tanulmányban újszerű módon, a pillanatkép-megközelítésben vizsgáltuk az AO-t és a hozzá kötődő időjárási jelenségeket. Az AO mintázatát az általános gyakorlatnak megfelelően (Thompson and Wallace, 2000) ún. regressziós térkép segítségével jelenítettük meg (3.a ábra), amely az SLP anomáliamezők első főkomponens (AOI) értékeire való vetítésével áll elő, és az olvasható le róla, hogy az AOI = 1 érték esetén mekkora SLP anomália jellemzi az adott földrajzi helyet, vagyis mekkorák az AO-hoz kötődő tipikus SLP eltérések (az AOI értékeinek szórása definícióból adódóan 1).

Ilyen regressziós térképet minden „időpillanatban” (pl. minden év téli időszakára) készíthetünk, és ezek összehasonlításával az AO változásairól kaphatunk képet. A 3.b ábra illusztrálja, hogy a vizsgálatunk szerint pl. a Community Earth System Model Large Ensemble (CESM-LE, Kay et al., 2015) szimulációiban a december–január–február (DJF) hónapok alapján meghatározott AO csendes-óceáni központjának amplitúdója számottevően nő, 150 év alatt a 3 hPa-t is elérheti az RCP8.5 forgatókönyv mellett. Ez igen jelentősnek tekinthető a központot jellemző amplitúdó 3.a ábrán látható tipikusan 5,5-6,5 hPa értékeihez képest.

4.3. Az arktikus oszcillációhoz kötődő hőmérsékleti anomáliák – pillanatnyi korrelációs együttható

A távkapcsolatok feltérképezése során az egyik legegyszerűbb módszer a kiszemelt változók közötti lineáris kapcsolat erősségének a felderítése, azaz az általuk meghatározott korrelációs együttható kiszámítása. Egy adott időpillanatban az éghajlati rendszer lehetséges állapotai alapján meghatározott kapcsolatok erősségét helyesen jellemző korrelációs együtthatók ugyancsak a pillanatkép-megközelítésben számítandók, méghozzá a vizsgált mennyiségek különböző sokaságelemekben felvett értékei alapján (Herein et al., 2017).

Annak érdekében, hogy az AO felszínhőmérsékletben (T) megmutatkozó távkapcsolatait és ezek időbeli változását felderítsük, „pillanatnyi” (itt: DJF évszakos) sokaságalapú korrelációs együtthatókat (r) határoztunk meg a sokaság tagjainak pillanatnyi AOI értékei és minden egyes rácspont pillanatnyi T értékei között minden év DJF időszakára. A 4.a ábrán látható, hogy a kapott korrelációk általában közelítőleg a megfigyelt kapcsolatokat (Wallace and Gutzler, 1981) tükrözik: pl. az AO pozitív fázisában Grönland és Új-Fundland hidegebb (negatív korreláció), míg Észak-Európa és az USA keleti része melegebb (pozitív korreláció) az átlagosnál. A 4.b ábrán a pillanatnyi r -ekre minden rácspontban végzett lineáris illesztés jelentős változásokra is fényt derít a távkapcsolatok erősségében: pl. a Csendes-óceán keleti medencéjében a negatív korrelációk hangsúlyosabbá válnak (az r 150 év alatt 0,1–0,3-mal csökken), valamint jelentős pozitív trend figyelhető meg Ázsia keleti partjainál is (az eredetileg is negatív r értéke 0,6-ról 0,8-ra nő); azaz ezekben az esetekben erősödik az AO és a T közötti kapcsolat.

4.4. Az idősor-elemzéstől a pillanatkép-megközelítésig változó éghajlat esetén

Annak érdekében, hogy világosabbá váljanak a pillanatkép-megközelítés előnyei és „képességei” a hagyományos idősor-elemzés módszereivel szemben, érdemes összevetni a két szemlélet szerint kapott eredményeket.

Az AO jelenség esetén hagyományos módon egy idősoron, az idődimenzióban végzik az EOF analízist: egy választott referencia-időszak meteorológiai adatai alapján határozzák meg a AO mintázatát. Vagyis ez a módszer az oszcilláció térbeli szerkezetét hallgatólagosan állandónak tekinti a referencia-időszakra, továbbá a teljes vizsgálandó időintervallumra is, és ezen oszcilláció fázisait írja le az AOI idősor. Azonban változó éghajlat esetén magának az oszcillációnak a térbeli szerkezete is módosulhat (pl. az akcióközpontjainak helyzete, amplitúdója – 3.b ábra), valamint az oszcilláció alapállapota (amikor AOI = 0) is számottevő változásokon mehet keresztül (Haszpra et al. (2020b) 2. ábrája). Általánosságban elmondható, hogy nem stacionárius éghajlat esetén, éghajlatváltozás során előre nem feltételezhető, hogy bármely oszcilláció mintázata vagy éppen távkapcsolatainak erőssége állandó marad, így az sem, hogy egyetlen oszcillációs mintázat vagy korrelációs együttható hűen jellemezheti néhány évtized körülményeit.

Természetesen a vizsgált időintervallumot kisebb időablakokra lehet osztani, melyekben külön-külön kiszámítható egy adott időszakra jellemző oszcillációs mintázat, illetve korrelációs együttható, és így ezek időbeli változásáról is kapunk képet. Azonban ennek a módszernek egy hátránya, hogy a trend/szezonális kiszűrési módjának megválasztása mellett újabb szubjektivitást hoz az elemzésbe az időablakok hosszának meghatározásával (Herein et al., 2017). Még fontosabb, hogy a korrelációs együttható (és általában a statisztikai jellemzők) megbízható számításához minél hosszabb idősorra lenne szükség, azonban az éghajlat folyamatos változása miatt minél rövidebb idősorok lennének megfelelőek. Valójában az egyetlen adatpont hosszúságú „idősor” lenne az optimális, ami alatt az éghajlat nyilvánvalóan nem változik. Pontosan ez az, amit a pillanatkép-megközelítés módszerei megoldanak: a változókat, statisztikákat a sokaság felett adott időpontokban (vagy egyetlen adatponttal képviselt időintervallumokra) határozzák meg, melyek kizárólag az éghajlati rendszer aktuálisan lehetséges állapotait tükrözik, és amelyeknek az értékét közvetlenül nem befolyásolják a korábbi és későbbi állapotok, a változók előbbieken és későbbiekben felvett értékei.

5. Éghajlati modellek megbízhatósága: A pillanatkép-megközelítés gyakorlati alkalmazhatósága

Fontos kiemelni, hogy a pillanatkép-szemléletben kapott statisztikák, eredmények „jósága” természetesen függ az alkalmazott éghajlati modell megbízhatóságától, valamint a futtatások során felhasznált éghajlati forgatókönyvek helyességétől.

A modellek megbízhatóságának vizsgálata a jelenlegi és közelmúltbeli időszakra a már ismert éghajlati kényszerek betáplálásával futtatott szimulációk eredményeinek a megfigyelésekkel történő összehasonlításával végezhető el. Pillanatkép-megközelítésben gondolkodva egy modell és vele együttvéve a szimulációkhoz használt éghajlati forgatókönyv megbízhatóságát kvalitatív megfogalmazásban valójában az a konzisztenciafeltétel határozza meg, hogy a változók megfigyelt idősorai egy megfelelő, már konvergált, sokasági szimuláció által lefedett sáv terjedelmében vándorolnak-e, alkalmanként megközelítve a maximumot és a minimumot is (Tokarska et al., 2020; Deser, 2020; Suarez-Gutierrez et al., 2021; Herein et al., 2023).

Álljon itt két példa a közelmúlt vonatkozó vizsgálataiból. Suarez-Gutierrez et al. (2021) a kifejezetten a sokasági szimulációkra kifejlesztett módszerük alapján úgy találták, hogy az általuk vizsgált csatolt modellek egyike sem becsüli szisztematikusan felül vagy alul a globális átlaghőmérséklet belső változékonyságát. Regionális léptékben azonban egyik sem megfelelő a déli-óceán felszíni hőmérsékleti ingadozásainak visszaadásában, és felülbecsüli ezt bizonyos szárazföldi területeken (Amazonas vidéke, Dél-Ázsia) és a magas földrajzi szélességek óceánjai esetén is. A másik kiragadott esetben a grönlandi jégtakaró 1990-es évek óta felgyorsult olvadását ugyan az antropogén kényszert jól közelítő modellszimulációk megfelelően visszaadják, azonban érdemi szimulált légköri változások nélkül; miközben a nagytérségi légkörzés megváltozása a megfigyelések alapján egyértelműen együtt jár a grönlandi jégtakaró olvadásával. Ez arra enged következtetni, hogy a háttérben álló fizikai folyamatok a modellekben és a valóságban eltérőek is lehetnek (Hanna et al., 2020; Topál et al., 2022).

Az éghajlatkutató-közösség a modellek validálását egy másik megközelítésben évtizedes időskálán is megcélozza. A Decadal Climate Prediction Project (DCPP, évtizedes éghajlati előrejelzés projekt (Meehl et al., 2014; Boer et al., 2016)) az éghajlati rendszernek az évestől az évtizedes időskáláig történő előrejelzési képességével foglalkozik. A legtöbb

jelenlegi évtizedes éghajlati előrejelzési kísérlet az éghajlatkutató közösségben az ún. évtizedes visszatekintő (retrospektív) előrejelzéseket használja (Meehl *et al.*, 2014). Ennek lényege, hogy a szimulációkat a megfigyelésekkel, különösen az óceáni állapotokkal inicializálják (a kezdeti feltételek a mérésekből származnak). Így a modellek éves-évtizedes időskálájú dinamikai folyamatai közvetlenül is, nem csak statisztikai szinten ellenőrizhetők.

Általánosságban az mondható el, hogy a modellek a globális mennyiségek és a nagyobb (különösen globális) léptékű folyamatok visszaadásában pontosabban (Räisänen, 2007). Ezért fordulhat elő, hogy még a 40–50 évvel ezelőtti, a maiaknál lényegesen kevésbé összetett modellek is jól jelezték előre pl. a globális felszíni átlaghőmérséklet változását az éghajlati kényszereket megfelelően leíró forgatókönyvek alkalmazása mellett (Hausfather *et al.*, 2020), és a jelenleg használatos éghajlati modellek a globális jellegű mennyiségeket általában jól tudják szimulálni (Deser, 2020; Papalexiou *et al.*, 2020). A modellek teljesítőképessége azonban többnyire romlik, ahogyan kisebb skálák felé haladunk. Hasonló mondható el a kérdéses statisztikai momentum rendjének a növelése tekintetében is, beleértve, hogy átlagokat illetően „egészen jól” viselkednek a modellek (Papalexiou *et al.*, 2020); illetve különböző meteorológiai változók is egészen eltérő mértékben modellezhetők jól, gondoljunk pl. a hőmérséklet és a csapadék jól ismert esetére (pl. Räisänen, 2022).

A modellek megbízhatóságával kapcsolatos további szempontokat pl. Räisänen (2007) munkájában olvashatunk, aki a helyesen reprodukálható mennyiségek tekintetében az érveket és ellenérveket is figyelembe véve bizakodóan foglal állást. Baumberger *et al.* (2017) tágabb kontextusba helyezi a kérdést és habár több óvatosságra int, alapvetően mégis a már Räisänen (2007) által is felhasznált technikák mentén javasolja a modellek teljesítőképességének megítélését (a jövőre vonatkozó projekciók tekintetében beleértve különösen a különböző modellek konszenzusát).

A fentiekben elmondottak azt mutatják, hogy a modelleket sem „jónak”, sem „rossznak” nem tekinthetjük: azok megbízhatósága függ attól, milyen kérdésre keressük a választ. Noha a modellvalidáció kizárólag múltbeli megfigyeléseken alapulhat, és így külön bizonytalansággal terhelt a jövőt illetően, valószínűtlen, hogy a közeli jövőben olyan folyamatok válnának meghatározóvá a globális éghajlat szempontjából, amelyeket a jelenlegi modellek ne tartalmaznának. Ki kell emelnünk, hogy az elmúlt

évezred globális átlaghőmérsékletének az alakulását ugyanezen modellek kifejezetten jól reprodukálják, a megfelelő éghajlati kényszerek betáplálása mellett (Jungclaus *et al.*, 2010; PAGES 2k Consortium, 2019; Lücke *et al.*, 2023).

Az éghajlati kényszerekről szót ejtve hangsúlyozzuk, hogy a jelenleg használatos modellek például a Naptól érkező besugárzásra „egészen jó” választ adnak a megfigyelések szerint (Amdur *et al.*, 2021), és legalábbis tűrhető egyezéssel jellemezhetők a CO₂-koncentráció tekintetében is (Meehl *et al.*, 2020). Mindazonáltal természetesen nem ismerjük, hogy a kényszerek hogyan fognak alakulni a jövőben. Így a modellek projekciói feltételes projekciókként értelmezhetők, a kényszerek minden különböző forgatókönyvéhez tartozik egy-egy. A végtelen sok lehetséges forgatókönyv közül szokás néhány konkrétan meghatározottnak a hatását vizsgálni: a különböző Representative Concentration Pathway (RCP) (van Vuuren *et al.*, 2011) vagy újabban a Shared Socio-economic Pathway (SSP) forgatókönyvek (van Vuuren *et al.*, 2017) következményeit. Ezekből kitéjük, hogy a jövőben fellépő éghajlati kényszerek pontatlan ismerete a század végére pl. a globális felszíni átlaghőmérsékletben akár 4-5 °C eltérést is eredményezhet.

Mivel számos tényező alakulását (pl. a CO₂ és egyéb üvegházgázok koncentrációját) akár jelentős részben maga az emberiség határozza meg, a modellek projekcióinak egy lényeges szerepe, hogy a döntéshozók megismerjék a különböző választási lehetőségek becsülhető éghajlati következményeit; természetesen, ahogyan említettük, csak az éghajlati rendszer egy statisztikai leírása értelmében.

Éppen ezért rendkívül fontos, hogy ezen statisztikai leírás kellően jól reprezentálja az éghajlati rendszer belső változékonyságát minden kérdéses időszakban. Az egyetlen idősoron alapuló technikák olyan becsülésnek tekinthetők, amelynek tipikusan nem ismerjük a hibáját, és így észrevétlenül is irreleváns, tulajdonképpen helytelen leírást adhatnak. A konstrukciójából következően megfelelő leíráshoz a pillanatkép-megközelítés segítségével juthatunk el.

Hangsúlyozzuk, hogy a pillanatkép-megközelítés a gyakorlati alkalmazási lehetőségektől függetlenül adja meg az éghajlati rendszer releváns statisztikai leírását. Ezért lényegében minden (sokasági) szimulációs eredményt ebben a szellemben lenne szükséges kiértékelni és értelmezni, beleértve a megfigyelt adatokkal történő összehasonlítást és ezen keresztül az adott modell validációját.

6. Összefoglalás

A sokasági éghajlati szimulációk – avagy a pillanatkép-megközelítésben: párhuzamos éghajlati realizációk – a pillanatkép-attraktorok elmélete alapján a kezdőfeltételeik elfelejtése után minden pillanatban statisztikailag helyesen jellemzik az éghajlati rendszer adott kényszerek között lehetséges állapotainak tárházát, azok valószínűségeloszlását. Ezért pillanatkép-szemléletben jól használhatók a várható pillanatnyi éghajlati tulajdonságok korrekt leírására és az éghajlatváltozás hatásainak felderítésére.

A pillanatkép-megközelítésben az éghajlat belső változékonyságához hozzájáruló légköri oszcillációk, légköri távkapcsolatok és ezen jelenségek változó éghajlat melletti módosulásai is jól vizsgálhatók. A kidolgozott SEOF analízis nemcsak az arktikus oszcilláció (Haszpra et al., 2020b,c), hanem bármely, EOF analízissel definiált jelenség esetén alkalmazható. Az SEOF analízist később felhasználták pl. az El Niño–déli oszcilláció (Haszpra et al., 2020a; Bódai et al., 2021; Aneesh and Bódai, 2024), a Csendes-óceán északi részén a téli légköri változékonyságának és a csapadékra gyakorolt hatásának (O'Brien and Deser, 2023), és az északnyugati csendes-óceáni szubtrópusi anticiklon és a hozzá kapcsolódó tengerfelszíni hőmérsékletben lévő anomáliák (Ma et al., 2023) tanulmányozásánál is. Az SEOF analízishez hasonlóan más, távkapcsolatokat jellemző módszerek, mint a maximum kovariancia analízis és a kanonikus korreláció analízis is átalakíthatók a pillanatkép-megközelítésre (Bódai et al., 2021). Megjegyezzük, hogy az éghajlatváltozás pillanatkép-megközelítéssel laboratóriumban is vizsgálható (Vincze et al., 2017).

Összességében elmondható, hogy amennyiben rendelkezésünkre állnak sokasági éghajlati szimulációk, a hozzáférhető adatokból levonható legpontosabb következtetések érdekében – elkerülve az egyedi idősorokból számított időbeli statisztikák szubjektivitását, azonban szem előtt tartva, hogy az eredmények természetesen függeni fognak az alkalmazott éghajlati modell és forgatókönyv megbízhatóságától – célszerű a sokaságra a pillanatkép-megközelítésben tekinteni: azaz először a szemügyre veendő mennyiségeket vagy jelenségeket leíró statisztikai jellemzőket a sokaság felett kiszámítani minden időpontban, majd ezen sokaságstatisztikák idősorát tanulmányozni ahelyett, hogy először a sokaság egyes idősorainak egyedi elemzését, majd ezek összesítését végeznénk el.

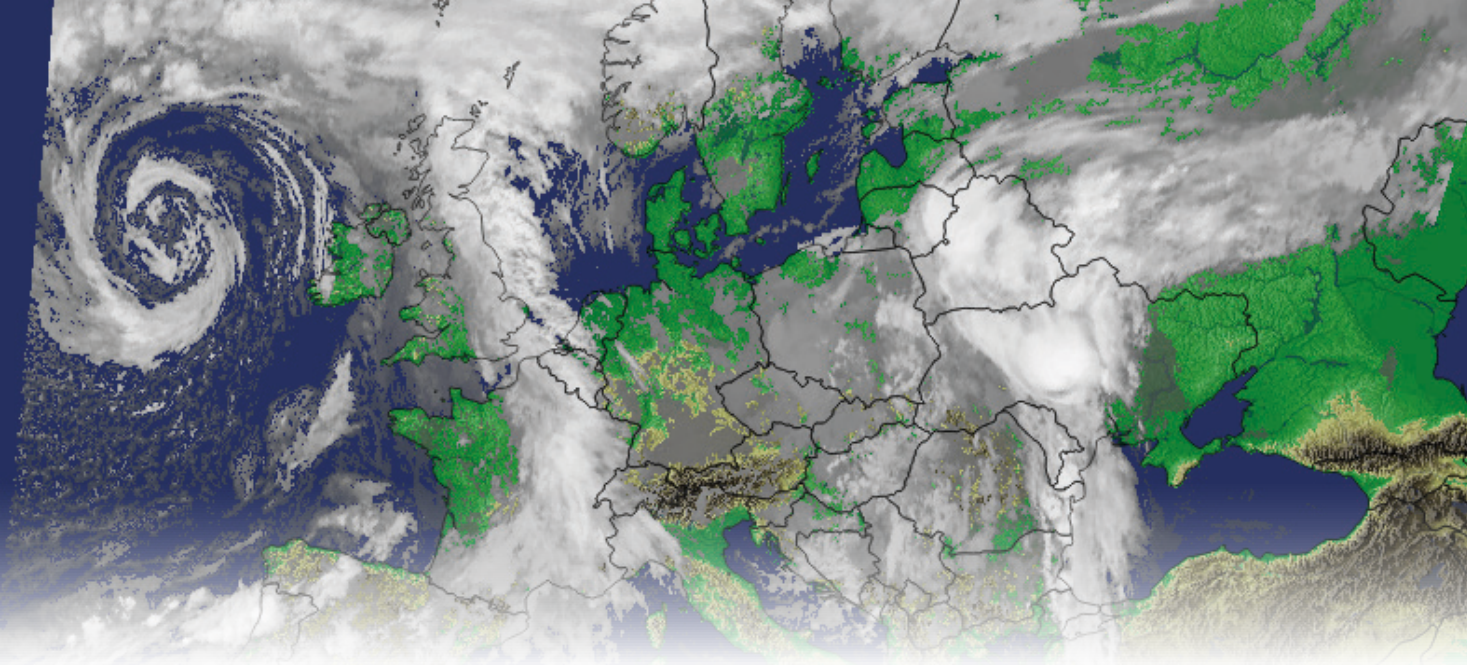
Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk Tél Tamásnak a cikkkel kapcsolatos értékes észrevételeiért, építő megjegyzéseiért, valamint a lektornak, akinek a kérdései az 5. fejezet megírására ösztönöztek bennünket.

Irodalomjegyzék

- Amdur, T., Stine, A. R., and Huybers, P., 2021: Global surface temperature response to 11-yr solar cycle forcing consistent with general circulation model results. *Journal of Climate*, 34(8), 2893–2903. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0312.1>
- Aneesh, S., and Bódai, T., 2024: Inter-model robustness of the forced change of the ENSO-Indian Summer Monsoon Teleconnection. *npj Climate Atmos. Sci.* 7(1), 4. <https://doi.org/10.1038/s41612-023-00541-w>
- Baumberger, C., Knutti, R., and Hirsch Hadorn, G., 2017: Building confidence in climate model projections: an analysis of inferences from fit. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 8(3), e454. <https://doi.org/10.1002/wcc.454>
- Bódai, T., Drótos, G., Ha, K. J., Lee, J. Y., and Chung, E. S., 2021: Nonlinear forced change and nonergodicity: The case of ENSO-Indian monsoon and global precipitation teleconnections. *Front. Earth Sci.* 8, 599785. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.599785>
- Bódai, T., Drótos, G., Haszpra, T., Herein, M., Márffy, J. és Tél, T., 2017: A párhuzamos földi klímák elmélete. *Magyar Tudomány* 178, 188–201.
- Bódai, T. and Tél, T., 2012: Annual variability in a conceptual climate model: Snapshot attractors, hysteresis in extreme events, and climate sensitivity. *Chaos: Interdisc. J. Nonlinear Sci.* 22(2), 023110. <https://doi.org/10.1063/1.3679784>
- Boer, G. J., Smith, D. M., Cassou, C., Doblas-Reyes, F., Danabasoglu, G., Kirtman, B., ... and Eade, R., 2016: The decadal climate prediction project (DCPP) contribution to CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(10), 3751–3777. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3751-2016>
- Chekroun, M. D., Simonnet, E., and Ghil, M., 2011: Stochastic climate dynamics: Random attractors and time-dependent invariant measures. *Physica D: Nonlinear Phenom* 240, 1685–1700. <https://doi.org/10.1016/j.physd.2011.06.005>
- Deser, C., 2020: Certain uncertainty: the role of internal climate variability in projections of regional climate change and risk management. *Earth's Future*, 8, e2020EF001854. <https://doi.org/10.1029/2020ef001854>
- Deser, C., Lehner, F., Rodgers, K. B., Ault, T., Delworth, T. L., DiNezio, P. N., Fiore, A., Frankignoul, C., Fyfe, J. C., Horton, D. E., Kay, J. E., Knutti, R., Lovenduski, N. S., Marotzke, J., McKinnon, K. A., Minobe, S., Randerson, J., Screen, J. A., Simpson, J. R., and Ting, M., 2020: Insights from Earth system model initial-condition large ensembles and future prospects. *Nat. Climate Change*, 10(4), 277–286. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0731-2>
- Drótos, G., Bódai, T., and Tél, T., 2015: Probabilistic concepts in a changing climate: A snapshot attractor picture. *J. Climate*, 28, 3275–3288. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00459.1>
- Drótos, G., Bódai, T., and Tél, T., 2017: On the importance of the convergence to climate attractors. *Eur. Phys. J. Spec. Topics* 226, 2031–2038. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2017-70045-7>
- Fraedrich, K., Jansen, H., Kirk, E., Luksch, U., and Lunkeit, F., 2005: The Planet Simulator: Towards a user friendly model. *Meteorol. Zeitsch.* 14(3), 299–304. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2005/0043>
- Ghil, M., Chekroun, M. D., and Simonnet, E., 2008: Climate dynamics and fluid mechanics: Natural variability and related uncertainties. *Physica D: Nonlinear Phenomena* 237, 2111–2126. <https://doi.org/10.1016/j.physd.2008.03.036>
- Hanna, E., Pattyn, F., Navarro, F., Faviez, V., Goelzer, H., van den Broeke, M. R., ... and Smith, B., 2020: Mass balance of the ice sheets and glaciers—Progress since AR5 and challenges. *Earth-Science Reviews*, 201, 102976. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102976>
- Haszpra, T., Herein, M., and Bódai, T., 2020a: Investigating ENSO and its teleconnections under climate change in an ensemble view – a new perspective. *Earth Syst. Dynam.* 11, 267–280. <https://doi.org/10.5194/esd-11-267-2020>
- Haszpra, T., Topál, D., and Herein, M., 2020b: On the time evolution of the Arctic Oscillation and related wintertime phenomena under different forcing scenarios in an ensemble approach. *J. Climate*, 33, 3107–3124. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0004.1>

- Haszpra, T., Topál, D., and Herein, M., 2020c: Detecting forced changes in internal variability using Large Ensembles: On the use of methods based on the "snapshot view". *US CLIVAR Variations Summer 2020 – New research on climate variability and change using initial-condition Large Ensembles*, 18(2), 36–43. <https://doi.org/10.5065/0DSY-WH17>
- Hausfather, Z., Drake, H. F., Abbott, T., & Schmidt, G. A., 2020: Evaluating the performance of past climate model projections. *Geophysical Research Letters*, 47(1), e2019GL085378. <https://doi.org/10.1029/2019GL085378>
- Herein, M., Drótos, G., Haszpra, T., Márffy, J., and Tél, T., 2017: The theory of parallel climate realizations as a new framework for teleconnection analysis. *Scientific Reports*, 7(1), 44529. <https://doi.org/10.1038/srep44529>
- Herein, M., Márffy, J., Drótos, G., and Tél, T., 2016: Probabilistic concepts in intermediate-complexity climate models: A snapshot attractor picture. *J. Climate* 29, 259–272. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0353.1>
- Herein, M., Tél, T., and Haszpra, T., 2023: Where are the coexisting parallel climates? Large ensemble climate projections from the point of view of chaos theory. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 33(3). <https://doi.org/10.1063/5.0136719>
- Jungclauss, J. H., Lorenz, S. J., Timmreck, C., Reick, C. H., Brovkin, V., Six, K., Segsneider, J., Giorgetta, M. A., Crowley, T. J., Pongratz, J., Krivova, N. A., Vieira, L. E., Solanki, S. K., Kloeck, D., Botzet, M., Esch, M., Gayler, V., Haak, H., Raddatz, T. J., Roeckner, E., Schnur, R., Widmann, H., Claussen, M., Stevens, B., and Marotzke, J., 2010: Climate and carbon-cycle variability over the last millennium. *Climate of the Past*, 6, 723–737. <https://doi.org/10.5194/cp-6-723-2010>
- Kay, J. E. and Coauthors, 2015: The Community Earth System Model (CESM) Large Ensemble Project: A community resource for studying climate change in the presence of internal climate variability. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 96, 1333–1349. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00255.1>
- Kirchmeier-Young, M. C., F. W. Zwiers, and N. P. Gillett, 2017: Attribution of Extreme Events in Arctic Sea Ice Extent. *Journal of Climate* 30, 553–571. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0412.1>
- Kushner, P. J., L. R. Mudryk, W. Merryfield, J. T. Ambadan, A. Berg, A. Bichet, R. Brown, C. Derksen, S. J. Déry, A. Dirkson, G. Flato, C. G. Fletcher, J. C. Fyfe, N. Gillett, C. Haas, S. Howell, F. Laliberté, K. McCusker, M. Sigmond, R. Sospedra-Alfonso, N. F. Tandon, C. Thackeray, B. Tremblay, and F. W. Zwiers, 2018: Canadian snow and sea ice: assessment of snow, sea ice, and related climate processes in Canada's Earth system model and climate-prediction system. *The Cryosphere*, 12, 1137–1156. <https://doi.org/10.5194/tc-12-1137-2018>
- Lee, J., Planton, Y. Y., Gleckler, P. J., Sperber, K. R., Guilyardi, E., Wittenberg, A. T., ... and Pallotta, G., 2021: Robust evaluation of ENSO in climate models: How many ensemble members are needed?. *Geophysical Research Letters*, 48(20), e2021GL095041. <https://doi.org/10.1029/2021GL095041>
- Lehner, F., Deser, C., Maher, N., Marotzke, J., Fischer, E. M., Brunner, L., Knutti, R. and Hawkins, E., 2020: Partitioning climate projection uncertainty with multiple large ensembles and CMIP5/6. *Earth Syst. Dynam.* 11, 491–508. <https://doi.org/10.5194/esd-11-491-2020>
- Leith, C. E., 1978: Predictability of climate. *Nature* 276(5686), 352–355. <https://doi.org/10.1038/276352a0>
- Lorenz, E. N., 1963: Deterministic nonperiodic flow. *J. Atmosf. Sci.* 20, 130–141. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1963\)020](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1963)020)
- Lücke, L. J., Schwere, A. P., Toohey, M., Marshall, L. R., and Hegerl, G. C., 2023: The effect of uncertainties in natural forcing records on simulated temperature during the last millennium. *Climate of the Past*, 19, 959–978. <https://doi.org/10.5194/cp-19-959-2023>, 2023.
- Ma, J., Lin, P., Wang, L., Zhao, B. and Xu, H., 2023: Increasing connections of the leading internal mode of the summertime Northwest Pacific subtropical anticyclone with preceding ENSO under greenhouse warming in FGOALS-g3 super-large ensemble. *Int. Journ. of Clim.*, 43(13), 6164–6178. <https://doi.org/10.1002/joc.8197>
- Maher, N., Milinski, S., Suarez-Gutierrez, L., Botzet, M., Dobrynin, M., Kornbluh, L., ... and Marotzke, J., 2019: The Max Planck Institute Grand Ensemble: enabling the exploration of climate system variability. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* 11(7), 2050–2069. <https://doi.org/10.1029/2019MS001639>
- Meehl, G. A., Goddard, L., Boer, G., Burgman, R., Branstator, G., Cassou, C., ... & Yeager, S., 2014: Decadal climate prediction: an update from the trenches. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(2), 243–267. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00241.1>
- Meehl, G. A., Senior, C. A., Eyring, V., Flato, G., Lamarque, J. F., Stouffer, R. J., ... and Schlund, M., 2020: Context for interpreting equilibrium climate sensitivity and transient climate response from the CMIP6 Earth system models. *Science Advances*, 6(26), eaba1981. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba1981>
- Milinski, S., Maher, N., and Olonscheck, D., 2020: How large does a large ensemble need to be? *Earth System Dynamics*, 11, 885–901. <https://doi.org/10.5194/esd-11-885-2020>
- O'Brien, J. P., and Deser, C., 2023: Quantifying and understanding forced changes to unforced modes of atmospheric circulation variability over the North Pacific in a coupled model large ensemble. *Journal of Climate*, 36(1), 19–37. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-22-0101.1>
- Ott, E., 1993: *Chaos in dynamical systems*. Cambridge University Press. 478 pp. <https://doi.org/10.2277/0521811961>
- PAGES 2k Consortium, 2019: Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era. *Nature Geoscience*, 12, 643–649. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0400-0>
- Papalexioiu, S. M., Rajulapati, C. R., Clark, M. P., and Lehner, F., 2020: Robustness of CMIP6 historical global mean temperature simulations: Trends, long-term persistence, autocorrelation, and distributional shape. *Earth's Future*, 8(10), e2020EF001667. <https://doi.org/10.1029/2020EF001667>
- Preisendorfer, R. W., 1988: *Principal component analysis in meteorology and oceanography*. Elsevier Sci. Publ., 17.
- Räsänen, J., 2007: How reliable are climate models?. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 59(1), 2–29. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2006.00211.x>
- Räsänen, J., 2022: Probabilistic forecasts of near-term climate change: verification for temperature and precipitation changes from years 1971–2000 to 2011–2020. *Climate Dynamics*, 59, 1175–1188. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06182-8>
- Romeiras, F. J., Grebogi, C., and Ott, E., 1990: Multifractal properties of snapshot attractors of random maps. *Physical Review A*, 41(2), 784. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.41.784>
- Suarez-Gutierrez, L., Milinski, S., and Maher, N., 2021: Exploiting large ensembles for a better yet simpler climate model evaluation. *Climate Dynamics*, 57(9), 2557–2580. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05821-w>
- Tebaldi, C., Dorheim, K., Wehner, M., and Leung, R., 2021: Extreme metrics from large ensembles: investigating the effects of ensemble size on their estimates. *Earth System Dynamics*, 12(4), 1427–1501. <https://doi.org/10.5194/esd-12-1427-2021>
- Tél, T., Bódai, T., Drótos, G., Haszpra, T., Herein, M., Kaszás, B. and Vincze, M., 2020: The theory of parallel climate realizations: A new framework of ensemble methods in a changing climate: An overview. *Journal of Statistical Physics*, 179, 1496–1530. <https://doi.org/10.1007/s10955-019-02445-7>
- Tél, T. és Gruiz, M., 2002: *Kaotikus dinamika*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- Thompson, D. W., and Wallace, J. M., 1998: The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters*, 25(9), 1297–1300. <https://doi.org/10.1029/98GL00950>
- Thompson, D. W., and Wallace, J. M., 2000: Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability. *Journal of Climate*, 13(5), 1000–1016. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<1000:AMITEC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<1000:AMITEC>2.0.CO;2)
- Tokarska, K. B., Stolpe, M. B., Sippel, S., Fischer, E. M., Smith, C. J., Lehner, F., and Knutti, R., 2020: Past warming trend constrains future warming in CMIP6 models. *Science Advances*, 6(12), eaa9549. <http://doi.org/10.1126/sciadv.aa9549>
- Topál, D., Ding, Q., Ballinger, T. J., Hanna, E., Fetweis, X., Li, Z., and Pteczka, I., 2022: Discrepancies between observations and climate models of large-scale wind-driven Greenland melt influence sea-level rise projections. *Nature Communications*, 13(1), 6833. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34414-2>
- Vallis, G. K., 2017: *Atmospheric and oceanic fluid dynamics*. Cambridge University Press.
- van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., ... and Rose, S. K., 2011: The representative concentration pathways: an overview. *Climate Change*, 109, 5–31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- van Vuuren, D. P., Riahi, K., Calvin, K., Dellink, R., Emmerling, J., Fujimori, S., ... and O'Neill, B., 2017: The Shared Socio-economic Pathways: Trajectories for human development and global environmental change. *Global Environmental Change*, 42, 148–152. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.10.009>
- Vincze, M., Borcia, I. D., and Harlander, U., 2017: Temperature fluctuations in a changing climate: an ensemble-based experimental approach. *Scientific Reports*, 7, 254. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00319-0>
- Wallace, J. M., and Gutzler, D. S., 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, 109(4), 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)



Mikrohullámú tartományú műholdas mérések használata medikánok esetén

Hérincs Dávid, Dezső Zsuzsanna

HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt, herincs.d@met.hu

DOI:10.56474/legkor.2024.3.2

A trópusi ciklonok esetében régóta alkalmaznak a hagyományos (infravörös, látható) spektrumtartományokban mért műholdadatokat kiegészítésére mikrohullámú tartományú műholdas méréseket. Ezeket kvázipoláris műholdakra szerelt szenzorok szolgáltatják, melyeknél általában csak napi két mérés áll rendelkezésre, de több műhold adatának felhasználásával az időbeli lefedettség is növelhető. A mikrohullámú mérések segíthetnek feltárni a ciklonok belső struktúráját, a meleg mag jelenlétét, illetve bizonyos szenzorokkal a szélereősség is meghatározható, ami különösen akkor hasznos, amikor egyéb, például hajókról, bójákról, speciális repülőgépekről végzett közvetlen mérés nem áll rendelkezésre. Jelen írásban a módszerben rejlő lehetőségeket mutatjuk be medikánok esetén, egy 2022. októberi példán keresztül.

