

LÉGKÖR

69. ÉVFOLYAM 4. SZÁM

A DUNAI ÁRVÍZ HÁTTERE

**HŐHULLÁMOK A JÖVŐBEN
MAGYARORSZÁGON**

**A PULZUS ÉS A BŐRFELSZÍNI
PÁROLGÁS IDŐJÁRÁS-FÜGGÉSE**

VIHARCIKLONOK EURÓPÁBAN

**LÓCZY LAJOS ÉS A LÉGKÖRI
KIHULLÁS**

2024. OKTÓBER



*Elvonuló frontális felhőzet mammatusokkal
Fedor Szilvia, Romhány, 2024. szeptember 28.*



*Vékony ködréteg a dunaújvárosi ipari komplexumoknál
Nagy Károly, 2024. november 16.*

LÉGKÖR

69. évfolyam 4. szám
2024. október

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

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

A kiadásért felel:
a HUNGAROMET NZRT. vezérigazgatója

Készült:
PREMIER Nyomda

Felelős vezető:
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

| | |
|---|-----|
| HORVÁTH ÁKOS, KURCSICS MÁTÉ: A 2024. szeptemberi rendkívüli dunai árvíz meteorológiai háttere <i>The meteorological background of the extraordinary Danube flood in September 2024</i> | 214 |
| SIMON CSILLA, TORMA CSABA ZSOLT, KIS ANNA, LAKATOS MÓNIKA: Hőhullámok detektálása és a hőhullám-karakteristikák jövőben várható változásai hibakorrigált regionális klímamodell-szimulációk felhasználásával, Magyarországon <i>Heatwave detection and future changes in heatwave characteristics based on bias-corrected regional climate model simulations in Hungary</i> | 219 |
| LAKATOS MÓNIKA, BORDI SÁRA, SCHUCHNÉ BÁN BEATRIX, SIMON CSILLA: A 2024-es rekordmeleg július átlagosnak ígérkezik a 21. század végére <i>Record hot July 2024 may become average at the end of the 21st century</i> | 225 |
| ÁCS FERENC, KRISTÓF ERZSÉBET, ZSÁKAI ANNAMÁRIA: A pulzus és a bőrfelszíni párolgás időjárástól való függése: elemzés kiválasztott nyári időjárási helyzetekre <i>Weather dependence of heart rate and skin surface evaporation: an analysis for selected summer weather conditions</i> | 231 |
| HORVÁTH ÁKOS, SZILÁGYI ESZTER: Hogyan okozhatott a szibériai hideg hóvihart Amerikában, majd viharciklonokat Európában? <i>Blizzard in North-America, storm in the Atlantic Ocean due to the Siberian cold</i> | 242 |
| DR. VÁRKONYI TIBOR: Lóczy Lajos és a légköri kihullás mérése <i>Lajos Lóczy and the atmospheric fallout</i> | 250 |
| LEELŐSSY ÁDÁM: Meteorológiai szakkifejezések helyesírása | 255 |
| SIMON CSILLA: Élménybeszámoló a Magyar Meteorológiai Társaság XXXIX. Vándorgyűléséről | 259 |
| MARTON ANNAMÁRIA, SZOLNOKI-TÓTIVÁN BERNADETT: 2024 nyarának időjárása | 262 |
| ERDŐDINÉ MOLNÁR ZSÓFIA, KOVÁCS ATTILA VIKTOR: A 2024-es nyár időjárása agrometeorológiai szempontból | 268 |
| KÖNYVAJÁNLÓ | 270 |
| HÍREK | 271 |
| ÉVES TARTALOMJEGYZÉK | 272 |

SZERZŐKNEK SZÁNT ÚTMUTATÓ

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

CÍMLAPON: Szabó Dorottya: Salgó várának árnyéka az őszi erdőn.



Foto: Németh Ákos

A 2024. szeptemberi rendkívüli dunai árvíz meteorológiai háttere

Horváth Ákos, Kurcsics Máté

HungaroMet Nonprofit Zrt. Siófoki Viharjelző Observatórium, horvath.a@met.hu

DOI: 10.56474/légkor.2024.4.1

2024 szeptemberének közepén a Boris névre keresztelt ciklon hatására nagy mennyiségű csapadék hullott a Duna felső vízgyűjtőjére, amely rendkívüli folyami árvizet okozott a Dunán és mellékfolyóin. A közel hét napon keresztül tartó esőzésben sokfelé 200 mm-t meghaladó csapadék esett, Alsó- és Felső-Ausztriában pedig nagyobb területen 300 mm fölötti csapadékmennyiséget is regisztráltak. Magyarországon a Nyugat-Dunántúlon hullott a legtöbb, helyenként 100 mm-t is meghaladó csapadék. A Boris ciklon hátoldalán a Balaton térségében 100 km/h-t meghaladó szélökések okoztak viharokot. A légörvény hatására markánsan csökkent a hőmérséklet: 30 fokról 10 fok közelébe. A madárvonulás idején jött hirtelen lehűlés tömeges madárpusztulást okozott, elsősorban a fecskék körében.

The meteorological background of the extraordinary Danube flood in September 2024

In mid-September 2024, Cyclone Boris caused heavy rainfall in the upper Danube catchment, causing extreme river flooding on the Danube and its tributaries. During almost a week, precipitation amount exceeded 200 mm in many areas with amount of over 300 mm recorded in large areas of Lower and Upper Austria. In Hungary, Western Transdanubia received the most precipitation exceeding 100 mm in some places. On the backside of Cyclone Boris, wind gusts exceeding 100 km/h caused storm damage in the area of Lake Balaton. Temperatures dropped sharply from 30 degrees Celsius to around 10 degrees Celsius. The sudden cooling during the bird migration period caused mass bird mortality, especially among swallows.

A ciklon okozta rendkívüli csapadék

A Boris ciklon legjelentősebb hatása a rendkívül nagy csapadék volt. A ciklon előtt már átvonult egy csapadékrendszer Közép-Európa felett, amelyből elsősorban a Rába és a Lajta vízgyűjtőjén esett sok eső szeptember 10-én reggelig. A következő napra ez a csapadékhullám a Déli-Kárpátok térségébe helyeződött át, a Kárpátokon túli román területeken villámárvizeket is okozott, de

a Duna felső vízgyűjtőjén ekkor jelentősebb eső nem volt. A nyugatról érkező hidegfront hatására szeptember 12-én reggelig főként osztrák területen már többfelé 20 mm-t meghaladó eső esett 24 óra alatt, azonban ez önmagában még nem okozott volna folyami árvizet.

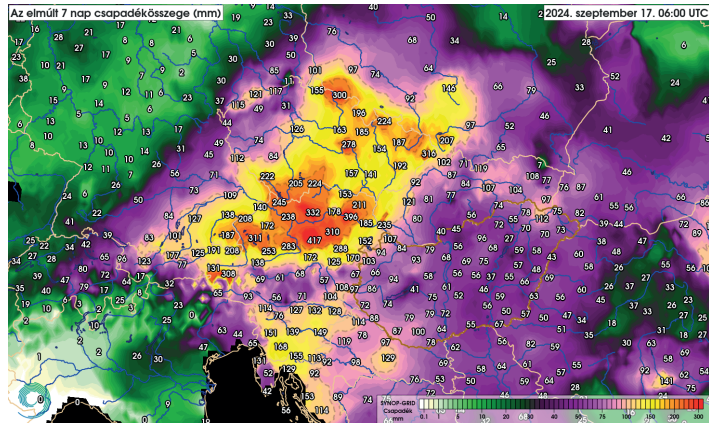
Szeptember 12-én azonban az Alpok délkeleti oldalán mélyülő ciklon már nagyon sok csapadékot hozott elsősorban Tiroiban és Szlovéniában, az utóbbi területen többfelé 100 mm fölötti értékeket produkálva

szeptember 13-án reggelig. Magyar területen, a Dunántúl nyugati peremén 40 mm-t mértek, a Dunától keletre pedig még alig hullott csapadék. A következő napon a már kimélyült légörvény felhőrendszere osztrák és cseh területek felett okozott rendkívüli csapadékot, szeptember 14-én reggelig az osztrák-cseh határ közelében helyenként 100 mm-nél is több eső esett 24 óra alatt. Magyarországon kiadós eső volt az egész országban. Az eddig lehullott csapadék már kritikus árvízi helyzetet váltott ki, Ausztriában és Csehországban a felső szakaszokon sokfelé kiléptek a folyók a medrükből, jelentős, épületeket és infrastruktúrát sújtó árvízi eseményekről érkeztek jelentések.

A ciklon azonban még mindig nem mozdult a térség fölül, és szeptember 15-én reggelig főleg Alsó- és Felső-Ausztriában, továbbá Lengyelország délnyugati területein esett rendkívüli mennyiségű, nagyobb területen 150 mm-t meghaladó eső 24 óra alatt, eddig soha nem tapasztalt árvízi helyzetet előidézve. Magyar területen ugyancsak jelentős csapadék hullott ismét, a Dunántúlon helyenként 40 mm-t is mértek. Szeptember 16-án reggelig csak Alsó-Ausztriában mértek kritikus mennyiségű, helyenként 60 mm-t is meghaladó csapadékot, de a Duna teljes felső vízgyűjtőjében is jellemzően 20 mm-t meghaladó eső esett 24 óra alatt. A ciklon továbbra sem mozdult a térség fölül, és szeptember 17-én reggelig az osztrák vízgyűjtőn nagy területen ismét 40 mm eső esett, minden eddiginél kritikusabb helyzetet teremtve úgy a helyi vízfolyásokon, mint a Duna egész felső szakaszán. Szeptember 17-én megkezdődött a ciklon feloszlása, és napközben már csak minimális csapadék hullott a Duna vízgyűjtőjén.

A Boris ciklon által produkált összes csapadékot tekintve megállapítható, hogy a ciklon 7 napja alatt a legtöbb eső Felső-Ausztriában esett, ahol nagyobb területen 200 mm feletti értékeket mértek, de hasonlóan rendkívül nagy csapadékos területek Csehországban, illetve Lengyelország déli körzeteiben is voltak. Nagy területen hullott 100 mm feletti csapadék a fenti térségen kívül még Szlovéniában, illetve Horvátországban is. Magyarországon a Nyugat-Dunántúlon esett 100 mm feletti csapadék a ciklonból, a legtöbb Mosonmagyaróváron: 107 mm. A térségben a Balatonnál esett a legkevesebb eső, aminek később részletezett, a térségre jellemző áramlástanai okai voltak. A ciklon okozta csapadékmennyiség eloszlását az 1. ábra mutatja.

A Magyarország területén lehullott csapadék önmagában nem okozott rendkívüli helyzetet. Ennek egyik oka a rendkívül száraz talaj volt, ami a csapadékot könnyen fel tudta venni. A másik ok a csapadék intenzitása: villámárvizeket okozó heves zivatarok helyett



1. ábra. A Boris ciklonhoz köthető 7 nap csapadékösszege 2024.09.17. 06:00 UTC-kor.

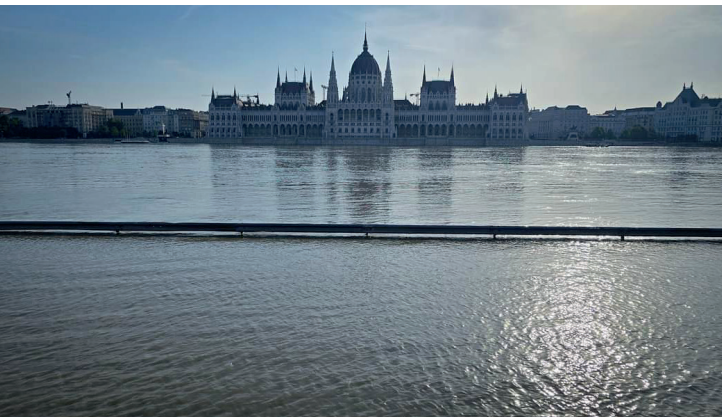
jellemzően hosszabb időszakra eloszló eső áztatta a talajt, így a lehullott csapadéknak volt ideje beszivárogni a földbe. Az országra zúduló árvíz alapvetően nyugatról érkezett, az arrafelé hulló rendkívüli mennyiségű csapadék hatására először a Lajtán alakult ki kritikus helyzet (2. ábra), majd a Dunán levonuló árvíz miatt volt szükség rendkívüli védekezésre (3. ábra).



2. ábra. Az áradó Lajta Mosonmagyaróvárnál (Baradics Bálint felvétele).

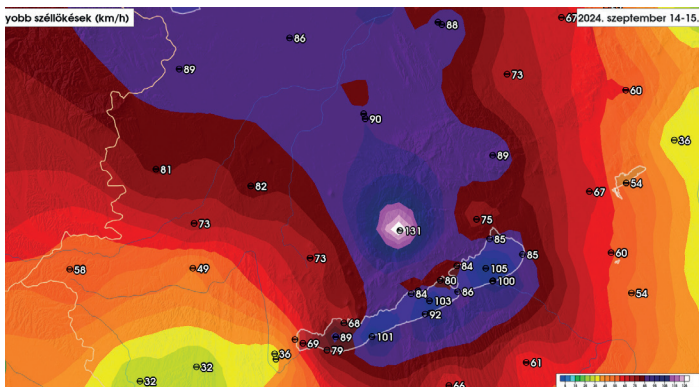
Viharos szél a ciklon hátoldalán

A Boris ciklon okozta rendkívüli csapadék mellett jóval kisebb súlya volt a légörvénnyel járó szélnek. Jelentősebb szélvihar az észak-dunántúli területeken és a Balaton térségében alakult ki, amikor az ország nyugati része a ciklon hátoldalára került, amelyben jelentős légnyomáskülönbésg jött létre. Szeptember 14-én és



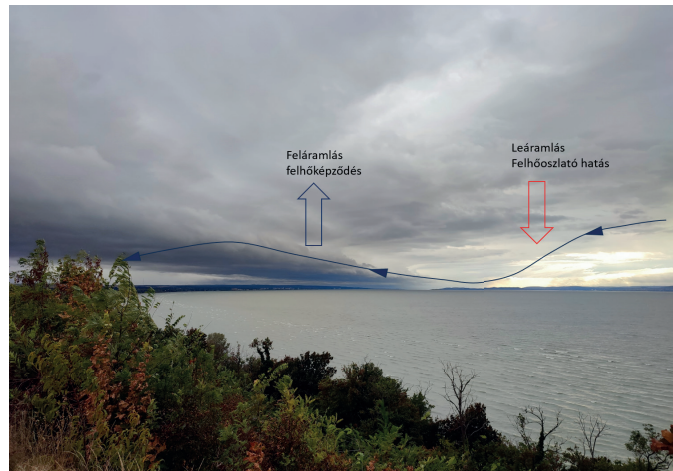
3. ábra. Az áradó Duna Budapestnél (Tölgyesi László felvétele).

15-én megközelítőleg a Fertő tó – Pápa – Balaton sávban létrejött egy szélszatórna, amelyben többfelé 90 km/h körüli széllökések alakultak ki. A legerősebb széllökéseket a magasabban fekvő állomások mérték: Kab-hegyen 131 km/h volt a maximális széllökés, amivel megdőlt a napi országos szélrekord. A Balatonnál többfelé 100-105 km/h-s széllökések fordultak elő (4. ábra).



4. ábra. A legerősebb széllökések eloszlása 2024.09.14-15-én a Balaton térségében.

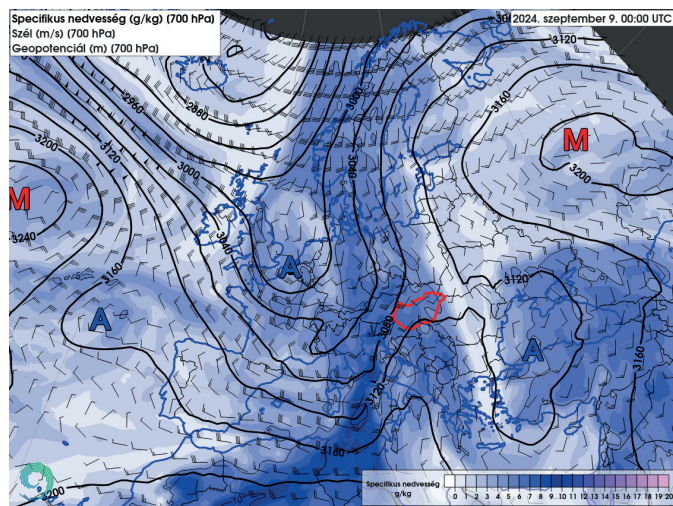
Az ilyen típusú időjárási helyzetekben gyakran kialakul a Balatonnál egy hosszan tartó álló léghullám, amely a bórához hasonló, a Balatonnál élő emberek által régebben "főszélnek" nevezett jelenség megnyilvánulása az égbépen [1][2][3]. A 5. ábrán megfigyelhető a Balaton északi partja felett álló keskenyebb felhőzet, amelyen még a nap sugarai is átszűrődnek, illetve a déli parttal párhuzamos markánsabb felhősáv. A Balaton feletti kevesebb felhő a hullám leszálló ágát jelzi, míg a déli parttal párhuzamos felhősáv a felszínről "visszapattanó" és emelkedő légáramlás hatására jön létre, azaz a léghullám emelkedő sávjában. Az a tény, hogy a ciklon csapadékösszege a Balatonnál alacsonyabb volt (1. ábra), ugyancsak ennek a bukószélnek tudható be. A leáramlás kiszárító hatása, illetve a fönös helyzet több napon keresztül fennállt, ezzel csökkentve a csapadék mennyiségét.



5. ábra. A Balaton fölött kialakuló állóhullám felhőzete a keleti partról nézve.

A ciklon kialakulásának meteorológiai háttere

A Boris ciklon kialakulását három időjárási körülmény egyszerre támogatta. Az első a nagy hőmérsékleti kontraszt volt, amely az északnyugatról jövő gyorsan mozgó hidegfront mögötti hűvösebb és a mediterrán térséget kitöltő rendkívül meleg légtömeg között alakult ki. Az így keletkezett jelentős baroklin instabilitás önmagában is kedvezett a fronton létrejövő



6. ábra. A 700 hPa specifikus nedvessége (színezett területek), a szint magassága (folytonos vonalak) és szélviszonyai 2024.09.09. 00:00 UTC-kor az ECMWF analízise alapján.

hullám kialakulásához. A másik tényező az Alpok hatása, amely az északnyugati hidegfrontok esetén kedvez az ún. lee-oldali ciklogenezisnek. A mediterrán ciklonok, illetve elsősorban az ún. genovai ciklonok jórészt ennek hatására jönnek létre. Ezúttal volt egy harmadik tényező is, a levegő magas nedvességtartalma, amely a fejlődő ciklon feláramlási rendszerében kondenzálódva jelentős látens hőfelszabadulással támogatta a légörvény fejlődését és egyúttal a rendkívül nagy csapadékot is okozta.

A ciklon kialakulását megelőzően a nyugati áramlási övből mélyen délre lenyúló léghullám hatására a trópusi területekről a Nyugat-Szahara felett áthaladó nedves szállítószalag számottevő vízgőzt szállított magával (6. ábra). A rendkívül meleg sivatagi és mediterrán levegőben áramló vízgőz telítetlenül maradvá jutott el Közép-Európa fölé.