Use of microwave satellite measurements in case of medicanes

The analysis of tropical cyclones with microwave satellite measurements is a common method in the tropical meteorology, supplementing the 'classical' satellite channels (infrared, visible). Nowadays, many polar orbiting satellites have microwave sensors that provide high quality measurements, however, mostly only twice a day. These data facilitate the analysis of the cyclone's structure and strength: for example, the warm core, the cloudiness at different atmospheric levels, the precipitation and the wind speed can be determined. In this article, we present the use of the microwave products in case of the medicanes with an example from October 2022.

A Földközi-tenger felett létrejövő mediterrán ciklonok speciális légörvények, melyek keletkezését és életciklusát a környező domborzat, a viszonylag meleg tengerből származó látens hő, valamint a magassági (baroklin) hatások együttesen befolyásolják, és ezáltal többféle típusuk ismert. A mediterrán ciklonok egy csoportját alkotják az úgynevezett medikánok, melyek az angol Mediterranean hurricane szavak összevonásából (medicane) kapták a nevüket. Ezek kis méretű, de jól fejlett, többnyire frontmentes ciklonok, melyek

kinézetre nagyban hasonlítanak a trópusi ciklonokra: többször megfigyelhető a központjukban egy felhőmentes szem, az ezt körülvevő, olykor teljesen zárt és vastag konvektív felhőzet alkotta szemfal, valamint a külső, spirálisan tekeredő felhő- és csapadékkarok is (Miglietta and Rotunno, 2019). Apró méretük ellenére hasonló károkozásra képesek, mint trópusi társaik, kiemelten a kiadós csapadék által előidézett áradások, földcsuszamlások révén (Zekkos et al., 2020). Időnként ugyanakkor a szélesebesség is elérheti bennük

a Saffir-Simpson hurrikánskála 1-es (119–153 km/h közötti 1 perces átlagszél), esetleg a 2-es (154–177 km/h közötti 1 perces átlagszél) kategóriájának megfelelő értékeket, ahogy ez például a 2020 szeptemberében Görögországot sújtó Ianos ciklon esetében történt (*Lagouvardos et al.*, 2022).

A medikánok leggyakrabban az őszi és a téli hónapokban jönnek létre, amikor a tenger még viszonylag meleg. Ilyenkor a nyugati áramlásról leszakadó (cut-off) ciklonok egy tartós blocking helyzet esetén több napig is a víz felett vesztegelhetnek, miközben fokozatosan elvesztik kezdeti mérsékelt övi jellegüket, és egy kisebb méretű, konvektív örvénnyé alakulnak át, hasonlóan az Atlanti-óceán szubtrópusi övezetének északi, északkeleti részén létrejövő szubtrópusi és trópusi ciklonokhoz (*González-Alemán et al.*, 2015, *Tang et al.*, 2020). Ehhez részben a látens hőből, részben a tenger és a felső-troposzféra közötti hőmérséklet-különbségből eredő instabilitásból merítik az energiát (*Cavicchia et al.*, 2014). Ugyanakkor a folyamatot segítheti az is, ha a mérsékelt övi ciklon a Shapiro-Keyser féle ciklonfejlődést követve már eleve meleg magvúként okkludálódik (*Shapiro and Keyser*, 1990). A medikánokat az utóbbi években egyre intenzívebben kutatják, mind szinoptikai, mind éghajlati szempontból. Kimutatták például, hogy a magassági potenciális örvényességi szalagok és a környező nedvesség jelentős szerepet játszhat a fejlődésükben (*Fita and Flaounas*, 2018). Vizsgálták a mélykonvekció tartósságát és annak térbeli eloszlását a vertikális szélnyírás függvényében, melynek eredményeképp a medikánok a trópusi ciklonokhoz hasonlóan gyengébb nyírási környezetben tudnak a leginkább megerősödni, mivel ilyenkor a konvekció szervezettebb lesz, illetve kevésbé tud bekeveredni a ciklon áramlási rendszerébe a környező, közép-troposzférikus szárazabb levegő (*Dafis et al.*, 2020). A jövőbeli tendenciák vizsgálata alapján a ciklonok darabszámában nem mutatkozott határozott trend, viszont a melegedő tenger hatására gyakoribbá válhatnak az erősebb példányok (*González-Alemán et al.*, 2019). Szinoptikai szempontból kiemelendő még *Flaounas et al.* (2021) munkája, melyben 100 múltbeli ciklonra vonatkozóan határozták meg a potenciális örvényesség – szétválasztva a magasban érkező örvényességi mezőket és a ciklonok által a látens hőfelszabadulás révén „alulról” építkező örvényességi „oszlopot” –, a szél és az ekvivalens potenciális hőmérséklet átlagos megjelenését különböző nyomási szintekre, mely alapján elkülöníthetők voltak a medikánok a hagyományos, frontokkal rendelkező, hideg magvú mediterrán ciklonoktól.

Mikrohullámú műholdas megfigyelések

A trópusi ciklonok megfigyelésében régóta használják a különböző passzív és aktív mikrohullámú méréseket (*Fontan et al.*, 2019; *Qian et al.*, 2020). A legtöbb trópusi ciklonokat megfigyelő szervezetnél ezeket már operatíván, valós időben használják, és segítségükkel jó közelítéssel becsülhető a szárazföldről távoli, így közvetlen mérésekkel kevésbé elérhető ciklonok erőssége. E méréseknek két fő típusát különböztethetjük meg: passzív és aktív. Előbbi esetben a műszer a felszín felől érkező sugárzást érzékeli, míg utóbbinál egy jelet bocsát ki, és annak visszaverődéséből számít adatokat.

A passzív méréseket a leképező és szondázó műszerek végzik. A szondázó berendezésekkel leggyakrabban az oxigén egy markáns elnyelési sávjához kapcsolódó, 50 és 58 GHz közötti tartományban végeznek méréseket, és az egyes csatornák adatait felhasználva több magassági szinten kiszámítható a légoszlop hőmérséklete és nedvessége, hasonlóan a földfelszínről indított rádiószondás mérésekhez. Ezt elsősorban a trópusi ciklonok meleg magjának detektálására használják, mellyel mérhető annak erőssége és vertikális kiterjedése (mélysége) is. A leképezésnél leggyakrabban a 19 GHz, a 37 GHz és a 89 GHz körüli tartományokon végeznek méréseket vertikális és horizontális polarizációval, majd ezeket kombinálják. A mikrohullámú mérések nagy előnye, hogy láthatóvá tehető a ciklonok belső strukturális felépítése – így például egy kialakulóban lévő vagy éppen leépülő szemfal, esetleg a meglévő szem körül keletkező új, mely az úgynevezett szemfal-kicserélődési folyamat és a ciklon ezzel együtt járó átmeneti gyengülésének előfutára lehet –, melyeket a hagyományos infravörös vagy látható tartományú műholdas csatornákkal nézve általában eltakarnak a vastag, vagy magasabb szintű felhők. A ~19 és a ~37 GHz-es frekvenciákon a szárazföldről, valamint a tenger feletti, alacsonyabb szintű (pozitív hőmérsékletű) csapadékelemek és felhőelemek mutatják a legmagasabb fényességi hőmérséklet értékeket, mivel ezek emissziója nagy, így ez a két frekvenciasáv a ciklonok alacsony- és középszintű struktúrájának feltérképezésére szolgál. A ~89 GHz-es frekvencián szintén a szárazföldről és az alacsonyabb felhőelemek a legmelegebbek. Itt azonban a magasabb (konvektív) felhőkben található jéggrszecskék nagy mértékben szórják, gyengítik a sugárzást, emiatt ezek alacsonyabb fényességi hőmérsékletű területekként jelennek meg, így ez a sáv elsősorban a ciklonok konvektív fejlettségének meghatározására használható.

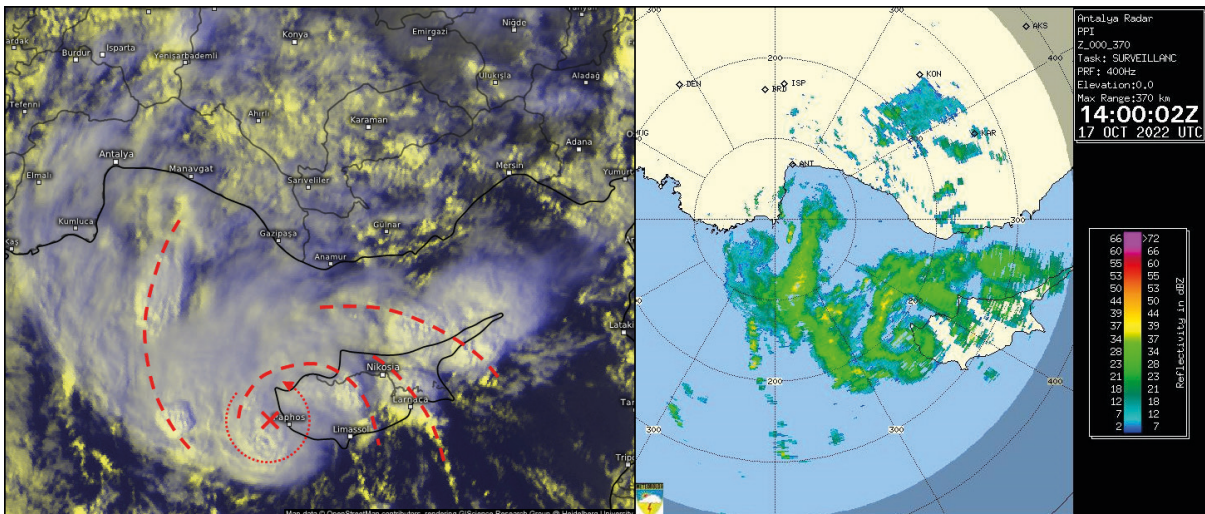
Az aktív mérések közül a szélsébség és a csapadék-intenzitás meghatározására képes berendezések emelendők ki. Előbbiek közül a legelterjedtebben az európai MetOp műholdcsaládon elhelyezett ASCAT (Advanced Scatterometer) szenzorok és az SMAP (Soil Moisture Active Passive) műhold mérései használtak. Előbbi mérésekből a tengerfelszíni szélirányt és a szélérősséget határozzák meg, de nagyobb sebességeknél egyre pontatlanabbá válnak, illetve a medikánokhoz hasonló, kisebb méretű trópusi ciklonokban is sokszor jelentkezik esetükben alulbecslés az egyéb elérhető mérésekkel (például hajók) összehasonlítva. Az utóbbit – ahogy a neve is utal rá – elsősorban a talaj nedvességtartalmának mérésére tervezték, de található rajta olyan szenzor is, amely képes a tenger sótartalmát és a vízfelszín feletti szélérősséget meghatározni. Itt szélirány detektálás nem történik, viszont a nagyobb szélsébségek esetén pontosabb, mint az ASCAT. Csapadékindenzitás tekintetében jelenleg a DPR (Dual-frequency Precipitation Radar) szenzor biztosítja a legjobb, 5×5 km-es horizontális és 125 m-es vertikális felbontású adatokat, mely egy Ku- és Ka-sávban (13,6 és 35,5 GHz-en) mérő, kettős frekvenciájú berendezés. Ez az aktív műszer 3-dimenziós információt nyújt a csapadék elemekről. A műszer mérési nyalábjában azonban keskeny, mindössze 245 km-es, így ritkábban érinti egy-egy ciklon központi régióját, mint az eddig felsorolt szenzorok.

A medikánok esetében – hivatalos monitorozó szervezet híján – operatíván nem használják ezeket a produktumokat, bár a már említett 2020-as Ianos ciklonhoz

a CIMSS (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies) készített valós idejű intenzitásbecsléseket a passzív szenzorok adatait felhasználva, melyek megtekinthetők az [1] linken. Ehhez a ciklonhoz kapcsolódóan Panegrossi et al. (2023) elsőként elemezte a mikrohullámú szondázó berendezések adatait is, mellyel sikerült egy gyengébb, néhány °C-os anomáliájú meleg magot kimutatni. Emellett a 2011-es Rolf (Dafis et al., 2018) és a 2017-es Numa (Marra et al., 2019) ciklonokról készült tanulmányokban a passzív méréseket felhasználva vizsgálták a mélykonvekció tér- és időbeli megjelenését a ciklonok központja körül, illetve a Numa esetében a csapadék- és szélviszonyokat is az aktív szenzorok mérései által, mindkét esetben a trópusi ciklonokéhoz hasonló tulajdonságokat kapva. Jelen írásban a mikrohullámú mérések medikánok esetében történő lehetséges felhasználásáról nyújtunk összegzést egy 2022. októberi példán keresztül, ami hazai viszonylatban még viszonylag ismeretlennek számít. Mivel a kiválasztott ciklon viszonylag szervezetlen és sekély volt, az elemzés mellőzi a szondázó szenzorok adatainak bemutatását.

A Ciprian ciklon rövid áttekintése

Az említett medikánt ezúttal egyik amatőr meteorológiai szervezet vagy hivatalos szolgálat sem nevezte el, így a Ciprian saját névadás. A ciklon előzménye egy, a Földközi-tenger nyugati medencéje felett létrejött ciklonális mező volt, mely már a kezdeti időszakban sem rendelkezett határozott frontális struktúrával



1. ábra. A Ciprián ciklon legfejlettebb állapotában, 2022. október 17-én délután – a műholdképen piros szaggatott vonalak jelzik a műholdas- és radaradatok segítségével azonosítható spirális csapadékkarokat, míg az X a körbefutó nyílval a ciklon központját és belső magját (Meteosat műholdkép: 13:05 UTC, radarkép: 14:00 UTC).

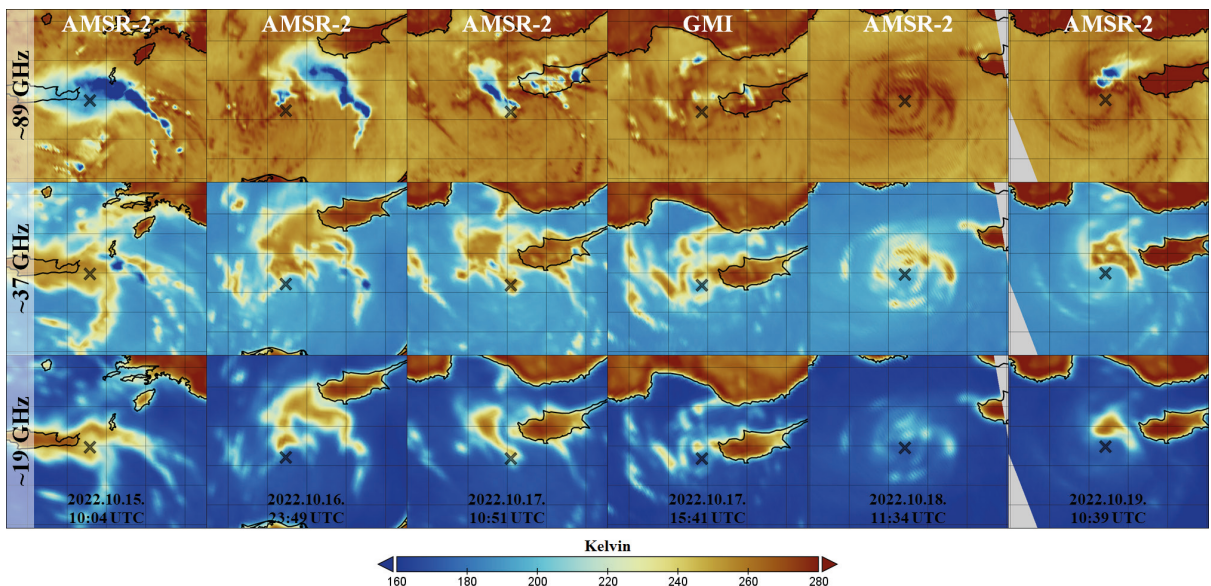
Források: EUMETSAT / Kachelmannwetter, illetve Turkish State Meteorological Service.

és középponttal, ugyanakkor jelentős konvekció zajlott hozzá kapcsolódva. Október 15-én Kréta keleti felét és a környező kisebb görög szigeteket, illetve Törökország délnyugati határvidékét érintve egy kiterjedt zivatarrendszer alakult ki, melyhez kapcsolódva egy új ciklonális örvény fejlődött ki, mely végül domináns lett. A zivatarrendszer este legyengült, 16-ára virradó éjszaka azonban egy újabb keletkezett a ciklon központi részétől északkeletre, keletre, melyet délutántól kezdve egy újabb követett a centruma közelében, jelezve, hogy a légörvény szubtrópusi jelleget öltött. 17-én reggeltől a konvekció már közvetlenül a ciklonközpont körül zajlott, és délutánra fokozatosan körbe is csavarodott körülötte, miközben az időközben Ciprust megközelítő ciklon felett és attól északra jellegzetes, kiterjedt és szétterülő cirrus-ernyő alakult ki, jelezve a magassági szétáramlás létrejöttét (1. ábra). A törökországi Antalya radarmérései ekkor már „elérték” a ciklont, a radarképeken a délután közepén egy trópusi ciklonokra jellemző struktúra rajzolódott ki spirálisan felcsavarodó csapadékkarokkal. Ciprustól alig nyugatra pedig rövid időre egy kisebb, nyugat-északnyugat felé nyitott szemszerű képződmény is megjelent. Ezzel a légörvény trópusi viharra alakult. Jelentősen erősödni azonban már nem tudott, mivel késő délutántól középszinten szárazabb levegő keveredett az áramlási rendszerébe, majd éjjel a magassági szél is megerősödött felette, megnövelve a vertikális szélnyírást, és e két hatás együttesen tartósan korlátozta a konvekciót. A ciklon 18-án egy kisebb hurkot írt le

Ciprustól délnyugatra, és 19-én északkelet felé indult meg, így ismét közeledni kezdett Ciprushoz. Ezzel együtt a kora délelőtti óráktól tartós mélykonvekció zajlott az északi, északkeleti oldalán erős zivatarokkal, az antalyai radarmérések többször is detektáltak 50–60 dBz-s intenzitású cellákat. Ám a továbbra is fennálló szélnyírás megakadályozta, hogy a ciklon struktúrája újra szervezettebbé váljon. A központja este érte el a szigetet, de mivel az intenzívebb csapadéggócok továbbra is ettől északra maradtak, azok nagyrészt a tengert érintették. A ciklon 20-án reggelre áthaladt Cipruson, és eközben legyengült, végül napközben fel is oszlott. A medikán gyenge volta ellenére kiadós csapadékot okozott az érintett területeken, Krétán és Cipruson helyenként elérte a 100–200 mm-t a teljes csapadékösszeg. Előbbi szigeten a keleti területeken 15-én néhol a napi csapadékösszeg is 100–150 mm között alakult, míg utóbbin 17-én fordultak elő néhol 70–80 mm-es napi összegek. 19-én a sziget északnyugati csücskében, melyet még éppen érintettek az intenzív csapadéggócok, szintén mértek hasonló értékeket.

A ciklon elemzése mikrohullámú tartományú műholdas adatokkal

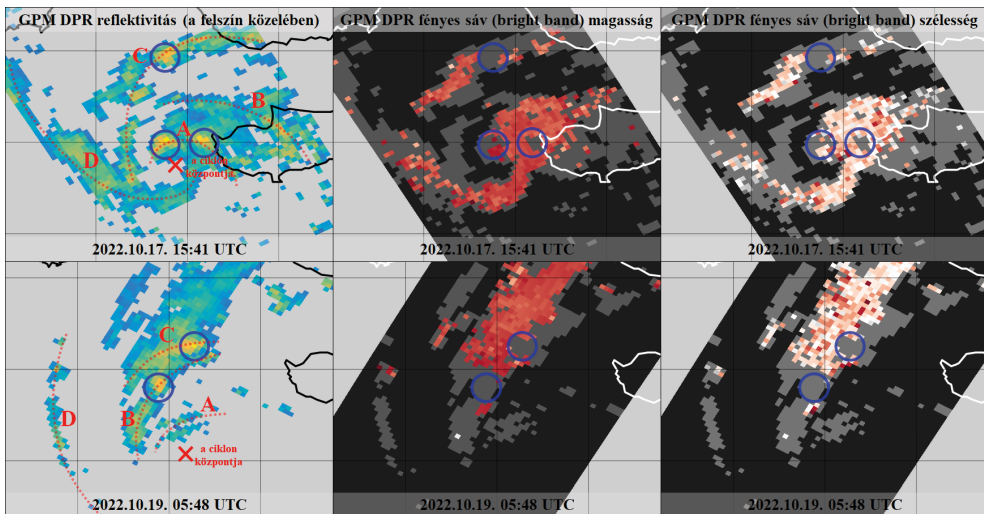
A trópusi ciklonok struktúrájának vizsgálatokor a legerjedtebben a már említett három frekvenciát (~19 GHz, ~37 GHz és ~89 GHz) alkalmazzák. A jelenleg elérhető adatok közül a GCOM-W1 (Global Change Observation Mission - Water) műhold



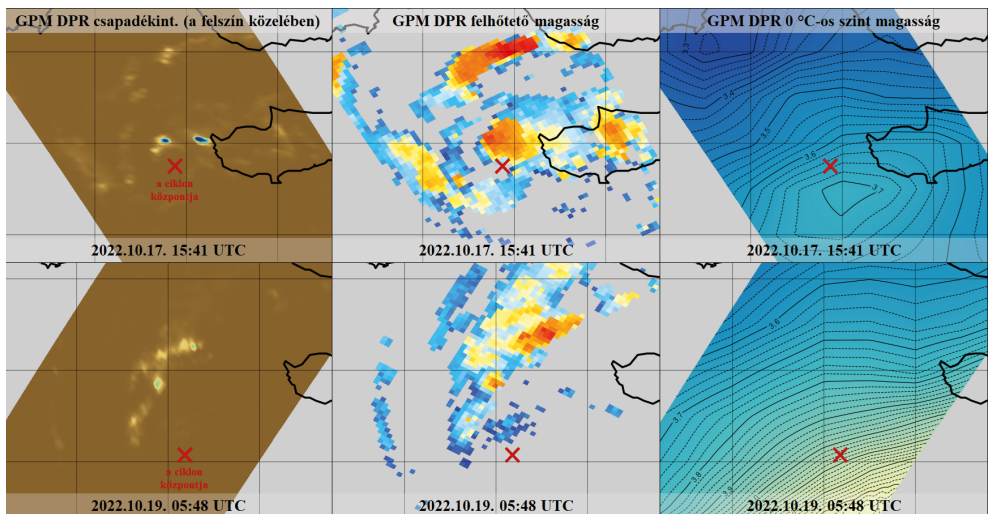
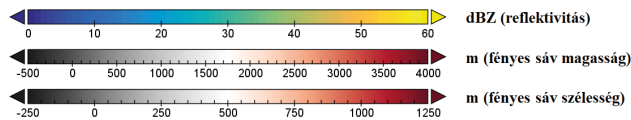
2. ábra. A Ciprián ciklon fejlődése különböző frekvenciájú fényességi hőmérséklet méréseken a jelzett időpontokban, az X-ek jelölik a ciklonközpontot (Berg, 2022a, 2022b). Források: EUMETSAT / Kachelmannetter; illetve Turkish State Meteorological Service.

AMSR-2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer) szenzora, valamint a GPM (Global Precipitation Measurement) műhold GMI (GPM Microwave Imager) szenzora rendelkezik a legjobb felbontással, melyekkel már a kisebb méretű medikánok is jól analizálhatók. A 2. ábrán a Ciprian ciklon fejlődése követhető végig az elérhető mérési időpontokban, a jelölt szenzorok vertikális és horizontális polarizáltaságú méréseit kombinálva. A már említett 15-ei és 16-ai kiterjedt zivatarrendszerek vezető éle mentén a ~89 GHz-es frekvencián egy hosszan elnyúló, a környezeténél jóval hidegebb terület volt látható, mely nagy jégtartalmú, intenzív zivatarfelhőkre utalt. A ~37 GHz-es frekvencián kiterjedtebb melegebb területek viszont inkább a zivartartömbök nyugati, északnyugati oldalán voltak detektálhatóak, melyek a rendszerek kevésbé aktív, de még így is jelentősebb csapadékot produkáló hátoldali, sztratiform jellegű területét jelezték. 15-én a mérés idején a ciklon még nem rendelkezett jól behatárolható középponttal, de főként az alacsonyabb frekvenciákon már látható volt a spirálisan csavarodó struktúra. Ennek központja Krétától kissé keletre volt, ahol néhány órával később már a hagyományos infravörös és látható tartományú műholdképeken, valamint a törökországi Mugla radarmérésein is megjelent a centrum. 16-ától a ~89 GHz-es frekvencián a magas fényességi hőmérséklet értékekkel megmutatkozó alacsony szintű felhőmező alapján már jól beazonosítható volt a ciklonközpont. 17-én az első mérés éppen abban az időpontban történt, amikor ennek közvetlen közelében erőteljes konvekció indult meg, míg a második már akkor, amikor a zivatarok elkezdtek gyengülni. A két időpont között azonban egyértelmű különbség mutatkozott a struktúrában, ugyanis a második időpontra sokkal szimmetrikusabb elrendeződésű felhő- és csapadékkarok alakultak ki, közvetlenül a ciklonközpont körül pedig főleg a ~37 GHz-es mérésen egy kezdetleges, nem zárt szemszerű képződmény is létrejött. 18-án a déli órákra átmenetileg teljesen megszűnt a mélykonvekció a ciklon környezetében, ezért akkor mind a ~89 GHz-es, mind a ~37 GHz-es frekvenciákon csak az alacsony szintű felhőörvény lehetett megfigyelni, míg a ~19 GHz-es frekvencián a többi időponttal összehasonlítva jóval gyengébb jel mutatkozott, mely arra utalt, hogy ebben az időszakban kevesebb alacsony szintű felhő- és esőcseppet tartalmazott a légörvény, vagyis jóval gyengébb csapadékot produkált. 19-én viszont a ciklonközponttól északra, északkeletre kialakuló intenzív zivatarok határozottan megjelentek mindhárom frekvencián.

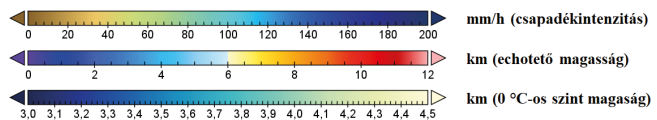
A GPM műhold rendelkezik a már említett DPR szenzorral is, mely 3-dimenziós információkat nyújt a csapadékelemekről. Ennek pásztája kétszer is érintette a ciklont, először október 17-én délután, majd 19-én reggel. A 3. ábra a felszín közeli reflektivitás méréseket és a fényes sávhoz kapcsolódó adatokat, míg a 4. ábra a felszín közeli csapadékintenzitást, a legmagasabb detektált radarjel szintét (echotető) és a 0 °C-os szint magasságát mutatja. A fényes sáv a vertikális radarmérésekben megjelenő, vertikálisan keskeny, de horizontálisan gyakran hosszan elnyúló, a környezeténél magasabb reflektivitással jellemezhető terület. Ez rendszerint a 0 °C-os szint közelében mutatható ki, ahol a felhőzet magasabb részéből aláhulló hópelyhek megolvadnak, összetapadnak, és ez által nagyobb mértékben verik vissza a radar felől érkező jelet. A fényes sáv leginkább réteges vagy már átalakuló (sztratiform) konvektív felhőzetben jelenik meg, ahol a jelenséget kiváltó szilárd- és folyékony csapadékelemek közötti olvadási határ egyenletesebb, mivel az erős konvekcióval járó heves fel- és leáramlások ezt vertikálisan kis területen belül is jelentősen eltolhatják (Geresdi, 2004). Megjegyzendő, hogy a felszín közeli reflektivitási értékek mindkét esetben jól egyeztek a török radarmérésekkel, mely igazolta a műholdas mérés nagy pontosságát. 17-én 4 spirális csapadéksávot lehetett azonosítani a ciklonban, melyek erősen felcsavarodtak a centrum körül, egy nyitott szemszerű képződményt létrehozva. A legintenzívebb csapadékgócok az „A” jelű sávban voltak 50–60 dBz közötti reflektivitással, emellett még északabbra, a „C” jelű sávban fordult elő egy erősebb, 50 dBz körüli cella, melyeket kék körök jelölnek. A Blitzortung villámlokalizációs hálózata [2] az „A” sáv nyugatabbi cellájában a műholdas mérést megelőzően 30–40 perccel, míg a keletebbiben a mérés ideje körül detektált néhány villámot, az északabbra lévő harmadik gócban pedig ekkor és a megelőző órában is aktívabb zivatarvekenység zajlott. Hasonló – a középpont körül ritkább, távolabbra gyakoribb – villámoszlást már más medikánok esetén is dokumentáltak (Dafis et al., 2018; Lagouvardos et al., 2022; D’Adderio et al., 2022), mely nagy hasonlóságot mutat a trópusi ciklonokkal, és összefüggésbe hozható a ciklonok meleg magjával, aminek következtében a központ környékén inkább a fagyhatár alatt keletkező és gyorsan ki is hulló, úgynevezett meleg eső dominál. Jelen esetben a ciklon csak gyenge meleg maggal rendelkezett, ami egyrészt a 0 °C-os szint, másrészt az ezzel összefüggésbe hozható fényes sáv környezetéhez képest némileg nagyobb magasságában mutatkozott meg. Ezzel összefüggésben a már említett három intenzívebb cellában (kék jelölés) nem, vagy



3. ábra. A DPR szenzor mérései a jelzett időpontokban – a fényes sávnál a fekete alapon szürke területek jelzik azokat a térségeket, ahol a műhold ugyan detektált reflektív-tási jelet legalább egy magasságban, de ott a fényes sáv nem volt meghatározható (Iguchi and Meneghini, 2021).



4. ábra: A DPR szenzor csapadékkintenzitás, radarecho-magasság és 0 °C-os szint magasság (a vertikális profil modul (angol rövidítéssel VER) felhasználásával számítva) mérései a jelzett időpontokban (Iguchi and Meneghini, 2021).



csak alig tudta detektálni a műhold a fényes sávot. Hasonlóképp nem jelent meg a fényes sáv a „C” jelű csapadékkar délebbi részén sem, mely a török radarmérések alapján egy éppen fejlődőben lévő konvektív vonal volt. Fontos még megemlíteni, hogy a pásztázási sáv szélein már csökken a fényes sáv detektálhatósága, így ezeken a területeken mindkét időpontban jóval ritkábbak, illetve pontatlanabbak (nagyobb szórásúak) a mérések. A villámeloszlás magyarázható továbbá

az ehotető-magassággal is, ugyanis a mérések alapján az északabbi góccok magasabb tetővel rendelkeztek a ciklonközpontokhoz közelebb képest, ráadásul előbbieknél a 0 °C szintje is alacsonyabban volt, tehát a felhő nagyobb része lógott bele a negatív hőmérsékletű tartományba. Csapadékkintenzitás szempontjából kiemelkedett az „A” sáv két cellája 200 mm/h feletti csúcsintenzitással, melyek meleg eső jellegét a következő szakaszban bemutatandó vertikális radarmetszetek

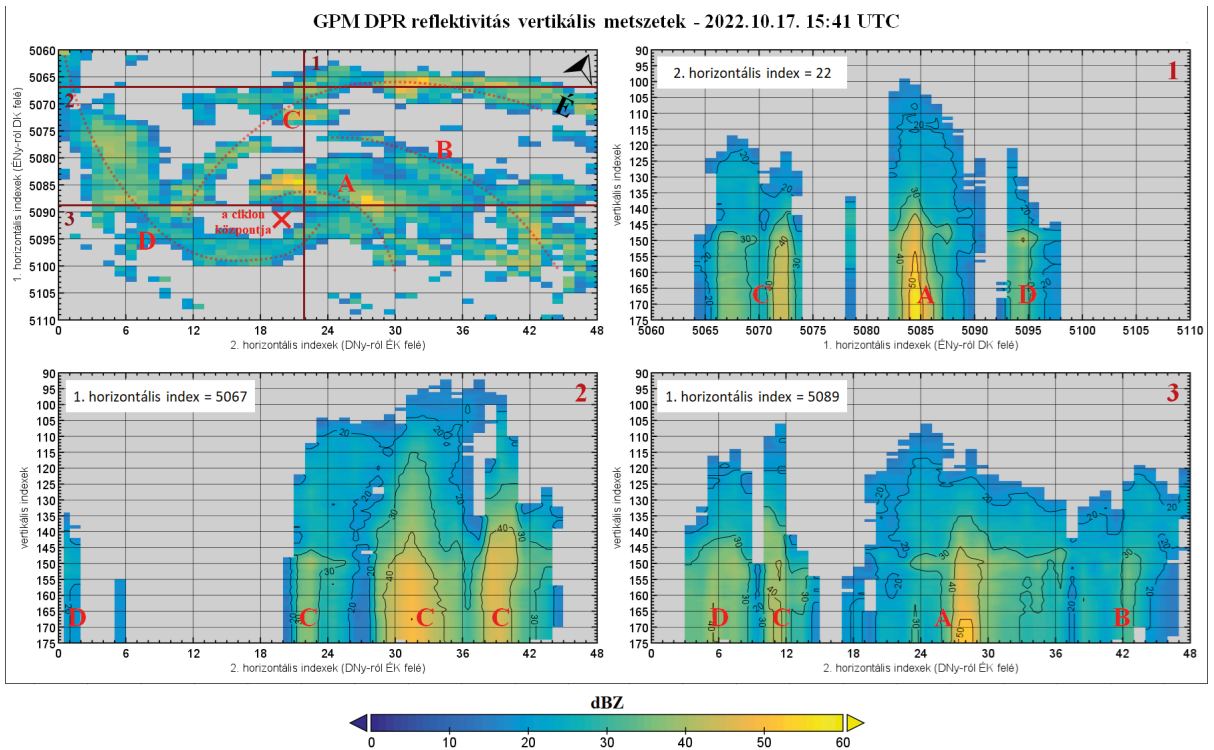
is igazolnak. A többi területen azonban meglehetősen gyengének bizonyult a csapadékhullás, még a harmadik jelölt, nagyobb reflektivitású gócban is csak 40–50 mm/h körül alakult a maximális intenzitás.

A 19-ei csapadékeloszlást már nagy mértékben befolyásolta az erős délnyugati irányú magassági szél (és szélnyírás). Az aznapi tartósabb, intenzív konvekció a szélnyírásvektor irányultságának megfelelően a központtól észak-északkeletre zajlott, mely jellegzetes a hasonló környezetben kialakuló trópusi ciklonoknál, illetve medikánok esetében is kimutattak hasonló elrendeződést (Dafis et al., 2020). A műhold áthaladásának idején a konvektív klaszter még fejlődőben volt, két erősebb, egymással kis mértékben összekapcsolódó („B” és „C”), illetve két gyengébb („A” és „D”) csapadéksávval. Ekkor két, szintén kék körrel jelölt intenzív góc volt azonosítható, az egyik a „C” jelű sáv keleti, míg a másik a „B” jelű középső részén. Zivatarvekenységet csak az előbbi produkált, a mérés idején váltakozó intenzitással már kissé több, mint 2,5 órája, amint a szélnyírásvektorral átellenesen fejlődve, közel ugyanazon pont felett rendre újabb és újabb cellák pattantak ki a korábbiak legyengülésével. A különbség oka itt is a hőmérsékleti rétegződésre és a két góc eltérő vertikális fejlettségére vezethető vissza: a dinamikusabb légköri környezetben immár markáns ÉNy-DK irányú gradiens mutatkozott a 0 °C-os szint magasságában, utóbbi irányba növekvő értékekkel, és ennek megfelelően a fényes sáv magasságában is megfigyelhető volt egy fokozatos északról délre történő növekedés, továbbá az északabbi, kissé hidegebb környezetben elhelyezkedő cella némileg magasabb echotetővel rendelkezett. A villámtevékenység rövidesen az északabbi cellában is megszűnt, majd egy körülbelül 1,5 órás szünetet követően késő délelőttől intenzívebb és elektromosan aktívabb zivatarok keletkeztek, melyek estig fennmaradtak. A fényes sávot az erős konvektív gócokban ezúttal sem detektálta a szenzor, illetve a délebbre eső csapadéggócokban szintén nem volt ez érzékelhető, köszönhetően annak, hogy ott jóval sekélyebb konvekció fordult elő, melyet az echotető mérés is megerősített. A csapadékintenzitás a „B” és „C” sávok sekélyebb celláiban több helyen elérte a 30–50 mm/h értéket, a két legerősebb gócban viszont ezúttal csak 80–90 mm/h körül alakult.