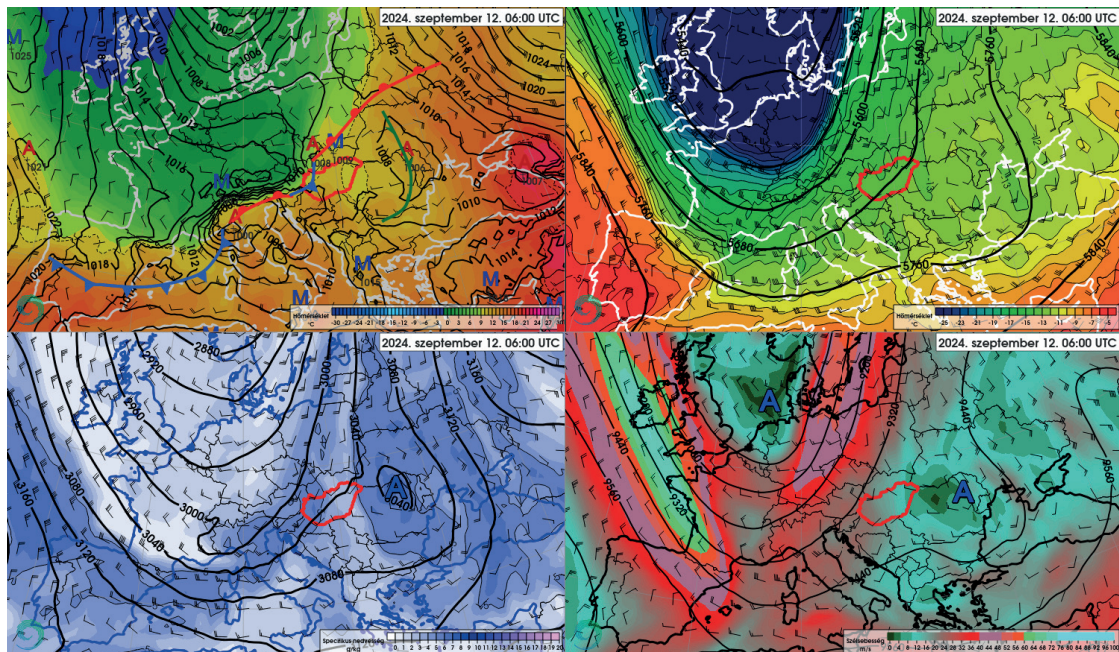
A Boris ciklon kialakulását a térségbe szeptember 11-én érkező hidegfront előzte meg. A front előtt torlódó nedves levegő, a front mögött jövő magassági hideg, illetve a hozzá tartozó jet stream egy „szokásos”, markáns hidegfront betörés kezdetét mutatták. Az Alpokhoz érve a hegység déli oldalán szeptember 12-én intenzív lee-oldali ciklogenezis indult meg, maga a front lelas-

sult, a magassági hidegmag utolérte a frontot és megkezdődött a már említett intenzív csapadékhullás az osztrák, szlovén és észak-olasz területeken (7. ábra).

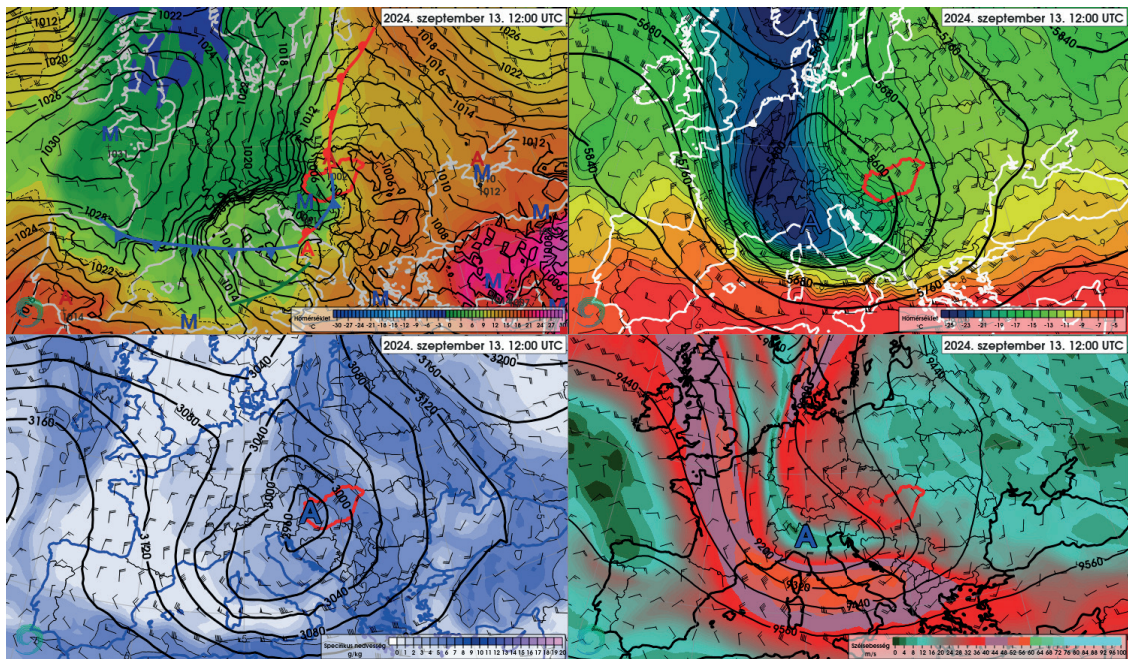
A következő napokban a front már nem haladt tovább, rajta több hullám is keletkezett és kialakult a Boris névre keresztelt légörvény, amely rövidesen már a jet stream magasságában (kb. 300 hPa) is zárt áramlási képet mutatott (8. ábra). Ezt követően a ciklon alig mozdult, viszont tovább mélyült. A ciklon felcsavarodó karjaiban kicsapódó nedvesség folyamatosan biztosította a csapadékot, amely legintenzívebben a légörvény északnyugati részén hullott, ahol az áramlást az Alpok is megemelte. Szeptember 17-én megindult a ciklon feltöltődése, illetve a magassági hidegörvény Észak-Olaszország fölé húzódott és ott még jelentős csapadékot és súlyos árvízi helyzetet okozott.

Következtetések

A Boris nevű közép-európai ciklon rendkívül sok csapadékot produkált a Duna felső vízgyűjtőjében. A ciklon 7 napja alatt többfelé mértek 300 mm-t is meghaladó csapadékot, amely először Szlovéniában, majd főleg Ausztriában és Csehországban, illetve



7. ábra. Időjárási helyzet 2024.09.12. 06:00 UTC-kor az ECMWF analízis alapján. Bal felső ábra: tengerszintű légnyomás (folytonos vonalak), a 850 hPa nyomási szint (kb. 1500 m magasság) hőmérséklete (színezett terület) és a 925 hPa nyomási szint szélviszonyai; jobb felső ábra: 500 hPa nyomási szint (kb. 5500 m) hőmérséklete (színezett terület), a nyomási szint magassága (folytonos vonalak), a nyomási szint szélviszonyai; bal alsó ábra: 700 hPa nyomási szint (kb. 3000 m) specifikus nedvessége (színezett terület), a nyomási szint magassága (folytonos vonalak) és a szint szélviszonyai; jobb alsó ábra: a 300 hPa nyomási szint (kb. 9500 m) szélereksége (színezett terület), a nyomási szint magassága (folytonos vonalak) és a szint szélviszonyai.



8. ábra. Időjárási helyzet 2024.09.13. 12:00 UTC-kor az ECMWF alapján. Az ábramagyarázat megegyezik a 7. ábrával.

Lengyelország délnyugati területein hullott. Ez a mennyiség közel hatszorosa a szeptember havi magyarországi átlagos csapadékmennyiségnek. Az esőzések először regionális, majd a Dunán folyami árvizet okoztak. Meteorológiai szempontból meghatározó volt a térségben felhalmozódott, részben trópusi eredetű nagy nedvesség, amely a ciklon kialakulásánál és a nagy csapadékrendszerek létrejöttében játszott fontos szerepet. A sivatagi területek fölött átívelő nedvesség híd nem rendkívüli, de nem is gyakori jelenség [4]. Az északi félteke szokatlanul meleg nyara hozzájárult ahhoz, hogy a légkörben - telítetlen állapotban, vagyis vízgőz formájában - több nedvesség halmozódjon fel, és az kicsapódás nélkül magasabb földrajzi szélességű területekre jusson. A magas nedvességtartalmú, de telítetlen levegő találkozása az érkező hideg légtömeggel hozzájárult a ciklon kialakulásához. A kialakult alacsony nyomású légörvény viszont nagy területekről szívta magába a környező légtömegeket, amelyekben bőven talált nedvességet, így ezek tovább táplálták a ciklon csapadékrendszereit.

A dunai árvizek kialakulása legtöbbször a térségben fejlődő, vagy itt megrekedt közép-európai ciklonokhoz köthető, ahogy a 2013-as történelmi árvíz idején is tapasztalni lehetett [5][6], és Boris története is nagyon hasonlóan alakult. A numerikus időjárási előrejelzések 5-6 nappal előbb jelezték a ciklon kialakulását és nagy pontossággal adták meg a rendkívül nagy csapa-

dék valószínűségét is. Az Alpok keskeny völgyeiben azonban az ilyen mennyiségű és intenzitású csapadék okozta árvíz kivédhetetlennek bizonyult. A hazai területekre befolyó dunai árhullám levonulása során Magyarországon már nem hullott jelentősebb csapadék, ami jelentősen segítette a vízállás előrejelzését és a védekezésben résztvevő szakemberek munkáját.

Internetes hivatkozások:

- [1] https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3365&hir=A_Balaton_boraja
- [2] https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3157&hir=Az_adriai_borától_a_bakonyi_lejtőviharig
- [3] https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=2920&hir=Allo_leghullám_a_Balaton_felett_miert_fúj_erősebb_szel_a_Balatonnal_hidegfront_eseten?
- [4] https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3212&hir=A_víz_korforgalma_a_legkorben_%E2%80%93_a_rendkivuli_aszaly_idojarasi_hattere
- [5] https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=747&hir=Történelmi_arviz_a_Dunán_-_2013._junius
- [6] https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=709&hir=A_2013._juniusi_dunai_arviz_idojarasi_hattere



Hőhullámok detektálása és a hőhullám-karakterisztikák jövőben várható változásai hibakorrigált regionális klímamodell-szimulációk felhasználásával, Magyarországon

Simon Csilla, Torma Csaba Zsolt, Kis Anna, Lakatos Mónika

HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt, simon.cs@met.hu

DOI:10.56474/legkor.2024.4.2

Az éghajlatváltozás egyértelmű jele régiókban bizonyos időjárási és éghajlati szélsőségek gyakoribb bekövetkezése. Ide tartoznak a nyári hőhullámok is, amelyek a jövőben még intenzívebbé és hosszabbá válhatnak térségünkben. Kutatásunk során elvégeztük a hőhullámos periódusok detektálását és azok különböző karakterisztikáinak jellemzését két nagyobb város (Budapest, Szeged) állomási adatai alapján. Emellett a CORDEX program keretében elérhető regionális éghajlati modellek adatait alapul véve megvizsgáltuk a hőhullámos napok átlagos éves számában és az átlagos hőhullám-karakterisztikákban várható változást is a 21. század végéig Magyarországon (referencia időszak: 1976–2005). A hőhullám-definíciók közül egy összetettebb feltételrendszert alkalmazó módszert vettünk alapul, aminek kritériumait a hazai éghajlati viszonyokhoz optimalizáltuk. Eredményeink szerint a hőhullámok átlagos időtartama 3–9 nappal hosszabbá válhat a 21. század végére.

Heatwave detection and future changes in heatwave characteristics based on bias-corrected regional climate model simulations in Hungary

A clear sign of climate change in our region is the increasing frequency of weather and climate extremes, such as summer heatwaves, which may become longer and more intense in the future. In this paper the detection of heatwave periods and the analysis of different characteristics are carried out for two major cities of Hungary (Budapest, Szeged) based on station data series. In addition, based on data from the regional climate models available in the CORDEX programme, expected changes in the annual number of heatwave days over Hungary and mean characteristics of heatwaves are investigated until the end of the 21st century (reference period: 1976–2005). In our study, a more complex set of criteria, optimised for the climatic conditions of Hungary, is used to define heatwaves. According to our results, the average duration of heatwave periods could become 3–9 days longer by the end of the 21st century.

A klímaváltozás és a globális felmelegedés hatásai a Kárpát-medencét is érintik, amely többek között a különböző időjárási és éghajlati szélsőségek gyakoriságának növekedésében mutatkozik meg. Ilyen jelenség a komoly egészségügyi kockázatot jelentő nyári hőhullámok egyre intenzívebbé, hosszabbá válása is (Molina et al., 2020), amely időszakok a gazdaság szektorait komoly kihívás elé állítják, és az ökoszisztémákra is veszélyesek. A hőhullámos periódusok meghatározására többféle definíció létezik, amelyek közül a legtöbb egy-egy relatív (percentilis-alapú) vagy abszolút hőmérsékleti küszöbhez köthető, és ehhez általában időtartamra vonatkozó kritérium is társul. Az alkalmazott kritériumok régióként eltérhetnek az adott térség földrajzi helyzetének, éghajlati jellemzőinek, valamint szociális és demográfiai tulajdonságainak figyelembevételével. Kutatásunkban egy Magyarországra optimalizált definíciót alapul véve elvégezzük a hőhullámok detektálását két magyarországi város állomási adatai alapján, emellett azt vizsgáljuk, hogy a jövőben milyen változás várható a hőhullámok különböző karakterisztikáit tekintve.

Felhasznált adatok és módszerek

A hőhullámok detektálásához homogenizált napi középhőmérsékleti állomási adatsorokat használtunk fel Budapestre és Szegedre vonatkozóan az 1901–2024 időszakra, emellett a szabadon hozzáférhető HuClim adatbázist vettük alapul, amelyet az 1976–2005 időszakra töltöttünk le (odp.met.hu). A HuClim térben és időben egyaránt reprezentatívnak tekinthető, amelynek előállítása és évenkénti frissítése a HungaroMet Éghajlatkutatási Osztályán történik. A meteorológiai adatok ellenőrzése, homogenizálása a MASH (Multiple Analysis of Series for Homogenized Database; Szentimrey, 2008) rendszerrel valósul meg, míg a szabályos, 0,1°-os (10 km-es) horizontális felbontású

rácsra történő interpolálást a MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Database; Szentimrey és Bihari, 2007) szoftverrel végzik el. A jövőre vonatkozó elemzéshez az EURO-CORDEX program (Jacob et al., 2014) keretében elérhető modelleredmények közül kiválasztott öt regionális éghajlati modell nyers napi középhőmérsékleti szimulációit használtuk fel (1. táblázat). A szimulációk 0,11°-os (kb. 12,5 km-nek megfelelő) horizontális felbontással rendelkeznek, és a pesszimistának tekintett RCP8.5 kibocsátási szcenárió (van Vuuren et al., 2011) feltételezése mellett készültek. A nyers adatsorokat a nemzetközileg elismert percentilis-alapú kvantilis leképezés módszerével hibakorrigáltuk Mezghani et al. (2017) munkája alapján, amelyhez a HuClim adatbázisból az 1976–2005-ös időszakot jelöltük ki kalibrációs időszakként. A hibakorrekciót az egyes hónapokra külön-külön végeztük el, az egységes, 0,11°-os rácsra történő leképezés bilineáris átrácsozással történt. A Budapestre vonatkozó számításokhoz 4×4, Szegedre vonatkozóan 2×2 rácspont átlagát vettük alapul.

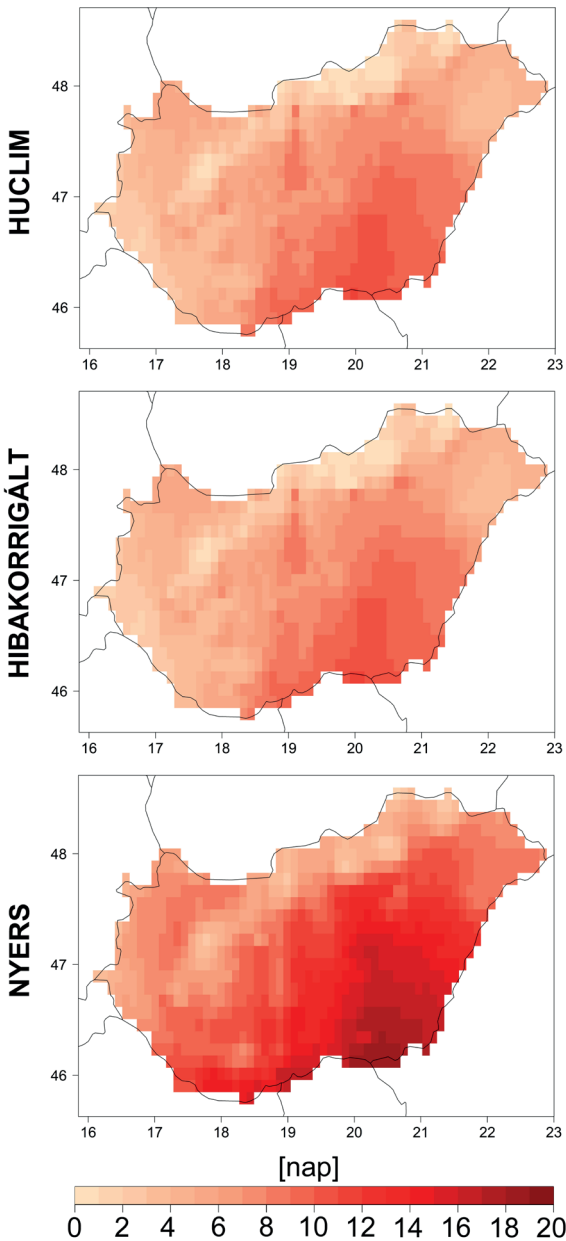
A hőhullám fogalmának meghatározásához és a hőhullámos periódusok detektálásához Ouzeau et al. (2016) cikkét vettük alapul, és az abban megjelenő küszöbértékeket Magyarország éghajlati viszonyaihoz optimalizáltuk. Ehhez a hőhullámos nap definícióját használtuk fel, amiről akkor beszélünk, ha a napi középhőmérséklet eléri vagy meghaladja a 25 °C-ot. Hőhullámnak tekintettük azt az időszakot, amikor legalább 3 egymást követő napon teljesül a hőhullámos napra vonatkozó középhőmérsékleti kritérium. Definíciónk szerint két egymást követő hőhullámos periódus akkor számít különbözőnek, ha a kettő között a napi középhőmérséklet visszaesik 21 °C alá, vagy legalább 3 napig 25 °C alatt marad – egyéb esetben ezeket egyetlen hőhullámnak tekintettük. A hőhullámokat három karakterisztikájuk alapján vizsgáltuk, ezek az időtartam, az előforduló legmagasabb napi középhőmérsékleti érték, valamint az intenzitás, amit a 25 °C feletti hőösszeggel fejeztünk ki.

Hőhullámos napok

Első lépésként elvégeztük a nyers és a hibakorrigált regionális éghajlati modellszimulációk validációját az 1976–2005 közötti időszakra, amihez megvizsgáltuk, hogy mennyire közelítik pontosan a hőhullámos napok átlagos éves előfordulását a modellek. Az 1. ábrán látható, hogy a HuClim adatok alapján évente átlagosan 1–13 közötti hőhullámos nap fordult elő országsgazerte, a legkevesebb a hegyvidéki

| Regionális klímamodell | Meghajtó globális éghajlati modell |
|------------------------|------------------------------------|
| CCLM4-8-17 | MPI-M-MPI-ESM-LR |
| HIRHAM5 | ICHEC-EC-EARTH |
| RACMO22E | MOHC-HadGEM2-ES |
| RCA4 | CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 |
| REMO2009 | MPI-M-MPI-ESM-LR |

1. táblázat. A kutatáshoz felhasznált regionális klímamodell és az azokat meghajtó globális éghajlati modellek.