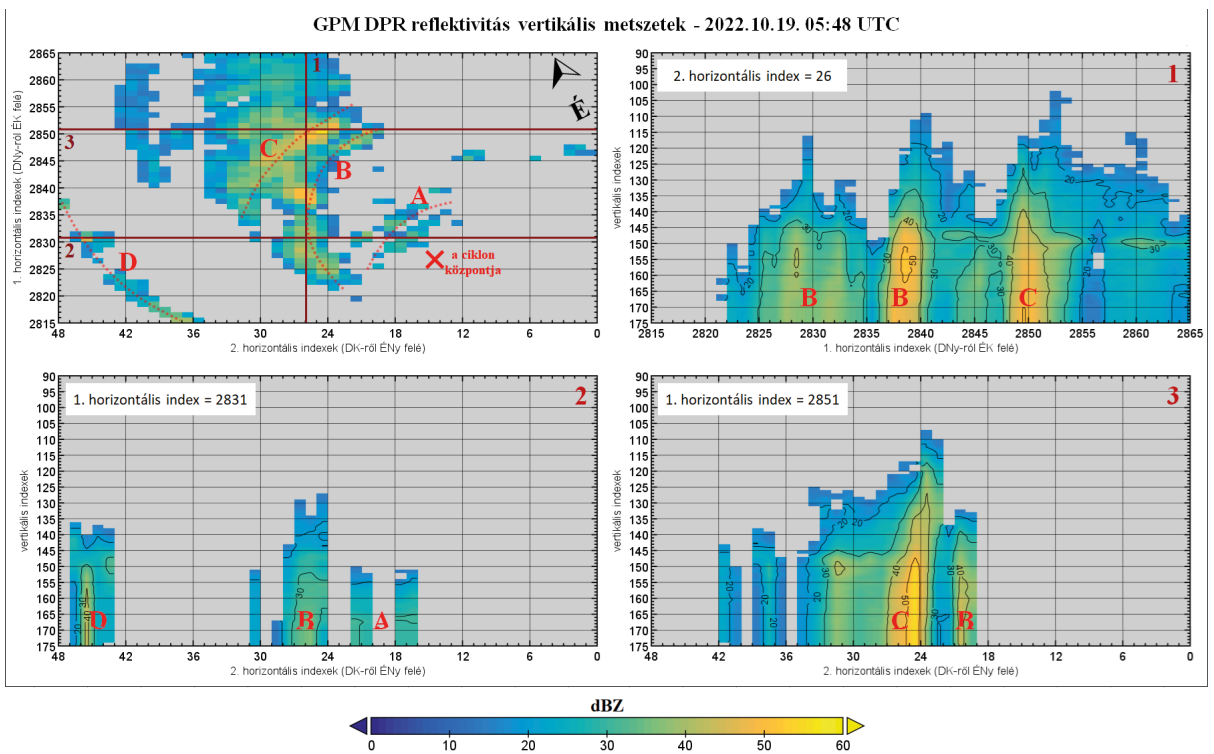
A DPR szenzor 17-ei reflektivitás méréseiből készített vertikális metszetek az 5. ábrán, míg a 19-eiből készítették a 6. ábrán láthatók. A bal felső negyedben mindkét esetben a műhold haladásával párhuzamos (1. horizontális indexek) és arra merőleges (2. horizontális indexek) irányok által előállított horizontális

alapréteg található a felszín közeli reflektivitási mezőt ábrázolva, melyen szerepelnek a vertikális metszetek helyei és sorszámai, a korábban meghatározott csapadéksávok, valamint a földrajzi északi irány is, mivel a műhold haladási iránya nem esett egybe a fő égtájakkal. Ahogy a bevezetőben már említettük, a vertikális indexeknél egy lépésköz 125 m-es távolságnak felel meg – értelemszerűen mivel a műhold felülről mér, ezért az indexelés is onnan kezdődik, de egy egyszerű kivonással majd szorzással könnyedén meghatározható az egyes objektumok magassága –, míg a horizontális indexek közötti távolság 5 km-nek felel meg.

17-én az 1-es metszet hozzávetőlegesen ÉNy-DK irányban haladva a „C” csapadéksáv két közepesen erős celláját, az „A” sáv legintenzívebb (nyugatabbi) celláját és a „D” sáv szélét, a 2-es hozzávetőlegesen DNy-ÉK irányban haladva döntően a „C” sávot, míg a 3-as ugyanilyen irányultsággal a „D” és „C” sávok találkozásához közeli területet, az „A” sáv másik (keletbibi) erős celláját és a „B” sávot érintette. Főként az 1-es és 2-es metszeteken még jól analizálható volt az egyes csapadékelemek elkülönülő, cellás jellege, a 3-on viszont az „A” és „B” sávok már kiterjedtebb, sztratiform jellegűek voltak, az „A” sávban a beágyazott erős góccal. A fényes sáv mentén fellépő reflektivitás-növekedés a 145-150 körüli vertikális indexeknél elsősorban ebben az összefüggőbb csapadékmezőben volt detektálható, de az 1-es és 3-as metszeteken is megjelent az „A” sáv erős celláinak peremén, továbbá az 1-es metszeten a „D” sávban, illetve kisebb mértékben a 2-es metszeten a „C” sáv gyengébb celláiban is. A korábban azonosított három legintenzívebb gócban – az 1-es és a 3-as metszeteken az „A” sávban, valamint a 2-es metszeten a „C”-hez tartozó középső cellában – azonban valóban nem mutatkozott meg a fényes sáv. A már említetteknek megfelelően az „A” sávhoz tartozó két intenzív cellában az alsóbb, nagyobbrészt pozitív hőmérsékletű rétegekre korlátozódott az erős, 40-50 dBz feletti reflektivitás, és a 30 dBz feletti terület is alig nyúlt e fölé, éppen elérte a 135-ös vertikális indexet, vagyis az 5 km-t. Ezzel szemben a „C” csapadéksáv legerősebb cellájában jóval magasabbra, a 115-ös vertikális indexig, vagyis 7,5 km-ig nyúlt fel a 30 dBz-s reflektivitás, vagyis itt sokkal több csapadékelem volt a magasabb, fagypon alatti hőmérsékletű légrétegben, ami az érintett cellák közötti magasságbeli különbséggel együtt már egyértelműen magyarázza a villámaktivitásban tapasztalt eltéréseket. Érdemes még megjegyezni, hogy az egyes konvektív gócok ebben az esetben viszonylag egyenes tengellyel rendelkeztek, ami az akkori modellfutásokkal és analízissel egybevágóan gyenge szélnyírás jelenlétére utalt.



5. ábra. A DPR szenzor által mért reflektivitás vertikális metszetei a Ciprián ciklonról október 17-én (Iguchi and Meneghini, 2021).

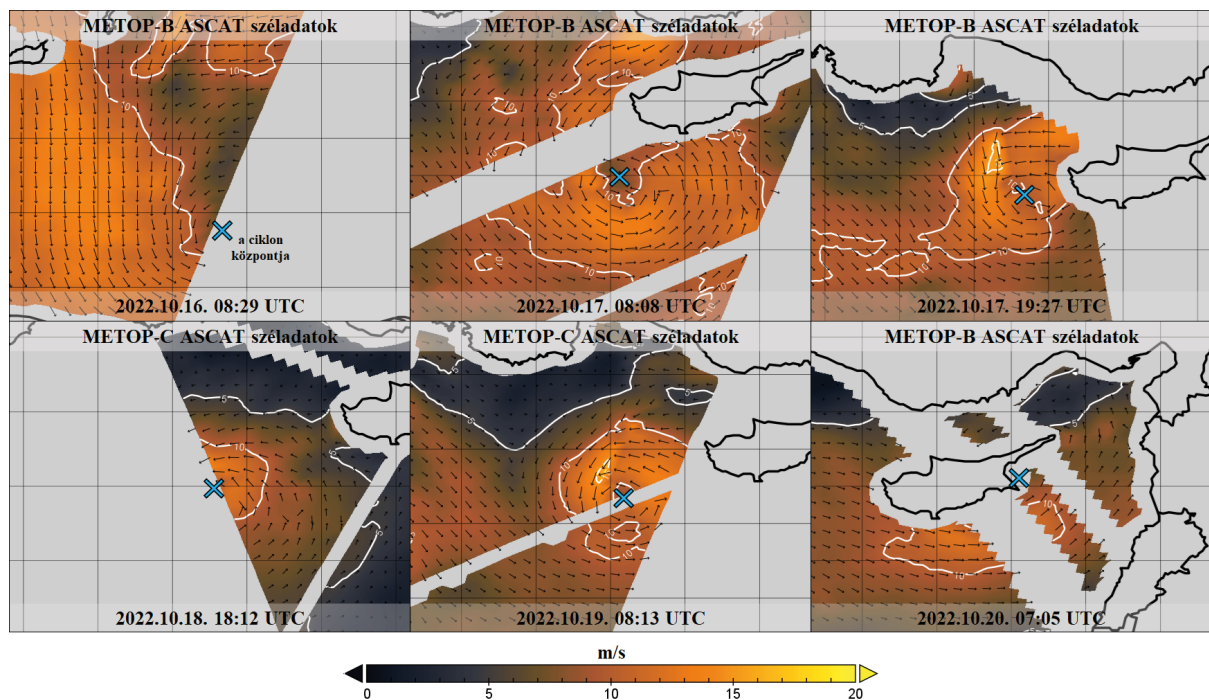


6. ábra. A DPR szenzor által mért reflektivitás vertikális metszetei a Ciprián ciklonról október 19-én (Iguchi and Meneghini, 2021).

19-én az 1-es metszet hozzávetőlegesen DNy-ÉK irányban (az alaprétegen letről fölfelé) haladva a „B” és „C” sávokat, a 2-es metszet hozzávetőlegesen DK-ÉNy irányban (az alaprétegen jobbról balra) haladva az „A”, „B” és „D” csapadéksávok gyengébb részeit, míg a 3-as metszet ugyanilyen irányultsággal a „B” sáv szélét és a „C” legerősebb részét érintette. A különálló, cellás jelleg itt is jól látható, kivéve a „B” sáv délebbi részét az 1-es metszeten, ahol egy összefüggőbb, de alacsony magasságú és csupán 30-40 dBz-s maximális reflektivitást produkáló zóna helyezkedett el. Ezen a metszeten analizálható legjobban a fényes sáv is, elsősorban a „C” sávtól északkeletre lévő gyenge, sztratiform csapadékmezőben egy 30 dBz feletti zónaként a 150-es vertikális index környékén, de hasonló reflektivitással megjelenik a „C” és „B” csapadéksávok között is, ott már kissé magasabban, megközelítve a 145-ös vertikális indexet. A reflektivitás vertikális eloszlásában hasonló különbség látható a „C” és a „B” sáv legerősebb cellái között, mint az előzőleg leírt esetben. A „C”-hez kapcsolódó intenzívebb, zivatarvekenységgel is kísért gócban jóval magasabbra nyúlt a nagyobb reflektivitású terület, a 3-as metszeten még a 40 dBz-s terület teteje is elérte a 127-es vertikális indexet, vagyis a 6 km-t, a 30 dBz-s pedig a 118-as indexet, azaz a körülbelül

7,1 km-es magasságot. Ezzel szemben az „B”-hez tartozó cellában az 1-es metszeten a 40 dBz-s reflektivitás a nagyjából a fényes sáv szintjéig ért, és a 30 dBz-s terület is alig haladta meg ezt. Az ekkor már erős, dél-nyugatias irányú szélnyírás hatására az erősebb cellák a magassággal láthatóan egyre jobban északkeleties irányba – az 1-es és a 3-as metszeten jobbra – dőltek, a 2-es metszeten megjelenő sekély, záporos góccokra azonban nem volt érdemi hatással a nyírás.

Az aktív mikrohullámú mérések közül a szélmerések emelendők még ki. A 7. ábrán a MetOp-B és MetOp-C műholdakon lévő ASCAT szenzorok adatai láthatóak, melyekkel jól végig követhető volt a ciklon átalakulási folyamata. Ezek előnye, hogy a (tengerfelszíni) szélirány és a szélsébség is származtatható a mérésekből. A medikánokhoz hasonló kis méretű ciklonok esetén, illetve nagyobb szélsébségeknél a szenzor azonban már némileg alulbecsli a szélsébséget, ezért az intenzitás becsléséhez általában további adatokat is fel szoktak használni. Ennek egyik lehetséges módja a SMAP műhold, mely pontosabban képes detektálni a szélsébséget, hátránya viszont, hogy szélirány meghatározására nem alkalmas. 16-án még egyértelműen a mérsékelt övi ciklonokra jellemző, aszimmetrikus szélsémező rajzolódott ki, a ciklon hátoldalán, a központtól nyugatra nagy területen élénk északias széllal,



7. ábra. Az ASCAT szenzorok széladatai a Ciprián ciklonhoz kapcsolódóan október 16-ától 20-áig (EUMETSAT/OSI SAF, 2013, 2019).

míg a központtól északra egy hosszán elnyúló, gyengén szeles, konvergens zóna mutatkozott. 17-én reggel azonban a ciklon már átmenetet képzett a szubtrópusi és a trópusi stádium között. Ekkorra a szélmező jóval szimmetrikusabb lett, az erősebb – jelen esetben 10 m/s feletti – szelek zónája már szinte teljesen körbe zárta a központot, ám még viszonylag kiterjedt maradt körülötte. Az átalakulás 17-én napközben zárult le, így az esti, továbbá a 18-ai és a 19-ei méréseknél már kompakt, teljesen szimmetrikus szélmezővel rendelkezett a ciklon, ahol a legnagyobb szél a kevésbé szeles ciklonközponthoz közelében fordult elő, és a 10 m/s feletti terület jóval kisebb kiterjedésűvé vált. 20-án reggelre viszont részben Ciprus szigetének elérése miatt, részben a ciklon általános gyengülése révén már újra aszimmetrikusabb lett a szélmező, a maximumok a déli oldalra korlátozódtak, és az örvény egy DNY-ÉK irányú tengely mentén elnyúltá vált. Mivel a ciklon mindvégig gyenge volt, így az ASCAT szenzorok által mért maximális szélességekben nem mutatkozott jelentős eltérés az egyes mérések között. Általában 13–14 m/s körül alakultak ezen értékek – 18-án a mérés már nem érintette a ciklon feltehetőleg erősebb nyugati felét –, de 17-én este a 15,4 m/s-ot, míg 19-én délelőtt a 15,9 m/s-ot is elérte a szélerősség a ciklon északnyugati térségében. Tekintve, hogy előbbi mérés már a konvekció gyengülése után, utóbbi pedig az intenzív zivatarok kipattanása előtt történt, illetve a korábban említettek alapján kis méretű ciklonoknál ismert a műszer alámérése, 17-én és 19-én délután a szélesség feltehetőleg elérte vagy kevéssel meghaladta a Saffir-Simpson szélskála trópusi vihar kategóriájának megfelelő 18 m/s-os határértéket. Ezt alátámaszthatja, hogy az SMAP műhold mindvégig kissé erősebb szelet detektált, 18-án reggel és este is 16,7 m/s volt a maximális érték a ciklonhoz kapcsolódóan, holott az akkor szinte egyáltalán nem produkált érdemi konvekciót.

Összefoglalás

Írásunkban a 2022 októberében kialakult Ciprián ciklonhoz kapcsolódóan mutattuk be a mikrohullámú műholdas mérések felhasználásának lehetőségeit medikánok esetében. Tekintve, hogy ezek a légörvények kisebb méretűek és gyengébbek a trópusi ciklonokhoz, hurrikánokhoz képest, ezért a legjobb felbontású szenzorok adatait használtuk fel. Az úgynevezett leképező szenzorok által alkalmazott mérési frekvenciák segítségével meghatározható a ciklonok strukturális felépítése, mind horizontálisan, mind vertikálisan. Mivel a példaként választott ciklon viszonylag

gyenge volt, ezért itt határozott szem nem jelent meg, azonban a kezdeti időszakban jól analizálhatóak voltak a legintenzívebb konvektív csapadékgócok, később pedig a ciklon központja körüli, szimmetrikus megjelenésű alacsonyszintű felhőzet, illetve időszakosan a környező spirális felhő- és csapadékkarok. A nagy felbontású, 3-dimenziós méréseket lehetővé tevő DPR szenzor két alkalommal is érintette a ciklon központi részét, ez által a legfejlettebb és egy későbbi gyengébb állapotában is meghatározható volt a hozzá kapcsolódó csapadék intenzitása és kiterjedése, illetve néhány ahhoz kapcsolódó egyéb paraméter. A trópusi jelleg ezekben az adatokban is megmutatkozott, így például a központ közelében magasabban helyezkedett el a fényes sáv és az ezzel összefüggő 0 °C-os izoterma, a ciklon ezen részén az alacsonyabb szintekre korlátozódnak, intenzívebb csapadék (meleg eső) volt jellemző, valamint a ciklon centrumában lévő erősebb konvektív gócok gyengébb villámaktivitást produkáltak, mint a külső csapadéksávokban lévők. Végezetül az ASCAT és SMAP szenzorok méréseiből származtatható széladatokat mutattuk be, melyek megerősítették, hogy bár a ciklon meglehetősen kis kiterjedésű volt, a kevésbé szeles centrum körül szimmetrikus szélmezővel rendelkezett.

Irodalomjegyzék

- Berg, W., 2022a: GPM AMSR-2 on GCOM-W1 Common Calibrated Brightness Temperature L1C 1.5 hours 10 km V07, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: [2022-10-22], <https://doi.org/10.5067/GPM/AMSR2/GCOMW1/1C/07>
- Berg, W., 2022b: GPM GMI Common Calibrated Brightness Temperatures Collocated L1C 1.5 hours 13 km V07, Greenbelt, MD, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: [2022-10-22], <https://doi.org/10.5067/GPM/GMI/GPM/1C/07>
- Cavicchia, L., von Storch, H. and Gualdi, S., 2014: A long-term climatology of medicanes, *Climate Dynam.* 43, 1183–1195. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1893-7>
- Dafis, S., Rysman, J-F., Claud, C. and Flaounas, E., 2018: Remote sensing of deep convection within a tropical-like cyclone over the Mediterranean Sea. *Atmos. Sci. Lett.* 19(6): e823 1–7. <https://doi.org/10.1002/asl.823>
- Dafis, S., Claud, C., Kotroni, V., Lagouvardos, K. and Rysman, J-F., 2020: Insights into the convective evolution of Mediterranean tropical-like cyclones, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 146(733): 4147–4169. <https://doi.org/10.1002/qj.3896>

- D'Adderio, L. P., Casella, D., Dietrich, S., Sano, P. and Panegrossi, G., 2022: GPM-CO observations of Medicane Ianos: Comparative analysis of precipitation structure between development and mature phase. *Atmos. Res.* 273, 106174. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106174>
- EUMETSAT/OSI SAF, 2013: MetOp-B ASCAT Level 2 Ocean Surface Wind Vectors Optimized for Coastal Ocean. Ver. Operational/Near-Real-Time. PO.DAAC, CA, USA. Dataset accessed [2022-10-20]
- EUMETSAT/OSI SAF, 2019: MetOp-C ASCAT Level 2 Ocean Surface Wind Vectors Optimized for Coastal Ocean. Ver. Operational/Near-Real-Time. PO.DAAC, CA, USA. Dataset accessed 2022-10-20]
- Fita, L. and Flaounas, E., 2018: Medicanes as subtropical cyclones: the December 2005 case from the perspective of surface pressure tendency diagnostics and atmospheric water budget, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.* 144(713): 1028–1044. <https://doi.org/10.1002/qj.3273>
- Flaounas, E., Gray, S.L. and Teubler, F., 2021: A process-based anatomy of Mediterranean Cyclones: from baroclinic lows to tropical-like systems. *Weather Climate Dynam* 2(1): 255–279. <https://doi.org/10.5194/wcd-2-255-2021>
- Fontan, A.-C., Dupont, T. and Langlade, S., 2019: Satellite technology - Applications to tropical cyclones, 9th training course about tropical cyclones, WMO / Météo-France, elérhető online: https://severeweather.wmo.int/TCFW/RAI_Training2019/07_Specific_satellite_data_for_TCs.pdf
- Geresdi, I., 2004: Felhőfizika, Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs.
- González-Alemán, J.J., Pascale, S., Gutierrez-Fernandez, J., Murakami, H., Gaertner, M.A. and Vecchi, G.A., 2019: Potential Increase in Hazard From Mediterranean Hurricane Activity With Global Warming. *Geophys. Res. Lett.* 46(3): 1754–1764. <https://doi.org/10.1029/2018GL081253>
- González-Alemán J.J., Valero, F., Martín-León, F. and Evans, J.L., 2015: Classification and Synoptic Analysis of Subtropical Cyclones within Northeastern Atlantic Ocean. *J. Climate* 28(8): 3331–3352. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00276.1>
- Iguchi, T. and Meneghini, R., 2021: GPM DPR Precipitation Profile L2A 1.5 hours 5 km V07, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). Accessed: [2022-10-18], <https://doi.org/10.5067/GPM/DPR/GPM/2A/07>
- Lagouvardos, K., Karagiannidis, A., Dafis, S., Kalimeris, A. and Kotroni, V., 2022: Ianos - A hurricane in the Mediterranean. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 103(6), 1621–1636. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0274.1>
- Marra, A. C., Federico, S., Montopoli, M., Avolio, E., Baldini, L., Casella, D., D'Adderio, L. P., Dietrich, S., Sanò, P., Torcasio, R. C. and Panegrossi, G., 2019: The Precipitation Structure of the Mediterranean Tropical-Like Cyclone Numa: Analysis of GPM Observations and Numerical Weather Prediction Model Simulations. *Remote Sens.* 11(14), 1690. <https://doi.org/10.3390/rs11141690>
- Miglietta, M.M. and Rotunno, R., 2019: Development Mechanisms for Mediterranean tropical-like cyclones (Medicanes), *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 145(721), 1444–1460. <https://doi.org/10.1002/qj.3503>
- Panegrossi, G., D'Adderio, L. P., Dafis, S., Rysman, J.-F., Casella, D., Dietrich, S. and Sanò, P., 2023: Warm core and deep convection in medicanes: A passive microwave-based investigation, *Rem. Sensing*, 15 (11): 2838. <https://doi.org/10.3390/rs15112838>
- Qian, B., Jiang, H., Weng, F. and Wu, Y., 2020: Climatology of Passive Microwave Brightness Temperatures in Tropical Cyclones and their Relations to Storm Intensities as Seen by FY-3B/MWRI. *Remote Sens.* 12(1), 147. <https://doi.org/10.3390/rs12010147>
- Shapiro, M. A. and Keyser, D., 1990: Fronts, Jet Streams and the Tropopause, American Meteorological Society Extratropical Cyclones, The Erik Palmén Memorial, 167–191. https://doi.org/10.1007/978-1-944970-33-8_10
- Tang, B. H., Fang, J., Bentley, A., Kilroy, G., Nakano, M., Park, M.-S., Rajasree, V.P.M., Wang, Z., Wing, A. A. and Wu, L., 2020: Recent advances in research on tropical cyclogenesis. *Tropic. Cycl. Res. Rev.* 9(2), 87–105. <https://doi.org/10.1016/j.tcr.2020.04.004>
- Zekkos, D., Zalachoris, G., Alvertos, A. E., Amatya, P. M., Blunts, P., Clark, M., Dafis, S., Farmakis, I., Ganas, A., Hille, M., Kalimogiannis, V., Karagiannidis, A., Karantanellis, E., Khan, K., Kirshbaum, D., Kourkoulis, R., Kotroni, V., Ktenidou, O.-J., Lagouvardos, K., Loli, M., Makrinikas, A., Marinos, V., Manousakis, J., Nikas, K., Panousis, D., Papathanassiou, G., Saroglou, C., Simopoulos, A., Stanley, T., Tsavalas, A. and Valkaniotis, S., 2020: The September 18-20 2020 Medicane Ianos Impact on Greece - Phase I Reconnaissance Report, Geotechnical Extreme Events Reconnaissance Report, GEER-068 <https://doi.org/10.18118/G6MT1T>

Internetes hivatkozások

- [1] <http://tropic.ssec.wisc.edu/real-time/atms/archive/2020/202090M.html>
- [2] https://www.blitzortung.org/hu/historical_maps.php?map=14



2023 a nagy viharok éve

Horváth Ákos, Szilágyi Eszter

HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt., horvath.a@met.hu

DOI: 10.56474/legkor.2024.3.3

Míg a 2022-es esztendő a történelmi aszály éve volt, addig 2023 a heves viharokról vált emlékezetessé. A fordulat már az év elején is megmutatkozott azáltal, hogy intenzívebbé vált a ciklon-tevékenység. A ciklonok okozta szélviharok a tavaszi hidegbetörésekkel együtt már az év első felében jelentős károkat okoztak az infrastruktúrában és a mezőgazdaságban. A nyári félévben tovább folytatódott a szélsőséges időjárás, egymást követték a zivatarrendszerek pusztító széllel és jégesőkkel. A nyári zivatarszezon augusztus 5-én ért a tetőfokára, de még november 6-án is kialakult egy kisebb szupercella a Balatonnál. Az őszi, intenzív, sokfelé viharkárokat okozó ciklonok sorát december elején tapadó havas helyzet zárta, fennakadásokat okozva az áramellátásban, a közlekedésben és az infrastruktúrában. Jelen tanulmány a tavalyi év szélsőséges időjárási helyzeteinek meteorológiai hátterét mutatja be.

2023: the year of big storms

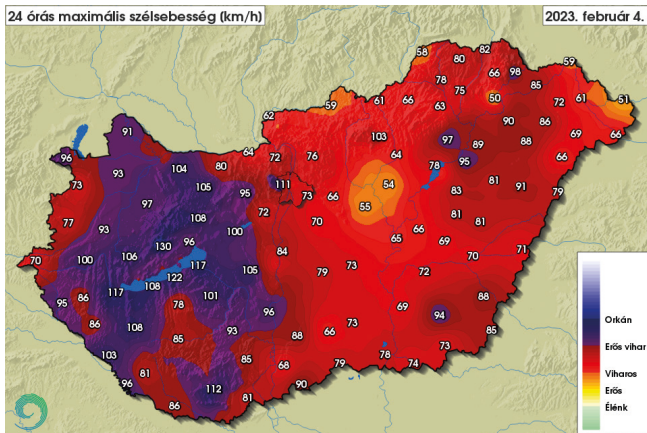
While 2022 was the year of the historic drought, 2023 became memorable for the violent storms. At the beginning of the year, changes started in the atmosphere, the cyclone activity became more intense. The wind storms already in the spring caused considerable damage in the infrastructure and agriculture. In the summer of 2023, the extreme weather continued with mesoscale convective systems, severe winds and hail storms. The summer thunderstorm season reached its summit with a particularly heavy storm on August 5, but even on November 6 a smaller supercell formed at Lake Balaton. The winter started with a wet snowfall case in early December, causing disruptions to the electrical grid, traffic and infrastructure. This study presents the meteorological background of the extreme weather situations in 2023.

Téli és tavaszi viharok

A szokatlanul enyhe évkezdetet követően **január 19.** körül ismét télire fordult az időjárás, nagy területen sarkvidéki hideg levegő árasztotta el a kontinenst. Az országba egy mediterrán ciklon hátoldalán erős északnyugati széllel érkezett a lehűlés, a beáramló hidegbb légtömegben pedig egyre többfelé havazás

volt a meghatározó. Másnap már egy újabb ciklon meleg-nedves szállítószalagja húzódott az ország fölé. A cikloncentrum közeledtével a Dunántúlon és az ország északkeleti harmadában feltámadt a szél. Bár országos viszonylatban a legerősebb szélsebesség 82 km/h volt (Sárospatak), ami nem számít kiugróan magas értéknek, a csapadék áztatta földeken így is faki-döléseket okozott a szél. A ciklon hátoldalára kerülve

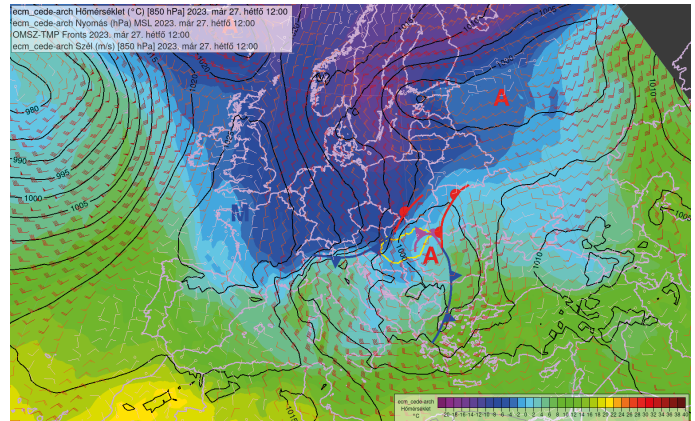
a kezdeti vegyes csapadékot tartós havazás váltotta, a főváros környezetében és az északkeleti vármegyékben tapadó hó hullott. Az intenzív havazás legtovább Hajdú-Bihar és Borsod-Abaúj-Zemplén vármegyékben tartott ki. Itt a tapadó hó súlya alatt a legyengült ágak tömegesen törtek le, valamint számos fakidülés is előfordult. A télies fordulat többfelé jelentős károkat okozott az áramszolgáltatásban.



1. ábra. Legerősebb napi szellőkések az országban az OMSZ mérései alapján 2023.02.04-én. A Dunántúlon sokfelé előfordult 100 km/h-t meghaladó szellőkés (Forrás: OMSZ Facebook).

Február első napjai szintén frontokban gazdag időt hoztak. **Február 4-én** egy gyorsan mozgó ciklon hidegfrontja erőteljes szélviharral söpört végig az országon (1. ábra). Elsősorban a Dunántúlon és az ország északkeleti részén volt tartós a viharos szél, az említett területeken sokfelé előfordult károkozó, 100 km/h-t meghaladó szellőkés is. A vezetékekre dőlt fák áramkimaradásokat okoztak, számos helyen megrongálódtak a tetőszerkezetek, fák dőltek az utakra. A Balaton déli partján, Kaposvár környékén, valamint a Bakonyban megállt a vasúti közlekedés. A szélvihar új napi szélrekordot hozott [1], a Kab-hegyi állomás 129,6 km/h-s szellőkést regisztrált. A vihart pontosan jelezték az időjárási modellek, így az nem érte váratlanul az országot. A Dunántúlon számos vármegyében szélre a legmagasabb szintű, piros figyelmeztetés, majd piros riasztás lépett érvénybe.

A tavaszt szeszélyes, változékony időjárás jellemezte, többször előfordultak az átlagnál jóval melegebb és az átlagnál jóval hűvösebb időszakok is [2]. Március utolsó napjaiban újabb télies fordulat következett be. Az óceán felől egy hidegfront közelítette meg a Kárpát-medencét, amely az Alpok felett hullámot vetett, így a frontvonal mentén egy örvény keletkezett. Az így képződött ciklon centruma **március 27-én**

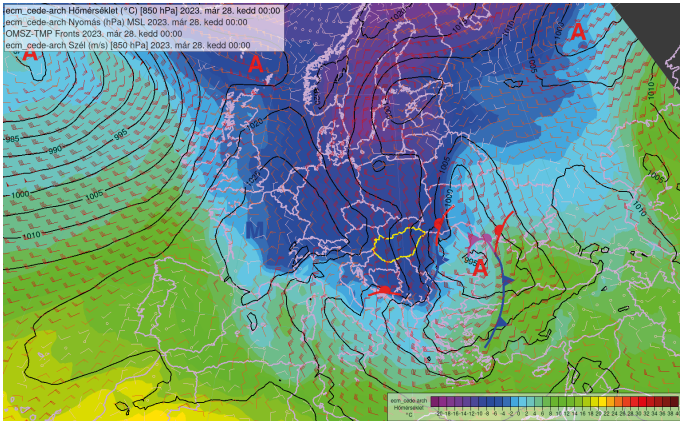


2. ábra. Időjárási helyzet 2023.03.27. 12 UTC időpontban az ECMWF analízis alapján. A képen a folytonos vonalak a tengerszinti légnyomást, a szélzászlók a 850 hPa-os nyomási szinten uralkodó szelet, a színezett területek a 850 hPa (kb. 1500 m) hőmérsékleti viszonyait mutatják. Két hullámban érkezett a hideg hazánkba.

virradóan az ország fölé helyeződött, és hátoldalán a reggeli óráktól viharossá fokozódó északnyugati széllel megérkezett a lehülés első hulláma. A hideg levegőnek további utánpótlása is volt, egy balti ciklon hidegfrontja további sarkvidéki eredetű hideg légtömeget szállított térségünkbe (2. ábra). A frontot gyors áthelyeződés jellemezte, hatására országszerte ismét viharossá fokozódott a szél. Erősen viharos (90 km/h-t meghaladó) szellőkések a Dunántúlon sokfelé előfordultak, míg a Duna vonalától keletre a Bodrogek, Nyírség volt kiemelten érintett. Ezen a napon új országos napi szélrekord (Kab-hegy 118,8 km/h), továbbá új fővárosi napi szélrekord (János-hegy 115,2 km/h) is született [3].

A képen a folytonos vonalak a tengerszinti légnyomást, a szélzászlók a 850 hPa-os nyomási szinten uralkodó szelet, a színezett területek a 850 hPa (kb. 1500 m) hőmérsékleti viszonyait mutatják. Két hullámban érkezett a hideg hazánkba.

Különösen hosszan tartó, viharos északnyugati szélhez nagy nyugat-kelet irányú nyomáskülönbség (nyomási gradiens) szükséges, amely **március 28-án** alakult ki. Ekkor Nyugat-Európa felett egy anticiklon jött létre, míg az országtól keletre egy több középpontú ciklonrendszer mélyült ki. A két képződmény együttes áramlási rendszerében megfigyelhető az izobárok észak-dél irányú hosszú kifutása (3. ábra). Az ország nyugati és keleti végpontjai között tartósan 15 hPa-os légnyomáskülönbséget mértek a nap folyamán. A szinoptikus helyzet lehetővé tette, hogy a viharos széllel lényegében akadálytalanul zúduljon be a sarkvidéki hideg a Kárpát-medencébe.



3. ábra. Időjárási helyzet 2023.03.28. 00 UTC-kor az ECMWF analízise alapján. Hazánk egy nyugati anticiklon és egy tollán keleltre kimélyülő több középpontú ciklonrendszer közös áramlási rendszerébe került, ahol tartós északias áramlással zúdult be a sarkvidéki eredetű hideg légtömeg.

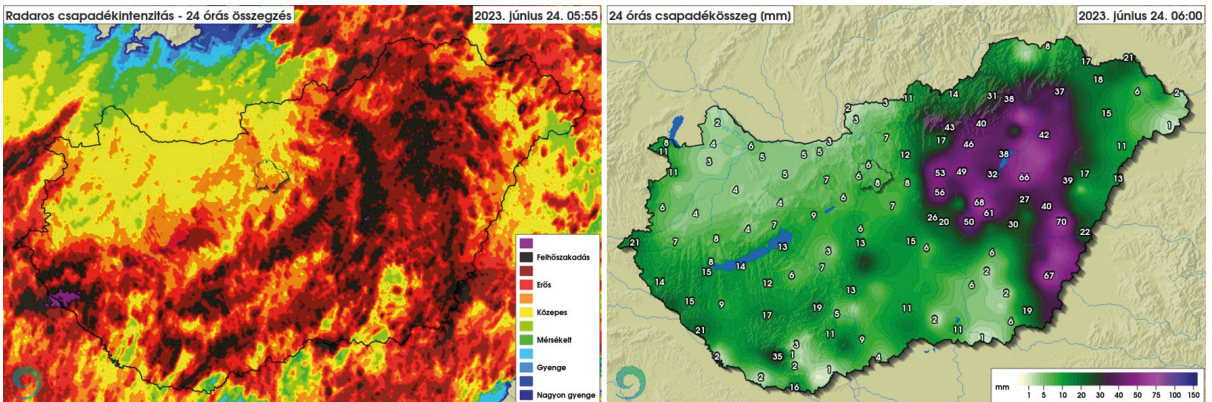
Zivataros nyári félév

A konvektív szezon 2023-ban viszonylag korán kezdődött, április 1-jén a tavi viharjelzési szezon már zivataros időben vette kezdetét. A folytatásban is gyakori volt a konvektív csapadék, különösen május végéhez közeledve nagy számban fordultak elő zivatarok délutánoként. Ennek ellenére a tavasz nagyobb viharoktól mentesen telt, a hónap végi zivatarok fő kísérőjelensége a kiadós csapadék volt.

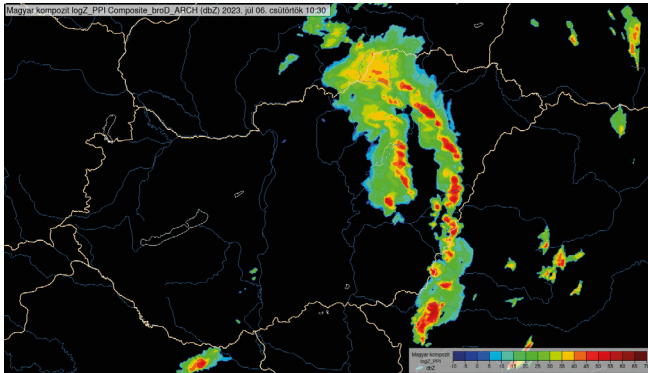
Nyáron is gyakran nedves, labilis légkörműködés alakították időjárásunkat, gyakori volt a gomolyfelhő-képződés, amelynek eredményeként két száraz nyarat követően idén nyáron a sokéves átlagot meghaladó mennyiségű csapadék hullott le [4]. Június első dekádját klasszikus medárdi időjárás jellemezte.

Országszerte sokszor alakultak ki zivatarok és heves zivatarok is előfordultak felhőszakadással, jégesővel. Az intenzív csapadéknak köszönhetően olyan háromnapos időszak, amely alatt a Balaton vízállása 4 cm-t emelkedett [5]. Komolyabb szélvihar a medárdi időszakokkal járó zivatarokhoz nem társult, bár több nem mezociklonális tornádót is megfigyeltek.

Az erős viharok többsége nyáron hőségzáró hidegfrontokhoz kapcsolódott. A nyár első hóhullámát június 24-re virradóan egy markáns hidegfront törte meg heves zivatarok kíséretében. Az ezt megelőző napokban az egész kontinensen keresztülhúzó hullámzó frontrendszer választotta el a déli forró, afrikai eredetű légtömegeket a front északi oldalán húzódó hűvösebb, óceáni eredetű levegőtől. Az ország kezdetben még meleg szektorban helyezkedett el, légterébe a magasban nagy nedvességtartalmú, trópusi eredetű levegő áramlott. Ez a levegő a térségünk felől délre lévő rendkívül magas hőmérsékleten még telítetlen maradt, az európai, hűvösebb területek fölé érve azonban elkezdett kikondenzálódni belőle a vízgőz. A zivatarok kialakulásához szükséges nedvesség és labilitás tehát adott volt, a felhőképződéshez elengedhetetlen emelőhatást pedig az érkező hidegfront biztosította. A front torlasztó hatása rendezett konvekciót segített elő. Az országban többfelé prefrontális zivatarláncok szerveződtek, valamint erős radar reflektivitású szupercellák is kialakultak (4. ábra). A heves felhőszakadással kísért (többfelé 60-70 mm) zivatarokhoz nagy szemű (diónyi vagy annál nagyobb méretű) jég és viharos szél is kapcsolódott. Az érkező hidegfront mögött jelentős nyomásemelkedés alakult ki, amelynek eredményeként sokfelé viharossá fokozódott az északias szél. A legnagyobb szélökést a balatonörszödi szélmérőnk regisztrálta (110 km/h).



4. ábra. 2023.06.23-án hidegfront vonult át heves zivatarok kíséretében. A bal oldali ábrán láthatjuk a 24 óra integrált radaros csapadékinintenzitást; sokfelé erős intenzitású csapadék hullott, felhőszakadás is előfordult (fekete radarjelek). A jobb oldali ábra mutatja a 24 óras összegzett csapadékmennyiséget, az Alföldön helyenként egy havi csapadékmennyiség zúdult le (Forrás: OMSZ Facebook).

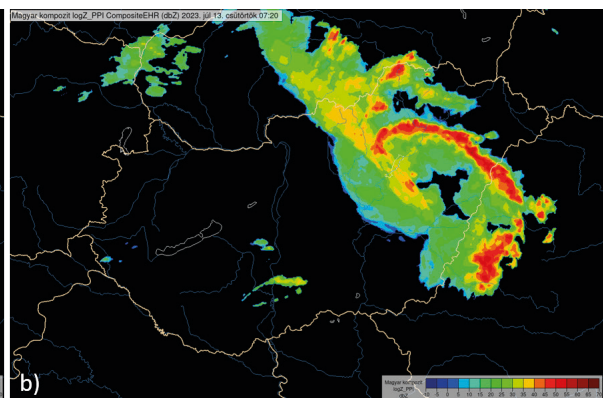
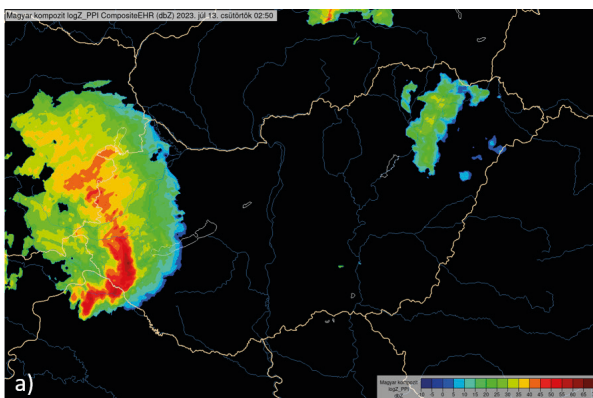


5. ábra. Átvonuló hidegfront 2023.07.06-án az OMSZ radarfelvételen. A front menti zivatarok a keleti országrészben hosszú vonalba szerveződtek. A vonal mentén szupercellák is feltűntek, amelyekhez jelentős károk is kapcsolódtak.

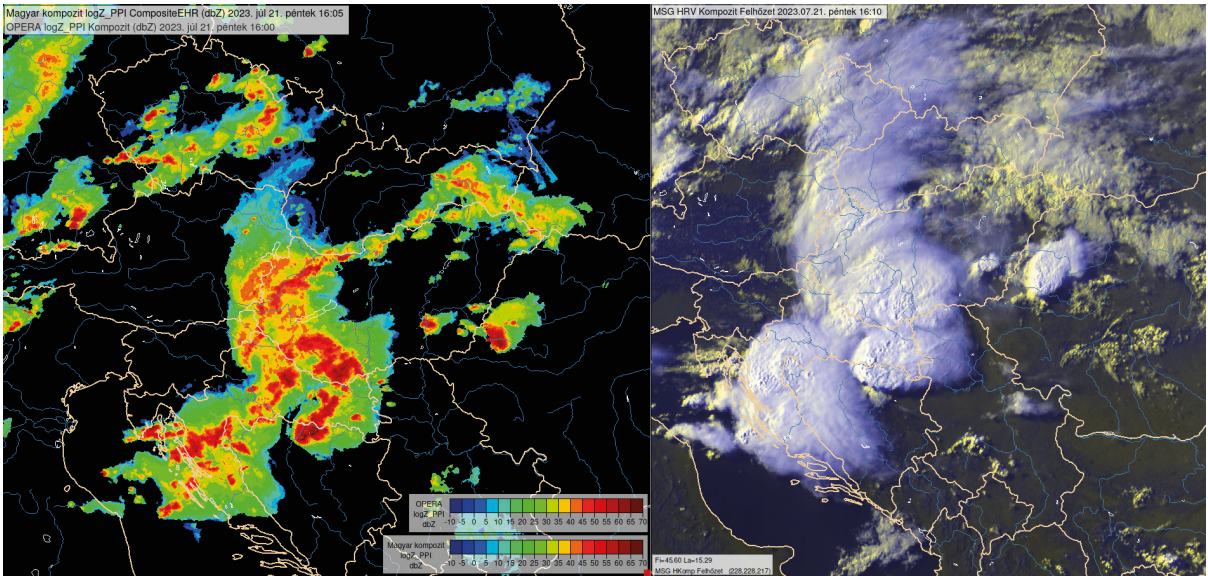
2023 júliusában számos, heves zivatarvegyenységhez kapcsolódó szélsőséges időjárási esemény okozott jelentős károkat az ország infrastruktúrájában. Ezen viharok mindegyike nagyon hasonló szinoptikus körülmények között alakult ki, mint ahogy az a fent bemutatásra került. **Július 6-án** a délelőtti órákban egy hullámzó frontrendszer hidegfronti ága vonult keresztül az országon. A magasabb légrétegekben beáramló hideg levegő biztosította a stabilitást, a front torlasztó hatása és a széllyírás pedig együttesen kedvezett a front mentén, illetve annak előterében fejlődő zivataroknak. Ahogy a front a keleti országrészbe ért, a radarfelvételeken egy egész országot átszelő zivatarlánc rajzolódott ki (5. ábra). A vonal középső részén egy kiemelkedően erős radarreflektivitású cella épült fel. A szupercella a vonal meghatározó objektumává vált és jelentős károkat okozott a térségben.

A következő károkozó viharral alig egy hét múlva, **július 13-án** folytatódott a szélsőséges időjárási események sorozata. Ekkor egy hidegfront hozott enyhülést a kánikulában. A fronthoz kapcsolódó erős magassági szél nagy vertikális széllyírást hozott létre, ami lehetővé tette zivatarláncok szerveződését, illetve egyedi szupercellák kialakulását is. A front hajnalban nyugat felől érkezett, meleg oldalán nagyon instabil légrétegződés alakult ki. Ebben a közegben, egy konvergencia vonal mentén szerveződtek az első zivatarok (6. a ábra). A zivatarláncot gyors, megközelítőleg 90 km/h-s áthelyeződési sebesség jellemezte, amelyet a HungaroMet Zrt. **QRI** radarvideóján lehet követni. A zivatarokból jövő kifutószél nagy területeken okozott 100 km/h feletti széllekedéseket. A keleti országrészbe érve a zivatarlánc sarló alakúvá fejlődött, ami csak a nagyon heves squall line-ok jellemzője (6. b ábra). Ez a zivatarrendszer egyúttal teljesítette a mezoléptékű konvektív komplexum (MKK) kritériumait [6]. Az MKK átvonulását követően az alsó szinteken a hidegfront is benyomult az országba. A déli országrészben a front mentén még jelentős instabilitás maradt fent, és délután egyedi szupercellák is kialakultak. Ezek a cellák bár keskeny sávban, de nagyon intenzív csapadék, jégeső, gyakori villámlás és orkán erejű szél kíséretében vonultak kelet felé. A déli megyékben a szélsőséges időjárás az áramhálózatban is komoly károkat okozott.

Alig pár nap elteltével ismét heves viharok sújtották az országot. A hónap közepi kánikulát **július 17-én** egy újabb hidegfront törte meg. A front előtt délnyugati áramlás volt a meghatározó, ami északkeleten jelentős nedvességkonvergenciát hozott létre. Az itteni prefrontális levegő erősen instabillá vált, továbbá az alsó szintek



6. ábra. Az OMSZ radarhálózatának méréseiből származtatott radar reflektivitás értékek. 2023.07.13-án a hajnali órákban a nyugati országhatár mentén nagy számban jelentek meg zivatarok (a), amelyek rendszerbe szerveződtek. Az MKK átszelve az egész országot a keleti országrészbe is eljutott (b), miközben sarló alakot öltött.



7. ábra. Az európai kompozit radar és az EUMETSAT látható tartományú műholdkép 2023.07.21. 16:05, illetve 16:10 UTC időpontokban. A Dél-Dunántúlt két hullamban érték délnyugat felől a zivatarok. A műholdfelvételen a zivatarok túlnyúló csúcsa is jól kivehető.

nagyon erős vertikális szélfordulása szupercellás zivatarok kialakulását segítette elő. Ebbe az instabil levegőbe érkezett meg északkeletre a hidegfront, ami vonulása során egyre erősebb zivatarokat okozott. A zivatarok között szupercellák is kialakultak, hozzájárulva a káreseményekhez.

Július 18-án nagy területre kiterjedő károkozó esemény nem történt, csak lokálisan, a Balaton nyugati medencéjében okoztak a zivatarok 90 km/h-t elérő szél-lökést. Kora este az Alpok irányából egy 10-12 km-es felhőtetővel rendelkező zivatargócs tartott a Balaton irányába, amelynek útja egészen Franciaországtól vezetett hazánkig. Kezdetben úgy tűnt, hogy a rendszer átvonul az egész tavon, végül az alapáramlásról kissé letérve, a Balatontól délnyugatra haladt el, jelentős nyomásemelkedést okozva. A nyomásemelkedés következtében az izobárokön átfújó délnyugati szél a tó nyugati felében viharossá fokozódott, Szigligeten nem sokkal napnyugtát követően 91 km/h-s lökést mértek.

Pár nappal később, **július 21-én** már nagyobb területre kiterjedő, heves konvektív eseményeknek lehettünk szemtanúi. A délutáni órákban egy nyugat felől közeledő hidegfront előtt alakult ki egy instabilitási vonal. A front előtti melegszektorban jelentős konvektív belső energia támogatta a zivatarok kialakulását. A hidegfronton csak gyengébb cellák fejlődtek, míg a prefrontális konvergenciához hevesebb zivatarok kapcsolódtak. Baranya vármegyében jelentek meg a legerősebb cellák. A kampós formájú

radar echók, az erős reflektivitási értékek, a hosszabb cella-élettartam és a vezető áramlástól eltérő mozgás arra utal, hogy szupercellák is lehettek köztük. Egy ilyen, szupercellás jegyeket viselő cella nagyméretű jéggel és orkán erejű széllel sújtotta Baranya vármegye déli területeit. Sátorhely településen 136,8 km/h-s széllelkést produkált, ezzel új országos napi szélrekord született [7]. Az esti órákra egy kettős zivatarlánc is kialakult, amely később egy markáns zivatarláncba olvadva hagyta el az országot (**QR2**). Az európai radarképen és a látható tartományú műholdképen is látható, hogy legfejlettebb stádiumában a konvektív rendszer több hullamból állt. A műholdképeken jól kivehetőek a túlnyúló zivatarfelhő csúcsok (7. ábra).

Az elmúlt években gyakori eset, hogy az Annabál környéki napokban zivataros az időjárás. Ez alól az idei év sem jelentett kivételt. **Július 25-én** újabb nagy vihar okozott károkat az infrastruktúrában. Egy nappal korábban a Pó-völgyében rendkívül erős zivatarok alakultak ki [8]. Ezeknek a zivataroknak a maradványai és a belőlük fejlődő újabb cellák érkeztek hozzánk július 25-re virradóan (**QR3**). A konvektív tömbök először a Dunántúl déli részét érték el, majd az Alföld déli területein vonultak keresztül, miközben fokozatosan veszítettek erejükből. Ez követően délután egy lassan mozgó hidegfront mentén kialakult egy második zivataros hullám. A magasabb rétegekben hidegadvекció és a jet stream, míg a közép troposzférában erős nedvesség koncentráció kísérte a hidegfrontot.



Az Alföldön történt káreseményekért a front vonalán szerveződő, sokáig fennmaradó, egyre intenzívebbé váló zivatarok voltak a felelősek.

A hazánkat sújtó nyári viharok közül kiemelkedtek az **augusztus 4-5-i** időjárási események [9]. A két nap során szinte valamennyi – a zivatartevékenységgel kapcsolatos – jelenség előfordult, így zivatarvonalak, szupercellák és villámárvizek. Ennek megfelelően a károk is óriásiak voltak: a biztosítók becslései alapján országosan több milliárd forint, és ezzel egy napra vetített új rekord is születhetett. A magyarországi súlyos károk azonban eltörpültek a Szlovéniában kialakult árvizek káreseményei mellett. A viharok szinoptikus hátterében markáns időjárási folyamatok álltak. Augusztus 4-re virradóan az óceán irányából egy hidegfront érkezett, amely az Alpok felett egy ciklont generált. A front egy gyenge hulláma benyomult a Dunántúl északi része fölé, majd visszahullámzott. Ennek a hideg hullámnak a vonal menti torlasztó hatása, továbbá a front előtti meleg-nedves szállítószalag meghatározó szerepet játszott az esti zivatarok kialakulásában. Bár már a délután folyamán feltűntek az első zivatarok, a cellák késő estétől erősödtek meg igazán. Ezek a Pécs-Budapest-Eger vonal mentén mozogtak, útjukat intenzív villámtevékenység kísérte, és több cella is időközben szupercellává alakult. Végül augusztus 5-én még pirkadatot megelőzően, „libasorban” követve egymást csaptak le a fővárosra, orkán erejű szelet okozva. A legerősebb szélhőkést a ferihegyi Liszt Ferenc repülőtéren mérték (130 km/h). A hevesebb zivatargócokból nagy

mennyiségű csapadék zúdult a talajra (Pestszentlőrincen 97 mm). A reggeli óráktól csökkent a zivatarhajlam, de csak átmenetileg, mivel augusztus 5-én napközben már az Adria térségéből fejlődő ciklon kezdte alakítani az áramlási rendszert. Ehhez a ciklonhoz egy – az Alpok felett lefűződött – hidegfront is kapcsolódott, amely az előző másfél hónapban átforrósodott mediterrán térségben erősen instabil légrétegződést alakított ki. A konvekcióhoz szükséges megfelelő mennyiségű nedvesség is adott volt a légkörben, a jet stream helyzete pedig elősegítette heves zivatarok kialakulását. Augusztus 5-én az első károkozó cella a délután második felében Szerbia irányából érkezett a déli országrészbe. A szupercellától északkeletre több egyedi cella is kipattant a Dél-Alföldön, amelyek láncba szerveződve gyorsan mozogtak észak felé. A kétnapos vihar lefolyását a **QR4** radar videón követhetjük nyomon. A videón jól kivehető, hogy egy-egy cella eltért a délkeleti vezető áramlástól, ami szupercella jellegre utal. A szupercellák átvonulását látványos éjkép (8. ábra), intenzív csapadék és orkán erejű szél kísérte. A károk Hódmezővásárhely térségében voltak a legnagyobbak. Összességében elmondható, hogy ez az augusztus eleji vihar rendkívülinek számított a szokatlanul viharos júliust követően.

A folytatásban megnyugodott a légkör, csökkent a csapadékhajlam, azonban augusztus vége is hozott rendkívüli eseményeket. Ekkor alakult ki ugyanis a tavalyi nyár legnagyobb hóhulláma. A szezon legmelegebb napja augusztus 27-e volt, ekkor Dévaványán



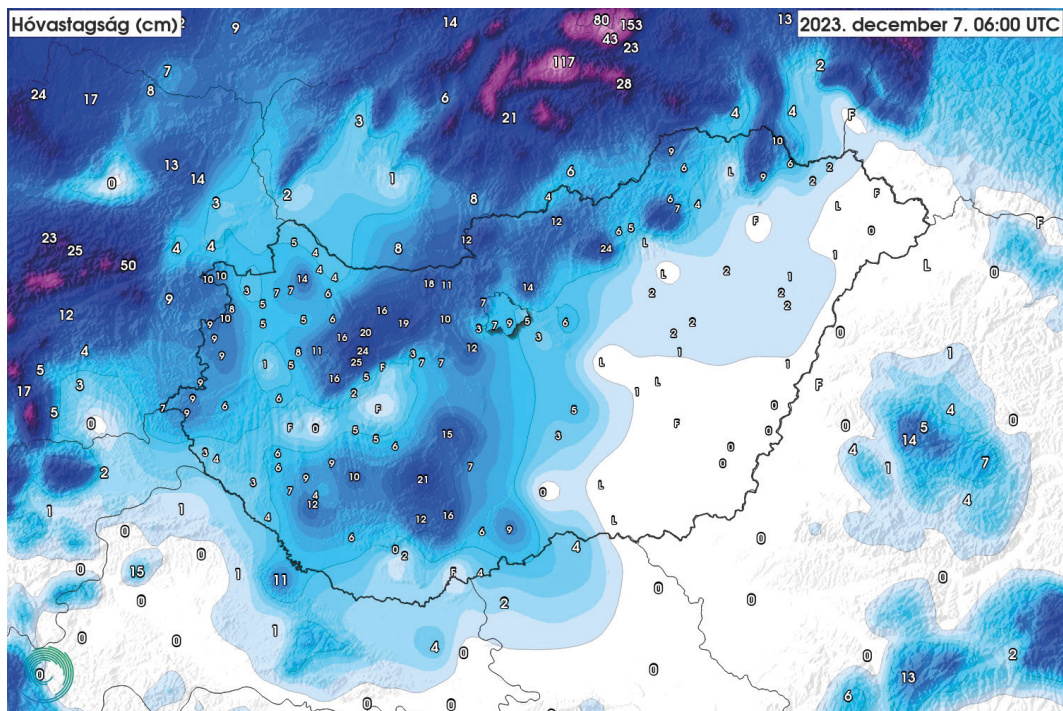
8. ábra. Az egyik szupercella augusztus 5-én ilyen látványos peremfelhővel vonult át a Dél-Alföldön.
Fotó: Czirok Bence

39,5 fokig emelkedett a hőmérséklet [10]. Ezt a hőlülámot **augusztus 28-án** egy hullámzó frontrendszer törte meg, amelyhez a Dunántúlon heves zivatarok is kapcsolódtak. A cellák vonalba rendeződve követték egymást, és legfőbb kísérőjelenségük a felhőszakadás mellett a viharos kifutószél volt. A nap legerősebb szélökését a Balatonon, a nyílt vízén elhelyezett siófoki platformon mérték. Itt 131 km/h-s szélroham is előfordult, ezzel pedig új országos napi szélrekord született [11]. A hónap utolsó napjaiban a keleti országrészérték további heves zivatarok.

Szeptember jóval csendesebb és az átlagosnál jóval melegebb idővel köszöntött az országra, számos új hőmérsékleti rekorddal. Zivatarok csak a hónap utolsó hetében alakultak ki nagyobb számban. Ekkor egy hullámzó frontrendszer és egy mediterrán ciklon együttese alakította időjárásunkat. A rendszer hátoldalán **szeptember 24-én** erős hidegadvекció zajlott, amely viharos erejű széllel nyomult be hazánkba, erősen viharos szél azonban csak a Balatonnál fordult elő.

A rekordenyhe szeptembert követően [12] októberben is tovább folytatódott a szokatlanul meleg idő rekorddömpinggel. A hónap utolsó napjaiban konvektív szempontból ismételtelen felpezsdült a légkör, szokatlanul sok zivatar alakult ki. Sorra, szinte futószalagon érkeztek a kontinens belseje felé a ciklonok, illetve

azok frontjai, így végül még a 2023. év tavi viharjelzési szezonjának utolsó napjaira is jutott erős vihar [13]. **Október 27-én** egy hidegfront torlasztó hatása erőteljes gomolyfelhő-képződést tett lehetővé, így sokfelé zápor, a déli megyékben elszórtan zivatar is kialakult. Ebben az időjárási helyzetben az intenzív csapadék képes „lekeverni” a magasban fújó viharos szelet. A magassági szél ráakadva az alapáramlásra sokféle átmeneti viharos szélrohamokat eredményezett. A front látványos peremfelhővel (**QR5**) és heves szélroham kíséretében érkezett a Balatonhoz, a balatonszemesi platformon orkán erejű szélökések alakultak ki. A nem mindennapi, 121 km/h-s értékkel új országos napi szélrekord is született [14]. A szokatlanul meleg októbernek egy szezonzáró hidegfront vetett véget a hónap utolsó napján. A hidegfront előterében a Dunántúlon nagy számban pattantak ki ismét zivatarok, köztük szupercella is. A zivatarok végül láncba szerveződve, viharos szél kíséretében vonultak végig az országon. A hidegfront 100 km/h-s szelet produkált Fülöpházán és Kab-hegyen, így ezen a napon is új országos napi szélrekord született [15]. Ezzel a viharral búcsúzott az időjárás a 2023-as balatoni viharjelzési szezontól [16]. A viharjelzési szezon vége azonban nem jelentette a konvektív szezon végét.



9. abra. Hóvastagság adatok 2023.12.07-en reggel. Hegyvidéki környezetben vastagabb hótakaró (20-25 cm) is kialakult. Forrás: HungaroMet Facebook

Késő őszi és téli viharok

November elejét tartós nyugati áramlás jellemezte, így a folytatásban is szinte futószalagon érkeztek az időjárás frontok. Közülük kiemelkedett a **november 3-án** érkező Ciarán viharciklonhoz, két nap múlva pedig Domingos viharciklonhoz tartozó hidegfront. Ciarán, miután az angol-francia partoknál kitombolta magát [17], már legyengülve érkezett hozzánk, csak a Dunántúlon okozott néhol 80 km/h-t meghaladó szelet [18]. Két nappal később, **november 5-én** Domingos előoldalán ismét erőre kapott a déli szél. Bár nem tipikusan novemberi jelenség, **november 6-án**, Domingos átvonulását követően még egy szupercella is kialakult a Balaton keleti felében, amelyhez egy felhőtölcsér (**QR6**) és jégeső is kapcsolódott.

A hónap további részének időjárása is frontokban gazdag, gyakran széles volt, amely további 3 alkalommal is új napi fővárosi szélrekordot eredményezett. November végén mediterrán ciklonok okoztak újabb szélviharokat, piros figyelmeztetéssel járó ónos eső is előfordult [19], továbbá az első jelentősebb havazás is megérkezett az északi hegyekbe. **December 6-ra** virradóan már síkvidéki környezetben is váltakozó intenzitású havazás kezdődött. A Dunántúlon, a középső országrészben és az északi hegyekben vastagabb hóréteg is kialakult (9. ábra), a tapadó hó pedig jelentős terhet rótt a fákra és a vezetékekre. A súlygyarapodás következtében tömegesen szakadtak le ágak és vezetékek, többfelé szünetelt az áramszolgáltatás.

Összefoglalás

Összességében 2023 nagyon mozgalmas, viharokban gazdag esztendő volt. A Magyar Biztosítók Szövetsége által kiadott közlemény szerint évtizedek óta nem keletkeztek ilyen nagy összegű viharkárok [20]. Az év első hónapjaiban a legtöbb káreseményt a ciklonok hátoldalán kialakuló szélviharok okozták. Korán megkezdődött a konvektív szezon, a medárdi időszak is gazdag volt záporokban, zivatarokban. Nyáron és ősszel az időjárás frontok előterében, illetve hidegfrontokhoz kapcsolódóan alakultak ki nagy számban zivatarok. A leghevesebb viharok általában a forgó zivatarokhoz (szupercella), illetve a szervezett zivatarrendszerekhez kapcsolódtak, és ezek a lakosságtól kezdve az áramszolgáltatókig sokaknak többször jelentős anyagi károkat okoztak. A konvektív szezon lecsengését követően őszi végén, illetve decemberben ónos esős, illetve tapadó havas helyzetek is előfordultak, amelyek szintén káreseménnyel jártak.

Internetes hivatkozások

- [1] [https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5105&m=2&hir=Szelvihar_napi_rekorddal_\(2023.02.04.\)](https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5105&m=2&hir=Szelvihar_napi_rekorddal_(2023.02.04.))
- [2] https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=3315&hir=Csapadekos_es_atlag_kozeli_homerseketu_tavaszi_%E2%80%93_elozetes_elemzes
- [3] [https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5174&m=2&hir=Uj_orzagos_es_fovaros_i_napi_szelrekord_\(2023.03.27.\)](https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5174&m=2&hir=Uj_orzagos_es_fovaros_i_napi_szelrekord_(2023.03.27.))
- [4] https://www.met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=3349&hir=Meleg_tobbfele_csapadekos_nyar_%E2%80%93_elozetes_elemzes
- [5] https://www.met.hu/ismeret-tar/meteorologiai_hirek/index.php?id=3318
- [6] <https://www.szupercella.hu/kislexikon/mkk-mezolepteku-konvektiv-komplexum>
- [7] [https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5336&m=2&hir=Uj_napi_szelrekord_szuletett_\(2023.07.21.\)](https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5336&m=2&hir=Uj_napi_szelrekord_szuletett_(2023.07.21.))
- [8] [https://met.hu/ismeret-tar/meteorologiai_hirek/index.php?id=3341&hir=Nagy_vihar_Italiaban_\(es_majdnem_itthon_is...\)](https://met.hu/ismeret-tar/meteorologiai_hirek/index.php?id=3341&hir=Nagy_vihar_Italiaban_(es_majdnem_itthon_is...))
- [9] https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3348&hir=Konvektiv_viharok_minden_formaban
- [10] [https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5393&m=2&hir=Megdolt_az_orzagos_es_a_fovaros_i_melegrekord_is_\(2023.08.27.\)](https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5393&m=2&hir=Megdolt_az_orzagos_es_a_fovaros_i_melegrekord_is_(2023.08.27.))
- [11] [https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5396&m=2&hir=Szellokes_rekord_\(2023.08.28.\)](https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5396&m=2&hir=Szellokes_rekord_(2023.08.28.))
- [12] https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=3360&hir=1901_ota_a_legmelegebb_szeptember
- [13] https://www.met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=3366&hir=Eros_vihart_ozokozott_az_atvonulo_hidegfront_a_Balatonnal
- [14] [https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5482&m=2&hir=Tobb_rekord_is_megdolt_\(2023.10.27.\)](https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5482&m=2&hir=Tobb_rekord_is_megdolt_(2023.10.27.))
- [15] [https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5487&m=2&hir=Szelrekorddal_bucsuzott_az_oktober_\(2023.10.31.\)](https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5487&m=2&hir=Szelrekorddal_bucsuzott_az_oktober_(2023.10.31.))
- [16] https://met.hu/ismeret-tar/meteorologiai_hirek/index.php?id=3368&hir=Szezonzaro_vihar
- [17] <https://www.metoffice.gov.uk/about-us/press-office/news/weather-and-climate/2023/storm-ciaran-latest>
- [18] https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3371
- [19] https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=3382&hir=A_legmelegebb_osz_%E2%80%93_elozetes_elemzes
- [20] <https://mabisz.hu/evtizedes-rekordot-dontottek-meg-az-idei-viharszezon-karkifizetesei/>



Magyarország részvétele a pán-európai üvegházgáz mérőhálózatban

Haszpra László

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

DOI: 10.56474/légkor.2024.3.4

Hatékony üvegházgázkibocsátás-csökkentési stratégiák kidolgozása, a vállalások betartásának ellenőrzése megvalósíthatatlan megfelelő mérőhálózat nélkül. Az európai Integrált Szén-dioxid-megfigyelési Rendszert (Integrated Carbon Observation System - ICOS) 2015-ben hozták létre. Magyarország 2022-ben csatlakozott, és az első magyarországi mérőállomás 2024 májusában kapta meg a hivatalos ICOS minősítést. A tanulmány az ICOS létrejöttét, felépítését, működését, valamint a magyar részvételt tekinti át.

Hungarian contribution to the pan-European greenhouse gas monitoring network

Developing effective greenhouse gas emission reduction strategies and monitoring compliance with commitments are not feasible without an adequate measurement network. The European Integrated Carbon Observation System (ICOS) was established in 2015. Hungary joined in 2022, and the first monitoring station in Hungary was officially ICOS-labelled in May 2024. This paper reviews the establishment, structure, and operation of ICOS, as well as the participation of Hungary in the organization.

Előzmények

Az éghajlatváltozást okozó üvegházhatású gázok kibocsátásának korlátozását célzó Kiotói Jegyzőkönyv (1997) [1] aláírását követően szembesült az Európai Unió azzal, hogy a vállalások megvalósításához szükséges kutatási-megfigyelési infrastruktúra lényegében hiányzik Európából. Az Amerikai Egyesült Államok pár levegő-mintavételi pontja mellett alig néhány in situ üvegházgáz mérőállomás működött Európában. A célnak leginkább megfelelő, nagy területi reprezentativitású magas tornyos mérő-

helyből pedig mindössze kettő volt: egy Hollandiában (Cabauw), közel az Atlanti-óceánhoz, egy pedig Magyarországon (Hegyhátsál), a kontinens közepén. Ezért az ezredfordulótól jelentős összegek áramlottak erre a területre az Európai Unió Kutatási-Fejlesztési Keretprogramjaiból. A támogatott kutatási projektek egy részében (AEROCARB, CHIOTTO, CarboEurope, Carbo-Europe-IP, InGOS, RINGO) Magyarország is részt vett, részben az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszékének, részben az Országos Meteorológiai Szolgálatnak (OMSZ) a vezetésével. A hazai kutatási hozzájárulás bázisa az 1993-ban

létesült hegyhátsági üvegházgáz mérőállomás volt. A kutatási programok eredményei alapján kiderült, hogy az Európai Unió a saját maga által szorgalmazott elvárásoknak sem tud megfelelni, ha nem rendelkezik egy egységes, standardizált, egész Európát lefedő, sűrű mérőhálózattal és egy erre épülő kutatóhálózattal. Így született meg az Integrated Carbon Observation System (ICOS) terve, amelyet 2006 végén támogatólag fogadott be a Kutatási Infrastruktúrák Európai Stratégiai Fóruma (European Strategy Forum on Research Infrastructures – ESFRI). Az előkészítő fázis után az ICOS 2015 októberében kiemelten sikeres ESFRI Landmark projektként vált jogilag Európai Kutatási Infrastruktúra Konzorciummá (Integrated Carbon Observation System European Research Infrastructure Consortium – ICOS ERIC) (*Európai Bizottság*, 2015). Bár az eredeti elnevezés is szűkebb a tényleges tevékenységi körnél, hiszen az ICOS által megfigyelt üvegházhatású gázok körében nem csak szén (carbon) tartalmú nyomanyagok vannak (pl. dinitrogén-oxid [N₂O], kén-hexafluorid [SF₆]), a hivatalos magyar fordítás (*Európai Bizottság*, 2015) még szűkebbre sikerült: Integrált Szén-dioxid-figyelő Rendszer.