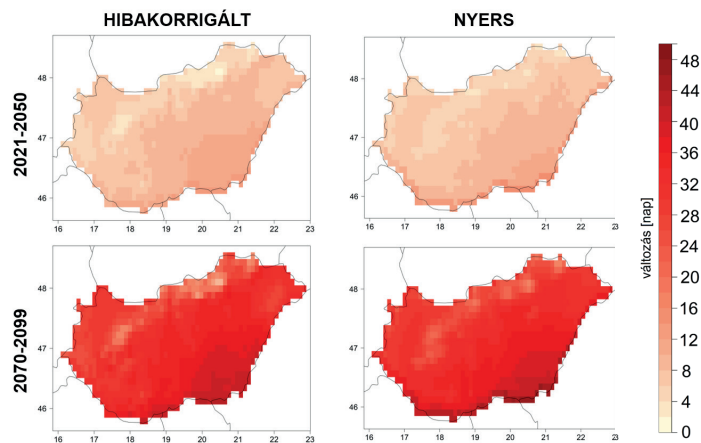
1. ábra. A hóhullámos napok átlagos éves száma Magyarországon az 1976–2005 közötti időszakban a HuClim adatbázis (fent), valamint a hibakorrigált (középen) és a nyers (lent) szimuláció-együttes átlagai alapján.

területeken, a legtöbb pedig a DK-i régióban. A nyers modellszimuláció-együttes az Alföldön és a Kisalföldön ezeket az értékeket 5–9 nappal felülbecsülte, míg a HuClim adatbázis felhasználásával hibakorrigált szimulációk ± 1 napos pontossággal közelítették a méréseken alapuló eredményeket.

Ezt követően megvizsgáltuk, hogy a regionális klímamodellek milyen mértékű változást valószínűsítene a hóhullámos napok átlagos éves számában Magyarországon a 21. század végéig. Ennek vizsgálatához két időszakot jelöltünk ki: a 2021–2050 és a 2070–2099 közötti 30 éves periódusokat. A 2. ábra összegzi a kiválasztott jövőbeli időszakokban várható változást a referenciának kijelölt 1976–2005 időszakhoz viszonyítva a nyers és a hibakorrigált szimulációk multi-modell átlagai alapján. A hibakorrigált eredmények szerint a hegyvidékeken 1–4 nappal, az alföldi területeken 6–14 nappal növekedhet a hóhullámos napok éves gyakorisága a 21. század közepére. A 2070–2099 közötti időszakban is hasonló a változás mértékének területi eloszlása, és a referencia időszakhoz képest megháromszorozódhat azoknak a napoknak a száma, amikor a napi középhőmérséklet eléri vagy meghaladja a 25 °C-ot – vagyis a hegyvidékeken átlagosan 10–14 nappal, síkvidékeken 30–42 nappal több hóhullámos nap következhet be évente. A nyers projekciók a nagyobb tengerszint feletti magasságokon átlagosan 1–3-mal több hóhullámos napot szimulálnak évente a hibakorrigált eredményekhez viszonyítva.

Átlagos hóhullám-karakterisztikák

A 2. táblázatban összefoglaltuk, hogy az 1976–2005 időszakban a hóhullámok vizsgált karakterisztikái milyen átlagos értékekkel rendelkeztek az egyes regionális klímamodellek szimulációi, valamint a méréseken alapuló HuClim adatok alapján. Mivel a hibakorrigált szimulációk pontosabban közelítették a hóhullámos



2. ábra. A hóhullámos napok átlagos éves számában valószínűsített változás a hibakorrigált (bal oldal) és a nyers (jobb oldal) regionális klímamodellek szimuláció-együttese alapján a 2021–2050 és a 2070–2099 közötti időszakokban Magyarországon (referencia időszak: 1976–2005).

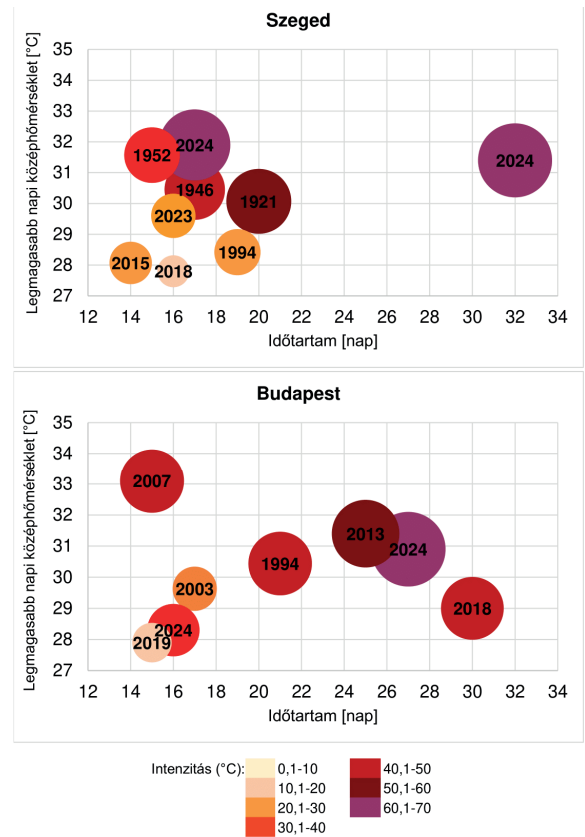
| | ÁTLAGOS | | |
|--------------------|-----------------|-----------------|--|
| | időtartam [nap] | intenzitás [°C] | legmagasabb napi középhőmérséklet [°C] |
| SZEGED | | | |
| CCLM4-8-17 | 5,37 | 7,72 | 27,41 |
| HIRHAM5 | 6,02 | 8,63 | 27,26 |
| RACMO22E | 7,28 | 10,66 | 27,33 |
| RCA4 | 6,64 | 9,18 | 27,46 |
| REMO2009 | 5,46 | 7,60 | 27,33 |
| MULTI-MODELL ÁTLAG | 6,15 | 8,76 | 27,36 |
| HUCLIM | 5,28 | 7,36 | 27,43 |
| BUDAPEST | | | |
| CCLM4-8-17 | 4,77 | 6,44 | 27,08 |
| HIRHAM5 | 5,76 | 6,64 | 26,93 |
| RACMO22E | 7,29 | 9,56 | 27,02 |
| RCA4 | 6,07 | 7,11 | 26,93 |
| REMO2009 | 6,23 | 7,85 | 27,00 |
| MULTI-MODELL ÁTLAG | 6,02 | 7,52 | 26,99 |
| HUCLIM | 5,11 | 6,12 | 26,98 |

2. táblázat. Az átlagos hőhullám-karakteristikák az 1976–2005 időszakban Budapesten és Szegeden a hibakorrigált regionális klímamodell-szimulációk, valamint a HuClim adatok szerint.

napok számát (2. ábra), ezért a hőhullám-karakteristikákra vonatkozóan most csak ezeket az eredményeket mutatjuk be. Az átlagos időtartamot és az intenzitást a CCLM4-8-17 (valamint Szeged térségében a REMO2009) közelítette legpontosabban, a legnagyobb felülbecslés pedig a RACMO22E esetében adódott Szeged és Budapest térségében egyaránt. A multi-modell átlag az időtartamot 1 nappal, az intenzitást pedig 1,4 °C-kal felülbecsülte, a hőhullámok alatt előforduló átlagos legmagasabb napi középhőmérsékletet viszont 0,1 °C-os pontossággal közelítette. Szegeden a referencia időszakban átlagosan 1 °C-kal magasabb intenzitás jellemezte a hőhullámokat, mint Budapesten, az átlagos időtartamuk azonban hasonlóan adódott (5 nap).

Detektált hőhullámok

Korábbi munkánkban már foglalkoztunk a hőhullámos időszakok detektálásával (Simon, 2021), valamint Bokros és Lakatos (2022) is végzett magas hőmérsékletekhez kapcsolódó szélsőségekre és különböző hőségindexekre irányuló elemzést Budapestre vonatkozóan. Ebben a tanulmányban az 1901–2024 közötti időszakra jelenítettük meg a 14 napnál hosszabb hőhullámos periódusokat Budapest belterület és Szeged külterület állomásokra buborékdiagramok formájában (3. ábra). A



3. ábra. A 14 napnál hosszabb hőhullámok Budapesten és Szegeden 1901–2024 között állomási adatok alapján.

vízszintes tengelyen látható a hőhullám időtartama napokban kifejezve, a függőleges tengelyen az adott hőhullám alatt előforduló legmagasabb napi középhőmérsékleti érték jelenik meg, a buborékok mérete pedig arányos a hőhullám intenzitásával, amelynek nagyságát színskála segítségével is érzékeltettük. Az ábráról leolvashatjuk, hogy Szegeden a leghosszabb hőhullámok 14–20 napig tartottak, míg Budapesten több, ennél hosszabb hőségperiódus is bekövetkezett, amelyek közül a 2018-as 30 napig állt fenn. A legjelentősebb budapesti hőhullámok

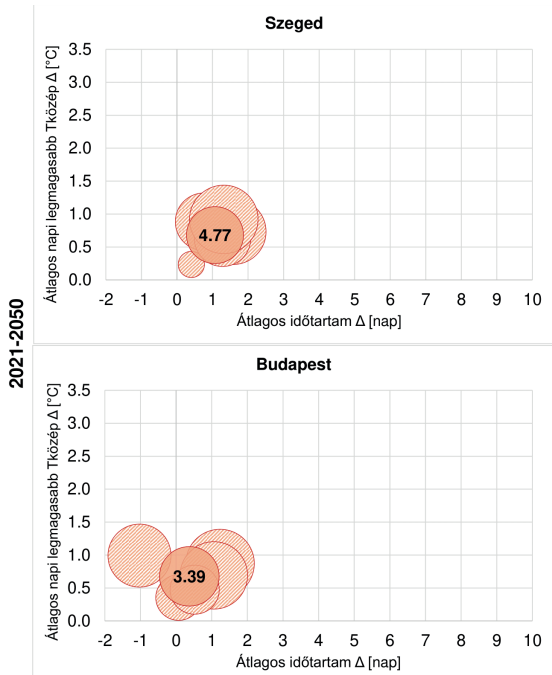
egy kivételével (1994) a 2000-es években alakultak ki, Szegeden viszont már a 20. századból is detektáltunk hosszan tartó hőségi periódusokat, amelyek közül az 1921-es volt a legintenzívebb és a leghosszabb, egészen 2024-ig. A 2024-es, rekordmeleg nyáron több hóhullám is kialakult, amelyek közül kettő is tovább tartott két hétnél, ezáltal mindkét állomáson felkerült az ábrára. Szegeden az augusztus 8. és szeptember 8. között bekövetkezett hőségi periódus időtartamát és intenzitását tekintve is rekordot döntött: 32 napig tartott, és 68,5 °C-os intenzitás értékkel rendelkezett. Budapesten a július 6-tól augusztus 1-ig tartó hóhullám – habár csak a második leghosszabbnak bizonyult 27 napos időtartamával, – szintén rekordot jelentett a 25 °C feletti hőmérséklet-összeget tekintve, ami 68,0 °C-nak adódott (ezzel megelőzve a 2013-asat, aminek intenzitás-értéke 55,8 °C volt).

A hóhullám-karakterisztikák várható változásai

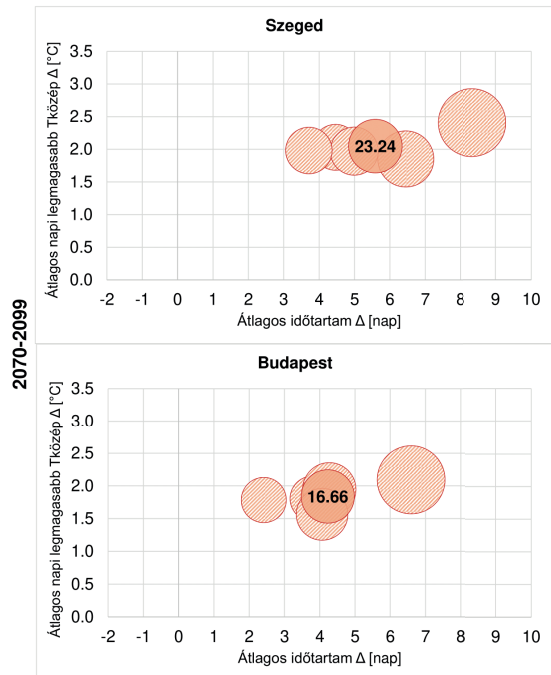
Utolsó lépésként elemeztük, hogy az egyes hóhullámokat jellemző karakterisztikák milyen mértékű változása várható a 21. század folyamán a modellmúlthoz

viszonyítva. A változásokat szintén buborékdiagram formájában jelenítettük meg, ahol a vízszintes tengelyen látható az adott jövőbeli időszakban szimulált átlagos időtartam változása napokban kifejezve, a függőleges tengelyen az átlagos legmagasabb napi középhőmérsékletben valószínűsített változás jelenik meg, a buborékok mérete pedig az átlagos intenzitás értékében várt változást fejezi ki. A 2021–2050 időszakra a regionális klíma-modellek átlagosan 1–2 nappal hosszabb hóhullámokat szimulálnak 2–7 °C-os intenzitás-növekedés mellett (4. ábra). Utóbbi paraméterre vonatkozóan a legmagyobb mértékű emelkedést a RACMO22E, a CCLM4-8-17, valamint a REMO2009 modellek szimulálják.

A 21. század végére átlagosan 3–8 nappal hosszabb hőségi periódusokra kell készülnünk a klíma-modellek eredményei alapján, amelyek intenzitása a múlta szimulált átlagos értéknek akár a négyszerese is lehet: Budapesten átlagosan 17 °C-kal, Szegeden pedig 23 °C-kal növekedhet a 25 °C feletti hőmérséklet-összeg (5. ábra). Az átlagos előforduló legmagasabb napi középhőmérséklet változását tekintve mindkét jövőbeli időszakban kicsi a szórás az egyes szimulációk között (0,18–0,25 °C), a modellek



4. ábra. Az átlagos hóhullám-karakterisztikák értékében valószínűsített változás (Δ) a 2021–2050 időszakban az egyes regionális klíma-modellek hibakorrigált szimulációi szerint (referencia időszak: 1976–2005). A multi-modell átlagot jelölő buborék sötétebb színnel jelenik meg, a hozzá tartozó számérték az átlagos intenzitás változására vonatkozik.



5. ábra. Az átlagos hóhullám-karakterisztikák értékében valószínűsített változás (Δ) a 2070–2099 időszakban az egyes regionális klíma-modellek hibakorrigált szimulációi szerint (referencia időszak: 1976–2005). A multi-modell átlagot jelölő buborék sötétebb színnel jelenik meg, a hozzá tartozó számérték az átlagos intenzitás változására vonatkozik.

egyértelműen tehát abban, hogy a 21. század közepére nagyjából 0,5 °C-kal, a 21. század végére átlagosan körülbelül 2 °C-kal emelkedhet a napi középhőmérséklet a hőhullámok legmelegebb napjain.

Összefoglalás

A nyári hőhullámos periódusok leírására nem létezik kizárólagos definíció, a kritériumok országonként, régióként eltérhetnek az adott térség klimatikus viszonyaitól, földrajzi helyzetétől függően. Tanulmányunkban hőhullámnak tekintettük azt az időszakot, amikor legalább három egymást követő napon keresztül a középhőmérséklet eléri vagy meghaladja a 25 °C-ot (ez megegyezik a tisztifőorvosi másodfokú hőségriasztáshoz alkalmazott definícióval). *Ouzeau et al.* (2016) munkáját alapul véve a hőhullámok három karakterisztikáját vizsgáltuk: az időtartamát, az intenzitását – a 25 °C feletti középhőmérséklet-összeget –, valamint a hőhullám során előforduló legmagasabb napi középhőmérsékletet. Ezek alapján elvégeztük a hőhullámos periódusok detektálását Budapest belterület és Szeged külterület állomási napi adatsorai alapján. Regionális éghajlati modellek nyers és hibakorrigált szimulációit felhasználva elemeztük a hőhullámos napok átlagos éves gyakoriságában, valamint a hőhullámokat jellemző karakterisztikák 30 éves átlagos értékeiben valószínűsített változásokat két jövőbeli időszakra (2021–2050, 2070–2099). Az eredmények szerint Magyarországon 20–40 nappal több hőhullámos nap következhet be évente a 21. század végén, ennél valamivel kisebb mértékű növekedés csak a hegyvidéki területeken valószínű. A hőhullámos periódusok átlagosan 3–9 nappal hosszabbodhatnak meg az 1976–2005 közötti időszakban tapasztaltakhoz képest, az intenzitásuk pedig akár a három-négyszeresére is emelkedhet. A jövőben tehát fel kell készülnünk az idejéhez hasonló, vagy annál jelentősebb hőhullámok bekövetkezésének gyakoribbá válására, amelyek komoly egészségügyi kockázatot jelentenek, fontos tehát az ezekre való felkészülés és alkalmazkodási stratégiák kidolgozása.

Irodalomjegyzék

Bokros, K., Lakatos, M., 2022: Hőségperiódusok vizsgálata Budapesten a XX. század elejétől napjainkig. Légkör, 67(4), 208–218. <https://doi.org/10.56474/legkor.2022.4.4>

Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L. M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones,

*C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana J-F, Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P., 2014: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change, 14*, 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>*

*Mezghani, A., Dobler, A., Haugen, J.E., Benestad, R.E., Parding, K. M., Piniewski, M., Kardel, I., Kundzewicz, Z.W., 2017: CHASE-PL Climate Projection dataset over Poland - bias adjustment of EURO-CORDEX simulations. *Earth System Science Data, 9(2)*, 905–925. <https://doi.org/10.5194/essd-9-905-2017>*

*Molina, M.O., Sánchez, E., Gutiérrez, C., 2020: Future heat waves over the Mediterranean from an Euro-CORDEX regional climate model ensemble. *Scientific Reports, 10*, 8801. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65663-0>*

*Ouzeau, G., Soubeyroux, J-M., Schneider, M., Vautard, R., Planton, S., 2016: Heat waves analysis over France in present and future climate: Application of a new method on the EURO-CORDEX ensemble. *Climate Services, 4*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2016.09.002>*

Simon, Cs., 2021: Hőhullám kategóriák és trendek Magyarországon. Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Budapest (témavezető: Lakatos Mónika, Kis Anna), https://nimbus.elte.hu/tan-szek/docs/MSc/2021_2/Simon_Csilla_2021.pdf

Szentimrey, T., Bihari, Z., 2007: Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis). In: Proceedings from the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology, Budapest, Hungary, 2004, COST Action 719, COST Office, 17–27.

Szentimrey, T., 2008: Development of MASH homogenization procedure for daily data, Proceedings of the Fifth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases, Budapest, 2006; WCDMP-No. 71, WMO/TD-NO. 1493, 123–130.

*van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J-F, Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K., 2011: The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change, 109(5)*, 5–31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>*



A 2024-es rekordmeleg július átlagosnak ígérkezik a 21. század végére

Lakatos Mónika, Bordi Sára, Schuchné Bán Beatrix, Simon Csilla

HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt., lakatos.m@met.hu

DOI:10.56474/legkor.2024.4.3

A 2024-es rekordmeleg július segítségével szemléletessé tudjuk tenni, hogy mi vár ránk a jövőben. Az 1901-től elemzett júliusok sorában első helyre került 2024 júliusa. A mérési sor a HungaroMet éghajlati adatbázisán alapuló, homogenizált és interpolált júliusi országos átlagokból áll. A valószínűsíthető változások becsléséhez az éghajlatváltozás hazai hatásainak feltérképezését szolgáló, a HungaroMet-nél előállított regionális klímamodell-szimulációk együttesét használtuk. Ezek tükrében értékeltük 2024. júliusi középhőmérsékletét. A klímamodell-szimulációk szerint a jövőben is előfordulhatnak hűvösebb (akár 20 °C alatti középhőmérsékletű) júliusok, de a 2024-esnél jóval melegebbek is. A század második felét jellemző két harmincéves periódusban (2051–2080-ban és 2061–2090-ben) a júliusok negyede a 2024. évinél melegebbnek ígérkezik, a 2071–2100 időszakra pedig a júliusok harmadára igaz ez, így a század végén az ideihez hasonló értékek megszokottá válhatnak. A megfigyelt melegedés alapján a magasabb üvegházgáz-kibocsátást feltételező, nagyobb mértékű felmelegedést valószínűsítő éghajlati forgatókönyv tűnik reálisnak a jövőben.