Az ICOS célja

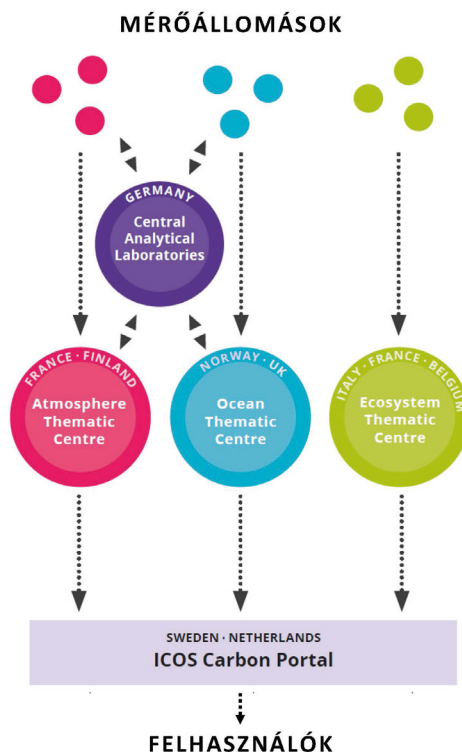
A nemzeti antropogén üvegházgáz kibocsátásokat jelenleg statisztikai adatok alapján számolják. Magyarországon ezt a feladatot a HungaroMet Zrt. Levegőtisztaság-modelllezési és Emissziós Osztály látja el. A tevékenység-statisztikai alapokon nyugvó értékek eltérhetnek a tényleges kibocsátás értékektől, mivel részben nem pontosan ismerjük az egyes tevékenységek fajlagos (egységnyi tevékenységre eső) kibocsátását (emissziófaktor), másrészt az ismeretlen források eleve nem kerülhetnek be a statisztikákba. Az éghajlat változása miatt a természetes források hozama is változik, ami statisztikai módszerekkel nemigen követhető. Az éghajlati hatások pedig nem a számított, hanem a tényleges kibocsátástól, pontosabban annak légkörben maradó részétől függenek. Az Európai Bizottság a kibocsátások mérési alapú meghatározását várja az ICOS-tól, részben a tényleges kibocsátások meghatározása, részben a kibocsátás-csökkentési stratégiák hatékonyságának a lemerése, részben pedig a nemzeti vállalások betartásának ellenőrzése céljából. Mindez az ICOS sűrű, összehangolt, homogén mérőhálózatára építő inverz légköri terjedési modellek alkalmazásával érhető el.

Tudományos oldalról az ICOS célja, hogy egyrészt méréseivel elősegítse az üvegházhatású gázok biogeokémiai körforgalmának pontosabb megértését

a globális éghajlatváltozás ütemének és mértékének pontosabb előrejelezhetősége érdekében, másrészt a légköri üvegházgáz-tartalom folyamatos megfigyelése révén észlelje és riasszon bármilyen, aktuális tudásunkból nem következő, potenciálisan veszélyes változás esetén. Bár riasztás alatt elsősorban a természeti folyamatokkal kapcsolatos átbillenésekre (tipping points) gondoltak az ICOS koncepciójának kidolgozó, de az ICOS mérőhálózat állomásai voltak azok, melyek az ugrásszerűen megnövekedett metánkoncentráció révén észlelték az Északi Áramlat gázvezetékek 2022. szeptember 26-i megrongálását és elsőként adtak ki riasztást a médiának [2].

Az ICOS felépítése

Az ICOS ERIC az Európai Unió csatlakozott országainak és társult államoknak a konzorciuma, mely a tagországok területén elosztott kutatási infrastruktúrát (ICOS Research Infrastructure – ICOS RI), mérőállomásokat és kiszolgáló létesítményeket tart fenn. Központja (ICOS Head Office) Helsinkiben, Finnországban van. A kutatási infrastruktúra három fő részre tagolódik: a légköri és az óceán mérésekkel foglalkozó, illetve az ökológiai rendszerek éghajlatilag releváns folyamataival foglalkozó mérőhálózatra (*1. ábra*).

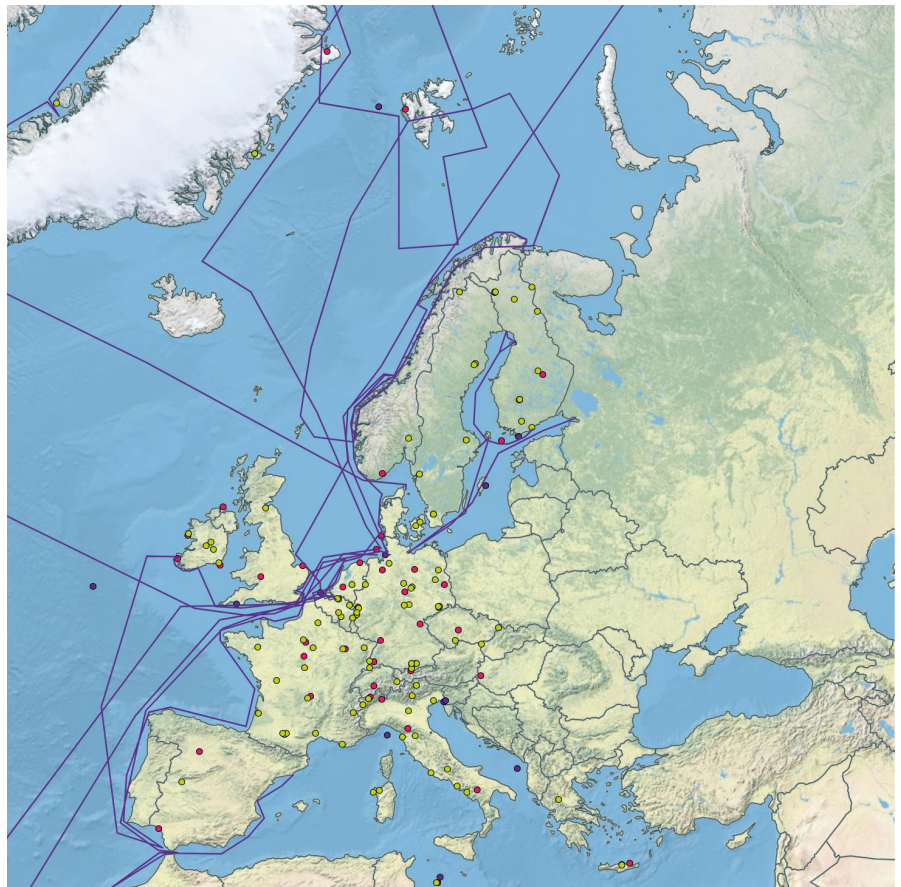


1. ábra. Az ICOS felépítése.

Mindegyikhez tartozik egy módszertani központ (Thematic Centre), amely az adott mérőhálózat munkájának koordinálását, a módszertani fejlesztéseket, a mérési adatok begyűjtését és ellenőrzését végzi. A mérőállomásokat központi analitikai laborok (Central Analytical Laboratories) segítik laboratóriumi mérésekkel, illetve a mérőállomásokon használt kalibráló standardok előállításával. A módszertani központokból a minőségellenőrzött adatok a Carbon Portálnak nevezett adatközpontba kerülnek (ICOS Carbon Portal – ICOS CP). A Carbon Portal az adatokat különböző feldolgozott-sági formákban, különböző produktumokként hozzáférhetővé teszi a kutatók, a döntéshozók, illetve a média és más érdeklődők számára. Az egyes mérőállomások létrehozása és fenntartása a területileg érintett tagország feladata, míg a különböző központokat az egyes tagországokra leosztott hozzájárulási kötelezettségekből, de döntő részben a központoknak helyet adó tagországok közvetlen felajánlásaiból fedezik.

A kibocsátás területi eloszlásának, a nemzeti kibocsátásoknak a meghatározása nagymértékben az egyes mérőállomások közötti koncentráció-különbségen és annak időbeni változásán alapul. Ezért a mérőállomások mérési skáláit nagyon pontosan össze kell hangolni, a mérések magas minőségét folyamatosan fenn kell tartani annak érdekében, hogy az egyes állomások mérési skálájának elcsúszása ne generálhasson a valóságban nem létező, virtuális forrásokat és nyelőket a modellekben. Az egységes mérési skála érdekében a kalibrációs standardokat valamennyi mérőállomás számára az ICOS Központi Analitikai Laboratóriuma biztosítja. Az ICOS-ba belépni szándékozó mérőállomásoknak és műszerparkjuknak szigorú minőségellenőrzési folyamaton is át kell esniük, a tesztek pedig megadott időközönként meg kell ismételnük. Jogi okokból a minősítési eljárást

nem akkreditációnak, hanem „címkézésnek” (labeling) nevezik [3]. Az eljárás sikeres lefolytatása után a mérőállomás az ICOS ERIC Közgyűlésének jóváhagyásával kapja meg az ICOS „címkét”, ezzel válik elismert ICOS mérőállomássá. A minimálisan kötelező mérési programot teljesítő állomások a Class 2, míg a bővített mérési programot végrehajtók a Class 1 besorolást kapják. Az ICOS ökológiai mérőhálózatba indokolt esetben bekerülhetnek olyan „társult” (associated) mérőállomások is, melyek valamilyen paraméterükben nem felelnek meg a minimum előírásoknak, de méréseik kiemelten fontosak. A fenntartóknak legalább öt évre garantálniuk kell az állomások folyamatos működését ahhoz, hogy csatlakozhassanak az ICOS mérőhálózathoz. A természetes légköri változékonyság miatt ennél rövidebb időszakból érdemi következtetéseket nemigen lehetne levonni. Ténylegesen még hosszabb idejű stabil működésre lenne szükség, de hosszabb időtávra már egyetlen döntéshozó sem merne ígéretet tenni.



2. ábra. Az ICOS mérőhálózata 2024 közepén (piros – légköri mérőállomás, sárga – ökológiai mérőállomás; kék – óceáni mérőállomás/mérési útvonal).

Az ICOS konzorciumot jelenleg 16 ország alkotja. A 8 alapítóhoz (Belgium, Franciaország, Finnország, Hollandia, Németország, Norvégia, Olaszország, Svédország) egy éven belül csatlakozott Csehország, Dánia, az Egyesült Királyság és Svájc. Spanyolország és Magyarország 2022. évi belépése óta még Görögország és Írország csatlakozott. Az ICOS mérőhálózatot 2024. közepén 47 léggöri, 103 ökológiai és 29 óceáni mérőállomás alkotta (2. ábra). Az ICOS tevékenységéről, az egyes tagországokban folyó munkákról az érdeklődő az ICOS honlapján kívül [4] az ICOS Handbook-ból tájékozódhat [5]. A részben a döntéshozóknak, részben a médiának szánt tudományos anyagok az évenkénti FLUXES Bulletinekben jelennek meg [6].

Magyarország közreműködése

A magyar csatlakozási szándék szakmai szinten már 2009-ben, az ICOS előkészítő fázisa idején megjelent, a csatlakozáshoz azonban sem az erőforrások, sem a politikai akarat nem volt meg. Így Magyarország nem került az ICOS alapító tagjai közé, és így itt egyetlen ICOS központi szervezet sem települt le. Már ekkor világosan látszott, hogy belátható időn belül csak a magas minőségi szintet garantáló ICOS mérőállomások lesznek nemzetközileg elfogadottak, a bizonyára kétes minőségük miatt kimaradó egyéb mérő-



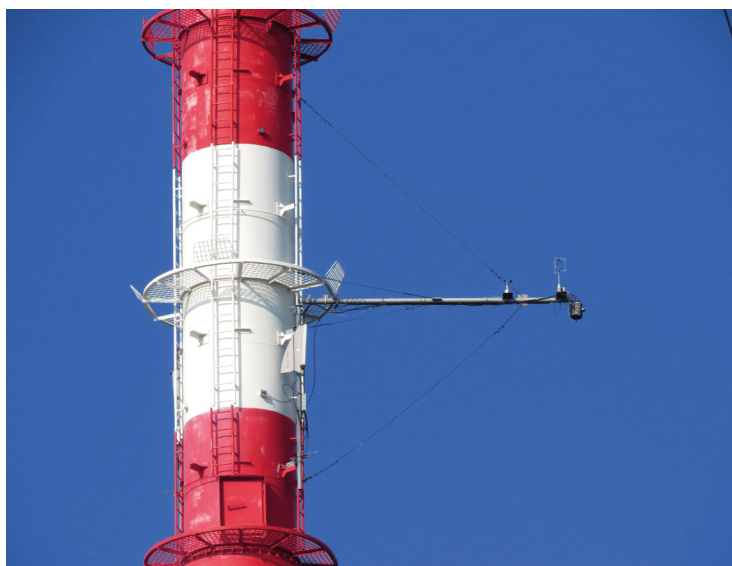
1. fénykép. Az Antenna Hungária Zrt. hegyhátsági adótornya, mely a magyarországi üvegházgáz mérések bázisaként szolgál.

helyek adatai iránt pedig megszűnik az igény. A nem hasznosuló mérések fenntartása pénzügyileg nem lesz védhető, mérési háttér nélkül pedig a hazai szakmai tudás rövid időn belül elsorvad ezen a globális éghajlatváltozás miatti kulcsterületen. A hazai éghajlatvédelmi stratégiák szakmai megalapozásához és a nemzetközi kezdeményezések megfelelő értékeléséhez azonban ez a tudás nélkülözhetetlen.



2. fénykép. Meteorológiai érzékelők és levegőbeszívó csövek 115 m magasban.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat 2016-ban, az ICOS ERIC megalakulását követően kezdeményezte újra az ICOS-hoz való csatlakozást, hivatkozva a közel ICOS kompatibilis hegyhátsági magastornyos üvegházgáz mérőállomásának (Haszpra, 2018) a meglétére (1. fénykép). Többszöri próbálkozással ugyan sikerült elvi kormányzati támogatást elérni, a pénzügyi feltételek hiánya miatt azonban a csatlakozási eljárás újra és újra elakadt. 2020-ban a személyi és pénzügyi feltételek zsugorodása miatt az OMSZ feladta a hegyhátsági mérőállomást. A világviszonylatban is kiemelkedően hosszú homogén adatsorral rendelkező, nemzetközileg is széles körben használt mérőállomás fenntartását az állomáson már korábban is méréseket



3. fénykép. Mérőkonzol 82 m magasban a tornyon.



4. fénykép. A felújított műszerszoba (Molnár Mihály felvétele).



5. fénykép. Szén-dioxid / metán mérések az ICOS számára. Jobbra háttérben a régi, balra az új gázút-vezérlő és áramlásmérő rendszer.

végző Atommagkutató Intézet (ATOMKI) vállalta magára 2020. szeptember 1-től.

A mérőállomás átvételét követően már az ATOMKI lobbizott az ICOS-hoz való csatlakozás érdekében. Az újabb kezdeményezés ezúttal sikerre vezetett, és Magyarország nevében a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal egy magyarországi léghő mérőállomást (Hegyhátsál) felajánlva 2021 májusában benyújtotta az ország csatlakozási kérelmét az ICOS Konzorciumnak. A Konzorcium a Közgyűlés döntése nyomán 2022. január 1-jével fogadta tagjai közé Magyarországot. Ezt követően megkezdődhetett a közel 30 éves, az idők során mind küllemében, mind

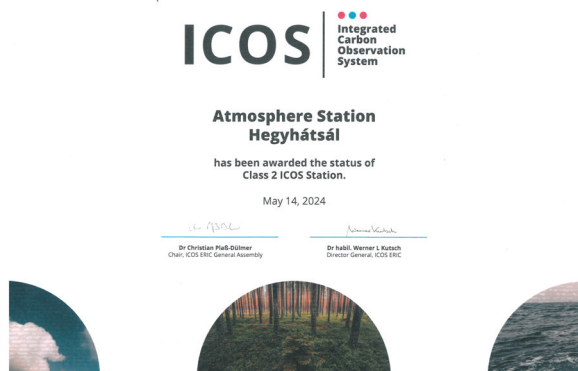
műszerezettségében erősen megkopott mérőállomás ICOS előírásoknak (ICOS RI, 2020) megfelelő felújítása. A jelentős összeget felemésztő felújítás során korszerű eszközök, meteorológiai érzékelők léptek a régiék helyére, új gázkezelő-rendszer épült, mintegy másfél kilométernyi levegőbeszívó cső és fél kilométernyi kábel került lecserélésre a 117 m magas toronyban (2-5. fénykép). Kiépült a mérőállomás új adatgyűjtő rendszere, amely már nagysebességű üvegszál kábelen csatlakozik a külvilághoz. A mérőállomás belső felújítását, beleértve a festési-burkolási munkákat is, az ATOMKI kutatói maguk végezték (6. fénykép), míg az új mérőkonzolok tervezését, kivitelezését és a meteorológiai eszközök telepítését Grób Zoltán vezetésével a MetTech Bt. végezte.

A COVID-19 világiárvány okozta beszerzési nehézségek miatt a felújítás közel másfél évet vett igénybe, mely után, 2023 nyarán megkezdődhetett az állomás ICOS minősítési eljárása. A bő fél éves tesztidőszak alatt megtörtént az adattovábbító rendszer finomhangolása, mely lehetővé teszi, hogy a terjedési modelleket fejlesztő-használó szakemberek legfeljebb 24 órás késéssel hozzáférjenek az állomáson mért összes adathoz. 2024 tavaszán az ICOS Léghő Műszertani Központja (Atmospheric Thematic Centre) elkészítette a hegyhátsáli állomás „címkézési” folyamatának jegyzőkönyvét, melyben rögzítette, hogy az állomás teljesíti az ICOS Class 2 léghő mérőállomásokkal szemben támasztott követelményeket. Ennek a jegyzőkönyvnek az alapján az ICOS ERIC Közgyűlése 2024. május 14-én a hegyhátsáli magas tornyos üveg-háztáv mérőállomást Class 2 kategóriájú ICOS léghő mérőállomássá minősítette [7] (3. ábra).

Számos országban a mérőállomások különböző



6. fénykép. Az állomás felújítását végzők (balról jobbra: Bán Sándor, Molnár Mihály, a szerző, Baráth Balázs Áron, Varga Tamás).



3. ábra. A hegyhátsági mérőállomás minősítési oklevela.

intézmények kezelésében vannak és szakmailag szerteágazó mérések is több intézmény együttműködését igényelhetik. A legtöbb országban az ICOS tevékenység összehangolására nemzeti ICOS konzorciumokat hoztak létre. Az ICOS központok ezeken keresztül könnyebben tudnak kapcsolatot tartani az infrastruktúra nemzeti elemeivel, de az infrastruktúra működtetői is hatékonyabban tudnak a fenntartóikkal, anyagi támogatóikkal, adataik felhasználóival tárgyalni, ha egységesen lépnek fel. Bár Magyarország egyelőre csupán egyetlen mérőállomással és viszonylag szűk mérési programmal vesz részt az ICOS munkájában, a potenciális jövőbeni fejlesztésekre tekintettel a 2022 nyarán az ATOMKI koordinációjával megalakított ICOS-Hungary Konzorciumnak öt tagja van: a HUN-REN Atommagkutató Intézet (ATOMKI), a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem (MATE), a HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet (FI), az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) és a HungaroMet Zrt.. A konzorcium nyitott további csatlakozók előtt is. Az ATOMKI a hegyhátsági ICOS méréseket végzi. A MATE több olyan ökológiai mérőállomást is fenntart, melyek a jövőben csatlakozhatnak az ICOS ökológiai mérőhálózatához (Pintér *et al.*, 2007; Balogh *et al.*, 2022). Az ELTE és az FI a Hegyhátsálon végzett felszín-légkör anyagáram mérésekkel (Barcza *et al.*, 2012, 2020; Haszpra *et al.*, 2018) kapcsolódhat be, míg a HungaroMet Zrt. a magastornyos meteorológiai mérések, szélprofil mérések potenciális hasznosítója.



Irodalomjegyzék

- Balogh, J., Pintér, K., Fóti, S., De Luca, G., Mészáros, Á., Bouteldja, M., Insaf, M., Gajda, G., and Nagy, Z., 2022: Szántóföldi szénmérleg egy közép-magyarországi mintaterületen. *Agrokémia és Talajtan* 71, 273–288. <https://doi.org/10.1556/0088.2022.00125>
- Barcza, Z., Kern, A., Davis, K. J., and Haszpra, L., 2020: Analysis of the 21-years long carbon dioxide flux dataset from a Central European tall tower site. *Agricult. Forest Meteorol.* 290, 108027. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108027>
- Barcza, Z., Haszpra, L., Hidy, D., Gelybó, Gy., és Dobor, L., 2012: A légkör és a bioszféra közötti szén-dioxid cseré vizsgálata. *Légkör* 57, 147–149.
- Európai Bizottság, 2015: A Bizottság (EU) 2015/2097 végrehajtási határozata (2015. október 26.) az „Integrált Szén-dioxid-figyelő Rendszer” európai kutatási infrastruktúra-konzorcium (ICOS ERIC) létrehozásáról. *Az Európai Unió Hivatalos Lapja* 58, L303, 19–34. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2015:303:FULL>
- Haszpra L., 2018: 25 éves a hegyhátsági üvegházgáz mérőállomás. *Légkör* 63, 100–101.
- Haszpra, L., Hidy, D., Taligás, T., and Barcza, Z., 2018: First results of tall tower based nitrous oxide flux monitoring over an agricultural region in Central Europe. *Atmos. Environ.* 176, 240–251. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.12.035>
- ICOS RI, 2020: ICOS Atmosphere Station Specifications V2.0 (editor: O. Laurent), ICOS ERIC. <https://doi.org/10.18160/GK28-2188>
- Pintér, K., Nagy, Z., Barcza, Z., Balogh, J., Czóbel, S., Fóti, S., Weidinger, T., és Tuba, Z., 2007: Az ökoszisztéma-léptékű fotoszintetikus CO₂-asszimiláció és légzés sajátosságai a mérsékelt övi gyepekben, *Magyar Tudomány* 168, 1280–1287.

Internetes hivatkozások

- [1] <https://unfccc.int/sites/default/files/kpeng.pdf>
- [2] <https://www.icos-cp.eu/event/1221>
- [3] <https://meta.icos-cp.eu/labeling/>
- [4] <https://www.icos-cp.eu/>
- [5] <https://www.icos-cp.eu/news-and-events/news/icos-handbook-2024-published>
- [6] <https://www.icos-cp.eu/fluxes>
- [7] <https://www.icos-cp.eu/news-and-events/news/four-more-observation-stations-receive-icos-label>



A felhőborítottság változásának vizsgálata az ERA5 reanalízis adatbázis alapján

Soós Virág, Breuer Hajnalka

Eötvös Loránd Tudományegyetem, TTK FFI Meteorológiai Tanszék, soosvirag@student.elte.hu

DOI: 10.56474/légkor.2024.3.5

Az éghajlatváltozás életünk központi témájává vált, mivel hatásai világszerte egyre érezhetőbbek. Ebben a vizsgálatban arra összpontosítottunk, hogy a felhőborítottság változása milyen összefüggéseket mutat a változó éghajlati rendszerrel, valamint az időjárással. A kutatásunk célja az 1983–2022 közötti időszak felhőborítottság-változását elemezni, a közép-európai térségre fókuszálva, felhasználva az ERA5 reanalízis adatbázis adatait. Az analízis során statisztikai elemzéseket végeztünk, a regionális eltérésekre és az évszakos ingadozásokra fókuszálva. Az eredményeket a HuClim adatbázisban található globálsugárzás értékeivel is összehasonlítottuk. Az eredmények alapján megfigyelhető, hogy a felhőborítottság átlagosan csökken. A területi változásokat elemezve azonban megállapítottuk, hogy vannak olyan területek, ahol a felhőzet aránya növekszik a nagytérségi mozgásrendszerek változásának hatása miatt.

Analysis of changes in cloud cover based on the ERA5 reanalysis database

Climate change has become a central issue in our lives as its effects are increasingly felt around the world. In this study, we focused on how changes in cloud cover are related to the changing climate system and weather. Our research aims to analyse changes in cloud cover focusing on the Central European region over the period 1983–2022 using data from the ERA5 reanalysis database. Statistical analyses were performed focusing on regional and seasonal variations. The results were also compared with global irradiance values from the HuClim database. The results show that on average the cloud cover is decreasing. However, when analysing the spatial variations, we found that there are areas where the proportion of cloud cover is increasing due to the influence of changing large-scale motion systems.

Bevezetés és célkitűzés

A felhőzet fontos szerepet játszik a Föld sugárzási egyenlegében. Ha a felhőborítottság csökken, több rövidhullámú sugárzás érkezik a felszínre, ugyanakkor

a földfelszín által kisugárzott hosszuhullámú sugárzásból nagyobb arány távozik a világűr felé (Szabó-Takkáts, 2012). Az éghajlatváltozás egyik fontos hatása lehet a jövőben, hogy az óceánok és a légkör melegedése miatt intenzívebbé válik a párolgás, emiatt

több nedvesség kerül a légkörbe, ugyanakkor a magasabb hőmérséklet miatt a légtömegek csak magasabb hőmérsékleten válnak telítetté, így a felhőképződéshez szükséges kondenzációs folyamatok is csak magasabb hőmérséklet mellett mennek végbe (*Mendoza et al.*, 2021), amely az alacsonyszintű felhőzet csökkenését okozhatja. Az üvegházhatású gázok hatásainak vizsgálata mellett egyre inkább előtérbe kerül a légkörben található aeroszol-részecskék jelenlétének és hatásainak tanulmányozása. Az aeroszol-részecskék is befolyásolják a Föld–légkör rendszer sugárzási egyenlegét. Közvetett hatásuk révén az aeroszol-részecskék befolyásolják a felhőképződésben résztvevő vízcseppek és jégkristályok számát és méretét, módosítva ezzel a felhők albedóját és a csapadéképződés hatékonyságát. A koromrészecskék a Nap sugárzását elnyelve és az elnyelt energiát kisugározva megnövelik a levegő hőmérsékletét azokon a területeken, ahol jelen vannak. Ez a folyamat hozzájárul a légkör felmelegedéséhez és a konvekció, valamint a felhők kialakulásának csökkenéséhez. A felhőkben található korom által elnyelt hő miatt a felhőcseppek elpárolognak, ami a felhőborítottság csökkenéséhez vezet (*Szabó-Takáts*, 2012). Az IPCC 2021-es jelentése szerint nő a tropopauza magassága és a labilitás a légkörben, aminek következménye, hogy ritkábban alakul ki az alacsonyszintű rétegfelhőzet (IPCC, 2021). Emellett a felhőzet az időjárás rövidtávú alakulásában is fontos szerepet játszik, nappal csökkenti a maximum-hőmérsékletet, éjjel viszont mérsékeli a kisugárzás miatt bekövetkező lehűlést, így a felhőborítottságban bekövetkező változások hatásával lehetnek a hőmérséklet alakulására is (*Magos*, 2017). Az éghajlatváltozás hatására megfigyelhetjük az időjárási jelenségek évszakos eltolódását is. Megfigyelhető például, hogy a melegedő éghajlat miatt az őszi időszakban ritkábban alakul ki kisugárzási köd, ami az alacsonyszintű felhőborítottság klimatológiai skálájú vizsgálatakor is kimutatható (*Vautard et al.*, 2009). Továbbá az is gyakran felismerhető, hogy a nagyterületi mozgásrendszerek – ciklonok, anticiklonok, frontok – módosulásai állnak a felhőborítottság változásának hátterében (*Sfīcā et al.*, 2021).

A kutatásunk célja, hogy feltérképezzük és elemezzük a felhőborítottság változását az elmúlt négy évtizedben (1983–2022) Közép-Európa térségében, felhasználva az ERA5 (ECMWF ReAnalysis Version 5) ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) modellen alapuló reanalízis adatbázis adatait, különös figyelmet fordítva a regionális eltérésekre és az évszakos ingadozásra.

Felhasznált adatok és módszerek

A kutatás során az ERA5 modell reanalízis adatbázis adatait használtuk az 1983 és 2022 közötti időszakra vonatkozóan Közép-Európa térségére (é.sz. 40°–55°, k.h. 5°–30°). Az alacsony-, a közép-, és a magasszintű felhőborítottság, valamint a tengersizintre számított légnyomás és az 500, 800, valamint 925 hPa nyomási szintű szél u- és v-komponenseinek értékeit dolgoztuk fel.

Az ERA5 a Copernicus Climate Change Service által összeállított, az ECMWF modellen alapuló reanalízis adatbázis, amely óránkénti globális légköri és felszíni adatokat tartalmaz 1940-től napjainkig, amit folyamatosan bővítenek, hogy naprakész legyen az adatbázis. Az adatok 0,25° térbeli rácshálójával fedik le a felszínt és 80 km-es magasságig 137 szinten állnak rendelkezésre (*Hersbach et al.*, 2020). Az adatbázisból az egyes órákra havonta átlagolt értékeket töltöttük le.

Az ERA5 adatbázis, az ECMWF modellhez hasonlóan, a felhőborítottságot prognosztikai egyenletekkel jelzi előre a vízgőz és a jégkristályok keverési arányából. A felhőzet forrásai a konvekcióból, a rétegfelhők esetében a határreteg turbulenciájából, a nagyterületű felemelkedésből és az adiabatikus lehűlésből származnak. A disszipációs feltételeket a süllyedő mozgások miatti párolgási folyamatok határozzák meg (*Jacob et al.*, 1999).

A különböző paramétereket az alábbiak alapján definiálja az adatbázis ERA5 dokumentáció [1]:

- az alacsonyszintű felhőborítottság a felszíni nyomás 0,8-szorosánál nagyobb nyomású modellszinteken előforduló felhőzet;
- a középszintű felhőborítottság a felszíni nyomás 0,45 és 0,8-szorosa közötti nyomású modellszinteken előforduló felhőzet;
- a magasszintű felhőborítottság a felszíni nyomás 0,45-szörösénél kisebb nyomású modellszinteken előforduló felhőzetet.

Az ERA5 adatbázisból számított eredményeket összevetettük az HungaroMet Nonprofit Zrt. HuClim adatbázisában található globálsugárzási értékekkel is. Ez a Magyarország területét lefedő rácsponti adatsor a HungaroMet 37 mérőállomásának adataiból készül. Az adatsorokat a MASH (Multiple Analysis of Series for Homogenization) homogenizáló módszerrel ellenőrzik, homogenizálják és pótolják, majd az így kapott, hiányoktól és inhomogenitásoktól mentes, ellenőrzött adatsorokat a MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis) interpolációs módszerrel interpolálják [2].

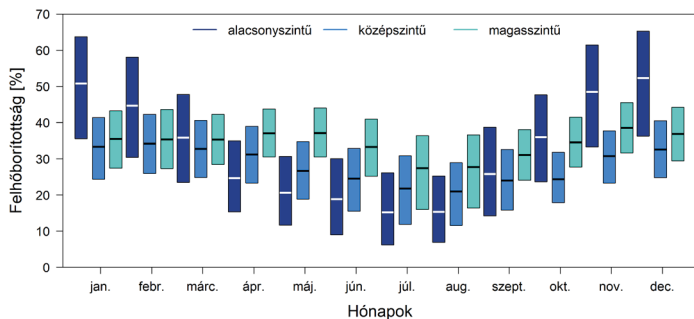
A vizsgálat során különböző statisztikai elemzéseket végeztünk R programozási környezetben az éves és szezonális változások bemutatására.

Vizsgáltuk a felhőborítottság éves és napi menetét időseleteres mozgóátlag-vizsgálattal, végeztünk évenkénti átlagolásokat, havi és napi vonatkozásban, az éves eltérések vizsgálatához.

A változások mértékének vizsgálatához lineáris regressziót alkalmaztunk szignifikancia vizsgálattal összekötve, ami alapján tendencia térképet készítettünk. A lineáris regressziót 5 éves mozgóátlagokból számoltuk az R programozási nyelvbe beépített függvény segítségével.

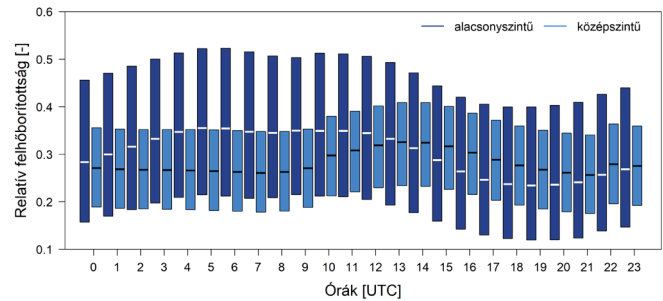
Eredmények

A kutatást általános statisztikai vizsgálatokkal kezdtük az ERA5 reanalízis adatbázis adatait felhasználva. Az első ábrán a felhőborítottság éves menete látható interkvartilis távolság és mediánértékekkel megjelenítve az 1983–2022 közti időszakban a közép-európai térségre. Az alacsonyszintű felhőborítottságot vizsgálva a téli hónapokban jelentkezik egy maximum érték, amely a köd és a hideg légpárna gyakori jelenlétére utal, míg nyáron megfigyelhető egy minimum érték, ami a magasabb hőmérséklettel, az alacsonyabb páratartalommal és térségünkben az anticiklonok dominánsabb jelenlétével állítható párhuzamba, ugyanis magasabb hőmérsékletű szárazabb levegő esetében magasabb szinten (akár 2 km felett) történik meg a kondenzáció (1. ábra).



1. ábra. A felhőborítottság éves menete a vizsgált területen az 1983-2022 időszakban az ERA5 reanalízis adatbázis alapján.

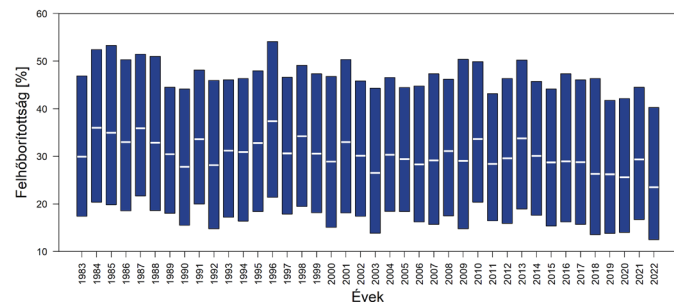
A 2. ábrán a felhőborítottság napi menetét ábrázoltuk ismételten az interkvartilis távolság és a mediánértékek segítségével. Az alacsonyszintű felhőborítottságnak a délelőtti órákban tapasztalható a maximuma, és az esti órákban a minimuma. A reggeli maximum a vizsgált terület tengerfelszínei és hegyvidékei felett kialakuló felhőzet eredménye, a déli maximum a besugárzás maximumához kapcsolódó felhőképződés. A középszintű felhőborítottság menete kevésbé látványos, de a délutáni órákban itt is megfigyelhetünk egy



2. ábra. A felhőborítottság napi menete a vizsgált területen az 1983-2022 időszakban az ERA5 reanalízis adatbázis alapján.

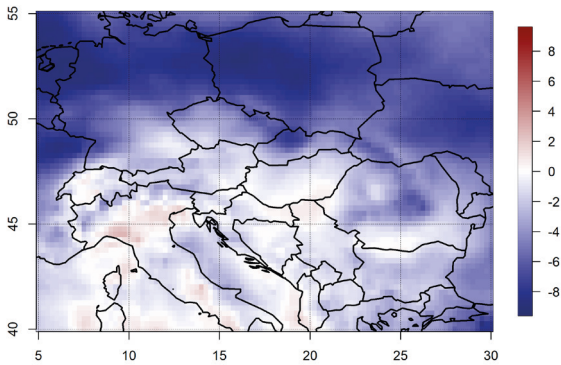
maximumot. Ez a nyári zivatarképződéssel hozható párhuzamba, melyek gyakran jellemzőek a kora délutáni órákra, amikor a felszíni felmelegedés hatására a déli sugárzásmaximumot követően alakulnak ki záporok, zivatarok. A középszintű felhőborítottság továbbá többnyire a frontátvonuláshoz és a meleg advekciónak köthető, amelyeknek nincs napi menete, ezért kevésbé látványos a napon belüli változékonyság.

Az alacsony szinten előforduló felhőborítottság éves változékonyságában (3. ábra) megfigyelhető egy csökkenő tendencia, melynek magyarázata a szakirodalom szerint összetett (Szabó-Takáts, 2012; Mendoza et al., 2021; Sfică et al., 2021), de a változásban szerepe lehet a nagytérségi mozgásrendszerek megváltozásának, a hőmérséklet növekedésének, valamint a légszennyezettség módosulásának is.

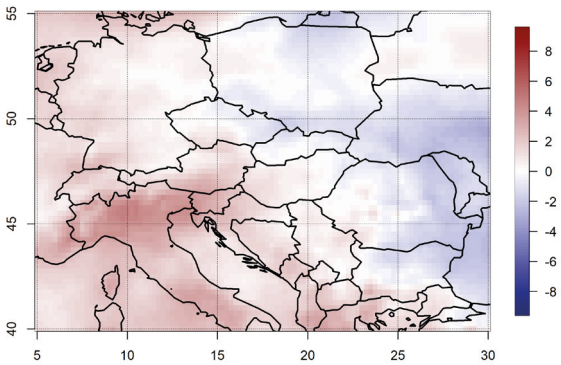


3. ábra. Az alacsonyszintű felhőzet borítottságának évenkénti változékonysága a vizsgált területen az 1983-2022 időszakban az ERA5 reanalízis adatbázis alapján.