Record hot July 2024 may become average by the end of the 21st century

The record warm July of 2024 in Hungary gives us an idea of what the future holds. The observation series we analysed consist of homogenised and interpolated countrywide averages for July based on the HungaroMet national climate database. To estimate the likely changes, we used a set of regional climate model simulations available produced at HungaroMet for mapping the impacts of climate change in Hungary. According to the climate model simulations, cooler July temperatures (with means below 20 °C) may occur in the future too, but also July temperatures much hotter than in 2024 will be possible. We examined two 30-year periods in the near future and far future (2051–2080 and 2061–2090). A quarter of July temperatures are projected to be higher than in 2024 by mid-century, and one-third of July temperatures at the end of the century. It means that July mean temperatures similar to this year's could become common in the period of 2071–2100. The observed tendency suggests a temperature increase closer to the upper bound of the climate model simulations.

Az éghajlatváltozás megítélése, illetve az időjárási és éghajlati szélsőségek érzékelése, értékelése az egyén szintjén minden kétséget kizáróan szubjektív. Adott időben és környezetben élő közösségektől elvárható, hogy hasonlóan vélekedjenek erről, de az emberi emlékezet is folyamatosan formálja az érzékelésünket. 2024 júliusa rekordmeleg volt, az érzékelésünk mellett az éghajlati adatsorokon alapuló elemzéseink is bizonyítják ezt. Az idén júliusban tapasztalt hőség kiválóan érzékelteti, hogy mi vár ránk a jövőben, ezzel kézzelfoghatóvá tehetjük a várható melegekedés mértékét, erre vállalkoztunk ebben az írásban.

A megváltozó éghajlat és bizonyos szélsőségek gyakoribb bekövetkezése komoly kockázatot jelent az emberi egészségre, a gazdaság szektoraira és a természetes ökoszisztémákra is, emiatt fontos az alkalmazkodási és a felkészülési stratégiák kidolgozása. Ehhez pedig minél pontosabban kell ismernünk a már bekövetkezett, illetve jelenleg is zajló, valamint a valószínűsíthető jövőbeli változások irányát és nagyságát.

Ebben a tanulmányban megvizsgáljuk, hogy a HungaroMet-nél előállított regionális éghajlati modellszimulációk szerint milyen tartományban fog mozogni a július hónapok középhőmérséklete a 21. század során, és a jövőben mennyire számít majd szélsőségesnek az idén rekordmagas júliusi középhőmérséklet.

Felhasznált adatok Mérési adatok

Vizsgálataink a HungaroMet éghajlati adatbázisán alapulnak. Az éghajlati monitoringnál kulcsfontosságú az adatminőség. A megfigyelt éghajlati trendek becsléséhez elengedhetetlen, hogy jó minőségű, az állomások költözése és a mérések módszerében történt változások okozta inhomogenitásoktól mentes – homogenizált –, valamint térben is reprezentatív adatokat használjunk (*Izsák et al.*, 2021). Adott hónap, jelen esetben a júliusi országos átlagok időszora úgy áll elő, hogy a napi állomási adatsorokat ellenőrizzük, homogenizáljuk és pótoljuk a MASH (*Szentimrey*, 1999, 2008) homogenizációs módszerrel. Az országos átlagok származtatásához pedig a homogenizált adatsorokat a kifejezetten meteorológiai adatokra fejlesztett MISH (*Szentimrey* és *Bihari*, 2007) eljárással sűrű, szabályos 0,1 fokos (kb. 10 km-es) felbontású rácshálózatra interpoláljuk. Ezáltal mind időben, mind pedig térben, vagyis az egész ország területére reprezentatív módon előállíthatók a havi középhőmérsékletek, de egyből

időszakokra vonatkozó éghajlati karakterisztikák is. Az itt bemutatott elemzésekhez az 1901–2024 időszakra vonatkozó júliusi homogenizált és interpolált országos átlagok idősorát használtuk.

Éghajlati modelleredmények

Az éghajlati rendszer (mely a légkör, a felszíni és a felszín alatti vizek, a szárazföld, a hó- és jég-takaró és az élővilág kölcsönható együttese) jövőbeli viselkedése a modellezés eszközeivel írható le. A globális klímamodellek a földi rendszer kölcsönhatásainak és az éghajlatváltozás nagyskálájú folyamatainak vizsgálatára használhatók, míg a helyi jellemzők feltárása regionális éghajlati modellekkel valósítható meg, melyek a globális modelleredményekből kiindulva írják le egy kiválasztott földrajzi terület meghatározó folyamatait 10–25 km-es horizontális rácsfelbontáson. Az éghajlati szimulációk bizonytalanságot hordoznak (*Déqué et al.*, 2007), melyek az éghajlat természetes változékonyságából, a modellek közelítő jellegű számításaiból, valamint a jövőbeli emberi tevékenység leírásából erednek. Ez utóbbit a modellekben az üvegházhatású gázok, valamint egyéb légköri szennyezőanyagok koncentrációjának változásán keresztül vesszük figyelembe. Mivel nem ismerjük, hogy a jövőben milyen irányba változnak a politikai, gazdasági és társadalmi folyamatok, döntések, a koncentráció változásokat sem tudjuk egyértelműen leírni. Ezért többféle forgatókönyvet (ún. scenáriót) alkalmazunk, amelyekre alapozva a klímamodellezés során azt vizsgáljuk, hogyan reagálna az éghajlati rendszer a koncentráció megváltozására, azaz, az egyes forgatókönyvek esetén a jövőbeli emberi tevékenység milyen hatással lehet az éghajlat alakulására. E nagyfokú bizonytalanság miatt az éghajlati modellek eredményeit nem előrejelzéseknek, hanem projekcióknak nevezzük. Az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 5. értékelő jelentésében (*IPCC*, 2013) használt ún. RCP (Representative Concentration Pathways; *Moss et al.*, 2010) scenárió-családnak négy reprezentatív tagja van: (i) az RCP8.5 intenzíven növekvő üvegházgáz-kibocsátást feltételez; (ii) az RCP4.5 és (iii) az RCP6.0 scenáriókban a kibocsátás 2100 környékén adott szinten stabilizálódik; (iv) az RCP2.6 egy intenzív mitigációs scenárió, melyben egy korai koncentráció csúcs elérése után kibocsátás-csökkentés következik be. A forgatókönyveket aszerint nevezték el, hogy az általuk leírt koncentráció-növekedés 2100-ra

mekkora sugárzási kényszer változást jelent az iparosodás előtti értékhez képest (pl. az RCP8.5 esetében $8,5 \text{ W/m}^2\text{-t}$).

A modellezés eredményei az említett okokból csak a bizonytalanságok számszerűsítésével interpretálhatók korrekten módon, melynek eszköze az ún. ensemble technika. Ennek során együttesen értékeljük több modellszimuláció eredményét (több modell, illetve több forgatókönyv felhasználásával), és valószínűségi információt állítunk elő. A szimulációk mindegyike az éghajlati rendszer fejlődésének egyaránt lehetséges leírását adja.

A HungaroMet a hazai éghajlatváltozás vizsgálatára két regionális klímamodellt használ: az ALADIN-Climate (Bán et al., 2021) és a REMO (Szépszó, 2014) modelleket, melyekkel Közép- és Kelet-Európára készültek szimulációk 10 km-es horizontális rácsfelbontással. A jövőbeli emberi tevékenység hatását az RCP4.5 és az RCP8.5 forgatókönyvek segítségével vettük figyelembe.

A jövőre vonatkozó modelleredményeket – hasonlóan a megfigyelésekre használt klímanormálhoz – 30 éves időszak alatt mutatott statisztikai tulajdonságaival jellemezzük. Ezeket a közelmúltbeli állapotokat jellemző ún. referencia időszakhoz viszonyítva adjuk meg változás vagy hibakorrigált jövőbeli várható érték formájában, mely módszerekkel az esetleges modellhibák kiküszöbölhetők. Előbbi esetén a nyers modelleredmény jövőbeli időszakának (pl. 2041–2070) és a referencia időszakának (vizsgálataink során ezt 1971–2000-nek választjuk meg) különbségét képezzük, s az így kapott változás érték megmutatja, hogy az adott éghajlati változó (pl. hőmérséklet) milyen irányban és mértékben fog várhatóan eltérni a múltbeli átlagokhoz képest. Utóbbit pedig úgy állítjuk elő, hogy a nyers modelleredményeket hibakorrekciós eljárással a referencia időszak méréseihez igazítjuk. Jelen tanulmányban a nyers ALADIN-Climate és REMO modelleredmények korrekciója az ún. delta-módszerrel (Maraun, 2016) történt, melyhez a HungaroMet által előállított HuClim (Izsák et al., 2022) megfigyelési adatbázist alkalmaztuk referenciaként. Először képeztük a fent leírt modellbeli változás értéket, majd ehhez hozzáadtuk a referencia időszak (1971–2000) megfigyelt 30-éves júliusi átlagát. Az így kapott érték az adott éghajlati változó várható átlagos értékét adja meg a kiválasztott jövőbeli időszakra vonatkozóan.

2024 júliusa rekordmeleg az 1901 óta rögzített megfigyelések sorában

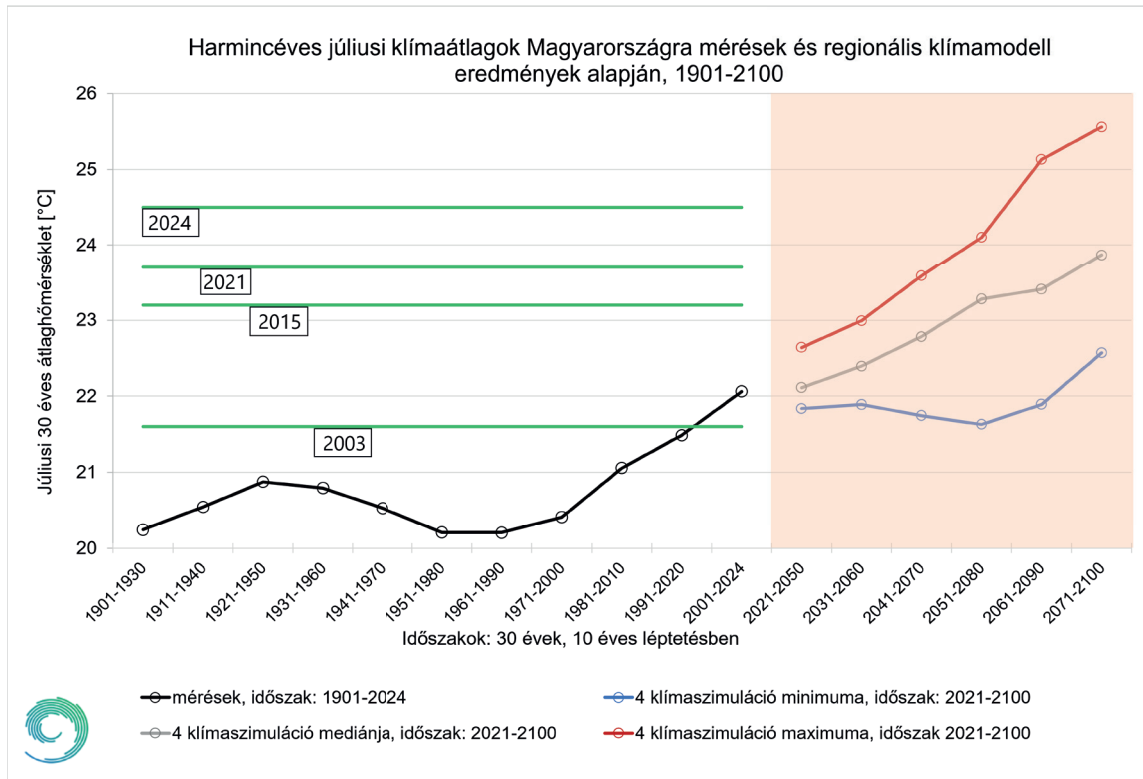
A klímaváltozás hatása Magyarországon is kimutatható a mérési adatsorokban, amely összhangban áll a tágabb környezetünkben zajló folyamatokkal. A változás jól nyomon követhető a hosszú hőmérsékleti és csapadék idősorokon, és az ezekből származtatott különböző éghajlati indexek sorozatán egyaránt. A melegedés mértéke az utóbbi negyven évben felgyorsult, a magas hőmérsékletekkel kapcsolatos szélsőségek előfordulása növekedett leginkább (Lakatos et al., 2021; Bokros és Lakatos, 2022a; Bokros és Lakatos, 2022b).

A júliusi középhőmérséklet 2024-es országos átlaga $24,53 \text{ °C}$ -nak adódott, ezáltal az 1991–2020-as klímaátlagot 3 °C -kal meghaladva a legmelegebb július lett a 20. század kezdete óta. Ez az érték csupán $0,01 \text{ °C}$ -kal maradt el 1992 augusztusának középhőmérsékletétől ($24,54 \text{ °C}$), amely a legmelegebb hónap volt Magyarországon 1901-től kezdve.

Július közepén kilenc nap alatt 22 országos és fővárosi hőmérsékleti rekord dőlt meg, ebből 13 hajnali rekorddőlés volt (legmagasabb napi minimum) az éghajlati adatbázisban tárolt adatok szűrése szerint, amelyekről a weboldalán is tájékoztatott a HungaroMet. 2024. július 9-e és 17-e között hét országos napi melegrekord (legmagasabb napi maximum) dőlt meg, valamint nyolc országos hajnali melegrekord, továbbá két fővárosi napi melegrekord és öt fővárosi hajnali melegrekord lett a múlté. Július 11-étől hat napon át minden nap megdőlt az országos napi melegrekord, háromszor a Bács-Kiskun vármegyei Kelebián, háromszor a Hajdú-Bihar vármegyei Körösszakálon. Tizenegy napon a legmagasabb fokú hőségriasztás volt érvényben, amit az országos tisztifőorvos a HungaroMet előrejelzése alapján rendelt el. A legmagasabb hőmérsékletet Kelebián mértük, július 16-án $41,6 \text{ °C}$ -ig emelkedett a hőmérséklet. Ez ugyan megközelíti az abszolút rekordot ($41,9 \text{ °C}$, amit Kiskunhalason, 2007. július 20-án mértek), de nem történt rekorddőlés.

Milyen júliusok várnak ránk a jövőben?

A megfigyelésekben egyértelműen megmutatkozó trend az eredmények alapján a jövőben is folytatódik, és hogy milyen ütemben növekszik a hőmérséklet, az az antropogén kibocsátások alakulásától függ (IPCC, 2023). Az itt bemutatott elemzésünk arra irányul, hogy kiderítsük, hol helyezkedik el az ideai július a regionális klímamodell szimulációk eredményei által



1. ábra. Harmincéves júliusi átlaghőmérséklet Magyarországra mérések és korigált regionális klímamodell eredmények alapján 1901-től 2100-ig. A 2001–2024 időszakot mérésekkel jellemezzük, és zölddel feltüntetünk néhány júliusi átlaghőmérséklet értéket ebből az időszakból.

felvázolt jövőben, mikorra válhat átlagossá, ami azzal jár majd, hogy ennél forróbb júliusokkal is szembe kell nézni. Ennek a kérdésnek a megválaszolásához megvizsgáltuk, hogy 1901-től 2024-ig hogyan alakult, illetve feltételezhetően hogyan fog alakulni 2100-ig a júliusi középhőmérséklet a reprezentatív éghajlati adatsorok és a HungaroMet-nél előállított klímamodell-szimulációk együttese alapján az egyes 30 éves, klímanormálnak tekinthető periódusokban.

Megvizsgálva a 4-tagú modellszimuláció együttes által kijelölt eredmények tartományát, az 1. ábrán a következő jövőkép látható: A 21. század közepén kezdődő 30 éves periódusban a szimulációegyüttes által kijelölt lehetséges átlaghőmérsékleti tartomány felső határához (az ábrán szereplő maximumhoz) esik közel az ideai júliusi középhőmérséklet. Ha ez valósul meg, akkor az idén tapasztaltak már a 2051–2080 időszakban közel átlagosnak fognak számítani, ami azzal jár majd, hogy előfordulnak ennél forróbb júliusok is. Ha a szimulációegyüttes által kijelölt lehetséges tartomány alsó határához (minimumhoz) viszonyítunk, tehát mérsékelt júliusi melegedés következik be, a ma legmelegebb júliusok közül

a 2003-as évet jellemző 21,6 °C környéki értéknél (a júliusok kb. 30%-a volt ennél melegebb 1901 óta) minden normálidőszak júliusa átlagban melegebb lesz. Amennyiben a század végére a szimulációegyüttes által kijelölt lehetséges átlaghőmérséklet tartomány közepe (medián) valósul meg, akkor a 2015-öshöz hasonló középhőmérsékletű július számít majd átlagosnak (ez a 3. legmelegebb volt 1901 óta, 23,3 °C havi középhőmérséklettel). A mérések alapján 2015-ben következett be a legtöbb júliusi trópusi éjszaka: ekkor 14 éjszaka nem csökkent 20 °C alá a napi minimum-hőmérséklet. Az a generáció tehát, akik 2010-ben vagy később születtek, a felnőttkoruk középső szakaszát (45–65 év) jóval magasabb hőmérsékleti viszonyok között fogják megélni. Továbbra is a mediánt tekintve, a század végére a korábbi rekordnál (a 2021-es, 23,7 °C-nál) kissé magasabb lesz a 2071 és 2100 közötti 30 év júliusi középhőmérséklete, mely ugyan nem éri el az ideit, de az adott 30 év egyes éveit tekintve bőven előfordulhatnak majd olyan, vagy akár melegebb júliusok is, mint az ideai volt. Tehát amit ma szélsőségesen magas hőmérsékletnek élünk meg, az a távoli jövőben inkább átlagosnak fog számítani.

Az idei júliusi középhőmérséklet mellett a hazánkban megfigyelt átlagos melegedés is közelebb esik a klímamodell-szimulációk együttese által kijelölt felső határhoz (a piros vonal az 1. ábrán), vagyis az eddigi tendenciáját tekintve a magasabb üvegházgáz-kibocsátást feltételező, nagyobb mértékű felmelegedést valószínűsítő éghajlati forgatókönyv tűnik reálisnak.

Milyen tartományban fog mozogni a júliusi középhőmérséklet a jövőben?

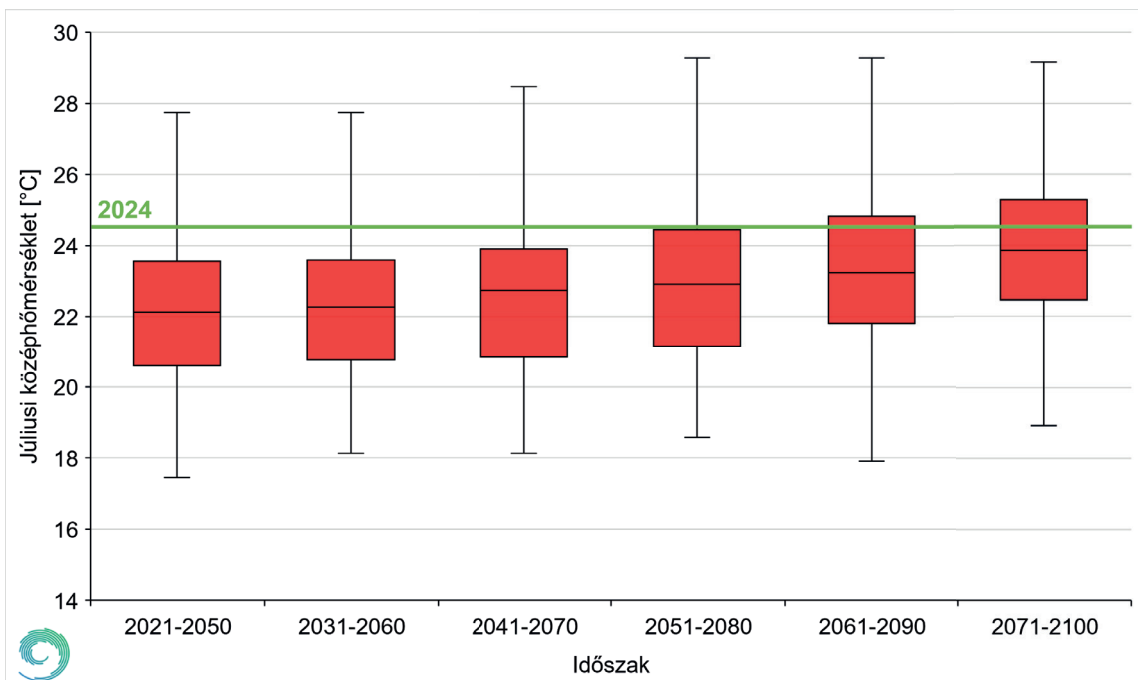
A 2. ábrán látható „dobozdiagram” segítségével szemléltetjük, hogy milyen tartományt jelöl ki a modellszimuláció-együttes a jövőbeli 30 éves időszakba foglalt évek júliusainak középhőmérsékletére.

Hogyan is értelmezhetjük ezt a típusú diagramot? A téglalap alsó éle az alsó kvartilist, a felső éle pedig a felső kvartilist mutatja, ez a két érték jelöli ki azt a terjedelmet, amiben az adatok középső fele található. A téglalapban lévő vízszintes vonal megadja az adatsor középső értékét (mediánját), vagyis azt az elemet, aminél az adatsor értékeinek egyik fele kisebb, a másik fele pedig nagyobb. A téglalapon kívül eső vízszintes vonalak az adatsorban előforduló legkisebb és legnagyobb értéket jelölik.

Az ábráról leolvasható, hogy a klímamodell-szimulációk eredményei szerint a jövőben is előfordulhatnak hűvösebb (akár 20 °C alatti középhőmérsékletű) júliusok, de a 2024-esnél jóval melegebbek is. A 21. század vége felé haladva a júliusra vonatkozó medián egyre nagyobb értéket vesz fel. A század második felét jellemző harmincéves periódusokban 2051-től a júliusok legalább negyede a 2024-es évinél melegebbnek ígérkezik, a század végén pedig a 2071–2100 időszakban körülbelül a harmadára igaz ez, így az idei júliusi középhőmérsékletéhez hasonló értékek a század végén megszokottá válhatnak.

Összefoglalás

2024 júliusában a középhőmérséklet országos átlaga 24,53 °C volt a HungaroMet meteorológiai mérési adatbázisán alapuló homogenizált és interpolált, reprezentatív adatsorok szerint, ami rekordmagas júliusi érték 1901 óta. Megvizsgáltuk, hogy ez hol helyezkedik el a HungaroMet négy regionális klímamodell-szimulációja által a 21. századra jelzett hőmérsékleti tartományban. A tartomány felső határát tekintve az idén tapasztaltak már a 2051–2080 időszakban közel átlagosnak fognak számítani. Ha a projekciók mediánjához közeli érték valósul meg, akkor



2. ábra. A HungaroMet 4-tagú klímamodell-szimuláció együttesének Magyarországra átlagolt, évenkénti júliusi korrigált középhőmérséklet értékei harmincéves időszakokra bontva doboz diagramon, ami az adott 30 év júliusainak alsó, felső kvartiliséit, mediánját (középső értékét), minimumát és maximumát mutatja.

a 2015. évihez hasonló középhőmérsékletű július (ami 3. legmelegebb volt 1901 óta) számít majd átlagosnak a század végére. Az alsó határ mentén történő melegedés valószínűtlennek tűnik, de ha mégis ez valósul meg, akkor a ma legmelegebb júliusok felső harmadát kijelölő érték számít majd átlagosnak. A klímamodell-szimulációk szerint a jövőben is előfordulhatnak majd hűvös júliusok, de a 2024-esnél jóval melegebbek is. A század második felében a júliusok negyede a 2024-esnél melegebbnek ígérkezik, a 2071–2100 időszakban pedig ez már a júliusok harmadára feltételezhető, vagyis összességében megállapítható, hogy az idejű július középhőmérsékletéhez hasonló értékek az évszázad végére szokásossá válhatnak. Ez komoly alkalmazkodási kihívást jelent, mivel ez egyúttal azt is jelenti, hogy az ennél jóval forróbb júliusok fogják jelenteni a szélsőségeket a jövőben.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg. A KLIMADAT alkalmazásban (<https://klimadat.met.hu/>) elérhető regionális klímamodell eredményeket is felhasználtuk a vizsgálatainkhoz.

Irodalomjegyzék

- Bán, B., Szépszó, G., Allaga-Zsebeházi, G., Somot, S., 2021: ALADIN-Climate at the Hungarian Meteorological Service: from the beginnings to the present day's results. *Időjárás* 125, 647–673, <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.4.6>
- Bokros, K., Lakatos, M., 2022b: Hőségperiódusok vizsgálata Magyarországon a XX. század elejétől napjainkig. *Légekör* 67, 130–140. <https://doi.org/10.56474/legkor.2022.3.2>
- Bokros, K., Lakatos, M., 2022a: Hőségperiódusok vizsgálata Budapesten a XX. század elejétől napjainkig. *Légekör* 67, 208–218. <https://doi.org/10.56474/legkor.2022.4.4>
- Déqué, M., Rowell, D.P., Lüthi, D., Giorgi, F., 2007: An inter-comparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections. *Climatic Change* 81, 53–70. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9228-x>
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds.: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgeley, P.M.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 1–34, <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- Izsák, B., Bihari, Z., Szentes, O., 2021: Éghajlatváltozás: homogenizált vagy nyers adatsorokat vizsgáljuk? *Légekör*, 66(3), 12–15.
- Izsák, B., Szentimrey, T., Lakatos, M., Pongrácz, R., Szentes, O., 2022: Creation of a representative climatological database for Hungary from 1870 to 2020. *Időjárás* 126, 1–26. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2022.1.1>
- Lakatos, M., Bihari, Z., Izsák, B., Marton, A., Szentes, O., 2021: Megfigyelt éghajlati változások Magyarországon. *Légekör*, 66(3), 5–11.
- Maraun, D., 2016: Bias correcting climate change simulations – a critical review. *Curr. Climate Change Rep.* 2, 211–220. <https://doi.org/10.1007/s40641-016-0050-x>
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Wilbanks, T.J., 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, 747–756, <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- Szentimrey, T., 1999: Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). In: Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, Budapest, Hungary. WMO, WCDMP (41), 27–46.
- Szentimrey, T., Bihari, Z., 2007: Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis). In: Proceedings from the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology, Budapest, Hungary, 2004, COST Action 719, COST Office, 17–27.
- Szentimrey, T., 2008: Development of MASH homogenization procedure for daily data, Proceedings of the Fifth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases, Budapest, 2006; WCDMP-No. 71, WMO/TD (1493), 123–130.
- Szépszó, G., 2014: A REMO regionális éghajlati modellen alapuló klímadinamikai vizsgálatok a Kárpát-medence éghajlatának jellemzésére. Doktori értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földtudományi Doktori Iskola, Földrajz–Meteorológia Program. https://teo.elte.hu/minosites/ertekezes2014/szepszo_g.pdf



A pulzus és a bőrfelszíni párolgás időjárástól való függése: elemzés kiválasztott nyári időjárási helyzetekre

Ács Ferenc, Kristóf Erzsébet, Zsákai Annamária

ELTE, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, acs@staff.elte.hu

DOI:10.56474/legkor.2024.4.4

A pulzusnak és a bőrfelszíni párolgásnak (E) a nyári időjárás hőterhelésétől való függését elemeztük kiválasztott időjárási helyzetekben. A pulzust okosórával mértük, a bőrfelszíni párolgást szimuláltuk, mérve a kiizzadt vízmennyiség látens hőáram-sűrűségét (E) és becsülve a légkör párolgató képességét (E_p). A mérések során a ruházat változatlan volt: a viselkedési normákkal szabályozott minimális nyári ruházat. 3 aktivitás típus volt: fekvő helyzet, gyaloglás és futás. Ezeket a mozgás átlagos sebességével jellemeztük. Legfontosabb eredményeink: a) a pulzus csak az aktivitás függvényében változott, b) a bőrfelszíni párolgás $40\text{--}330 \text{ Wm}^{-2}$ között fordult elő és c) a modell nem alkalmazható a bőrfelszín párolgással szembeni ellenállásának becslésére mindazon esetekben, amikor az $E_i > E_p$. Az individuális humán biometeorológiai elemzések gyakorisága jelentősen nőhet az okoseszközök elterjedésével és használatával.

Weather dependence of heart rate and skin surface evaporation: an analysis for selected summer weather conditions

Dependence of the heart rate and skin surface evaporation (E) on the thermal load of selected summer weather situations is analyzed. The heart rate is measured with a smart watch, the skin surface evaporation is simulated by measuring the latent heat flux density (E) of the sweated water and estimating the potential evaporation of the atmosphere (E_p). During the measurements, the clothing was unchanged: the minimum summer clothing determined by behavioral standards. There were 3 activity types: lying position, walking and running. These movement states were characterized by the average speed of the movement. Our most important results: a) the heart rate only changed depending on the movement state, b) the skin surface evaporation varied between $40\text{--}330 \text{ Wm}^{-2}$ and c) the model cannot be applied to estimate the evaporative resistance of the skin surface in all those cases when $E_i > E_p$. The frequency of individual human biometeorological analyzes can increase significantly with the spread and use of smart devices.

Manapság még nem terjedt el az időjárás humán biometeorológiai szempontú elemzése. Egy ilyen elemzésnek testreszabottnak kell lennie, így értelemszerűen csak individuális humán információk ismeretében

végezhető el. Az individuális humán információk: 1) az emberi test állapothatározói (testtömeg, magasság, kor és nem), 2) az aktivitás típusa és 3) a viselt ruházat. E jellemzők többnyire ismeretlenek, mert ezen

információk begyűjtése sok esetben körülményes, megfigyelést, munkát igényel, így az időjárást nem elemezzük a kiváltott humán reakciók (pl. hőérzet, didergés, izzadás vagy valamilyen más típusú és intenzitású stressz) fényében.

E tanulmányban a Pannon-medence térségének nyári időjárására fókuszálunk, kiválasztva tipikus időjárási helyzeteket, összesen 13-at. Ezek értelemszerűen anticiklonális (magas hőmérséklet, gyenge szél, többnyire derült égbolt gomolyfelhő-képződéssel) és ciklonális (hidegfront érkezésével járó lehűlés, nagyobb szél és markáns felhőképződés) időjárási helyzetek. Ezen időjárási helyzetekben a humán jellemzőket (ruházat, aktivitás, emberi állapothatározók) definiáltuk, megadtuk. Két humán folyamat megfigyelésére és becslésére fókuszáltunk: a pulzusra és a bőrfelszín párolgására, elemezve az időjárás hőterhelésétől való függőségüket. Legjobb tudásunk szerint nincsenek tanulmányok, amelyekben e folyamatok időjárástól való függését elemezték volna.

E tanulmány céljai a következők: 1) az emberi bőrfelszín párolgásának szimulálására szolgáló modell ismertetése, 2) a modelleredmények ismertetése és elemzése a kiválasztott tipikus időjárási helyzetekben három emberi aktivitás-típus esetében: pihenés fekvő pozícióban, gyaloglás és futás, valamint 3) a pulzus alakulásának nyomon követése és elemzése a környezeti hőterhelés és aktivitás függvényében.

1. Alapvető eszközök

A humán aktivitást jellemző információk begyűjtése során a következő eszközöket használtuk: 1) napozómatracral rendelkező nyugágy, 2) Orion gyártmányú személyi mérleg, 3) Apple Watch okosóra, 4) JUNSO stopperóra és 5) Fitness alkalmazással rendelkező Apple okostelefon. Az eszközök képei az 1. ábrán láthatók.



1. ábra. Eszközök képei a humán aktivitást jellemző információk begyűjtésére, 1-nyugágy, 2-személyi mérleg, 3-okosóra, 4-stopperóra és 5-Fitness alkalmazás.

2. Módszerek

Az időjárást három humán változó alakulásának fényében szemléltük: a szimulált ruházati termikus ellenállás, a bőrfelszín párolgásának (a verejtékes bőr párolgásának és a száraz bőrfelszín párolgásának összege) és a pulzus mértékének szempontjából. A verejtékkal borított bőrfelszín nagysága az izzadás mértékétől függ, ami az egységnyi idő alatt kiizzadt vízmennyiség. Így röviden ismertetjük az izzadás mértékének mérési módszertanát is. Emellett a gyaloglási és/vagy futási sebesség, valamint a pulzus mérésének módszertanáról is szót ejtünk.

2.1. Ruházati termikus ellenállás modell

Az időjárás okozta hőhiányt a ruházati termikus ellenállás modell alapján (Ács *et al.*, 2019, 2021, 2024) becsültük. A modell a környezettel (emberi test és levegő) termikus egyensúlyban levő ruházat termikus ellenállását (r_{cl}) számítja a ruhával borított emberi test energiaegyenlege alapján. Aláhúzendő, hogy e szimulált ruházati termikus ellenállás érték legtöbbször eltér a viselt ruházat termikus ellenállás értékétől (Ács *et al.*, 2024). A modell kültérben $1,1 \text{ m s}^{-1}$ (4 km h^{-1}) sebességgel gyalogló, nem izzadó embert szemlél, ezek alapján

$$r_{cl} = \rho \cdot c_p \cdot \frac{(T_s - T_a)}{M \cdot \lambda E_{sdm} - \lambda E_r - W} - r_{Hr} \cdot \left[\frac{R_{ni}}{M \cdot \lambda E_{sdm} - \lambda E_r - W} + 1 \right], \quad (1)$$

ahol ρ a levegő sűrűsége (kg m^{-3}), c_p a levegő állandó nyomáson vett fajhője ($\text{J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), T_s a bőrfelszín hőmérséklete ($^\circ\text{C}$) (állandó, $34 \text{ }^\circ\text{C}$), r_{Hr} a teresztriális sugárzási és a konvektív hőtranszporttal szembeni kombinált ellenállás paraméter (s m^{-1}), T_a a levegő hőmérséklete ($^\circ\text{C}$), R_{ni} az izotermális sugárzási egyenleg energiaáram-sűrűsége (W m^{-2}), M az adott aktivitást jellemző metabolikus hőáram-sűrűség (W m^{-2}), λE_{sdm} a T_s függvényében parametrizált száraz bőr párolgás (W m^{-2}), λE_r a respirációs párolgás (W m^{-2}) és W az izmok mechanikai munkavégzését jellemző hőáram-sűrűség (W m^{-2}).

A levegőkörnyezet kültéri hőterhelését az operatív hőmérséklettel is jellemezhetjük.

$$T_o = T_a + \frac{R_{ni}}{\rho \cdot c_p} \cdot r_{Hr} \quad (2)$$

A T_o alkalmazásának előnye vagy hátránya az, hogy az M -től független.

2.2. Az izzadás mértékének mérése

Az izzadás mértéke a kiizzadt vízmennyiség (kg) az adott időintervallumban (perc). Méréssel becsültük rögzítve a testtömeg nagyságát (kg) és a testtömeg mérésének időpontját (perc) közvetlenül az aktivitás előtt, valamint azonnal az aktivitás után. Az időintervallum hossza a két tömegmérés közötti, nem pedig az aktivitás eleje és vége közötti időszak hossza. Megemlítendő, hogy mindig arra törekedtünk, hogy e két időszak hossza közötti különbség minél kisebb legyen. A ruhátlan testtömeget Orion gyártmányú személyi mérleggel mértük 0,1 kg-os felbontással. Az időpontokat óra-percben rögzítettük, az időintervallum hosszát percben fejeztük ki. Az aktivitások általában 20-30 percesek voltak, tehát nem hosszúak, hogy az intervallum közepére vonatkozó időjárási helyzet az intervallum időjárásának reprezentálására alkalmas legyen.

2.3. Pulzusmérés

A pulzust az Apple Watch óra pulzusmérője mérte. Az órát minden aktivitás (nyugalmi pozíció fekvő, gyaloglás, futás) során viseltük. A pulzusmérések görbéje mindig megtekinthető az Apple okostelefon Fitness nevű szoftver alkalmazásában, így nemcsak a pillanatnyi (kb. perces bontásban), hanem az átlag értékekre is rálátásunk volt. E görbék azonnal az aktivitás után – miután jeleztük, hogy befejeztük az aktivitást – megtekinthetők. Mi mindig az aktivitáshoz tartozó átlagos pulzus értéket néztük.

Láthatjuk, hogy az Apple Watch okosóra és az Apple okostelefon egységes kommunikációs rendszert alkotnak. *Espinosa et al.* (2020) munkája alapján az Apple Watch pulzusmérője jó eredményeket ad, csak az extrém terhelések esetén csökken az eredmények megbízhatósága.

2.4. Bőrfelszíni párolgás modell

A bőrfelszín párolgása (E) a nedves bőrfelszín párolgásának (E_n) és a száraz bőrfelszín párolgásának (E_s) összege. A nedves bőrfelszín relatív nagysága (n) a kiizzadt vízmennyiség relatív felszínborításának (n_i) és a levegő potenciális párolgásának (E_p) függvényében változik. Az n_i a kiizzadt víz látens hőáram-sűrűségének (E_i) és a levegő potenciális párolgásának arányaként fejezhető ki (*Parsons, 1997*), azaz $n_i = E_i/E_p$. Az izzadtsággal nem borított bőrfelszín relatív nagysága értelemszerűen ($1 - n_i$). $E_n = E_p$ -vel, ugyanakkor *Gagge and Gonzales* (2011) alapján $E_s = 0,06 \cdot E_p$ -vel.