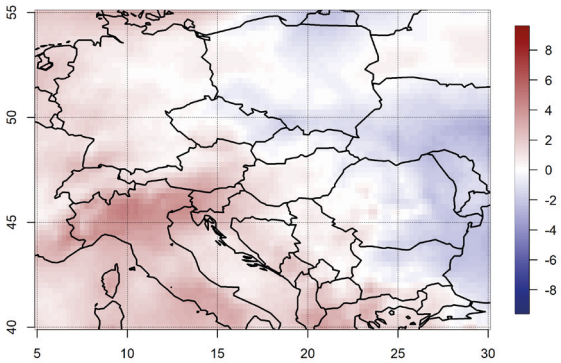
Az alacsonyszintű felhőborítottság változásának területi eloszlásában (4. ábra) a vizsgált terület északi részén, Németország és Lengyelország területén, egy intenzívebb, akár 10%-os csökkenést láthatunk. A déli területekre 1–2%-os csökkenés és növekedés jellemző, melyek vegyesen oszlanak el a térségben. A csökkenés lehetséges oka, hogy a melegebb éghajlat hatására intenzívebbé váló párolgás miatt több nedvesség jut a légkörbe, ugyanakkor a légtömegek magasabb



4. ábra. Az alacsony szintű felhőzet borítottságának trendje [%/40 év] az 1983–2022 időszakban az ERA5 reanalízis adatbázis alapján.



5. ábra. A középszintű felhőzet borítottságának trendje [%/40 év] az 1983–2022 időszakban az ERA5 reanalízis adatbázis alapján.



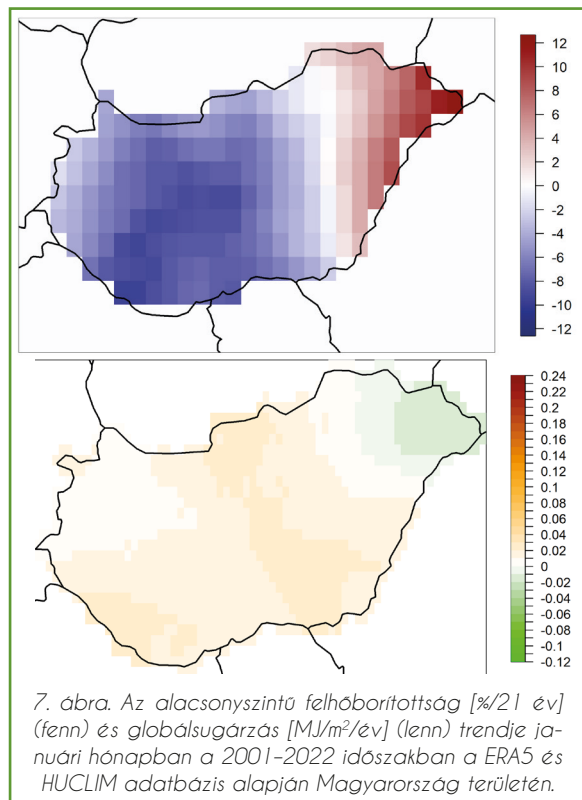
6. ábra. A magas szintű felhőzet borítottságának trendje [%/40 év] az 1983–2022 időszakban az ERA5 reanalízis adatbázis alapján.

hőmérsékleten válnak telítetté, így a felhőképződés magasabb szinten fog bekövetkezni, amely az alacsony szintű felhőborítottság csökkenését okozhatja.

A középszintű felhőzet borítottságának trendjében (5. ábra) a vizsgált terület nyugatra eső részén növekedést tapasztalhatunk, aminek maximuma az Alpokban

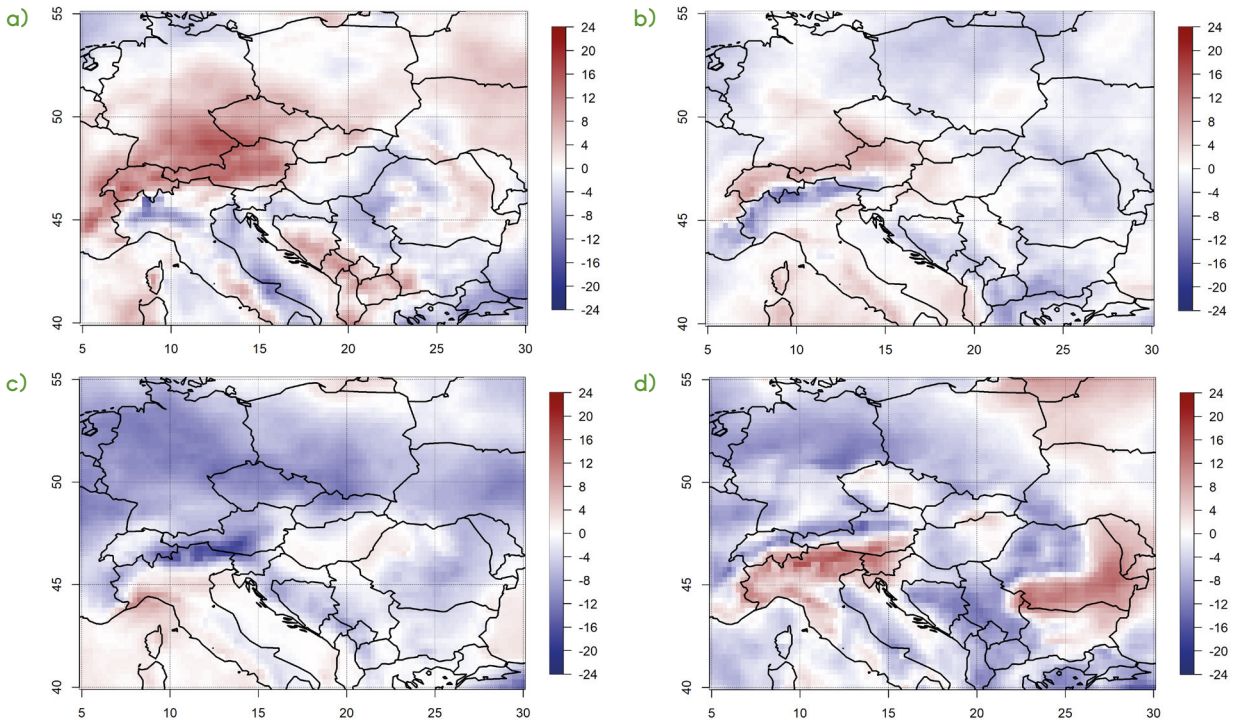
található 5% körül, keletre eső felén csökkenést láthatunk 1–3 százalékos tartományban. A magasszintű felhőborítottság alakulása (6. ábra) is hasonló mintázatot ad, azonban itt kisebb területre jellemző a csökkenés. Ennek magyarázata nagytérségi folyamatok változásához köthető. Több tanulmány megerősíti, hogy a Földközi-tenger felől érkező ciklonok száma növekszik, ami magyarázza a kapott eredményt (Nowosad, 2017; Bartoszek, 2017; Sfică et al., 2021).

Az eredményeket összevetettük a HuClim adatbázisban található globálsugárzás paraméter változásával is a 2001 és 2022 közti időszakra Magyarország területére. A globálsugárzást összevetve az alacsony szintű felhőborítottsággal sok esetben találhatunk hasonlóságokat. A 7. ábra jó példa erre, ami a januári alacsony szintű felhőborítottság és a globálsugárzás változását mutatja. Egyértelműen látszik a kapcsolat: januárban a keleti országrészben az alacsony szintű felhőborítottság növekedése együtt jár a globálsugárzás csökkenésével, míg az ország többi részén éppen ellentétes előjelű tendencia figyelhető meg.



7. ábra. Az alacsony szintű felhőborítottság [%/21 év] (fenn) és globálsugárzás [MJ/m²/év] (lenn) trendje januári hónapban a 2001–2022 időszakban a ERA5 és HUCLIM adatbázis alapján Magyarország területén.

A havi átlagos alacsony szintű felhőzet borítottságának tendenciáját vizsgálva egy érdekes jelenséggel találkoztunk az Alpok és más hegységek vonulata mentén, amit a 8. ábra mutat be. Januárban megfigyelhető,

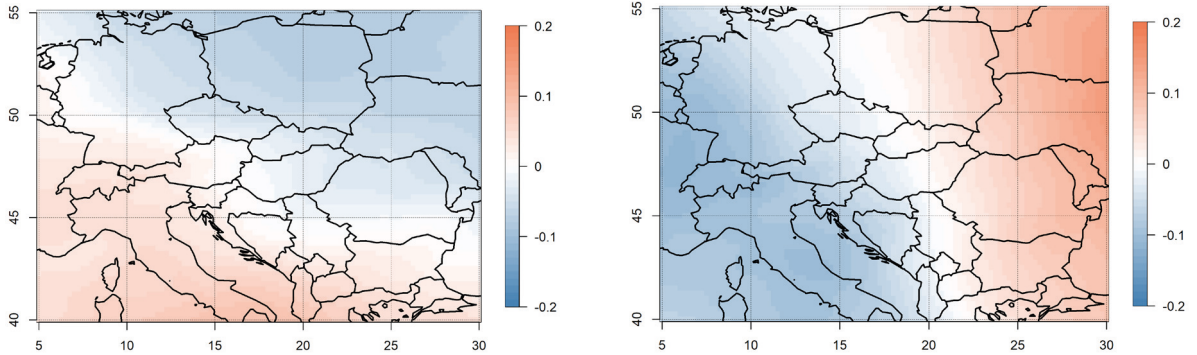


8. ábra. Alacsonyszintű felhőzet boritottságának trendje [%/40 év] januári (a), májusi (b), júliusi (c), novemberi (d) hónapban az 1983-2022 időszakban az ERA5 adatbázis alapján Közép-Európa területén.

hogy az Alpok területén növekvő a felhőborítottság tendenciája, míg az Alpoktól közvetlen délre csökkenő tendenciát láthatunk. Az májusban is felfedezhető, hogy az Alpok északi részén növekvő tendencia van, míg a déli részen csökkenő. Júliusban fordul a helyzet, és a januári eredmény tükörképét kapjuk: az Alpok területén csökkenő tendencia jellemző, közvetlen délre pedig növekvő. A november a május tükörképét hozza, melynek értelmében az Alpok északi részén a felhőborítottság csökken, míg a déli részén növekszik. Novemberben a Kárpátok területén is megfigyelhető ez a jelenség, délkeleti oldalon a felhőborítottság növekszik, északnyugati oldalon pedig

csökken. A Dinári-hegységben a növekedési tendencia a mediterrán ciklonok számának változásához köthető (Horváth et al., 2008). A hegységekhez kapcsolódó felhőképződés változása a nagyterületi áramlási viszonyok változásával magyarázható. A májusban és novemberben egyértelműen az Alpok hegygerince a választóvonal a csökkenő és a növekvő tendencia között.

Ennek alátámasztásaként megvizsgáltuk az 500 hPa-os magassági szinten a szélmező alakulását. A januári 500 hPa nyomási szint u és v szélkomponensének trendje látható a 9. ábrán. A v komponens vizsgálva a terület nyugati részén láthatunk csökkenést, ami az északias áramlások gyakoriságának vagy intenzitásának



9. ábra. 500 hPa nyomási szintű szélmező januári u (bal) és v (jobb) komponensének trendje [m/s/év] az 1983-2022 időszakban az ERA5 adatbázis alapján Közép-Európa területén.

erősödését jelenti. Ha itt északi az áramlás, a domborzat hatására az északi oldalon fog gyakoribbá válni a felhőképződés, mint azt korábban láthattuk is. Habár a havi átlagos szélmező változásaiból nehezebb következtetéseket levonni, az u és v mező trendjéből arra lehet következtetni, hogy a januári időszakban a poláris jet helyzetében – vagy egyes jet helyzetek gyakoriságában – változás történt, a jet délebben helyezkedik el. E hipotézist ERA5 (és más reanalízis) adatsoron alapuló munkák is alátámasztják, miszerint a téli időszakban a jet délebbre húzódott (pl. *Simmons, 2022; García-Burgos et al., 2023*), amelynek hátterében a téli poláris jet növekvő amplitúdója is szerepet játszhat (*Martin, 2021*).

Összefoglalás

Az eredmények alapján megfigyelhető, hogy általában az alacsonyszintű felhőborítottság tendenciája csökkenő, mely a globális felmelegedéssel és az aeroszol részecskék koncentrációjának megváltozásával állhat párhuzamban. A közép- és magasszintű felhőborítottság változásának hátterében a nagytérségi mozgásrendszerek megváltozása állhat. Ha a területi változásokat elemezzük, megállapíthatjuk, hogy vannak olyan területek, ahol a felhőborítottság változására hatással lehetnek az orografikus kényszerek vagy a nagytérségi mozgásrendszerek irodalomban leírt változásai. Továbbá a felhőborítottság változása több, az éghajlatváltozás következtében változó tényezővel is kapcsolatban áll, ilyen például a hőmérséklet és a légköri nedvességi viszonyok változásai, valamint az aeroszol részecskék koncentrációjának megváltozása. A jövőben szeretnénk a kutatást ezek mentén, a nagytérségi mozgásrendszerek vizsgálatával folytatni, hogy még átfogóbb képet kapjunk a felhőborítottság, valamint más időjárási és éghajlati tényezők kapcsolatáról.

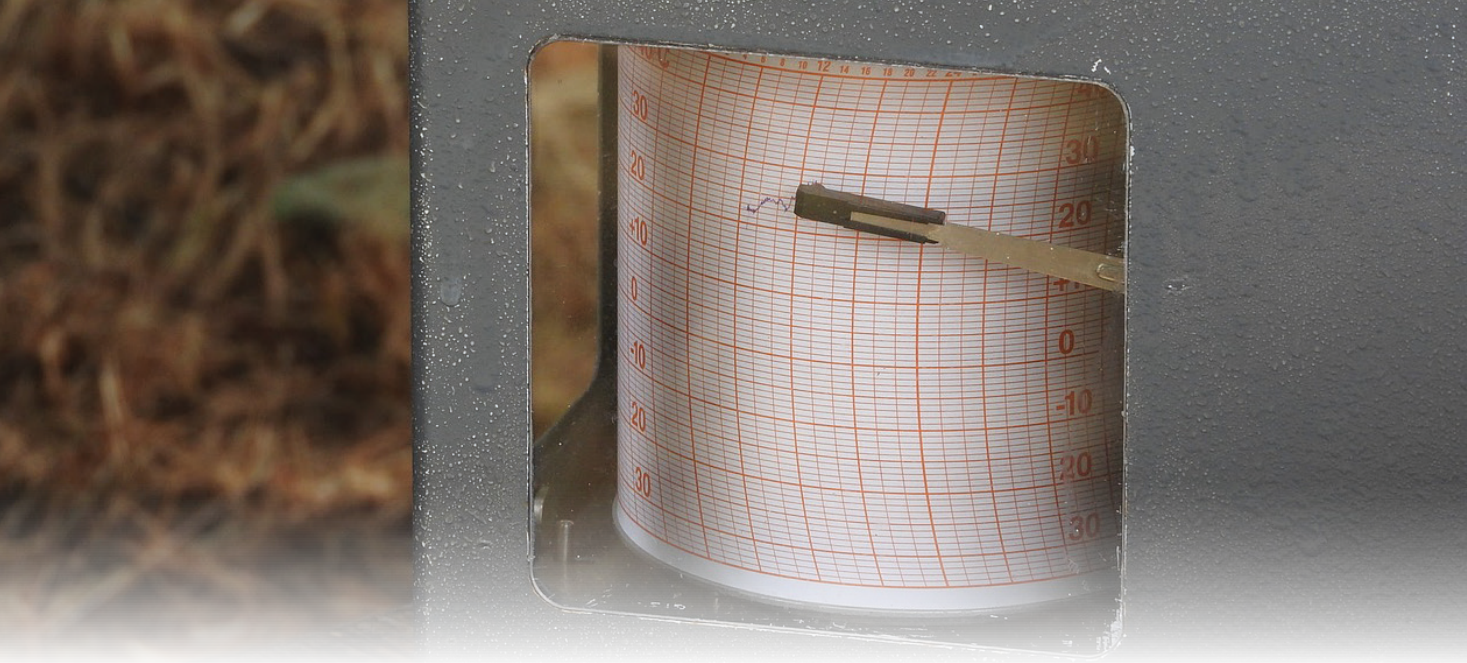
Irodalomjegyzék

- Bartoszek, K., 2017*: The main characteristics of atmospheric circulation over East-Central Europe from 1871 to 2010. *Meteorol. Atmos. Phys.* 129, 113–129. <https://doi.org/10.1007/s00703-016-0455-z>
- García-Burgos, M., Ayarzagüena, B., Barriopedro, D., & García-Herrera, R., 2023*: Jet configurations leading to extreme winter temperatures over Europe. *J. Geophys. Res.: Atmos.* 128(24), e2023JD039304. <https://doi.org/10.1029/2023JD039304>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., and Thépaut, J.N., 2020*: The ERA5 global reanalysis. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 146, 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>

- Horváth, K., Lin, Y. L., and Ivančan-Picek, B., 2008*: Classification of cyclone tracks over the Apennines and the Adriatic Sea. *Month. Weather Rev.* 136, 2210–2227. <https://doi.org/10.1175/2007MWR2231.1>
- IPCC, 2021*: Summary for Policymakers. In: (*Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, S., Connors, C., Péan, S., Berger, N., ... Scheel Monteiro, P.M.*) 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, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>
- Jakob, C., 1999*: Cloud cover in the ECMWF reanalysis. *J. Climat.* 12, 947–959. [doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<0947:CCITER>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<0947:CCITER>2.0.CO;2)
- Magos L., 2017*: A felhőzet hatása a Föld sugárzási egyenlegére és az emberi hőérzetre ISCCP adatok alapján. Szakdolgozat. ELTE Meteorológia Tanszék
- Martin, J. E., 2021*: Recent trends in the waviness of the Northern Hemisphere wintertime polar and subtropical jets. *J. Geophys. Res.: Atmos.* 126, e2020JD033668. <https://doi.org/10.1029/2020JD033668>
- Mendoza, V., Pazos, M., Garduño, R., and Mendoza, B., 2021*: Thermodynamics of climate change between cloud cover, atmospheric temperature and humidity. *Sci. Rep.* 11, 21244. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00555-5>
- Nowosad, M., 2017*: Variability of the zonal circulation index over Central Europe according to the Lityński method. *Geographia Polonica* 90(4), 417–430.
- Sfičá, L., Beck, C., Nita, A. I., Voiculescu, M., Birsan, M. V., and Philipp, A., 2021*: Cloud cover changes driven by atmospheric circulation in Europe during the last decades. *Int. J. Climat.* 41, E2211-E2230. <https://doi.org/10.1002/joc.6841>
- Simmons, A.J., 2022*: Trends in the tropospheric general circulation from 1979 to 2022. *Weather Climat. Dynam.* 3, 777–809. <https://doi.org/10.5194/wcd-3-777-2022>
- Szabó-Takáts B., 2012*: A felhőfizika alapjai és gyakorlati alkalmazásai. *Földrajzi Közlemények* 136(3).
- Vautard, R., Yiou, P., and Van Oldenborgh, G. J., 2009*: Decline of fog, mist and haze in Europe over the past 30 years. *Nat. Geosci.* 2(2), 115–119. <https://doi.org/10.1038/ngeo414>

Internetes hivatkozások

- [1] ERA 5 data documentation: <https://confluence.ecmwf.int/x/wv2NB>
- [2] odp.met.hu: https://odp.met.hu/climate/homogenized_data/gridded_data_series/Leiras_napi_eghajlati_racsponi_adatok.pdf
- [3] ncei.noaa.gov: <https://www.ncei.noaa.gov/products/climate-data-records/cloud-properties-isccp>



Kiváló társadalmi észlelők világnapi kitüntetése

Tóth Róbert

HungaroMet Nonprofit Zrt., toth.r@met.hu

A HungaroMet Nonprofit Zrt. folytatja azt a régi hagyományt, hogy a Meteorológiai Világnapon néhány társadalmi csapadékmérőt kitüntet azok közül, akik hosszú ideje pontosan, lelkiismeretesen végzik a meteorológiai megfigyeléseket szerte az országban. Írásomban bemutatom az idén kitüntetett észlelő munkatársakat.

Átalakult Szolgálatunk folytatja a régi hagyományt, s az idei Meteorológiai Világnapon is kitüntettünk néhány olyan hagyományos csapadékmérő állomást

vezető munkatársat, akik hosszú ideje magas színvonalon végzik a rájuk bízott feladatot, ami pontosságot, rendszerességet követel. Ezzel az írásunkkal is szeretnénk köszönetünket és tiszteletünket kifejezni a díjazottak hasznos, áldozatos munkájáért.

Abony

Abony közel tizenöt ezer fős város Pest vármegyében, a Ceglédi járásban. A településen 1904. július elsején kezdődött a csapadékmérés a Keglevits birtok szőlőtelepén. Az állomás 1924-ben a Gazdasági Iskolához, 1947-ben a Keletcserhataljai Vízitársulathoz költözött. 1949-től 1987-ig a Rendőrség udvarán működött, s az észlelő id. Csáki Ernő volt. Ezután 2016-ig ifj. Csáki Ernő végezte a méréseket a Függetlenség úti házának kertjében. Sajnos egészsége nagyon megromlott, és 67 éves korában elhunyt. Ezután a Csáki család következő generációjának férfitagja, Csáki Csaba vette át a feladatot, s az állomás a Szemere utcai új házuk udvarába került. Csaba gázszerelő, szükség esetén felesége, Melinda is besegít a csapadékmérésbe. Négy éve már naponta online küldik a mérési adatokat. Fiuk, Szabolcs már tinédzser, megvan az esélye, hogy a következő Csáki generáció is folytatja a méréseket a városban.



Az első sor bal szélén Póth Ariel, az Év MET-ÉSZ észlelője; középen Szanka Gábor, a HungaroMet vezérigazgatója, balján dr. Koncz Zsófia, az Energiaügyi Minisztérium államtitkára; mögötte Makó Zoltán hivatásos szuperészlelőnk Miskolcra, tőle balkez felé haladva Kozma István kemecsei, majd Csáki Csaba abonyi társadalmi észlelő.

Elismerésünket és köszönetünket fejezzük ki, amiért a család három generációja eddig 75 éven át megbízhatóan végezte az észlelői munkát. Csáki Csaba a kitüntetett munkatársakat mutató közös fényképen jobbról a második férfi.

Kemecse

Kemecse közel négyezer-hétszáz lakosú kisváros Szabolcs-Szatmár-Bereg vármegyében, egyben járási székhely a Nyíregyháza-Záhony vasútvonal mentén. Városi rangját 2005-ben kapta.

Kemecsen Dobos Illés nyugalmazott csendőr tiszt-helyettes kezdte meg a csapadékmérést 1934-ben. Megszakítás nélkül tehát 90 éve folyik a csapadékmérés a településen. 1960 és 1981 között pedagógusok folytatták, így került aztán 1981-ben Kozma István iskolaigazgató felügyeletébe az állomás, s költözött a mai helyére, a Móricz Zsigmond utcába. Ő 2000-ig végezte a csapadékmérést, elhunytá után szállt tovább a fiára a megbízatás, a ma már a 74. évében járó ifj. Kozma Istvánhoz. A két Kozma István együtt 43 évet észlelt, s reméljük, még további hosszú adatsor előtt állunk. Kozma úr nagyon szereti a focit, munkája révén gyakran járt a fővárosban, ahol igyekezett kihasználni a lehetőséget egy-egy focimeccs meg-nézésére. Aktívan szurkolt Nyíregyháza csapatának, az NYVSSC-nek, különösen 1980-tól, amikor 13 évig az első osztályban játszottak. Az utóbbi években első osztályú meccset nézni Kisvárdára kellett utaznia, idén azonban ismét feljutott a Nyíregyháza.

Kozma úr megemlíti, hogy a települést elkerülték a szélsőséges időjárási viszonyok. Csapadék vonatkozásában voltak aszályos és csapadékban gazdag esz-



Kozma István a HungaroMet Kitábel Pál utcai székházában a Világnapon.

tendők. A legkevesebb csapadék 1993-ban 406,6 mm, a legtöbb csapadék 2010-ben 1021,9 mm volt. Az észlelő állomás technikai felszereltsége adott, a központi ellenőrzések rendszeresen megtörténnek. Említésre méltó még az, hogy az 1970. április 8–12-e között megtartott „100 éves a Magyar Meteorológiai Szolgálat” centenáriumi ünnepi ülésére meghívót kapott az akkori észlelő, Juhász Lajos tanító úr.

Köszönjük a Szolgáltatnak végzett értékes munkáját, s jó egészséget kívánunk a folytatáshoz.

Mátyásdomb

Mátyásdomb 700 lakosú község Fejér vármegye Enyingi járásában. Nevének eredete nem szokványos. A község eredetileg Feketepusztá néven alakult 1952. január 1-jén, de a tanácstestület még abban a hónapban úgy határozott, hogy a településnév Mátyásfalva legyen. Végleges nevét azonban a Belügyminisztérium júliusban Mátyásdomb formában rögzítette. Több forrás szerint Rákosi Mátyás 60. születésnapja tiszteletére lett ez a neve a falunak, mások szerint Mátyás király emlékére kapta.

A csapadékmérés 1902-ben indult Mátyásdomb Feketepusztá állomásnéven, ami 1944-ben megszűnt. 1957-től indult újra a mérés a faluban, s azóta napjainkig folyamatos. 1960-tól 1984-ig Horváth János postás végezte a méréseket, az ő halálát követően vette át Kovács Istvánné az akkor 291 számú mátyásdombi állomást, s kezdte meg a csapadékmérést immár 40 éve. A közel 4 évtized tapasztalatai alapján megerősíti, hogy az éghajlat nagyon gyorsan változik és az időjárás egyre szélsőségesebb. Napjainkban a hó már ritkaságszámba megy arrafelé, míg 1986, 1987 és 1993 telén a hótakaró vastagsága napokig a 30–40 cm-t is elérte. Akkoriban többször is előfordult, hogy hófűvás miatt a település néhány napig nem volt megközelíthető. A házuk előtti területen 80 cm magas hóbuckákat is mért. A 90-es évek közepétől már kevesebb volt a téli csapadék, de még ekkortájt is előfordult, hogy 20 cm hó esett. 1999 februárjában és 2003 januárjában volt még jelentősebb havazás, 20 cm feletti hóval és hóátfűvészekkel. A 2000-es években a legjelentősebb hóval kapcsolatos időjárási esemény a 2013. március 14-i hóvihár volt, ekkor szinte az összes, környező településekre vezető út járhatatlan volt. A legnagyobb havi csapadékmeny-nyiséget 2005 augusztusában mérte, ekkor 243,8 mm eső esett. Az árkokban, pincékben állt a víz és a rengeteg csapadék miatt sok fa kidőlt. A legesősebb nyár a 2010-es volt, 4 hónapban (május, június, augusztus, szeptember) 115-159 mm közötti volt a lehullott havi



Kovács Istvánné mátyásdombi kertjében.

csapadék. Az 1 nap alatt lehullott legnagyobb mennyiségű csapadék 46 mm volt, 2018. június 19-én. A legkevesebb csapadék 2011 novemberében esett, mennyisége mindössze 0,8 mm volt. Ezt követően szinte minden évben volt olyan hónap, amikor a csapadék mennyisége nem érte el az 5 mm-t.

Kovács Istvánné dolgozott a Nitrokémiánál, majd Székesfehérváron, ahova rendszeresen busszal járt. Sokat futott az érkező busz után, ami jó kondícióban tartotta. Férjével két lányt neveltek fel, akik mindketten tanári pályát választottak, s két-két unokával ajándékozták meg a nagyszülőket. Látogatásomkor Kovácsné örömet fejezte ki, hogy részt vehet a meteorológiai szolgálat munkájában, amit nagyon köszönünk, és nagyra értékeljük munkáját.

Alsószentmárton

Alsószentmárton a Dráva-melléki síkságon, a Siklósi járásban fekszik, közel a horvát határhoz. Korábban Drávaszentmártonnak hívták, a 20. század második feléig zömmel sokácok lakták, de volt még cigány, német és magyar anyanyelvű lakosság is. Mindkét világháborút követően a falu lakói nagy számban

vándoroltak ki Jugoszláviába, s Alsószentmárton 1980 körül etnikailag cigány településsé vált. Közel 1170 lakosa közül szinte mindenki a beás cigányokhoz tartozik. Jelentős a munkanélküliség, az ország legszegényebb települései közé tartozik, de néhány középületét mostanában felújították. Amin elsöre kicsit meglepődtem: A Tan Kapuja Buddhista Gimnázium és Általános Iskola, valamint a helyi kocsmá neve: A Bitlisz.

A csapadékmérés a faluban 1949-ben indult, s 1987-ig Györffy Kadisáné észlelt az általános iskola, majd az óvoda udvarán. Ő ajánlotta abban az évben Gyurgyovics Istvánt Szolgálatunknak a csapadékmérés folytatására. Gyurgyovics úr elmesélte, hogy szerb felmenőkkel is rendelkezik, nevük eredetileg Gyurgyevics volt, de a hatóság egyszer elírta, s azóta úgy maradt. Érkezésekor Gyurgyovics úr a kapuban várt elektromos kerekesszékeiben. Sajnálatos baleset miatt kényesrült kerekesszékebe 27 évesen. 1972 októberében a TSZ kukoricáját aratta kombájnnal sötétedés után, amikor a vágószerkezet elakadt. Odament, gumicsizmában megcsúszott és a lábfeje roncsolódott. Felesége tüdőbetegséggel küzd, a három fia közül egyik 17 éve meghalt. Mindezek ellenére Gyurgyovics úr nem panaszkodott az élet nehézségeire, csak a csapadékmérésért járó szerezny tiszteletdíjra. Másik két fia, unokái és dédunokái helyben laknak, fényképeik borították a szoba falát.



Gyurgyovics István alsószentmártoni kertjében.

2013-ban ő mérte az évi országos legmagasabb csapadékösszeget az udvarában felállított kettősfalú csapadékmérőben, ami 1083,1 mm-t tett ki.

Köszönjük 37 éve végzett áldozatos munkáját, a folytatáshoz jó erőt, egészséget kívánva!

Gyöngyöspata

Gyöngyöspata Heves vármegyei kisváros a Gyöngyösi járásban, a Mátra lábainál. A köztársasági elnök 2013-ban adományozott városi címet a közel 2300 lakosú településnek.

A csapadékmérés 1928-ban kezdődött Gyöngyöspatán a római katolikus plébánián. Abban az évben helyezték oda Teschler Bélát plébánosnak, ő volt az első észlelő. Teschler úr a Szepes vármegyei Almáson született 1868-ban, papként a Felvidéken szolgált, míg 1919-ben el nem üldözték Liptóújról. 1940-ig végezte a méréseket, mellette helytörténeti kutatásokkal is foglalkozott. 1941-től az iskolához került az állomás, ahol tanítónők végezték a méréseket. 1967-ben az állomás a Vári utcába költözött, ahol előbb a tanár férj, majd a felesége észlelt. Tőle vette át 1983-ban a szomszédban lakó Tóth Lászlóné, s végezte megelégedésünkre az észlelést 41 éven át egészen 2023 végéig, amikor sajnálatosan megromló egészsége nem engedte a további folytatást.



Tóth Lászlóné a lánya vámosgyörki kertjében.

Tóthné aktív korában mezőgazdasági munkával foglalkozott, majd a gyöngyösi strandon dolgozott mindeneként. Jelenleg a lánya családjánál él Vámosgyörkön. Négy unokája és 2 dédunokája született eddig. Nagyon szerette csinálni a csapadékmérést, ma is ha esik, beindulnak a reflexek, hogy meg kellene mérni a lehullott mennyiséget.

Köszönjük több évtizedes munkáját, s jó egészséget kívánunk szerető családjá körében!

Póth Ariel érdemelte ki idén az Év MET-ÉSZ észlelője elismerést. 2013-ban, a MET-ÉSZ indulásakor regisztrált Romhányból, azóta közel 10 000 észleléssel gyarapította a nemzeti meteorológiai adatbázist.

A Nógrád vármegyei településnek nagy múltja van a meteorológiai mérések téren, hiszen a csapadékmérés itt 1896-ban indult, majd 1958–97-ig klímaállomásként is működött.

Ariel vállalta, hogy a társadalmi csapadékmérő hálózatunk tagja legyen, s 2018 óta a naponta jelentő állomásaink között végzi magas színvonalon a méréseket. Lelkesedése az időjárás megfigyelése iránt példa értékű. Saját kisautomata állomást üzemeltet.

A HungaroMet Zrt. mind az öt kitüntetett csapadékmérőnek, Arielnek, valamint a miniszteri oklevéllel kitüntetett Makó Zoltán szuperészlelőnek köszönetet mond a több évtizedes megfigyelő munkáért, amivel hozzájárultak a nemzeti éghajlati adatgyűjtés gyarapításához. További életükhöz, munkájukhoz kiváló egészséget, sok örömet kívánunk!



Póth Ariel a romhányi csapadékmérő állomás telepítésekor 2017 decemberében.



Beszélgetés Somogyvári István pécsi észlelőnkkel

Tóth Róbert

HungaroMet Nonprofit Zrt., toth.r@met.hu

Somogyvári Istvánnal beszélgettünk, aki az Országos Meteorológiai Szolgálat hivatásos észlelőjeként dolgozott közel negyven éven keresztül (1985-től 2022-ig).

Mindketten 1985-ben léptünk a Központi Meteorológiai Intézet kötelékébe Ambrózy Pali bácsi igazgatósága idején. Míg Somogyvári István, népszerű nevén Somesz a Pécsi Főállomás észlelőjeként kezdett, én az Agrometeorológiai Kutató Osztályon vettem magam különféle kutatási munkákba. Közelebről azonban csak pár éve ismerjük egymást annak köszönhetően, hogy az Adatellenőrzési Osztály vezetőjeként az időjárási helyzet vezérelte megfigyelő rendszer felügyelete is hozzám tartozik. Somesz volt az utolsó hivatásos észlelő, aki OMSZ-dolgozóként vonult nyugdíjba. A ma állományban dolgozók vállalkozóként végzik az ún. szuperészlelői tevékenységet.

Somesz életét végigkíséri a repülés szeretete és az időjárás megfigyelése, pályafutása ezért érdekes lehet az olvasóknak, amit az alábbi beszélgetésben tárunk elő.

Tóth Róbert: Kedves Somesz, meséld először pár szót a szülői házról!

Somogyvári István: 1957-ben születtem Pécsen, június 8-án, Medárd napján. Talán ennek köszönhetően kerültem hamar kapcsolatba a meteorológiával. Édesapám kaposvári, könyvkötő szeretett volna lenni Pécsen, de végül fogtechnikus lett. Majd letette a szükséges vizsgákat, s fogászként praktizált a szintén baranyai Hidason. Édesanyám asszisztensként dolgozott fogorvos mellett, majd a születésem után háztartásbeliként folytatta.

T.R: Mikor, hogyan fogott meg a repülés?

S.I: Harmadikos gimnazista voltam Pécsen a Nagy Lajos Gimnáziumban, amikor Derner Henrik, az MHSZ (Magyar Honvédelmi Szövetség: sport- és szabadidő tevékenységeket szervező országos félkatonai szervezet volt 1948 és 1990 között) motoros szakágának főoktatója előadást tartott a gimnáziumban a repülésről, az előadás célja pilóták szervezése volt a Magyar Néphadsereg számára.