Vegyük észre, hogy a száraz bőrfelszín párolgása függ a potenciális párolgástól, azaz a nem-izzadó, száraz bőrfelszín igen kicsi hányada nedvesnek tekinthető (*Gagge and Gonzales, 2011*). E módszer lényege az, hogy az E_i -t viszonyítjuk az E_p -hez, dacára annak, hogy az E_i független az E_p -től. Így az E_i lehet kisebb is, nagyobb is, mint az E_p . Mindezek alapján

$$E = n_i \cdot E_n + (1 - n_i) \cdot E_s = n_i \cdot E_p + (1 - n_i) \cdot 0,06 \cdot E_p, \quad (3)$$

$$n = n_i + (1 - n_i) \cdot 0,06, \quad (4)$$

ahol

$$E = \frac{\rho \cdot c_p}{\gamma} \cdot \frac{e_s(T_s) - e_a}{r_{skin} + r_{Ha}}, \quad (5)$$

$$E_p = \frac{\rho \cdot c_p}{\gamma} \cdot \frac{e_s(T_s) - e_a}{r_{Ha}}, \quad (6)$$

$$E_i = \frac{1}{A_f} \cdot \lambda \cdot \frac{dm}{dt} \quad (7)$$

és

$$E_s = \frac{\rho \cdot c_p}{\gamma} \cdot \frac{e_s(T_s) - e_a}{r_{skin,d} + r_{Ha}}, \quad (8)$$

ahol γ a pszichrometrikus állandó ($0,65 \text{ hPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), $e_s(T_s)$ a T_s hőmérsékleten levő telítési vízgőznyomás (hPa), e_a a levegő aktuális parciális vízgőznyomása (hPa), r_{Ha} az emberi test és a levegő közötti hő- vagy vízgőztranszporttal szembeni aerodinamikai ellenállás (s m^{-1}), r_{skin} a bőrfelszín (száraz + nedves) vízgőztranszporttal szembeni felszíni ellenállása (s m^{-1}), $r_{skin,d}$ a száraz bőrfelszín vízgőztranszporttal szembeni felszíni ellenállása (s m^{-1}), λ a víz párolgásának látens hője ($2,5 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$), dm/dt a dt időegységben kiizzadt dm vízmennyiség (kg s^{-1}) és A_f az emberi test felszíne (m^2). Az A_f -et *Dubois and Dubois* (1915) képlete alapján számítottuk. Legvégül, a (3), az (5) és a (6) kombinálásával kifejezhető az r_{skin} és hasonlóképpen a (8)-ból és az E_s és az E_p közötti kapcsolat alapján az $r_{skin,d}$

$$r_{skin} = r_{Ha} \cdot \left(\frac{1}{n} - 1 \right), \quad (9)$$

$$r_{skin,d} = r_{Ha} \cdot \left(\frac{1}{0,06} - 1 \right). \quad (10)$$

Vegyük észre, hogy mindkét paraméter változik az E_p függvényében, azaz, függ az r_{Ha} -tól, melynek parametrizálása megtalálható *Ács et al.* (2021) munkájában.

2.5. A gyaloglás és/vagy futás sebességének mérése

Gyaloglás és/vagy futás során átlagos sebességeket becsültünk mérve a megtett út és az eltelt időszak hosszát. Az okosóra becsülte mindkét mennyiséget, de ezen értékeket független méréseinkkel is ellenőriztük. Független méréseink során ismertük az út hosszát (pl. 1 kör hossza a focipálya körül 404 m), és JUNSO stopperórával mértük az időtartam hosszát perc-másodperc pontossággal. Független méréseinkkel megállapítottuk, hogy az okosórával becsült úthosszak, időtartamok és átlagos sebességek megbízható értékekkel rendelkeznek. Megemlítendő az is, hogy minden aktivitás folyamán kicsi volt a sebesség-ingadozás, azaz többnyire egyenletes mértékű volt a mozgás.

3. A mérések, megfigyelések helyszíne

A megfigyelések helyszíne: Martonvásár, Ács Ferenc családi házának udvarában és/vagy a családi ház mellett kezdődő dűlőúton. A dűlőút egy része nyári napsütésben a 2. ábrán látható.

A nyugalmi, fekvő állapothoz tartozó megfigyeléseket az udvarban végeztük el, a gyaloglás és a futás helyszíne a dűlőút volt. Ezen helyszínek kiválasztása lehetővé tette azt, hogy a tömegmérés kezdete, vége, valamint az aktivitás kezdete, vége közötti időszak hossza a lehető legrövidebb legyen.



2. ábra. Martonvásár határában húzódó egyik dűlőút nyári napsütésben.

4. Adatok

Az elemzéshez felhasznált adatok két típusát, az időjárási és a humán adatokat az alábbiakban mutatjuk be.

4.1. Időjárási adatok

Az időjárási adatok közül a léghőmérsékletet, a légnedvességet, a szélesebességet, a szállókést, a felszíni légnyomást, a felhőzetet és relatív napfénytartamot használtuk. Az összes adatot az utóbbi kettő kivételével a HungaroMet (Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt.) vagy az Időkép cégek automata állomásairól írtuk át, melyek légvonalbeli távolsága a megfigyelések helyszínétől három km-nél kisebb. A felhőzet és a relatív napfénytartam adatokat a megfigyelő biztosította. A teljes besugárzást Mihailović és Ács (1985) tanulmánya alapján számítottuk. Összesen 13 időjárási helyzetet választottunk ki a 2023. május 25-től szeptember 5-ig tartó nyári időszakban. Ebben az időszakban összesen 136 mérést végeztünk. A 13 időjárási helyzet nyári viszonylatban

| Nap | Idő (óra:perc) | T_o [°C] | R_{ni} [W m ⁻²] | S [W m ⁻²] | w [m s ⁻¹] | r [%] | p [hPa] |
|------------|----------------|------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------|-----------|
| 2023.06.27 | 7:00 | 16,0 | 51 | 108 | 1,4 | 91 | 1014 |
| | 10:20 | 23,0 | 67 | 228 | 4,4 | 79 | 1014 |
| | 12:50 | 23,6 | 126 | 304 | 4,4 | 74 | 1015 |
| 2023.07.31 | 17:20 | 20,2 | 2 | 159 | 2,8 | 78 | 1015 |
| | 10:40 | 22,3 | 350 | 705 | 4,2 | 55 | 1015 |
| | 12:30 | 24,4 | 470 | 857 | 5,0 | 52 | 1015 |
| 2023.08.01 | 14:40 | 25,9 | 413 | 752 | 4,7 | 49 | 1014 |
| | 15:30 | 28,5 | 132 | 286 | 3,6 | 50 | 1005 |
| | 16:50 | 28,0 | 49 | 164 | 3,1 | 51 | 1004 |
| 2023.08.22 | 17:50 | 25,0 | 25 | 63 | 6,4 | 60 | 1006 |
| | 8:40 | 26,0 | 134 | 358 | 0,8 | 70 | 1021 |
| | 9:40 | 29,0 | 267 | 514 | 0,3 | 62 | 1021 |
| | 11:40 | 32,0 | 434 | 726 | 0,8 | 50 | 1021 |

1. táblázat. A kiválasztott időjárási helyzeteket jellemző meteorológiai mutatók értékei. Jelölések: T_o – a levegő hőmérséklete, R_{ni} – nettó izotermális sugárzás, S – a teljes besugárzás, w – átlagos szélesebesség, r – a levegő relatív nedvessége és p – a felszíni légnyomás.

extrém időjárásokat reprezentál, pl. hidegfront átvonuláskor, vagy nyári, vagy hőségnapokon, amikor mind a három típusú aktivitás, a nyugalmi fekvőhelyzet, a gyaloglás és a futás is megvolt. Ezen időjárási helyzetek meteorológiai mutatóit az 1. táblázat tartalmazza.

Június 27-én hidegfront átvonulás volt, ami nyáron kis besugárzást (mindössze 300 W m^{-2}), nagy szelet (4 m s^{-1}), nagyobb páratartalmat (80%) és a déli órákban 21-24 °C-os léghőmérsékleteket jelent. Július 31-én igen nagy volt a besugárzás, de a szél is. A levegő száraz, tipikus nyári hőmérsékleti értékekkel (22-26 °C). Augusztus 1-jén délután hidegfront közeledett. Ez egyértelműen érezhető volt a felhőzet növekedéséből (kicsi globálsugárzás értékek) és a szél erősödéséből (estefelé igen erős szél). Augusztus 22-én anticiklon uralta a térséget: a besugárzás nagy, a levegő meleg, száraz és nincs légmozgás.

4.2. Humán adatok

Humán méréseket mindössze 1 ember végzett: a tanulmány első szerzője. A humán adatok információt adnak 1) a humán állapotathatózokról, 2) a viselt ruházatról és 3) az aktivitás jellemzőiről (a mozgásállapot átlagos sebességéről, a mozgásállapotot jellemző átlagos pulzus értékéről és a testtömegről közvetlenül az aktivitás előtt és után).

4.2.1. Humán állapotathatózók

A humán állapotathatózók a következők: testtömeg (a legfontosabb), magasság, nem és a kor. A megfigyelő ezen adatait a 2. táblázat tartalmazza.

| Személy | Testtömeg [kg] | Magasság [cm] | Nem | Kor [év] |
|------------|----------------|---------------|-------|----------|
| Ács Ferenc | 89.0 | 190.0 | férfi | 68 |

2. táblázat. A megfigyelő humán állapotathatózói.

4.2.2. Viselt ruházat

A méréseket, megfigyeléseket gyalogláskor és futáskor mindig ugyanabban a ruházatban végeztük: zokni, tornanadrág, tornacipő. Fekvő helyzetben csak tornanadrágot viselt a megfigyelő. A lényeg, hogy a felsőtest mindig ruhátlan volt. A ruhadarabok a 3. ábrán láthatók.



3. ábra. A mérések során viselt ruházat.

4.2.3. Az aktivitással kapcsolatos adatok

A méréseket, megfigyeléseket a) nyugalmi, fekvő helyzetben, b) gyaloglás és c) futás során végeztük. Mértük a) az átlagos sebességet, b) a pulzust (a szívütések száma 1 percben) és c) a testtömeget közvetlenül az aktivitás előtt és után, feljegyezve a mérések időpontjait. A testtömeg értéke 3 mérési eredmény átlaga. E mérési adatokat (testtömegek és a testtömegmérések közötti időtartam hossza; az átlagos sebesség; pulzus) minden egyes időjárási helyzetre vonatkozóan a 3. táblázat tartalmazza.

5. Eredmények

Minden egyes napra külön-külön elemezzük az időjárás-bőrfelszíni párolgás és az időjárás-pulzus kapcsolatrendszerét. Mindezt – mint ahogy már említettük – különböző aktivitás-típusok esetében szemléltük. A bőrfelszíni párolgással és a pulzussal kapcsolatos eredményeket a kiválasztott 13 időjárási helyzetre vonatkozóan a 4. táblázat tartalmazza.

A lehetséges kapcsolatokat az 1. és a 4. táblázat adatainak összehasonlításával deríthetjük ki.

5.1. Pulzus-időjárás kapcsolat

Az átlagos pulzus értékek markánsan különböznek különböző aktivitások esetén. Tempós futáskor (futási sebesség $2,1-2,4 \text{ m s}^{-1}$) ezek az értékek 120-130 BPM körüliek, és alig változnak (4. ábra). Fekvő, nyugalmi helyzetben ezek az értékek jóval alacsonyabban, 60-70 BPM körüliek. Gyalogláskor ez az érték-tartomány 80-90 BPM. Futáskor a 120-130 BPM

| Nap | Idő (óra:perc) | Aktivitás | Testtömeg [kg] aktivitás előtt | Testtömeg [kg] aktivitás után | Testtömegmérések közötti időtartam [perc] | Sebesség [m s ⁻¹] | Pulzus [BPM] |
|------------|----------------|-----------|--------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--------------|
| 2023.06.27 | 7:00 | - | - | - | - | - | - |
| | 10:20 | futás | 89,6 | 89,2 | 30 | 2,31 | 127 |
| | 12:50 | futás | 88,8 | 88,6 | 29 | 2,34 | 131 |
| | 17:20 | futás | 89,4 | 89,1 | 30 | 2,30 | 127 |
| 2023.07.31 | 10:40 | fekvés | 89,6 | 89,2 | 53 | 0 | 60 |
| | 12:30 | fekvés | 89,4 | 89,1 | 35 | 0 | 65 |
| | 14:40 | fekvés | 88,9 | 88,7 | 28 | 0 | 60 |
| 2023.08.01 | 15:30 | gyaloglás | 89,1 | 88,8 | 35 | 1,33 | 81 |
| | 16:50 | gyaloglás | 89,1 | 88,9 | 34 | 1,36 | 80 |
| | 17:50 | gyaloglás | 89,1 | 89,1 | 32 | 1,68 | 89 |
| 2023.08.22 | 8:40 | gyaloglás | 90,0 | 89,7 | 35 | 1,26 | 81 |
| | 9:40 | fekvés | 89,9 | 89,7 | 25 | 0 | 70 |
| | 11:40 | futás | 89,4 | 88,6 | 46 | 2,33 | 131 |

3. táblázat. Az aktivitást jellemző mért humán adatok a kiválasztott 13 időjárási helyzetre vonatkozóan.

| Nap | Idő (óra:perc) | E_p [W m ⁻²] | E_i [W m ⁻²] | n | E [W m ⁻²] | E_i [W m ⁻²] | r_{skin} [s m ⁻¹] | r_{skind} [s m ⁻¹] | r_{skin} [hPa·m ² /W] | r_{skind} [hPa·m ² /W] | Pulzus [BPM] |
|------------|----------------|----------------------------|----------------------------|------|--------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| 2023.06.27 | 7:00 | 353,6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 10:20 | 530,3 | 259,9 | 0,52 | 276,1 | 31,8 | 100 | 1698 | 0,0538 | 0,9158 | 127 |
| | 12:50 | 541,2 | 134,4 | 0,29 | 158,8 | 32,5 | 261 | 1698 | 0,1407 | 0,9158 | 131 |
| | 17:20 | 473,9 | 194,9 | 0,45 | 211,6 | 28,4 | 168 | 2128 | 0,0908 | 1,1481 | 127 |
| 2023.07.31 | 10:40 | 494,5 | 147,1 | 0,34 | 167,9 | 29,7 | 280 | 2254 | 0,1509 | 1,2159 | 60 |
| | 12:30 | 524,3 | 167,1 | 0,36 | 188,5 | 31,5 | 235 | 2066 | 0,1267 | 1,1144 | 65 |
| | 14:40 | 501,8 | 139,2 | 0,32 | 161,0 | 30,1 | 288 | 2131 | 0,1553 | 1,1494 | 60 |
| 2023.08.01 | 15:30 | 522,0 | 167,1 | 0,36 | 188,4 | 31,3 | 212 | 1877 | 0,1145 | 1,0125 | 81 |
| | 16:50 | 487,0 | 114,7 | 0,28 | 137,0 | 29,2 | 330 | 2022 | 0,1779 | 1,0911 | 80 |
| | 17:50 | 705,3 | 0,00 | 0,06 | 42,3 | 42,3 | 1408 | 1408 | 0,7594 | 0,7594 | 89 |
| 2023.08.22 | 8:40 | 216,4 | 167,1 | 0,79 | 170,0 | 13,0 | 69 | 3981 | 0,0374 | 2,1478 | 81 |
| | 9:40 | 97,6 | 155,9 | 1,56 | 152,4 | 5,9 | -(193) | 8433 | -0,1044 | 4,5496 | 70 |
| | 11:40 | 214,6 | 339,0 | 1,54 | 331,5 | 12,9 | -(90) | 3981 | -0,0484 | 2,1478 | 131 |

4. táblázat. A szimulált bőrfelszíni párolgással és a pulzussal kapcsolatos humán adatok a kiválasztott 13 időjárási helyzetre vonatkozóan.



értéktartomány egyaránt megvolt nagy besugárzás és igen kicsi szél (augusztus 22.), valamint kicsi besugárzás és igen nagy szél (június 27.) esetén.

Fekvő helyzetben sem látszott a nagy besugárzás hőterhelő hatása a pulzus értékeiben, dacára annak, hogy egy ilyen félórás fekvés a tűző napon stresszes (5. ábra) akár nagyobb, akár kisebb széljárás esetén. Gyaloglásaink során a nagy szelekkel járó tekintélyes hűtő hatás sem látszik a pulzus értékek alakulásában (6. ábra).

Eredményeink üzenete az, hogy a pulzus nem érzékeny a levegőkörnyezet hőterhelésére, hanem csak az aktivitásra, ezen esetben a különböző sebességű mozgásállapotokra.

5.2. Bőrfelszíni párolgás-időjárás kapcsolat

Vajon milyen lehet a bőrfelszíni párolgás kapcsolata az időjárással? A modellünk alapján e függést alapvetően az E_p és az E_i időjárástól való függése, valamint az n -en keresztül az E_p és az E_i egymás közötti viszonya határozza meg.

Nézzük előbb az E_p időjárás-függését! Az E_p a légkör bőrfelszínre vonatkoztatott párolgató képessége. A (6)-os egyenlet alapján parametrizáltuk (Parsons, 1997), amely egy gradiens-képlet, így függ a levegő nedvességtartalmától és az aerodinamikai átviteltől, ami erősen szélesebesség-függő. Aláhúzendő, hogy nem függ az emberi test sugárzási egyenlegétől, azaz a (6) érzéketlen, „nem látja” a nagy besugárzást, ami viszont igen fontos légköri változó az emberi hőterhelés becslése során. Eseteink többségében a széljárás erős volt, ezért az E_p értékek magasak, többnyire $450\text{--}700\text{ W m}^{-2}$ közöttiek. Még akkor is, ha a besugárzás kisebb. Az is megemlítendő, hogy szélcsend közeli állapotokban, amikor a besugárzás igen nagy is lehet (augusztus 22-én 9:40-kor), az E_p értékek igen alacsonyak, mondhatjuk, irreálisan alacsonyak, mert az E_p nem lehet 100 W m^{-2} körüli, ha a globálisugárzás 500 W m^{-2} körül van. A mondottakból 2 tanulságunk is van: a) az E_p erősen függ az időjárástól, főleg a széljárástól és b) az E_p parametrizálása (mondhatjuk, parametrizálási módszertana) igen fontos része a bemutatott bőrfelszíni párolgás modellnek.

Mi van az E_i időjárásfüggőségével? A kb. fél óráig tartó aktivitások során a testtömegcsökkenés többnyire 0,1-0,3 kg (3. táblázat) között változott. A testtömeg csökkenéséhez több folyamat járul hozzá: 1) az izzadás, 2) a respiráció, azaz a kilélegzett vízgőz és széndioxid okozta tömegcsökkenés és 3) a cukor/fehérje/zsír tömegének csökkenése az aktivitáshoz szükséges izommunka energiafedezéséhez. A felsorolt folyamatok közül az 1. a legszámottevőbb, még akkor is, ha kicsi. Utána következik a 3. majd az 1. folyamat. Mekkora ezek az értékek? A megfigyelő futási sebességeihez (2,1-2,4 ms^{-1}) tartozó M értékek 200 W m^{-2} , az izommunka értékek 40 W m^{-2} , a respirációs értékek $5-10 \text{ W m}^{-2}$ körüliek. Ha a testtömeg csökkenés mértéke 0,3 kg/(30 perc), ami egyáltalán nem nagy érték, télen (hőhiányos helyzetek) közepes nagyságú, míg nyáron ez az érték kicsinek mondható, akkor az ekkora tömegcsökkenéshez tartozó látens hőáram-sűrűség 198 W m^{-2} , ha a megfigyelő testfelszíne $2,1 \text{ m}^2$.

A 0,1-0,3 kg/(30 perc) verejtékezési mértékek esetén a besugárzás és a szél is változó volt. Az E_i legnagyobb értékei (260 és 340 W m^{-2} értékek) futáskor voltak. A legnagyobb értéket (augusztus 22-én 11:40-kor) futáskor igen nagy besugárzás (720 W m^{-2}) és kicsi szél ($0,8 \text{ m s}^{-1}$) esetében regisztráltuk. Ezt extrém esetnek tekinthetjük. Az eredményeink alapján, a legnagyobb E_i értékek futáskor vannak, de az időjárástól való függés nem áll fenn, legalább is olyan módon, mint az E_p esetében.

Mivel az E egyaránt függ az E_i -től, ami kevésbé függ, vagy független az időjárástól, és az E_p -től, ami függ az időjárástól, az E időjárástól való függése gyenge, vagy nehezen ismerhető fel, nem egyértelmű. A gyenge függés dacára, van egy biztos pont: az a legalacsonyabb hőtöbblet, ami alatt már biztosan nem lesz mérhető izzadás és ezt külön kell választani gyaloglás, valamint fekvés esetében. A méréseket végző személy gyaloglás esetén ezt meg is figyelte (augusztus 1-én 17:50-kor): a gyaloglási sebesség kifejezetten nagy ($1,7 \text{ m s}^{-1}$), a levegő meleg ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) és száraz (60%), a szél több mint erős ($6,4 \text{ m s}^{-1}$), viharos, de a besugárzás szinte nem létező (63 W m^{-2}). A nagy gyaloglási sebesség ellenére a megfigyelő semmit sem izzadt. A száraz bőr párolgása 42 W m^{-2} , de úgy, hogy az E_p 705 W m^{-2} , ami, véleményünk szerint irreálisan magas érték. Így, az E_p irreális értéke ellenére, az E értéke – tekintettel arra, hogy a megfigyelő nem izzadt – elfogadhatóan kicsi.

Méréseink során minden esetben a hőcserét lebonyolító felszín a bőrfelszín. Ez is jellemezhető, még hozzá a vízgőztranszporttal szembeni felszíni ellenállás értékekkel (4. táblázat). Szembetűnő a verejtékkel borított és a verejték nélküli bőrfelszín ellenállás érté-

kei közötti különbség. Ezeket az ellenállás értékeket nem csak sm^{-1} -ben, hanem a humán biometeorológiában inkább használatos $\text{hPa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ mértékegységben szemléltetjük. Az $r_{\text{skin,d}}$ értékei minimum 1700 és maximum 8400 s m^{-1} között változtak. Ugyanakkor a verejtékkel borított bőrfelszín legkisebb ellenállás értékei $0-100 \text{ s m}^{-1}$ körüliek. Vegyük észre, hogy kapunk negatív értékeket is, ami fizikailag nem értelmezhető, mégis feltüntettük ezeket, csak azért, hogy ezek az esetek egyértelműen láthatók legyenek. Ezekben az esetekben a bőrfelszíni párolgás modell nem alkalmazható. A modell alkalmazhatóságával kapcsolatos elemzésünk a 6. fejezetben olvasható.

Mindezek után elemezzük egyenként az időjárási helyzeteket!

5.3. A bőrfelszín párolgása június 27-én

Június 27-én a levegőkörnyezet hőterhelése kicsi, mert a globálsugárzás mindössze 300 W m^{-2} körüli, a szél pedig inkább erős ($3-4 \text{ ms}^{-1}$), mint mérsékelt. Reggel 7 órakor a ruházat termikus ellenállás értéke $0,39 \text{ clo}$. Ez kicsi hőhiány, amelyben az emberek óriási többsége „neutrális” hőérzet kategóriát jelentene (Ács et al., 2022). A nap folyamán e hőhiány megmaradt vagy minimálisan csökkent, ezt az alapján mondhatjuk, hogy a kb. félórás, tempós futás után a kiizzadt verejték mennyisége $0,2-0,4 \text{ kg}$ között változott. Az egészből az a tanulság, hogy neutrális hőérzet esetén futáskor mindig izzadni fogunk, azaz a testünk hőtöbblettel fog rendelkezni a fel szabaduló metabolikus energiaáram-sűrűség miatt.

5.4. A bőrfelszín párolgása július 31-én

A július 31-ei nap alapvetően abban különbözött június 27-től, hogy ekkor a besugárzás igen nagy ($700-850 \text{ W m}^{-2}$) volt. Ennek megfelelően az aktivitásunk: pihenő, fekvő helyzet. Ilyen erős besugárzás alatt $30-50$ percet fekvüdni stresszes. A stressz dacára a pulzus értékek a nyugalmi helyzethez tartozó értékeket (5. ábra) mutatták, a kiizzadt verejték mennyisége $0,2-0,4 \text{ kg}$ között változott, a nedves bőr $30-40\%$ -os relatív borítását a megfigyelő személyesen is megtapasztalta. Megemlítendő, hogy a szimulációs eredmények személyes megtapasztalása volt e mérések (összesen 136) legnagyobb élménye. Ugyanis, a mérések után azonnal megtörtént az adatfeldolgozás, így a szimulációs eredmények azonnal ellenőrizve lettek a tapasztaltak alapján. E módszer egyik kritikus paramétere az n (a nedves bőrfelszín relatív borítása), melyről goromba becslést végezhetünk saját testünk megfigyelésével.

5.5. A bőrfelszín párolgása augusztus 1-jén

Ezen a napon kicsi a besugárzás (1. táblázat), meleg és száraz a levegő, valamint mérsékelt erő a szél. Az utolsó méréskor viszont a szél kifejezetten erős volt. Az időjárást a nap délutáni szakaszában a közeledő hidegfront határozta meg, ennek markáns felhőzetét a 7. ábrán láthatjuk is. Aktivitásunk a gyaloglás.

A magasabb léghőmérsékletek ellenére, nincs nagy hőtöbblet, mondhatjuk, hogy a hőérzet „neutrális”, elsősorban a nagyobb szélesebesség értékek miatt. A kb. fél óra alatt kiizzadt verejték mennyisége 0,2-0,3 kg, de az utolsó méréskor nem is volt izzadás, elsősorban a kicsi besugárzás és a nagy szél miatt. A megfigyelő tehát nem izzadt (vagy 100 g-nál kevesebbet izzadt) gyors gyalogláskor ($1,7 \text{ m s}^{-1}$) sem, amikor igen kicsi a bejövő napsugárzás (100 W m^{-2}), a levegő meleg ($25 \text{ }^\circ\text{C}$), száraz (60%) és a szél viharos (6 m s^{-1}).

5.6. A bőrfelszín párolgása augusztus 22-én

E nap időjárását a nagy besugárzás és a szélcsend jellemezte. Az aktivitások sorrendben: gyaloglás, fekvő helyzet, futás. A két utóbbi aktivitás olyan szempontból érdekes, hogy ezekben az esetekben az $E_i > E_p$, amiért a módszer fizikailag értelmezhetetlen bőrfelszín ellenállás értéket ad (az ellenállás nem lehet negatív értékű). 25 perc alatt, a fekvés során kiizzadt verejték mennyisége 0,2 kg, ez nem nagy érték, ennek dacára az $E_i > E_p$ -nél, mivel a szélcsend miatt az r_{Ha} igen nagy (538 s m^{-1}) lett, amiért az E_p drasztikusan lecsökkent a nagy besugárzás (514 W m^{-2}) ellenére. Summázva: ebben az esetben a módszer azért nem alkalmazható, mert kicsi E_p értéket adott a nagy besugárzás ellenére. Megjegyezzük, hogy a módszer akkor sem lett volna



7. ábra. A hidegfront közeledését jelző változatos, szürke felhőzet.

alkalmazható, ha a kiizzadt verejték mennyisége minimális értékű, azaz 0,1 kg lett volna. Mindezek arra utalnak, hogy a szélesebesség – főleg kicsi szélesebesség értékek esetén – igen fontos meteorológiai változó, főleg akkor, ha az E_p parametrizálására gradiens-képletet alkalmazunk. A módszer futáskor sem volt alkalmazható, de ebben az esetben már kettős hatásról beszélhetünk: a kicsi szélértékek mellett a nagyobb mértékű ($0,8 \text{ kg}/(46 \text{ perc})$) verejtékezés is közrejátszott. Azonban jegyezzük meg, hogy a verejtékezés mértéke nem ebben az esetben volt a legnagyobb. Summázva: ezen a napon voltak olyan extrém körülmények, amelyek azt a benyomást keltik, hogy az E_i függhet az időjárástól.

6. Röviden a humán adatok megbízhatóságáról, a modellről és az alkalmazhatóságáról

A testtömeg méréseket személyi mérleggel végeztük, melynek pontossága 0,1 kg. Hogyan hat ez a pontosság az E_i becsült értékeire? Tétélezzük fel, hogy a mérleg csak \geq értékeket mutat! Ez alapján, például, a 0,1 kg-os tömegesökkenés lehet akár 0,18 kg, de akár 0,02 kg is. A 0,18 kg/(30 perc) és a 0,02 kg/(30 perc) verejtékezési mértékekhez tartozó látens hőáram-sűrűség értékek 119 és 13 W m^{-2} értékűek, ha a testfelszín nagysága $2,1 \text{ m}^2$. E két érték átlaga 66 W m^{-2} , ami a 0,1 kg/(30 perc)-es verejtékezési mérték hőáram-sűrűsége. Tehát az átlagos érték csak akkor megbízható, ha a mérések során ezen szélső értékek gyakorisági előfordulásai között nincs markáns különbség. A mérések, azaz az esetek számának növekedésével e gyakoriságok közötti számbeli eltérések nyilván csak csökkenhetnek. Ezért minél több a regisztrált adott nagyságú tömegkülönbség (pl. 0,1, vagy 0,5 kg), annál nagyobb a megbízhatósága.

Ezen bőrfelszíni párolgás modell alapparamétere az n , ami a „nedves” bőrfelszín relatív borítása. Az n függ az n_i -től, ami a verejtékkal borított bőr relatív borítása és az E_p -től, ami a bőrfelszín feletti, a bőrfelszínre vonatkozó potenciális párolgás. Az n_i -t az E_i és az E_p arányaként kapjuk meg, az E_i az izzadságmirigyekből kibocsájtott verejték látens hőáram-sűrűsége. Kihangsúlyozandó, hogy az E_i független az E_p -től, a két hőáram-sűrűség ugyan viszonyítható egymáshoz, de ez az arány semmiféleképpen sem fejezi ki a „nedves” bőrfelszín relatív felszínborítását. Az E_i időjárásfüggésének mértéke egyelőre teljesen tisztázatlan, ugyanakkor – feltételezhetően – nagyon individuumspecifikus.

A módszer negatív értéket ad a bőrfelszín párolgási ellenállására, azaz nem alkalmazható, amikor az $E_i > E_p$ -nél. Ez nyilván akkor fordulhat elő, amikor

az E_i értékek túl nagyok (nagyon intenzív verejtékezés), vagy az E_p értékek túl kicsik, pl. szélcsend alkalmával, vagy amikor kifejezetten fülledt a levegő közvetlenül a csapadékhullás után, a teljes vízbőrségben. Summázva: a bőrfelszíni párolgás modellek közül e módszer potenciális párolgás alapú, nyilván azért, mert a verejték potenciálisan párolog.

7. Diskusszió

Mint ahogy már említettük, a humán biometeorológiai elemzés nem lehet teljeskörű, ha hiányoznak, vagy nem definiáltak a humán információk, azaz a ruházat, az aktivitás és az individuum humán állapothatározói (testtömeg, magasság, nem és kor). Vagy másképpen: az elemzés nem mellőzheti az „ember állapotát” jellemző információkat, amelyek egyén-specifikusak. E tanulmányban a ruházat minimális, viselkedési normákkal meghatározott nyári ruházat; az aktivitás: fekvő helyzet nyugalomban, gyaloglás, futás, ezek definiáltak a mozgásállapothoz tartozó átlagos sebességgel, és a személy, jelen esetben e tanulmány 1. szerzője.

Tekintettel a ruházat jellegére, az „aktív”, a hőcséret lebonyolító felszín a bőrfelszín. Aláhúzendő, hogy a ma használatos humán biometeorológiai indexek közül egy sem vonatkozik bőrfelszínre. A bőrfelszíni párolgást jellemző információk értelemszerűen újak, de bőrspecifikusak is. Ezért nem mellőzhetjük a megfigyelő bőrtípusát jellemző alapinformációkat! A bőrtípus meghatározásánál a Fitzpatrick-féle bőrtípezési módszert használtuk. A módszer bemenő adatként használja a bőrszín (számérték 1-30-ig terjedő skálán), a szemek színét (számérték 1-16-ig terjedő skálán) és a fiatalos ember hajszínét (számérték 1-10-ig terjedő skálán). A 3 tulajdonságot jellemző számértékeket az ELTE Embertani Tanszékén becsültük, ezek a fenti sorrendben 7, 8, 8, a bőrtípus-kategória e számértékek összege (23) alapján állapítandó meg. A megállapított bőrtípus: IV. kategória: közepesen barna (világos és sötét barna közötti), mediterráni/spanyol. A szerzők legjobb tudása szerint, nincs olyan tanulmány, amely a verejtékmirigyek tulajdonságait, működését bőrtípusok szerint vizsgálta volna. *Rawlings* (2006) munkájában található több információt a különböző embercsoportok közötti verejték-mirigy eltérésekről.

A kapott E eredmények jó illeszkednek a világhálón közzétett (*Parsons*, 1997) eredményekhez. Az E 40-330 $W m^{-2}$ között változott. A 40 $W m^{-2}$ -es érték a száraz bőr párolgása, a 330 $W m^{-2}$ -es értéknél nagyobb értékek is lehetnek, a felső határt 400 $W m^{-2}$ körülnek vélelmezzük. Ez kijelenthető annak dacára, hogy



8. ábra. Kristóf Erzsébet pulzusának időbeli változása a futás során 2023. június 30-án 21 és 22 óra között.

a bemutatott módszer az ilyen extrém esetekben már sokszor nem alkalmazható, más módszerekkel viszont megkaptuk ezen extrém eredményeket. Az E felső határa alapvetően az E_i felső határától függ. Az E_i viszont egyértelműen erősebben függ az aktivitástól, mintsem az időjárás hőterhelésétől. Az E_i időjárástól való függése az alsó határértékével kapcsolatban vehető észre leginkább. Az E_i 63 $W m^{-2}$ alatti (0,1 kg/(30 perc)) a mérsékelt tempósan gyalogló (1,3–1,4 $m s^{-1}$) megfigyelő (testfelszíne 2,1 m^2) esetében, ha a léghőmérséklet 21–23 °C, kicsi a bejövő napsugárzás (300 $W m^{-2}$ alatti), mérsékelt erős a szél (1,5–2,5 $m s^{-1}$) és száraz a levegő (50–60%). A módszer lehetővé teszi a bőrfelszíni ellenállás értékek becslését. A száraz bőr felszíni, vízgőztranszporttal szembeni ellenállás értékei 1500–4000 $s m^{-1}$ között változtak, ami az irodalomból (*Campbell and Norman*, 1998) becsült értékhez képest valamelyest kisebb. A teljesen verejtékes bőr esetében ezek az értékek 0-100 $s m^{-1}$ érték közöttiek. Megemlítendő, hogy a bőrfelszín párolgási ellenállását jellemző szakirodalmi adatokkal nem találkoztunk irodalmi kutatásaink ellenére.

Az is nyilvánvaló, hogy a pulzus adatok személy-specifikusak és nem rendelhetők ember csoporthoz. A személy-specifikus pulzus-adatok igen markánsan is különbözhetnek. Ezt láthatjuk, ha az alábbi 8. ábrát összevetjük az 4. ábrával. A 8. ábra e tanulmány 2. szerzője pulzusának időbeli változását szemlélteti futás esetén. A futási sebesség $2,5 \text{ m s}^{-1}$ körüli, ami csak valamelyest nagyobb sebesség, mint a 4. ábra pulzus-adatsorához tartozó átlagsebesség.

Az Apple Watch órákkal becsült pulzus-adatok megbízhatóságával kapcsolatban már több tanulmány született (*Espinosa et al.*, 2020). E cikkek eredményei alapján az így nyert pulzus-adatok csak a nagy M -értékek esetében, pl. sprintelések során, mondhatók kevésbé megbízhatóknak. Erről egyébként a megfigyelő meg is győződött a mérései során. Mivel a pulzus független az időjárás hőterhelésétől, az M statisztikailag becsülhető az M -pulzus adatpár párhuzamos, egyidejű becsülésével, mérésével. Ez a jövőbeni munkánk egyik célja: legalább egy személy esetében, a személyes „emberenergetikai képlet” megállapítása.

Manapság már az okoseszközök korában vagyunk. Nélkülük e tanulmány nem is valósult volna meg, ez főleg a pulzus adatok vonatkozásában igaz. Az E_i adatokat azonban egy 0,1 kg-os pontosságú személyi mérleg használatával becsültük, amely eszközzel mindenki rendelkezhet. Azonban az eszközöknél is fontosabb a megfigyelő, méréseket végző ember. Az ilyen megfigyelések megvalósításához szabad idő, motiváció és elhivatottság kell, amellett, hogy az illető rendelkezik alapvető meteorológiai és embertani ismeretekkel. Így nyilvánvalóan individualizálódni fog az időjárás humán biometeorológiai elemzése, és a szerzők e fejlődési irány szószólói, művelői.

8. Konklúzió

Két humán folyamatnak, az emberi bőrfelszín párolgásának és a pulzusnak az időjárás hőterhelésétől való függését elemeztük kiválasztott nyári időjárási helyzetekben. Az időjárási helyzetekben a levegőkörnyezet hőtöbblete igen széles határok között változott; hőérzet-kategóriákban gondolkodva (*Ács et al.*, 2022) a „neutrálístól” a „nagyon melegig”. A modell, amely alapján becsültük a bőrfelszíni párolgást (*Parsons*, 1997), először kerül bemutatásra anyanyelvünkön. A modell sajátossága, különlegessége az, hogy a bőrfelszíni párolgást kapcsolatba hozza a légkör párologtató képességével. Eredményeink és elemzéseink alapján a következő konklúziókat vonhatjuk le: 1) mivel a kiizzadt vízmennyiség látnak hőáram-sűrűségének (E_i) időjárástól való függése

determinisztikusan nem szimulálható, a bőrfelszíni párolgás (E) és az időjárás hőterhelésének kapcsolata csak statisztikus módszerek alkalmazásával jellemezhető, 2) a pulzus nem függ az időjárás hőterhelésétől, belső folyamatokkal szabályozott, a tanulmányban előforduló mozgási sebességek tartományában nő a metabolikus hőáram-sűrűség (M) növekedésével és 3) a modell nem alkalmazható a bőrfelszín párolgással szembeni ellenállásának becsülésére mindazon esetekben, amikor az $E_i > E_p$.

E tanulmány nem született volna meg az okos eszközök használata nélkül. Az okos eszközök szerepe és használata nagy valószínűséggel nőni fog mind a humán biometeorológiai kutatásokban, mind az individuális humán biometeorológiai elemzésekben.

Irodalom

- Ács, F., Kristóf, E., Zsákai, A.*, 2019: New clothing resistance scheme for estimating outdoor environmental thermal load. *Geographica Pannonica* 23(4), 245–255. <https://doi.org/10.5937/gp23-23717>
- Ács, F., Zsákai, A., Kristóf, E., Szabó, A., Breuer, H.*, 2021: Human thermal climate of the Carpathian Basin. *Int. J. Climatol.* 41, E1846–E1859. <https://doi.org/10.1002/joc.6816>
- Ács, F., Zsákai, A., Kristóf, E., Szabó, A.I., Breuer, H.* 2022: Individual local human thermal climates in the Hungarian lowland: Estimations by a simple clothing resistance-operative temperature model. *Int. J. Climatol.* 43(3), 1273–1292. <https://doi.org/10.1002/joc.7910>
- Campbell, G.S., Norman, J.M.*, 1998: An introduction to Environmental Biophysics. Springer, New York, USA, 286 pp.
- Dubois, D., Dubois, E.F.*, 1915: The Measurement of the Surface Area of Man. *Arch. Inter. Med.* 15, 868–881. <https://doi.org/10.1001/archinte.1915.00070240077005>
- Espinosa, H.G., Thiel, D.V., Sorell, M., Rowlands, D.*, 2020: Can We Trust Inertial and Heart Rate Sensor Data from an APPLE Watch Device? *Proceedings*, 49, 128: <https://doi.org/10.3390/proceedings2020049128>.
- Gagge, A.P., Gonzales, R.R.*, 2011: Mechanisms of Heat Exchange: Biophysics and Physiology. In: Handbook of Physiology, Environmental Physiology, Supplement 14, 45–84. <https://doi.org/10.1002/cphy.cp040104>
- Mihailović, D.T., Ács, F.*, 1985: Calculation of daily amounts of global radiation in Novi Sad. *Időjárás* 89, 257–261. (in Hungarian).
- Parsons, R.A.*, 1997: 1997 ASHRAE Handbook, Chapter 8 (Thermal Comfort), Evaporative Heat Loss from Skin, 8.3 pp.
- Rawlings, A.V.*, 2006: Ethnic skin types: are there differences in skin structure and function? *Int. J. Cosmetic Sci.*, 28, 79–93. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2494.2006.00302.x>



Hogyan okozhatott a szibériai hideg hóvihart Amerikában, majd viharciklonokat Európában?