Van ennél szebb, repülőgéppel védeni a hazát? Nincs! Főleg miután kiderült, a kezdő lépés egy háromnapos orvosi vizsgálat Kecskeméten. Sajnos az első nap végére kiderült, hogy a katonai repülésre nem vagyok alkalmas. Kecskemétről hazafelé jövet, a vonaton fedeztem fel egy ismerős arcot, aki elmondta, hogy ettől még vitorlázó repülő lehetek, és ott nem olyan szigorúak a feltételek. A hét végén tehát kimentem körülnézni a pécsi reptérre. Udvariasan bemutatkoztam, majd kezdődött az üzemnap, igyekeztem beilleszkedni, csinálni, amit a többiek, tolni a gépeket, hallgatni a rögtönzött beszámolókat a párperces repülésekről. Ebéd-időben mindenki evett, én nem, mert nem tudtam,



Somogyvári István

hogy ebédet is kell vinni. Valaki rá is kérdezett, én miért nem eszem. Mondtam, mert nem hoztam. Erre mindenki tört a szendvicséből, a végén én ettem a legtöbbet. Ekkor már tudtam, jó helyre kerültem. Este az egyik oktató beültetett a gépbe, mondván az esti berepülésnél én leszek a nehezek. Ez végleg megpecsételte a sorsomat. Rögvest beoltódtam, s a repülés szerelmese lettem. Annyi időt töltöttem kint, amennyit csak tudtam, s közben életre szóló barátságok is köttetek. A téli orvosi vizsgálaton gond nélkül megfelelttem, elméleti vizsgát tettem, majd gyakorlati kiképzésen vettem részt és később már egyedül repültem. Távrepüléseket hajtottam végre, versenyeken vettem részt, majd magam is repülőoktató lettem. Gyakorlatban is oktattam a srácokat, és a téli felkészítő tanfolyamokon is tanítottam gyakorlati repülést, és repülésmeteorológiát. 11 csodálatos év volt, ami a Meteorológiai Szolgálatához kerüléssel ért véget.



A Pécs-Pogány repülőtér.

Elmesélem egy repülésmeteorológiai élményemet. Távrepülést hajtottam végre, mikor igen tempósan közeledett egy zivatar. Nem tűnt túl nagyknak, veszélyesnek, kerülni már nem volt idő, így jött a nagy ötlet, meglovagolom a kifutószelét. Egy darabig be is jött, száguldottam, mint a vihar, kb. 200 km/óra sebességgel reppentem, és a gép még mindig folyamatosan emelkedett. Már azt is elképzeltem, hogy ebből világszűcs idő is lehet, amikor egyik pillanatról a másikra, bekerülve a leáramlási zónába, egyszer csak magam alá estem, a gépet kormányozni nem lehetett, a felhajtóerő gyakorlatilag megszűnt, a csűrő-, magassági-, oldal- kormány lötyögtek csak, így zuhantam kb. 1600 métert. Ekkor a föld fölött 80–100 méterrel helyreállt a rend, s még annyi időm is maradt, hogy ott, ahol voltam

egy-két kormányozzalat, és már "le is szálltam" egy lucerna táblára. Ezután megköszöntem őrangyalomnak, hogy nem várt még 150 métert, majd elmentem telefont keresni, hogy hívjak magamnak szállítókoscit a reptérről, ami hazavisz.

Ezzel az élménnyel a téli elméleti oktatások is gazdagodtak egy újabb témával. Már tudtam, hogy a jövőm a repülésben van, lestem is a lehetőségeket. Ez el is jött. A reptéren dolgozó klubtitkár, mert akkor még volt ilyen, bejelentette felmond, Pestre költözik, mert munkát kapott a Repüléstörténeti Múzeumban. A repülőtér parancsnoka ekkor megkeresett, és megkérdezte, van-e kedvem betölteni a helyét. VOLT!!!! El is kezdtem intézni a szükséges dolgokat: meghallgatások, erkölcsi bizonyítvány, stb. Aztán elmentem egy dunaújvárosi versenyre, s onnan, a Kohász Kupáról (10 nap volt), visszajöve, sajnálattal közölték, hogy egy repülős társamé lett a munka. Utóbb kiderült, leszóltak a pártbizottságról, hogy szerintük ő alkalmasabb lenne. Hát így ment ez akkoriban.

T:R: Lépünk vissza időben pár évet! Mihez kezdtl az érettségi után?

S:I: Elvégeztem a gimnáziumot, majd fogtechnikus szakmunkás lettem, de Pécsen nem tudtam volna elhelyezkedni, Sopronból és Siófokról kaptam ajánlatot. A reptéren, egy barátom javasolta, menjek el felvonószerelőnek, van felvétel. Barátom azzal is érvelt, hogy ha ügyesen csinálom, lesz sok szabadidőm, és a repülésnek hódolhatok. Tehát a liftekkal dolgoztam 8 évet, de benne van 21 hónap katonaság is.

T:R: S hogyan lettél felvonószerelőből hivatásos meteorológiai észlelő?

S:I: Felvonószerelő karbantartóként dolgoztam, amikor olvastam az újsághirdetést, hogy a Meteorológiai Szolgálat érettségizett, katonaviselt munkatársat keres. A munkám végeztével rögvest a Harkányi út mellett lévő meteorológia állomás (38527 Pogány, Repülőtér adóház főállomás) felé vettem az irányt, ahol Ferenczy Sándor állomásvezető közölte, az állást már betöltötték. Azért kicsit elbeszélgettünk, megemlégtettem, hogy komolyan művelem a vitorlázó repülést, ami jó lett volna előéletnek. Ahogy Szalma Jancsi (bácsi) mondta nekem egyszer, a repüléshez legközelebb a meteorológia áll. (Szalma János meteorológus 1959-től az MHSZ vitorlázó repülő oktatója és versenyzője volt, 1976-tól az OMSZ Repülésmeteorológiai Osztályának vezetője volt nyugdíjba vonulásáig.)

Két nap múlva este, Ferenczy Sándor állt az ajtómban: hogy ha még aktuális, fel vagyok véve. A történet háttérben az állt, hogy Derner Henriktől – akivel több évtizedes jó ismeretség és munkakapcsolat kötötte

össze – kért referenciát egy szimpatikus fiatalemberről, aki munkára jelentkezett. Így inkább engem választottak erre a munkakörre. Egy problémám volt csak, hogy kérésére be kellett fejezmem a repülést, mert elsőosztályú sportoló lévén a rendes szabadságon kívül 30 nap sportszabadság, a versenyekre pedig munkaidő kedvezmény járt volna. Még mélyen bennem volt a tüske a meghíusult klubtitkári állás miatt, lakásunkat is egy éve cseréltük családi házra, ahol még rengeteg munka várt, így hát vérző szívvel, de abbahagytam imádott sportágamat, és leigazoltam a meteorológiához.

T.R: A kapcsolatod megmaradt a repüléssel?

S.I: Repülős barátaimmal nem szakadt meg a jó kapcsolat. Amíg el nem jöttünk a reptérről, folyamatosan kerestek repüléssel kapcsolatos kérdésekben is, sokan személyesen is beugrottak. Két évig visszajártam telente elméleti oktatásokat tartani, vizsgáztatni. Ezután már nem tudtam megoldani a szolgálatcseréket. Aki emlékszik, tudja, hogy a szolgálatos munkaidő úgy alakult: nappal-éjszaka-pihenő-pihenő. Gyakorlatilag január elsején le lehetett tenni az éves beosztást az asztalra. A klubnapok, mikor az oktatások zajlottak, mindig pénteki napra estek, nagyon nehéz volt összehozni, hogy akkor mindig ráérjek. Ezért maradtak a barátságok. Persze a repülést, új gépeket a mai napig figyelemmel kísérem, ez az a szerelem, ami sosem múlik el. És megkezdődött a munka a meteoron.

T.R: Hogy nézett ki az észlelői munka egy főállomáson évtizedekkel ezelőtt?

S.I: Annyi feladatunk volt, hogy este úgy értünk haza, mint a kifacsart citrom. A színop táviratok összeállítása, kódolása, URH-készüléken bediktálása a gyűjtő állomásnak. Rendszeres aspirálás (a szel-

lőztetett pszichrométer aspirátorának felhúzása, s várakozás a nedves hőmérő lehűlésére). Talajfelszíni és mélységi hőmérők használata, párolgásmérés, zúzmaramérés, hősűrűség mérése. Csapadéktávirat összeállítása, továbbítása. Gépi bizonylatok készítése. Éghajlati ívek vezetése, klímazsebkönyv kitöltése. Műszereink java íróműszer volt, a műszer-szalagokat kiértékeljük (ombrográf szalagok, termográf szalagok, higrográf szalagok, Fuess szélszalagok). De nemcsak a saját szalagokat, hanem Árpádtető állomás szalagjait is mi kaptuk meg feldolgozásra. 10 naponként talajmintát vettünk a környező szántóföldről, amit szárítás után lemértünk, információt kaptunk a talaj nedvességtartalmáról, ezeket egy speciális táviratba foglalva továbbítottuk (30 db minta azonnali mérése, majd 24 óra múlva szárított minta mérése). Radioaktivitásmérést is végeztünk összbéta aktivitásra. Csernobil után nem sokkal automatizálták, ez is adott feladatot bőven. Pilotozás is szerepelt a repertoárban, dél, éjjél időpontokban, persze kiértékelni, távirat, küldés. Aki esetleg nem tudná, ezzel az alsóbb légrétegek szélirányát, sebességét lehetett figyelemmel kísérni. Nem tudom mit hagytam ki, de ha ez nem volna elég, magunk tartottuk karban a környezetünket is, fűnyírás, virágok gondozása, gyümölcsfáink is voltak a területen, és az épületet is mi magunk festettük, mázoltuk.

T.R: Hogy élted meg a Szolgálatnál bekövetkező változásokat?

S.I: A rendszerváltás időszakától aztán pénzhiányra hivatkozva egyre több tevékenység szűnt meg, megkezdődtek az észlelőhálózatban az állomás bezárások, átminősítések. A műszaki fejlődéssel megjelentek a számítógépek, ami teljesen új volt számunkra. Szerveztek tanfolyamokat, de csak fél évvel ezután kaptuk az első gépet, így gyorsan kiestek a tanfolyamon hallottak. Miután komoly energiabefektetés után begyakoroltuk a tanultakat, jött egy másik program, majd az egyre újabbak szép sorban. Az automatizálásról sem beszélek szívesen, mert látszólag ugyan könnyíti a dolgunkat, de a minősége szerintem messze elmarad a gépesítés előttitől. Persze az embert kiváltani nem könnyű, de hogy egymástól 10 km-re levő felhőalpmérők között olyan hatalmas különbség legyen, mintha két különböző földrészről küldenék az adatokat, szerintem elfogadhatatlan. Igaz, hogy a mostani észlelőknek a kezdetekhez képes úri dolga van, én inkább visszasírom a régi időket.

Egy pozitív élményt is elmesélek, mert azért az is akadt. Egy erős zivatarcella érkezett DNY-i irányból a reptér felé. Szóltam a toronynak, közölje



Előkészület állomás-értekezletre 2018-ban; balról Stahl Laci, középen Somesz, jobbról a kiváló szakács Lengyel László észlelo.

a mentőhelikopterekkel, vigyék be a koptikát (a helikopter egyik helyi beceneve). Pár perc múlva kinézek, semmi mozgás. Ismét jelzem a toronynak, mondja, hogy ő már szólt nekik. Ismét pár perc múlva még mindig semmi mozgás. Személyesen lementem szólni, békésen kártyáznak, és mondják, hogy az ő riasztási rendszerükben erről nincs semmi. Mondtam, hogy de az enyém van! Ímmel-ámmal felkászálódta, betolták a hangárba, és már vitt is mindent a kifutószele. Nem telt el negyedóra és ott álltak az iroda ajtajában, egy üveg borral nagyon köszönve makacsságomat, mert valószínű ez mentette meg helcsikét (a helikopter másik helyi beceneve).

T.R: 2022. május 7-én adtad utolsó szolgálatod, majd az egyhónapos felmentési idő után elérkezett a nyugállomány. Mivel töltöd napjaidat?

S.I: Egy-két apróságot elmesélek magamról. Édesapám "piszkált" azzal, hogy aki nem dolgozik, lemarad. Így aztán amint lehetőség adódott, vetünk a lakhelyünktől nem messze egy kis telket, (960 négyzetméter), amire építettünk egy kis faházat, hogy ne kelljen a szerszámokat mindig otthonról cipelni, majd – mivel akinek nincs gondja, az csinál magának – nekiálltunk beültetni, vetni. Az otthoniakkal együtt most 40 gyümölcsfát gondozok, és ahogy mondják, amit az asszony nem ment meg enni, fagyasztóba, befőttnek, lekvárnak, abból jóféle házi kisüsti pálinka készül. Két leányom van, Kata 1984-ben született, Pénzügyi és Számviteli Főiskolát végzett, jelenleg Katus Attila (ugri-bugri guru) személyi asszisztense, a kisebbik Zsófi, Egészségügyi Főiskolát végzett, jelenleg a Szigetvári Idősek Otthona Mentálhigiénés Osztályának vezetője. A gyü-



Pogány Repülőtér déli automata állomásának telepítése 2021-ben

mölcsös mellett epres, ribizli, szőlő, konyhakert, pincészkedés, és csak úgy hobbibólogyoróbokrok, dísznövények, pázsit, nyírni való fagyal sövények, rózsabokrok várják, hogy kielégítsem a mozgási igényemet idős koromra is. Télen pedig vár a hólapátolás. Egy titkot is elárulok: nagyon-nagyon szerettem volna már unokázni, így óriási boldogság ért, amikor megérkezett Botond nevű unokám.

T.R: Kedves Somesz, köszönöm a beszélgetést, jó egészséget és sok örömet kívánok családotd körében! Őszintén sajnáljuk, hogy egy kiváló pálinkafőző munkatárs távozott a megfigyelő hálózattól.





2024 tavaszának időjárása

Szolnoki-Tótván Bernadett

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

Ahogy a 2023/2024-es tél, úgy 2024 tavasza is a legmelegebb volt az 1901 óta íródó éghajlati adatsorban. Az évszak középhőmérséklete országos átlagban több, mint két fokkal meghaladta az 1991-2020-as éghajlati normált, mindhárom hónap melegebb volt a megszokottnál. A csapadék mennyisége országosan ugyan megközelítette a sokéves átlagot, azonban hazánk nagyobb részét hiány jellemezte az évszak folyamán. Márciusban a megszokott mennyiség alig kétharmada érkezett, áprilisban és májusban viszont már az átlag közelében alakultak a havi összegek.

A hőmérséklet és csapadék időbeli alakulása

Az előző négy évben (2020 és 2023 között) a tavaszok hűvösebbek voltak a megszokottnál. 2024 tavasza viszont a legmelegebb lett az 1901 óta íródó éghajlati adatsorban. Országos átlagban 13,4 °C-nak adódott az évszaki középhőmérséklet, mely így 2,3 °C-kal haladta meg a sokéves átlagot (1. ábra). Az évszak mellett mindhárom hónap is jóval melegebb volt az éghajlati normálnál. Legnagyobb mértékben a március tért el (+3,7 °C), ezt követi az április (+1,9 °C), majd a május (+1,4 °C). Ezt megelőzően 1934 tavasza



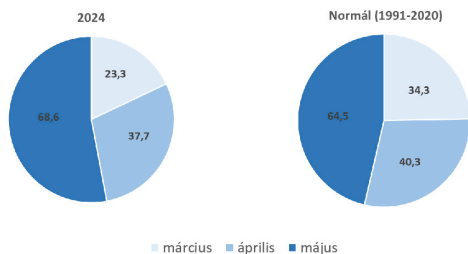
1. ábra. Az országos havi és az évszaki középhőmérséklet eltérése a sokévi (1991-2020-as) átlagtól 2024 tavaszán (interpolált adatok alapján).

számított a legmelegebbnek 1901 óta, melyet most már 0,2 °C-kal előz meg a 2024-es. Az évszak hónapjai is előkelő helyeken végeztek az elmúlt 124 év rangsorában: a március szintén első lett, az április nyolcadik, a május pedig tizenhatodik.

A küszöbnapok is azt mutatják, hogy melegen telt el a tavasz (1. táblázat). A hőmérsékleti indexek esetén a telet jellemzők (fagyos, hideg, téli nap) mind

Éghajlati indexek értékei 2024 tavaszán és ezek sokévi átlagai	2024	1991-2020
Fagyos nap ($T_{\min} \leq 0 \text{ °C}$)	5	15
Hideg nap ($T_{\min} \leq -5 \text{ °C}$)	0	3
Téli nap ($T_{\max} \leq 0 \text{ °C}$)	0	1
Nyári nap ($T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$)	22	12
Hőség nap ($T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$)	0	1
Csapadékos nap ($r \geq 0,1 \text{ mm}$)	30	30
Havas nap	0	3
Hótakarós nap	0	3

1. táblázat. A 2024-es tavasz során jegyzett különböző éghajlati indexek és ezek 1991-2020-as sokéves értékei.



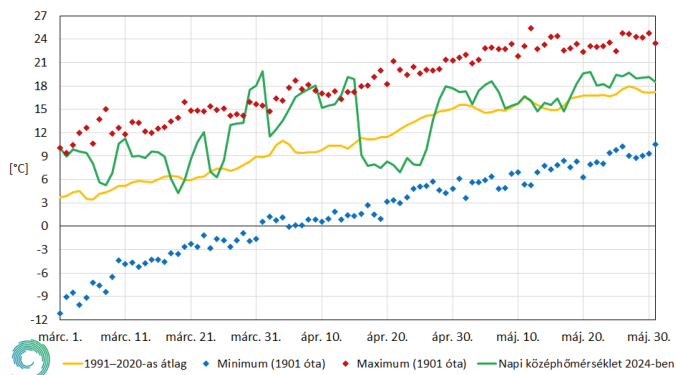
2. ábra. A 2024-es tavasz havi csapadékösszegei és a normál területarányos kördiagramon (mértékegység: mm).

elmaradnak a megszokottól, a nyári napok száma viszont majdnem a duplája a sokéves átlagnak. Ez azért történt, mert a napi középhőmérséklet az évszak 80%-ában magasabb volt a sokéves átlagnál (3. ábra).

A csapadék időbeli eloszlása egyenetlen volt a tavasz folyamán. Alapvetően a május szokta adni az évszak csapadékának a legnagyobb részét (46%), most a tavaszi összeg 53%-a érkezett ebben a hónapban. A sokéves átlag alapján a másik két hónap a fennmaradó részen nagyjából egyenlő arányban osztozik. Idén ez elbillent az április irányába, márciusban az évszaki összeg 18%-a hullott (2. ábra). Az ábrán, ahol a kördiagramok területei arányosak a havi és évszaki csapadékösszegekkel jól látható, hogy az évszaki csapadékösszege közel van a sokéves átlaghoz. 2024-ben tavasszal a sokéves átlagnál 7%-kal kevesebb csapadékot regisztráltunk. Az elmúlt 124 év éghajlati adatsorában a 2024-es tavasz a 48. helyre került a legszárazabb tavaszok sorában. A hónapok közül a legkevesebb csapadékot adó március (28,3 mm) a 44. legszárazabb március lett 1901 óta. Áprilisban és májusban az 1991-2020-es éghajlati normál közelében mozogtak a csapadékösszegek. Előbbi hónapban a megszokottak a 93%-a, utóbbiban pedig 106%-a hullott.

Az átlag közeli csapadékot hozó tavasz az éghajlati indexekben is látható (1. táblázat), csapadékos napból ugyanannyi volt idén, mint a sokéves átlag. Viszont a magas középhőmérsékletek miatt havas napból és hótakarós napból egyet sem regisztráltunk az évszak folyamán, miközben a normálérték mindkét index esetén 3-3 nap.

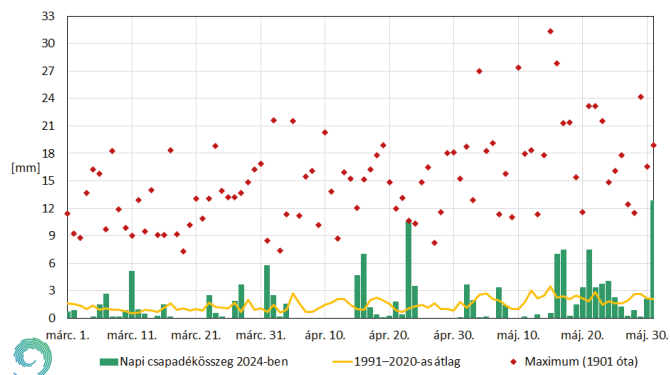
A 3. ábra a 2024-es tavasz napi középhőmérsékleteit, sokéves átlagait, valamint az 1901 óta tapasztalt szélsőértékeit mutatja be. Szembetűnő, hogy az évszak 92 napjából 74 napon a normálnál magasabbak voltak a napi középhőmérsékletek. Ez leginkább egybefüggő meleg időszakok formájában valósult meg,



3. ábra. Országos napi középhőmérsékletek, a sokéves átlag (1991-2020), illetve a szélsőértékek 1901 óta 2024 tavaszán homogenizált, ellenőrzött, interpolált adatsorok alapján.

amiket csak 1-2 hűvösebb nap szakított meg. Kivételt képez az április közepén kezdődő, 12 napos időszak. Ekkor egy hidegfront hatására hirtelen lehűlés történt, a napi középhőmérsékletek 7–10 °C közt alakultak, 3–6 °C-kal a sokéves átlag alatt. Április 25-én a megszokottól vett legnagyobb negatív eltérést tapasztaltuk: 5,9 °C-kal volt hidegebb. Ennek ellentéte, a leghosszabb egybefüggő meleg periódus is részben áprilishoz köthető – bár már március végén elkezdődött. Ebben a 21 napban – március 26. és április 15. között – jellemzően 4–10 °C-kal volt melegebb a szokásosnál. Az évszak legmelegebb (19,9 °C) napján, április elsőjén 11,0 °C-kal haladta meg a napi középhőmérséklet a sokéves átlagot. Március 19. lett a tavasz leghidegebb napja: 4,4 °C-os országos középhőmérséklettel.

Márciusban a megszokottnál jóval kevesebb csapadék érkezett (4. ábra). Jelentősebb mennyiséget a hónap elején csak 7-én és 11-én mértünk. 11-én egy ciklon alakult ki a Kárpát-medence fölött, mely főként a Nyugat-Dunántúlon járt jelentős csapadékhullással. A hónapban ezt követően már csak 23-án és 27-én volt



4. ábra. Országos napi átlagos csapadékösszegek, a sokéves napi átlagok (1991-2020), illetve a maximumok 1901 óta 2024 tavaszán homogenizált, ellenőrzött, interpolált adatsorok alapján.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet			
	Hőmérséklet	Állomás	Napja
március	27,6 °C	Kelebia Kémes	március 3. március 31.
április	31,4 °C	Kiszombor	április 15.
május	30,8 °C	Dabas Derekegyház	május 27. május 25.
A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet			
	Hőmérséklet	Állomás	Napja
március	-6,5 °C	Kakucs	március 2.
április	-3,4 °C	Fülöpháza Hattyús-szék	április 20.
május	-0,7 °C	Nyírtass	május 13.

2. táblázat. A tavaszi hónapok során mért legmagasabb és legalacsonyabb hőmérsékletek 2024-ben.

említésre méltó csapadék; mindkét napon hidegfront érkezett eső, zápor kíséretében. Április elsején este egy markáns hidegfront érte el hazánkat. Intenzív csapadékot hozott, mely főként a Dunántúlra koncentráldott, a legnagyobb mennyiségeket Zala és Somogy vármegyék határán mértük. Másodikán viszont északkelet felé vonult a rendszer, ott többnyire eső hullott, de délelőtt az Északi-középhegység magasabb csúcsain még havazás, havas eső is előfordult. Ezt egy szárazabb időszak követte, majd 15-én ismét egy markáns hidegfront érte el az országot. Ekkor Győr-Moson-Sopron vármegyében több helyen 50 mm-t meghaladó csapadék hullott, másnap pedig már országszerte csapadékos időjárás volt. 16-án – többek között – az Írott-kónél mérhető mennyiségű hóréteg is kialakult. 23-án egy ciklon miatt hullott országos átlagban is nagy mennyiségű csapadék. Május elején érkezett némi eső, de elmaradt a sokéves átlagtól. 16-án és 17-én viszont már országos csapadékhullás volt tapasztalható. 19-től a hónap hátralévő részében minden nap előfordult csapadék az ország valamelyik térségében. 21-én egy kiterjedt zivatarrendszer érkezett délnyugat felől. Az intenzívebb cellákat helyenként jégeső, többfelé felhőszakadás és viharos szél kísérte. 26-ig nedves, labilis levegő töltötte ki a Kárpát-medencét, kedvező feltételeket teremtve záporok, zivatarok kialakulásához, néhol még jégesőt is megfigyeltünk. Ezt követően jelentősebb csapadék a hónap utolsó napján esett. Egy mediterrán ciklon többfelé és több hullámban okozott záporokat, zivatarokat. A délnyugati határ mentén számos állomásunkon 30 mm feletti csapadékot regisztráltunk.

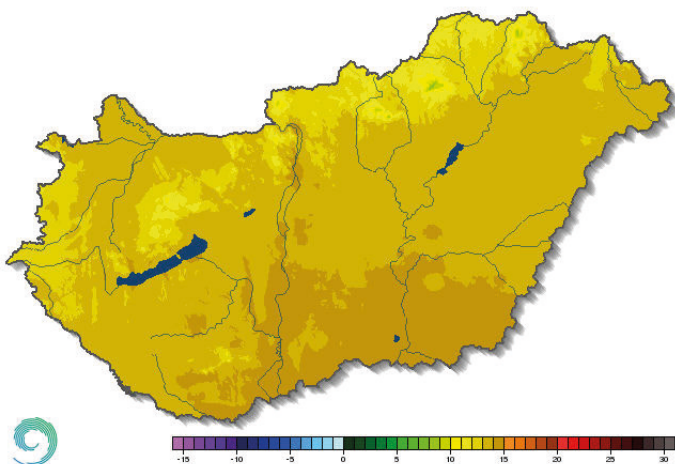
A hónap legnagyobb csapadékösszege			
	Csapadék	Állomás	
március	73,0 mm	Rábagyarmat	
április	99,6 mm	Gyöngössolyos Nyirjes	
május	236,7 mm	Hagyárosbörönd	
A hónap legkisebb csapadékösszege			
	Csapadék	Állomás	
március	4,9 mm	Tiszadob	
április	9,9 mm	Jakabszállás	
május	16,6 mm	Körösladány	
24 óra alatt lehullott maximális csapadék			
	Csapadék	Állomás	Napja
március	49,8 mm	Sopron Muck-killató	március 11.
április	53,7 mm	Fertőrákos	április 15.
május	94,2 mm	Hagyárosbörönd	május 25.

3. táblázat. A tavaszi hónapok során mért legnagyobb és legkisebb havi csapadékösszegek, valamint a 24 órás maximumok 2024-ben.

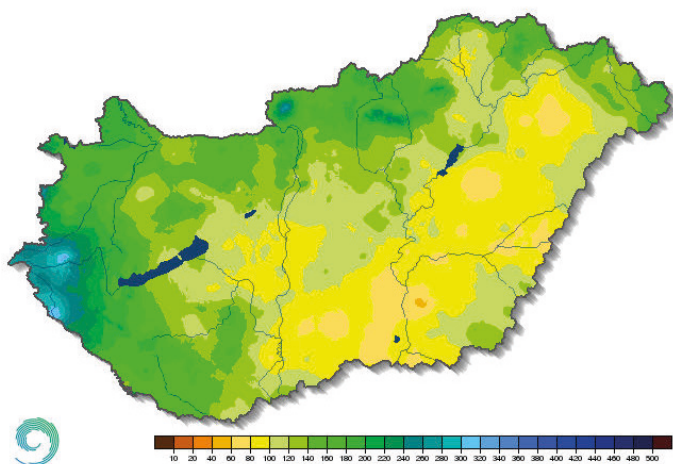
A hőmérséklet térbeli eloszlása

A tavasz átlaghőmérséklete 13,4 °C-nak adódott, ami több, mint két fokkal magasabb, mint az 1991–2020-as sokéves érték (11,1 °C). Hazánkban 12 és 14 °C között mozogtak az évszakos átlagok. Ennél magasabb háromhavi középhőmérsékletet a déli határ tágabb környezetében (az Alföld déli részén), valamint a fővárosban regisztráltunk. Budapesten és Szegeden a 15 °C-ot is meghaladta az évszakos átlag. A Dunántúli- és az Északi-középhegységben 10-12 °C volt jellemző, Kékestető állomásunkon mindössze 8,4 °C-ot mértünk (5. ábra).

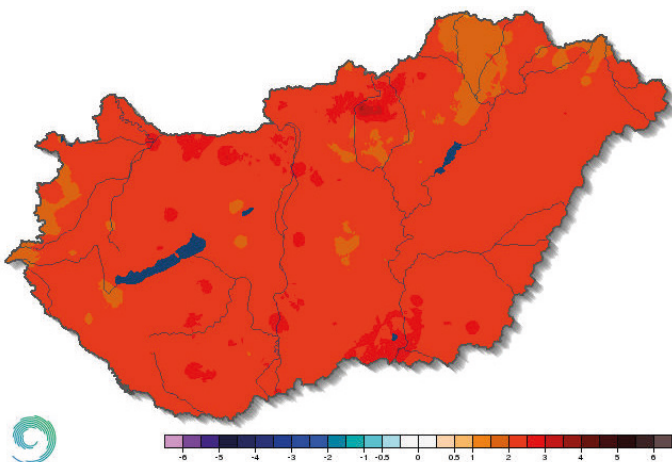
A 6. ábrán a hőmérsékleti anomáliát ábrázoltuk, mely országszerte pozitív volt. Jellemzően 2,0–2,5 °C az eltérés a sokévi átlagtól. Ennél alacsonyabb (1,5–2,0 °C) értékek összefüggően az Alpokalján, illetve a Bódva és Hernád folyók közt figyelhetők meg, valamint foltokban az Alföldön is. 2,0 °C-nál nagyobb anomália jelenik meg Budapest, Győr, Szeged térségében és az Északi-középhegységben. A Mátrában 3,0–4,0 °C-kal melegebb volt, mint az 1991–2020-as éghajlati normál.



5. ábra. A 2024-es tavasz középhőmérséklete (°C).



7. ábra. A 2024-es tavasz csapadékosszege (mm).

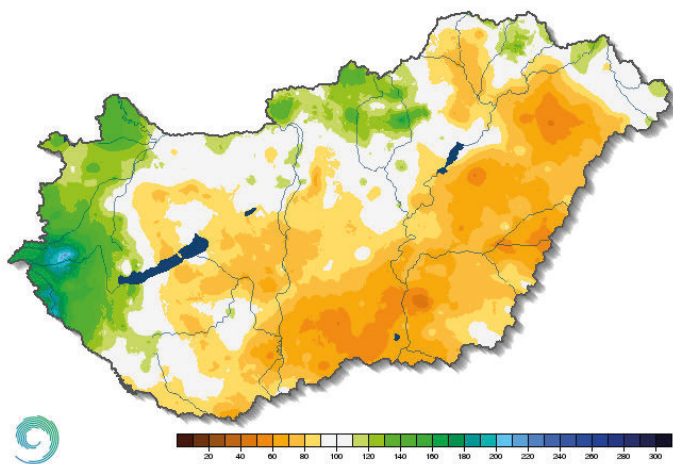


6. ábra. A 2024-es tavasz középhőmérsékletének eltérése a sokévi (1991–2020) átlagtól.

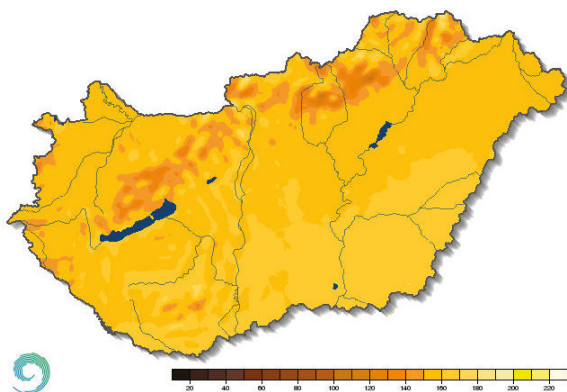
A csapadék térbeli eloszlása

A tavasszal lehullott csapadékösszegek térbeli eloszlását mutatja be a 7. ábra. Nagy térbeli különbségek láthatók a térképen. Az Alföld túlnyomó részén legfeljebb 100 mm-t összegeztünk a három hónap alatt, ezen belül a legszárazabb tájakon (Nyírség, Hortobágy, Duna-Tisza-köze) csak 60–80 mm hullott. Az évszak folyamán a legkevesebb csapadékot, 55,2 mm-t Kunmadarason regisztráltuk. A legcsapadékosabb területeket a Dunántúlon találjuk Vas és Zala vármegyékben, itt több állomáson is meghaladta a 250 mm-t az évszaki összeg. A legnagyobb csapadékösszeget, 354,6 mm-t Hagyárosböröndön mértük.

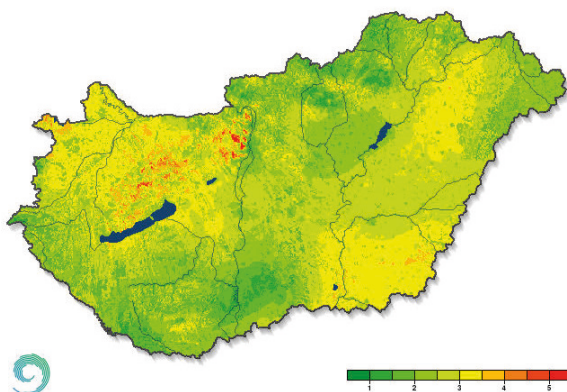
Országos átlagban 130 mm volt a tavaszi csapadékösszeg, ez 7%-kal marad el az 1991–2020-as sokéves normáltól (139 mm). Hazánk legnagyobb részén a lehullott csapadék mennyisége 2024-ben kevesebb volt, mint a sokéves érték (8. ábra). Többnyire a megszokott mennyiség 60–80%-a érkezett, de a legszárazabb tájakon mindössze a sokéves átlag 40–60%-a hullott. Csapadéktöbblet az Északi-középhegységben (Börzsönytől a Bükkig) és a Győr-Nagyatád vonaltól nyugatra jelentkezett. Ezekben a térségekben a normál 110–160%-át regisztráltuk. A legnagyobb csapadékot mérő állomáson, Hagyárosböröndön pedig a megszokott mennyiség 247%-a hullott ezen a tavason.



8. ábra. A 2024-es tavasz csapadékosszege a sokévi (1991–2020-as) átlag százalékos arányában kifejezve.



9. ábra. A 2024-es tavasz globálsugárzás összege (kJ/cm²).



10. ábra. A 2024-es tavasz átlagos szélessége 10 m-es magasságban (m/s).

A globálsugárzás térbeli eloszlása

Tavasszal hazánk legnagyobb részén 150–160 kJ/cm² között alakult az évszakos globálsugárzás-összeg. Ennél alacsonyabb értékeket a Mecsekben, a nyugati határ mentén és a középhegységeinkben figyelhattunk meg (9. ábra). Az átlagosnál több sugárzást a Körösöktől délre figyelhattunk meg. A legmagasabb mért összeg Szegeden 167 kJ/cm², míg a legalacsonyabb mért érték Vásárosnamény állomáson 130 kJ/cm² volt.

A szélesség térbeli eloszlása

Tavasszal hazánk legnagyobb részén 2 és 4 m/s között alakult az átlagos szélesség, ahogy az ebben az évszakban lenni szokott. Az alacsonyabb szélességeket a Duna-Tisza-közének nyugati felén és az Északi-középhegységben regisztráltuk (10. ábra). Csongrád-Csanád vármegyében, Sopron és Győr térségében 3,5–4 m/s-os átlagszél volt jellemző. Ennél magasabb értékek (4–5 m/s) a Dunántúli-középhegységben fordultak elő. A térképen csak az átlagszelet ábráztuk, emellett viszont fontos a széllokések nagysága is. Legtöbbször hidegfrontok átvonulásához kapcsolódnak a viharos (15 m/s feletti) széllokések. Ez történt március 23-án is, amikor megdőlt a fővárosi napi legnagyobb széllokés rekordja. János-hegy állomásunkon 27,8 m/s (100 km/h) értéket mérünk.

2024. tavasz 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	156	12,9	2,2	28,7	2024.04.14	-2,8	2024.03.20	196	149	20	11
Nagykanizsa	154	12,8	1,9	28,2	2024.04.14	-4,0	2024.03.20	213	138	20	6
Pér		13,0		28,1	2024.04.14	-4,9	2024.03.20	109	80	16	16
Siófok	160	14,6	2,7	28,6	2024.04.01	-0,7	2024.03.20	136	109	18	16
Pécs		12,1	2,9	28,2	2024.04.14	-1,0	2024.04.22	148	93	22	9
Budapest	157	14,1	2,2	28,5	2024.04.14	-1,8	2024.03.20	138	106	25	4
Miskolc	149	13,2	2,2	28,6	2024.04.14	-1,4	2024.03.26	106	73	22	1
Kékestető	139	8,4	2,4	20,5	2024.04.14	-4,1	2024.03.19	239	119	28	15
Szolnok	160	14,0	2,2	28,7	2024.04.15	-2,5	2024.03.26	103	87	15	8
Szeged	167	14,3	2,6	29,4	2024.04.15	-3,2	2024.03.20	81	64	19	18
Napkor	148	13,8	2,6	28,4	2024.05.21	-1,2	2024.03.26	88	69	13	14
Debrecen	153	13,7	2,3	28,2	2024.04.15	-2,3	2024.03.25	91	68	15	4
Békéscsaba	165	13,9	2,3	29,0	2024.04.15	-2,1	2024.03.20	105	77	21	11



A 2024-es tavasz időjárása agrometeorológiai szempontból

Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila Viktor

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

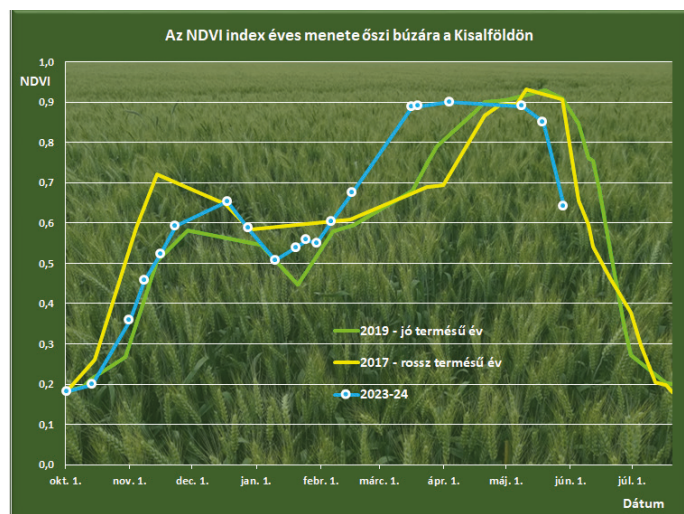
Az idei tavasz jóval korábban indult, mint ahogy a naptár jelezte volna. Már február elején elkezdődött, így ezzel az előnnyel indult be a fejlődés mindenhol. A természet nagyjából három héttel előzte meg magát a szokásoshoz képest. Majd áprilisban egy lehűlés vetett véget ennek.

Az idei tavasz február elején kezdődött és a naptári tavasz kezdetén tovább folytatódott. A vegetáció fejlődése az egész évszak során két-három héttel a megszokott előtt járt (1. ábra), csak április második felében történt egy átmeneti megtorpanás.

Március elején folytatódott a február eleje óta tartó, az átlagosnál jelentősen melegebb időjárás. A korai gyümölcsfák virágoztak, és az őszi vetésű szántóföldi növényeink is látványos növekedésnek indultak. A vegetáció túl korai fejlődése azért volt igen veszélyes, mert a gyümölcsfák virágzaskor, illetve a terméskezdemény vagy akár a termés fejlődésekor sokkal inkább fagyérzékenyek, mint a fejlődésnek egy korábbi stádiumában. A hónap első felében csak kevés helyen, és gyenge fagyok fordultak elő, 20-a környékén azonban csaknem országszerte fagypont alatti hőmérsékletek állították komoly fagyvédelmi feladatok elé a gyümölcsstermesztő gazdákat.

A legtöbb helyen kevés csapadék hullott, csak a Dunántúl nyugati harmadán mérhettünk többet az ilyenkor szokásosnál, az Alföld nagy részén annak csak a fele esett március folyamán. A tél első felében keletkezett belvízfoltok csak nehezen száradtak, ugyanakkor a hónap végére a felszín közeli

talajréteg az Alföldön és a Dunántúl délkeleti tájain nagyon kiszáradt, a korai vetésű növényeket száraz, poros talajba vetették. Az őszi vetések, melyek ekkor már szárba indultak, a talaj középső rétegében



1. ábra. Az NDVI műholdas vegetációs index éves menete a vegetációs időszak során őszi búzatablákon (8 véletlenszerűen kiválasztott tábla átlaga) a Kisalföldön a Sentinel-2 műholdak mérései alapján egy jó és egy rossz termést adó évhez viszonyítva.

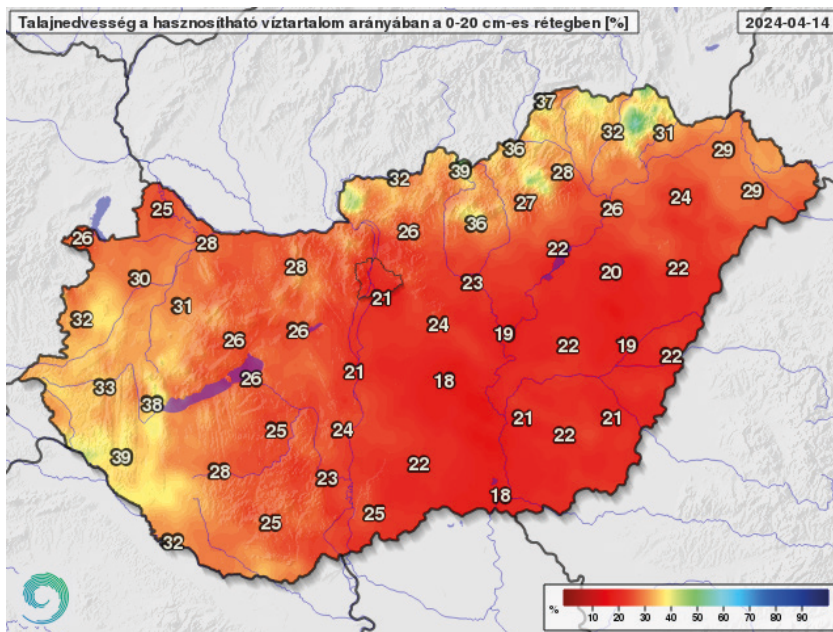
még kellő nedvességet találtak gyors fejlődésükhöz. Az ilyenkor szokásosnál 3–4 fokkal magasabb átlaghőmérsékletből adódóan az 5 cm-en mért talajhőmérséklet már március utolsó hetétől tartósan meghaladta a 10 fokot. Így a kukorica és napraforgó magágy előkészítése és vetése is igen száraz talajba történt. Április első felében a száraz idő mellett a nyáriasan magas hőmérsékletek is hozzájárultak a talaj felső rétegének további, már kritikus kiszáradásához (2. ábra), a nyári növények vegetációs időszaka országsszerte aszályos körülmények között kezdődött. A tartós meleg lerövidítette a tavaszi fenológiai fázisokat, a repce és a kalászos állományok nem bokrosodtak meg kellőképpen, előbbi növény már április elején virágozni kezdett.

Április közepén azonban drasztikus lehülés érkezett, ami többfelé gyenge éjszakai fagyokat és csapadékot is hozott. Eleinte főként a Dunántúlon és az északi országrészben esett, majd 20-a után az Alföldre is megérkezett az eső. A csapadékra főként a csírázó, éppen kisoroló napraforgónak és kukoricának volt égető szüksége, de az őszi vetéseknek is igen jól jött az eső azzal együtt is, hogy a gyakran nedves állományokban a gombás megbetegedések is kedvező körülményeket találtak. A gyümölcsfák zöme ekkorra már elvirágozott, a virágzó akácnak azonban nem tett jót a hűvös, gyakran csapadékos idő, ami a mézelést és a hordást is hátráltatta. A hőmérséklet 3–6 fokkal alacsonyabban alakult az ilyenkor szokásosnál, talajmenti fagyok többször, többfelé előfordultak, de néhol két méteres magasságban is fagypont alá esett a hőmérséklet. Április utolsó hetétől azonban visszatért az átlagosnál több fokkal melegebb, száraz idő, így a kellően átmedvesedett talajok mellett gyors növekedésnek indultak a kukorica és napraforgó állományok.

Május első felében is csak elszórt záporok öntöztek főként a Dunántúl délnyugati felén és az északi országrészben, pedig a fejlődésben két-három héttel előrébb járó szántóföldi kultúráknak nagy szüksége lett volna az aranyat érő májusi esőkre. A hónap közepére az Alföldön és

a Dunántúl északkeleti felén ismét aszályos körülmények alakultak ki. A fagyosszettek lehülést is hoztak, talajmenti fagyok többfelé előfordultak. A más években nyár elejére eső, Medárd nap környékén kezdődő záporos, zivataros időszak az idén május közepén kezdődött. A hónap második felében kora nyári hőmérsékletek mellett sokfelé öntözték záporok a földeket. Az ezekből lehulló csapadék mennyiségében igen nagy területi különbségek adódtak, azonban így is országsszerte javult a felszínközeli talajréteg vízellátottsága, a nyári növényekre vonatkozó aszály megszűnt vagy jelentősen enyhült. A kalászosok a szemfejlődés, az őszi káposztarepce a magképződés fázisában a legtöbb helyen kielégítő mennyiségű nedvességet talált a talajban ezekben a vízigényes fenológiai fázisokban, melyeket nagy forróság sem rövidített le az idén. A napraforgó és kukorica állományok intenzíven növekedtek, ugyanakkor az átmedvesedett talaj a gyomok fejlődésére is kedvezően hatott. Május végén helyenként jégverés és felhőszakadás okozott károkat gyümölcsösökben és szántóföldi kultúrákban egyaránt.

Összességében az idén tavasszal az átlagosnál 2, néhol 3 fokkal melegebb volt. Csapadék a Dunántúl nyugati részén 50–100 mm-rel több, míg az Alföld déli és keleti tájain 30–70 mm-rel kevesebb hullott az ilyenkor szokásosnál.



2. ábra. Talajnedvesség a talaj felső 20 centiméteres rétegében a növények számára hasznosítható vízmennyiség arányában 2024. április 14-én (%).

FILMAJÁNLÓ

Érdekes filmek, időjárási vonatkozással

Twisters – Végzetes vihar

A tornádók a leglátványosabb és legveszélyesebb természeti jelenségek közé tartoznak. Szinte kínálják magukat, hogy „szereplésükkel” színes, szélesvásznú, akciódús mozifilmek készüljenek. Amennyire a recenzens fel tudta deríteni, valóság-hű tornádót először az 1939-ben készült *Őz, a csodák csodája* című filmben láthattak a mozinézők. Azóta számos sikeres és felejthető-felejtendő film készült, melyekben a látványosság és a drámai hatás mellett a tudományos hitelesség nem feltétlenül volt meghatározó szempont. Egy katasztrófafilm a szórakoztatást, és nem a tudományos ismeretterjesztés szolgálja. Elnézhetjük a túlzásait, a legfeljebb elméletben előfordulható helyzetek megjelenítését, de a szakmai háttérrel rendelkező nézőt a valóságnak, a fizikai törvényeknek ellentmondó jelenetek már zavarják. Ebben a műfajban a meteorológusok figyelmét az 1996-ban bemutatott *Twister* keltette fel, amelyben ugyanis a nézőt izgalomban tartó túlzásokon kívül nemigen akadt szakmailag kifogásolható részek. Bár a filmben bemutatott, tornádóba juttatható parányi érzékelők a valóságban nem léteztek, és még ma sem léteznek, elvileg azonban megvalósíthatók. A tudományos igényesség nem volt véletlen, hiszen a film szakmai tanácsadója Kevin Kelleher, a NOAA National Severe Storms Laboratory (NSSL) igazgatóhelyettese volt, és úgy tűnik, a film készítői adtak is a szavára.

Az elmúlt negyedszázadban, talán a globális éghajlatváltozás következtében, a tornádóveszélyes terület számottevően megnőtt az Egyesült Államokban (Gensini and Brooks, 2018). Mindez egy újabb látványos tornádó-film elkészítésére inspirálta Hollywoodot. A *Twisters* (a magyar mozikban: *Twisters – Végzetes vihar*), 1996-os elődjéhez hasonlóan tornádóvadászok akcióiról, motivációiról és rivalizálásáról szól. A film készítői ez alkalommal is a NOAA NSSL munkatársait kérték fel, hogy a műfaj határain belül segítsék a szakmai hitelességet. A filmben valós meteorológiai modellek eredményei, műhold- és radarképek mellett részben még kutatási fázisban lévő észlelési technikákkal, fázisvezérelt radarokkal és drónokkal is találkozhatunk. Az NSSL munkatársai előrejelzésekkel is segítették a forgatókönyvnek meg-

felelő időjárási helyzetek, forgatási helyszínek és időpontok kiválasztását, bár a filmben látható tornádókat számítógépes képalkotással hozták létre, már csak a stáb és a szereplők biztonsága érdekében is, de a tornádók nehezen kiszámítható felbukkanása miatt is. A filmesek adtak egy kicsit az ismeretterjesztésnek is, bemutatva, miért nem jó ötlet híd alá húzódni az átvonuló tornádó elől. Onnan ugyanis az áramlás jó eséllyel kisodorja az illetőt.

A főszereplő gondolata, hogy a jégesőelhárításhoz hasonlóan a tornádókat is fel lehetne-e oszlatni megóvva az embereket, energetikai okokból valószínűleg nem megvalósítható, és a film – tudományos hitelessége megőrzése érdekében – nyitva is hagyja a kérdést, hogy a végső tornádó a szereplők beavatkozásától vagy más ok miatt enyészett el.

A 2024 júliusában mozikba került film a meteorológus szakma érdeklődését is felkeltette. Olyan rangos tudományos folyóiratok is elemezték, mint a *Nature* (Witze, 2024) és a *Scientific American* (Springer, 2024; Thompson, 2024).

Bár a *Twisters – Végzetes vihar* sztorija nem túl mélyszántó, de a látvány – még ha részben számítógép-generálta is – talán megéri egy mozijegy árát.



Gensini, V.A., Brooks, H.E., 2018. Spatial trends in United States tornado frequency. *npj Climate and Atmospheric Science* 1, 38, doi: 10.1038/s41612-018-0048-2

Springer, M., 2024. Between *Twister* and *Twisters*, tornado science has improved a lot in three decades. *Scientific American*, July 19, 2024, <https://www.scientificamerican.com/article/between-twister-and-twisters-tornado-science-has-improved-a-lot-in-three/>

Thompson, A., 2024. Tornado scientists love *Twister* and *Twisters*. Here's Why. *Scientific American*, July 30, 2024, <https://www.scientificamerican.com/article/tornado-scientists-love-twister-and-twisters-heres-why/>

Witze, A., 2024. What *Twisters* gets right – and wrong – about tornado science. *Nature* 631, 722

Hírek

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

Múzeumok Éjszakája a HungaroMet-nél



2024.06.22. ■ Az idén huszonkettedik alkalommal megrendezett Múzeumok Éjszakáján, az előző évekhez hasonlóan, a HungaroMet is kitérte kapuit a látogatók előtt. A HungaroMet

Nonprofit Zrt. elődje, az Országos Meteorológiai Szolgálat a kezdetek, azaz 2002 óta részt vesz a Múzeumok Éjszakája programon. A Környezetvédelmi Igazgatósággal és a Nemzeti Alkalmazkodási Központtal kibővült HungaroMet az eddig megszokott programok mellett idén jóval bővebb tartalommal várta az érdeklődőket.

A 2018-ban elindított sorozat, minden évben egy kiválasztott meteorológiai paraméterrel foglalkozik, ezért a már eddig megismert elemek – csapadék, sugárzás, szél és hőmérséklet – mellett most a **légnyomásé** volt a főszerep.

A meteorológia mellett számos más érdekességgel vártuk a látogatókat. A környezetvédelem és az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás témaköréből szemezgettünk, és a következőkhöz hasonló kérdésekre kerestük a válaszokat: Tudod-e hogyan védheted meg a környezetet, hogy még évtizedek múlva is tudjál jó mélyet szippantani a friss levegőből a kirándulásaid során? Mennyire ismered a szerves hulladékok felhasználási módját? Téged is zavar a városi zaj, a dübörgő járművek és gyárak moraja? Tudtad, hogy ezt mérni is lehet, és milyen hatása van az emberi szervezetre? Bemutatkoztunk a HungAIRy, mely Magyarország első környezetvédelmi LIFE integrált projektje, melynek célja a levegőminőség javítása Magyarországon 10 településén. Itt az alábbi kérdések

körét tártuk az érdeklődők elé: Mit tehetünk MI a levegőtisztaság-védelméért a mindennapokban? Miért fontos a tiszta levegő, milyen hatással van szervezetünkre, egészségünkre? A látogatók találkozhattak az uniós ökocímke fogalmával, valamint a környezetbarát termék logójával. Mindezek segítenek a tudatos vásárlásban a mindennapos bevásárlás során.

A vállalkozó kedvűek ezúttal is időjárás-jelentőként próbálhatták ki magukat saját stúdióinkban.

Aki komolyabb szakmai ismeretekre is szert szeretett volna tenni a légnomás témakörében, három előadón tehetett ezt meg:

- Kövesi-Lázár Krisztina, Tóth Anita: Nyomtaszt a légszennyezés? Tervezz jobb forgatókönyvet!
- Paszternákné Marton Annamária: Fociklimatológia
- Fövényi Attila: A repülés és a légnomás kapcsolata

A gyerekek sem maradtak program nélkül, hiszen Szabó Dorottya izgalmas előadásra, interaktív bemutatóra invitálta a kicsiket, hogy jobban megismerjék a levegőt, ami körbevesz bennünket.

Útjára indítottuk a **meteomúzeumot**, ahol a Meteorológiai Szakgyűjteményünket mutattuk be az érdeklődőknek egy egyórás tárlatvezetés keretében.

Pestszentlőrincen a Marczell György Főobszervatóriumban sem unatkoztak a látogatók. Az Ambrózy Pál tanórák bejárása során vendégeink megismerhették a hagyományos meteorológiai műszerkeretet, izelítőt kaptak a kalibráló laboratóriumban folyó munkáról és négy alkalommal a magaslégköri szonda felszállását is megfigyelhették.

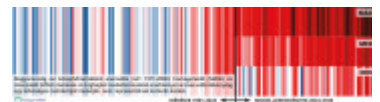
Találkozunk jövőre is!

Újságírói workshop az éghajlatváltozás kommunikációjáról

2024.06.27. ■ 2024. június 27-én a HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. egy „nyárindító” workshopot szervezett az éghajlatváltozás témájában a média munkatársai számára.

A rendezvény házigazdája, Szépszó Gabriella, a HungaroMet Klimatológiai és Kutatás-fejlesztési Igazgatóság igazgatója, felvezetőjében elmondta, hogy a workshop egy sorozat első rendezvénye,

mellyel céljuk az újságírók támogatása az éghajlatváltozás szakmailag hiteles és modern kommunikációjában. Az eseményen hazai online hírportálok, egyéb médiumok és kutatóintézetek éghajlatváltozás- és tudomány-kommunikációval foglalkozó munkatársai vettek részt.



90 éves a balatoni viharjelzés (1934-2024)

2024.07.08. ■ Az első világháború után magához térő Magyarországon az 1930-as évekre a Balaton egyre népszerűbb üdülőhellyé vált. A polgári repülés kezdetével közvetlen repülőjárat is indult Budapestről a Balatonra: a Dunáról a mai Szabadság-híd mellől szálltak fel azok a hidroplánok, amelyek Siófokra vitték utasaikat. A vízi élet megélénkülésével azonban a balatoni viharok egyre több áldozatot követeltek. 1931. szeptember 5-én egy váratlan vihar a siófoki kikötőben tartózkodó öt hidroplánt tett tönkre. Az utolsó csepp a pohárban az 1933. július 16-án és 30-án lecsapó viharok voltak, amelyek számos áldozatot követeltek. Mindezek hatására kormányzati döntés született egy viharjelző rendszer felállítására. Az akkori Meteorológiai Intézet igazgatója azonban nem tartotta tudományosan megvalósíthatónak egy ilyen figyelmeztető szolgálat üzemeltetését,

így végül a Légiügyi Hivatal helyettes igazgatója, dr. Hille Alfréd meteorológus szervezésében indult meg 1934. július 8-án a balatoni viharjelzés.

Az évfordulóról és a balatoni viharjelzésről bővebben a www.met.hu/rolunk/hirek oldalon olvashat.



56. Kékszalag vitorlásverseny



2024.07.18-20. ■ Az 56. Kékszalag vitorlásverseny 2024. július 18-án rajtolt el a Balatonon. A légvonalban csaknem 160 km-es Balatonfüredről

induló, Balatonkenesét, Siófokot és a Tihanyi-szorost érintő, majd a keszthelyi forduló után a füredi kiindulási pontra visszatérő útvonalat bejáró vitorlásverseny igazi kaland mindenkinek. A Kékszalag nem csupán egy verseny; a Balaton és a vitorlázás legnagyobb ünnepe, amely egyesíti a legnemesebb hagyományokat és a legmodernebb technológiákat. Az esemény résztvevői két napon át küzdöttek meg az elemekkel és egymással, próbára téve vitorlázó tudásukat, kitarításukat és akaraterőjüket. Az induló 510 hajóból 456 teljesítette a távot. Az 56. Kékszalag győztese Józsa Márton csapata lett, a Fifty-Fifty nevű hajójukkal 12 óra 24 perc 47 másodperces idővel kerültk meg a Bala-

tont, mindössze 50 másodperccel megelőzve a végül második helyen célba érő Kaiser Kristóf kormányozta Prespex-Deltát. Az első tíz helyen csak katamaránok végeztek.

A rendezvény alatt a HungaroMet folyamatos és részletes tájékoztatást nyújtott az aktuális és a várható időjárásról. Az év legkiemelkedőbb balatoni versenyének ideje alatt a siófoki obszervatórium előrejelző szakemberei által speciálisan a Balaton térségére készített szöveges előrejelzés kerül a vitorlásversenyt meteorológiai információkkal támogató oldalra. A naponta négyszer készített 36 órás szélelőrejelzés is segítette a vitorlázás szerelmeseit. A Meteora mobil alkalmazás használatával könnyen tájékozódhattak az aktuális balatoni viharjelzés állapotáról, és a 10 percenként frissülő szél előrejelzését is figyelemmel kísérhették.

Halasztással, de idén is megúszták a Balatont

2024.07.21. ■ Az átúszásra vállalkozó sportemberek idén is két távon indulhattak, a bevállalósabbak Révfülöpön szálltak vízbe, majd az 5,2 kilométeres táv megtétele után a balatonboglári Platán strandon értek partot, míg a féltávot vállalók Balatonboglárról indultak és érkeztek a célba. A távot szabadon választott úszásnemben lehetett teljesíteni, és bárki rajthoz állhatott, akinek azt az egészségi állapota lehetővé tette. Aki viszont inkább az evezésben érezte otthon magát, az SUP deszkára pattant, s azzal vágott neki a távnak.

A rendezvény meteorológiai támogatását a HungaroMet siófoki obszervatóriumának szakemberei végezték. Az eredetileg kitűzött napon (július 20. szombat) egy gyenge alacsonynyomású légörvény haladt át az országon, amelyet időnként megélénkülő szél, esők, záporok kísértek. A Balatonnál várható reggeli szélerősödés, és a napközbeni csapadék okozta bizonytalanság miatt a rendezők a stabilabb időjárású július 21., vasárnap mellett döntöttek. A szombati időjárás igazolta a döntést. Vasárnap a reggeli órákban optimális időjárási

viszonyok fogadták az első úszókat, mérsékelt szél, gyenge hullámmás és 26 fok körüli vízhőmérséklet. Később egy gyenge konvergencia vonal és a helyi hatások együttese miatt fokozatosan megélénkült

a délnyugati szél, és a legerősebb szellőkések az úzás útvonalán elérték a 25-29 km/h sebességet. Jellemző, hogy az egész országban órákon keresztül éppen ez a terület volt a legszelesebb. A délnyugati irányú széllel a Balaton tengelyében haladó tarajos hullámok nagyra tudtak növekedni, szemből-oldalból kapva az úszókat. A szervezők egy időre kénytelenek voltak felfüggeszteni a rajtot. A légköri konvergencia vonal áthaladtával a szél – és ezzel együtt a hullámmás is – gyengülni kezdett, így negyed egykor ismét elindulhattak az úszók.



A HungaroMet is a Művészetek Völgyébe költözött



2024.07.19-28. ■ A Művészetek Völgye egy összművészeti fesztivál, ahol csodálatos Balaton-felvidéki környezetben 10 napon át számos koncert és egyéb esemény részese lehetett a látogató. A Völgy

műfajok tekintetében is egy színes kavalkád, ahol a könnyűzene mellett a jazz, a folk, a klasszikus, a komoly- és a világzene is helyet kapott. Épített színpadok helyett három falu, Kapolcs, Taliándörögd és Vigántpetend utcáit, épületeit, intézményeit varázsolták a szervezők koncerttérré, galériává és színházzá. A környéket futva, gyalog vagy kétkeréken is be lehetett járni. A fesztivál környezetvédelemmel kapcsolatos, "zöld" része a Művészetek Zöldje, azaz a Zöld Udvar ahol a HungaroMet is megtalálható

volt. Idén kibővült az eddig már évek óta közkedvelt programunk, bemutattuk környezetvédelmi tevékenységünket, a HungAiry projektet, de az Ökocimkés termékekkel is megismerkedhettek a betérők, illetve a komposztálásról is fontos információkat tudhattak meg az érdeklődők. Interaktív játékokkal készültünk, melyek nem csak a gyerekeknek nyújtottak izgalmas perceket. A játékok mellett beszélgettünk és sok-sok meteorológiát érintő kérdésre is válaszoltunk.

A fesztivál idén is a környezettudatosság jegyében zajlott: mindent megtettek a szervezők annak érdekében, hogy minél kisebb ökológiai lábnyomot hagyjon ez a 10 nap. Álljon itt néhány kiragadott példa a sok közül: az ételeket lebomló tányérban és szintén lebomló evőeszközzel kínálták az árusok, a csomagolóanyagok is komposztálhatóak voltak; repoharakat használtak (használd és a végén vidd haza vagy váltsd vissza!); szelektív szemétgyűjtők, illetve komposztáló volt kihelyezve; valamint a falvak között Csigabusszal lehetett közlekedni autó helyett.

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI

A Társaság 2025-ben ünnepli alapításának 100. évfordulóját. Ebből az alkalomból logópályázatot hirdetett a 100 éves MMT logó címmel szeptember 1-jei beküldési határidővel. A centenáriumi

évben a nyertes logó fogja ékesíteni a Társaság meghívóit, promóciós anyagait a tervezett ünnepi eseményeken. Október elsején a győztes pályamű készítője 50 000 Ft jutalmazásban részesül.

Átadták a Magyar Meteorológiai Társaság 2024-es díjait

2024.05.23. ■ Május 23-án közgyűlést tartottunk, ahol a szakmai és pénzügyi beszámoló megbeszélése után tudományos titkárt választottunk. Ihász István lemondása miatt. Ihász Istvánnak köszönjük az elkötelezett munkáját, amit tudományos titkárként végzett. Az újonnan megválasztott Kocsis Zsófiának gratulálunk, minden bizonnyal kiválóan ellátja ezt a funkciót.

A társasági díjak átadása a májusi közgyűlésünk legünnepélyesebb pillanatai voltak. Steiner Lajos Emlékrememben részesült **Mészáros Róbert** az ELTÉ-n az elmúlt három évtizedben végzett egyetemi oktatói és publikációs tevékenységéért, a tehetséggondozásban kifejtett sokrétű és önzetlen munkájáért és az egyéb tudományos szervezetekben végzett közéleti munkásságáért. Berényi Dénes Emlékdíjat vehetett át **Hidy Dóra**, a biogeo-kémiai és az agroökoszisztéma modellezés területén elért tudományos eredményei és kiemelkedő publikációs tevékenysége elismeréseként. Hidy Dóra munkásságáról egy összefoglaló előadást is hallhattunk a közgyűlés elején, „Egy magyar fejlesztésű ökológiai modell története” címmel. Hegyfok Kabos Emlékérmét kapott **Faragó Tibor**, a környezetvédelem és nemzetközi környezeti kormányzás folyamatának hosszú évtizedeken át tartó kutatói tevékenységéért, a környezet- és klmapolitika több hazai és nemzetközi programjainak korábbi koordinátoraként végzett munkájáért, és a hazai és nemzetközi szakmai kapcsolatok kiépítése terén önzetlenül végzett áldozatos munkájáért. Faragó Tibor érdemelte ki

a „Közös környezetünk és a globalizáció: árnyak és remények (2021)” művével a Szakirodalmi Nívódíjat is. A 2024. évi Götz Gusztáv Publikációs Díj tulajdonosai **Böloni Gergely**, **Izsák Beatrix** és **Szentes Olivér** lettek, az alábbi művekért:

- *Gergely Böloni, Young-Ha Kim, Sebastian Borchert, Ulrich Achat (2021): Toward Transient Sub-grid-Scale Gravity Wave Representation in Atmospheric Models. Part I: Propagation Model Including Nondissipative Wave-Mean-Flow Interactions. Journal of the Atmospheric Sciences, 78, 1317–1338. Q1.*
- *Izsák, B. (2023). Homogenization and interpolation of relative humidity hourly values with MASH and MISH software. International Journal of Climatology 43, 6285–6299. Q1.*
- *Szentes, O., Lakatos, M., Pongrácz, R. (2023): New homogenized precipitation database for Hungary from 1901. International Journal of Climatology 43, 4457–4471. Q1.*

Új díjunkt, az Ifjú Fejlesztő Meteorológus Díjat elsőként **Szentes Olivér** kapta a HungaroMet Non-profit Zrt. havi és évszakos visszatekintőiben megjelenő térképek megújításáért, amit a HAWK-3 grafikus megjelenítő rendszerben fejlesztett. A Róna Zsigmond Alapítvány díját **Varga Ákos János** vehette át sikeres kutatói tevékenységéért, oktatásban és ismeretterjesztésben való aktív részvételéért.

Tiszteleti Tagjaink sorában tudhatjuk 2024-től Bartha Imrét, Mika Jánost és Varga Lászlót is.

Előadói ülések a tavaszi-nyári időszakban

2024.06.08. ■ Az MMT Távérzékelési Szakosztálya 2024. május 28-án (kedden) 14 órai kezdettel előadóülést tartott, melynek előadója Kern Anikó volt, az előadás címe: MODIS a Sentinel műholdak korában: rügyfakadástól a tölgy csipkéspoloskáig.

A Pécsi Területi Csoport és az MTA MTB Légekörfizikai és Levegőkémiai Albizottsága közös, angol nyelvű felhőfizikai szemináriumát (Friday Afternoon Cloud Physics Talk (FACT)) 2024. május 31-én tartotta. A rendezvény online formában is követhető volt.

A Szegedi Területi Csoport 2024. május 21-én az alábbi programra hívta az érdeklődőket: Bozóki Zoltán (kutatócsoport-vezető, ELKH-SZTE Fotoakusztikus Kutatócsoport): Fotoakusztikus rendszerek fejlesztése földfelszíni és drónos fluxusmérésekhez címmel

tartott előadást, amit műhelyvita követett. Az eseménynek a Szegedi Tudományegyetem, Földrajzi és Földtudományi Intézet adott otthont.

A Légekördinamikai Szakosztály 2024. június 7-én előadóülést szervezett, ahol a Götz Gusztáv Publikációs díjat személyesen tudta átadni az előadónak, Bölöni Gergelynek. Az előadás címe: Veszélyjelzés és gépi tanulás: kísérletezés a DWD veszélyjelzést segítő nowcasting rendszerével volt.

Az előadói ülések túlnyomó többsége online is követhető volt a Google Meet rendszer segítségével. Aki sem személyesen sem virtuálisan nem tudták előben követni az előadásokat, azoknak javasoljuk, hogy iratkozzanak fel az MMT YouTube csatornájára, ahol az előadások visszanezhetők.

Augusztusban rendezik a Magyar Meteorológiai Társaság XXXIX. Vándorgyűlését

2024.07.20. ■ Idén augusztus 29-31. között kerül megrendezésre a XXXIX. Vándorgyűlés, „Aktuális kihívások a meteorológiában – fókuszban a megújuló energia szektor meteorológiai támogatása” címmel. A közhasznú tudományos egyesületként működő Társaság hagyományosan két évente rendezett Vándorgyűlésének idén a Debreceni Egyetem ad otthont.

Az 1955 óta, két évente tartott konferencia helyszíne nem újkeletű, hiszen többször is helyt adott Debrecen városa az időjárás, az éghajlat és a levegőkörnyezettel kapcsolatos konferenciáknak. Egy kis történelmi áttekintés az eddig Debrecenben rendezett konferenciákról:

- IV. 1958. Debrecen: Hortobágy agrometeorológiája
- XXVII. 1993, Debrecen: Éghajlati idősorok statisztikai problémái
- XXXIV. 2012, Debrecen: Meteorológiai ismeretek gyakorlati hasznosítása
- XXXIX. 2024, Debrecen: Aktuális kihívások a meteorológiában – fókuszban a megújuló energia szektor meteorológiai támogatása

A Vándorgyűlés témái

Az energia szektor igényei, valamint a megújuló energiatermelés számára fontos sugárzás- és szél-előrejelzéssel kapcsolatos meteorológiai

fejlesztések bemutatása. A nemzetközi trendekkel összhangban, a folyamatosan növekvő hazai villamosenergia-felhasználás kiszolgálásában a fosszilis energiaforrásokat egyre nagyobb arányban váltják ki a karbonsemleges, megújuló energiaforrások. Ennek következményeként az energiatermelés becslésében markánsan megjelent az időjárás függés problématikája. Az időjárás előrejelzések irányában támasztott rendkívüli elvárások megoldása a hazai meteorológia legaktuálisabb feladata.

A Vándorgyűlés előadói körbejárják az aktuális kihívásokat és a lehetséges megoldásokat az alábbi területeken:

- az időjárás, azon belül is a szélsőséges időjárási helyzetek előrejelzése;
- a modell-előrejelzések fejlesztése a felhasználói igényekre reagálva;
- a meteorológiai mérőhálózat fejlesztése;
- a légszennyezés monitorozása és előrejelzése;
- az éghajlatváltozás nyomon követése és a hatásokhoz való alkalmazkodás támogatása

A program zárásaként a szervezők kirándulásra invitálják a résztvevőket, ahol többek között a Kismacs állomást, a Hortobágyot és Poroszlót látogatják meg.

*Szupercella kerekded feláramlási alappal és szakadozott falfelhővel.
Pipics Johanna, ViharVonal , Szentpéterfa, 2024. július 7.*



*Fiatál zivatarfelhő üllővel.
Tóth Tamás, MET-ÉSZ,
Szeged, 2024. június 28.*



*"Csapadékfüggöny" érkezik a telegdi víztározóhoz.
Jakab Gyula Csaba, ViharVonal,
Mezőtelegd (Tileagd), Románia, 2024. június 10.*

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