Horváth Ákos, Szilágyi Eszter

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

DOI: 10.56474/légkor.2024.4.5

2024 januárjában az északi féltekén sokféle szélsőséges időjárási helyzet alakult ki. Észak-Amerikán rendkívül erős téli vihar söpört végig, majd az Atlanti-óceánon kialakult viharciklonok csaptak le Európára. Mindkét kontinensen sok problémát okozott a szélsőséges időjárás, amely egy összefüggő, egymásra épülő meteorológiai eseménysorozat része volt. A sarkvidéki légtömegek amerikai hidegbetörése hozzájárult a magaslégköri futóáramlások (jet stream) felerősödéséhez, amely a gyorsan mélyülő ciklonok kiváltója volt. Mindezt kiegészítette az alacsony szélességi övekről feláramló meleg, nedves levegő, amely a ciklonok további erősödését segítette.

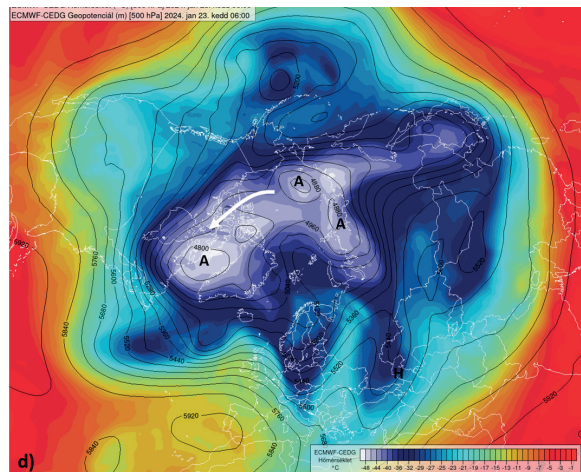
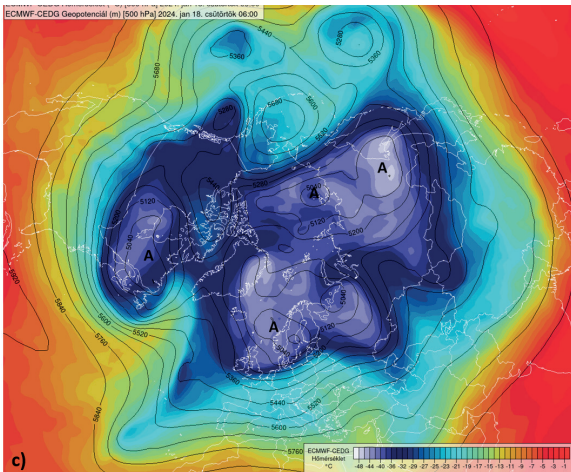
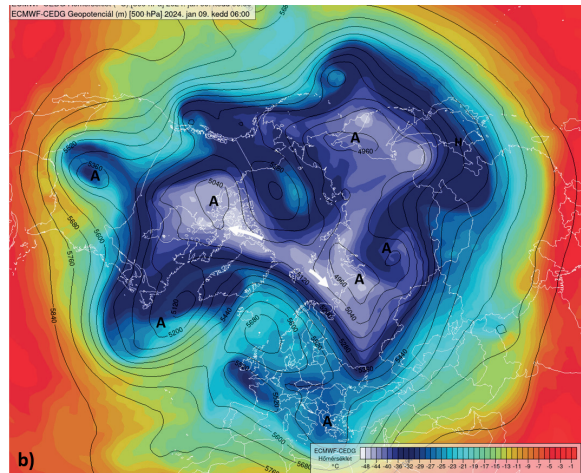
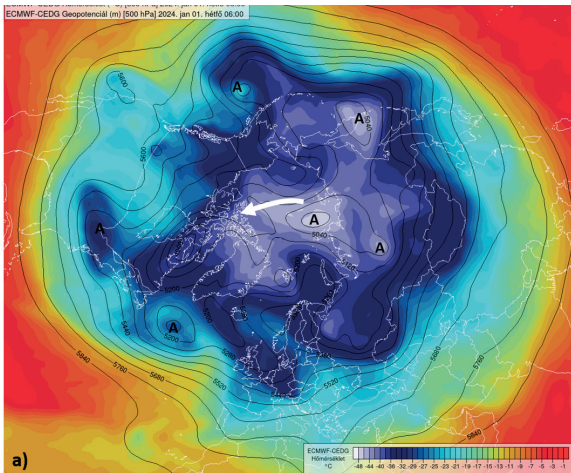
Blizzard in North America, storm in the Atlantic Ocean due to the Siberian cold

In January 2024, in many places of the Northern Hemisphere occurred extreme weather. More extremely strong winter storm swept through North America, then bomb cyclones formed over the Atlantic Ocean and reached Europe. Extreme weather cases – which were part of interrelated meteorological events – caused many problems in both continents. The arctic outbreak in America caused strengthening of the jet stream and the jet stream triggered rapidly deepening cyclones. The warm and moist air mass from low latitudes also contributed to the further developing of Atlantic cyclones.

Arktikus hideg kitörések

A szélsőséges időjárás kialakulásának hátterében a poláris légtömegek mozgása állt. Télen jellemzően két hideg centrum figyelhető meg az északi pólus körül. Az egyik Szibéria, a másik Kanada északi területei fölött található. 2024 első napjaiban azonban a hideg pólus elsősorban Ázsia északi területeire koncentrált. Ugyanakkor a Jeges-tenger felett, Novaja Zemljától keletre, szokatlanul magas földrajzi szélességen egy

nagy ciklon alakult ki. A ciklon áramlási rendszerében a Szibéria északi partjainál felhalmozódott hideg levegő az Északi-sarkon keresztül Kanada irányába indult el (1.a. ábra). Az áramló légtömeg tovább hűlve Kanada felett önálló magot hozott létre, és leszakadva az eurázsiai tömbről déli irányba, az Egyesült Államok felé sodródott (1.b. ábra). Különösen zord időjárást okozott Kanadában, illetve az USA-ban január 10. és 16. között. Az amerikai hideg mag déli oldalán jelentős hőmérsékleti- és nyomási gradiensek jöttek létre



1. ábra. a) Az 500 hPa szint hőmérséklete (színezett terület) és a szint magassága (m) 2024.01.01. 06 UTC-kor az ECMWF analízis alapján. Az északi pólus közelében elhelyezkedő ciklon áramlási rendszerében a szibériai hideg Kanada irányába mozdult. b) Az 500 hPa szint hőmérséklete (színezett terület) és a szint magassága (m) 2024.01.09. 06 UTC-kor az ECMWF analízis alapján. Megfigyelhető a Kanada irányába mozdult légtömeg lefűződése. c) Az 500 hPa szint hőmérséklete (színezett terület) és a szint magassága (m) 2024.01.18. 06 UTC-kor az ECMWF analízis alapján. Az észak-amerikai hideg mag déli oldalán hosszan elnyúló, nagy gradiensű hőmérsékleti és geopotencial mező jött létre. d) Az 500 hPa szint hőmérséklete (színezett terület) és a szint magassága (m) 2024.01.23. 06 UTC-kor az ECMWF analízis alapján. Az újabb szibériai hideg mag áthelyeződés Amerika és Grönland közötti területekre történik.

(1.c. ábra). Mindeközben egy újabb Szibéria-Kanada hideg transzport indult útjára, amely ezúttal nem jutott a korábbihoz hasonlóan alacsony földrajzi szélességre, hanem a Kanada és Grönland közötti területeken érte el az Atlanti-óceánt (1.d. ábra).

Az első hideg mag esetén Amerika felől az Atlanti-óceán irányába haladó magassági szélsatorna figyelhető meg (2.a. ábra). Ez a hideg mag az Atlanti-óceán fölé sodródva – a hozzá tartozó jet streammel – meghatározó szerepet játszott két atlanti viharciklon, az **Isha** és a **Jocelyn** kialakulásában. A második hideg mag hatására északabbra épült fel egy újabb magassági szélsatorna (2.b. ábra). Ez a hideg mag a magassági

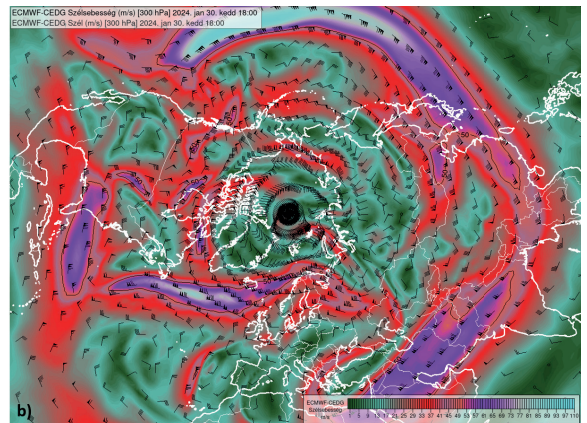
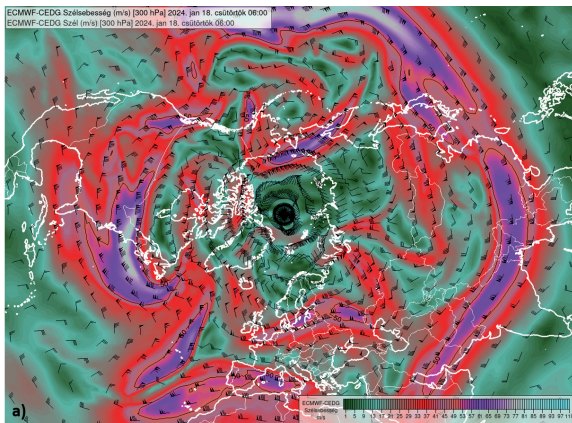
széllal együtt hozta létre a harmadik atlanti viharciklont, amely az **Ingunn** nevet kapta, és élettartama alatt az előzőknél magasabb szélességi körök mentén haladt.

A sarkvidéki légtömegek mozgása az 500 hPa-os nyomásszinten az 1. videó (QRI) követhető.



Viharciklonok

Azokat a ciklonokat nevezzük viharciklonnak vagy más néven ciklonbombának, amelynek centrumában a nyomássüllyedés 24 óra leforgása alatt eléri legalább a 24 hPa-t. Az írásban tárgyalt légörvényeknél minden esetben teljesült ez a feltétel.

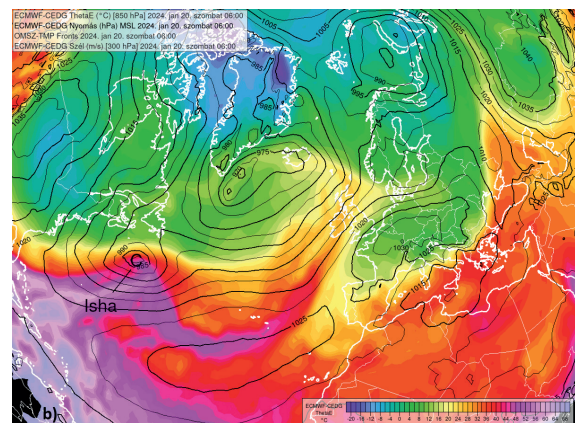
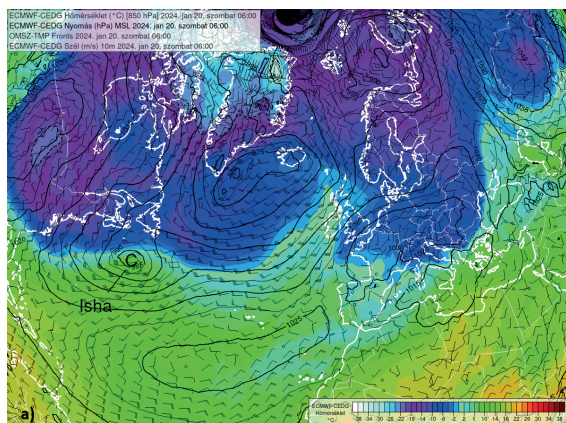


2. ábra. A magassági szél szerkezete az északi hemiszférán: a 300 hPa szint szélerevése (m/s-ban, színezett területek) és széliránya az ECMWF analízise alapján. a) 2024.01.18. 06 UTC-kor. Megfigyelhető az amerikai hidegbetörés hatására kialakuló, Amerika partjai felől az Atlanti-óceán irányába haladó erős jet stream. b) 2024.01.30. 18 UTC-kor. Megfigyelhető a második hidegbetörés hatására Grönlandtól délre kialakuló erős jet stream.

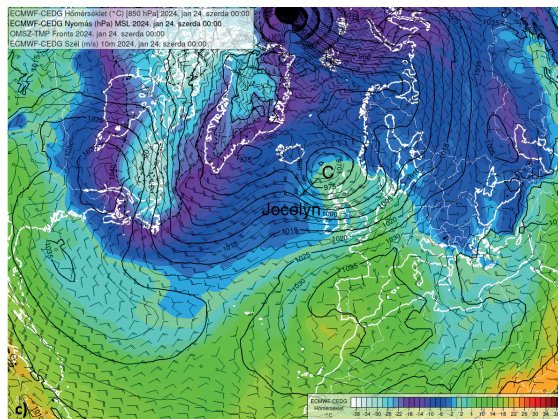
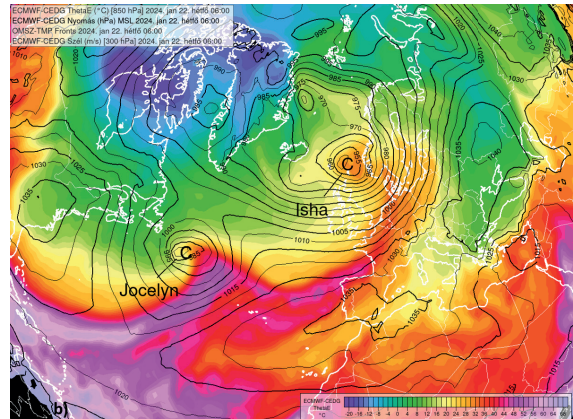
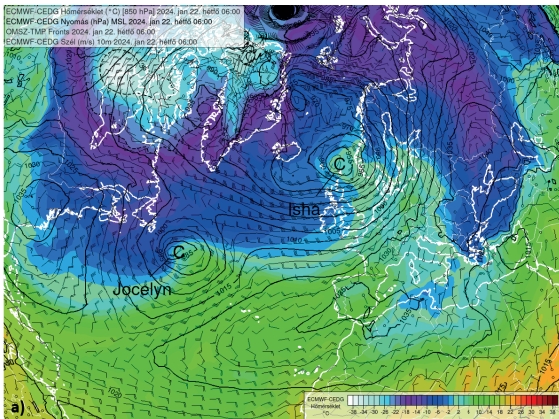
Az amerikai hidegbetörés által kiváltott első viharciklon az **Isha** volt. A légörvény az USA partjainál kezdett gyorsan mélyülni a kontinens felől mozgó hideg és az óceán feletti meleg levegő közötti hőmérséklet-különbség, valamint a jet stream hatására (3.a. ábra). A légörvény viharciklonná alakulásához hozzájárulhatott a ciklon meleg szektorába beáramló rendkívül nedves levegő is, amely intenzív felhő- és csapadékképződéssel jelentős látens hőt szabadított fel az örvény magjában (3.b. ábra). A ciklonnak mindössze két napra volt szüksége, hogy eljusson Amerika partjaitól Európa partjaihoz, és teljesítette a viharciklon kategóriába kerüléshez szükséges légnomás süllyedést.

Isha még Európa partjai előtt járt, amikor nagyon hasonló körülmények között, ugyancsak Amerika partjaihoz közel megjelent a gyorsan fejlődő **Jocelyn** (4.a. ábra). Az előző légörvényhez hasonlóan a nedvesség itt is jelentős szerepet kapott a fejlődésben, a viharciklonná alakulásban (4.b. ábra). **Jocelyn** viharciklon ugyancsak nagy sebességgel, két nap alatt szelte át az Atlanti-óceánt (4.c. ábra). Mindkét viharciklon rendkívüli időjárást okozott elsősorban Nyugat- és Észak-Európában, illetve a balti országokban.

A harmadik, az előzőknél is erősebb **Ingunn** viharciklon kialakulásánál ugyancsak szerepet játszott a sarkvidéki hidegbetörés. A fentebb említett második hideg mag ekkorra már Grönland fölé helyeződött, ami



3. ábra. a) Az atlanti térség tengerszinti légnomása (folytonos vonalak), 850 hPa hőmérséklete (színezett területek) és a 10 méteres szél az ECMWF analízise alapján 2024.01.20. 06 UTC-kor. Az ábrán látható a kialakulóban lévő Isha viharciklon. b) Az atlanti térség tengerszinti légnomása (folytonos vonalak) és az ekvivalens potenciális hőmérséklet eloszlása (színezett területek) az ECMWF analízise alapján 2024.01.20. 06 UTC-kor. Az ábrán látható, ahogy az Isha viharciklon összegyűjti a nedves, meleg levegőt (magas ekvivalens potenciális hőmérsékletű területek).



4. ábra. a) Az atlanti térség tengerszinti légnyomása (folytonos vonalak), 850 hPa hőmérséklete (színezett területek) és a 10 méteres szél az ECMWF analízise alapján 2024.01.22. 06 UTC-kor. Az ábrán látható a fejlődő Jocelyn és az Európa partjaihoz érő Isha viharciklon. b) Az atlanti térség tengerszinti légnyomása (folytonos vonalak) és az ekvivalens potenciális hőmérséklet eloszlása (színezett területek) az ECMWF analízise alapján 2024.01.22. 06 UTC-kor. Az ábrán látható, ahogy Jocelyn viharciklon összegyűjti a nedves, meleg levegőt (magas ekvivalens potenciális hőmérsékletű területek), míg az Isha viharciklon meleg, nedves levegőt szállít Nyugat-Európába. c) Az atlanti térség tengerszinti légnyomása (folytonos vonalak), 850 hPa hőmérséklete (színezett területek) és a 10 méteres szél az ECMWF analízise alapján 2024.01.24. 00 UTC-kor. Az ábrán látható amint Jocelyn viharciklon Európa partjaihoz ér.

hozzájárult a sziget délkeleti partjainál lévő ciklon tovább mélyüléséhez (5.a. ábra). A légörvény eleinte alig mozdult, azonban a stabilan fennmaradó előoldali áramlásában jelentős mennyiségű nedvességet gyűjtött össze az Atlanti-óceán délebbi, Golf-áramlás által melegített területeiről (5.b. ábra). A nedvességgel (illetve a kondenzációval járó látens hővel) felfűtött örvény végül leszakadt Grönland partjaitól, és gyors mozgással jutott Skandinávia térségébe (5.c. ábra). Az **Ingunn** viharciklon Norvégiát sújtotta leginkább, 150 km/h-t meghaladó széllel és intenzív hóviharral [1].

A viharciklonok fejlődése a 2. videón (QR2) követhető a tengerszinti légnyomás, a 10 m-es szél és a 850 hPa hőmérsékleti mezőn keresztül. A hőmérsékleti-, és

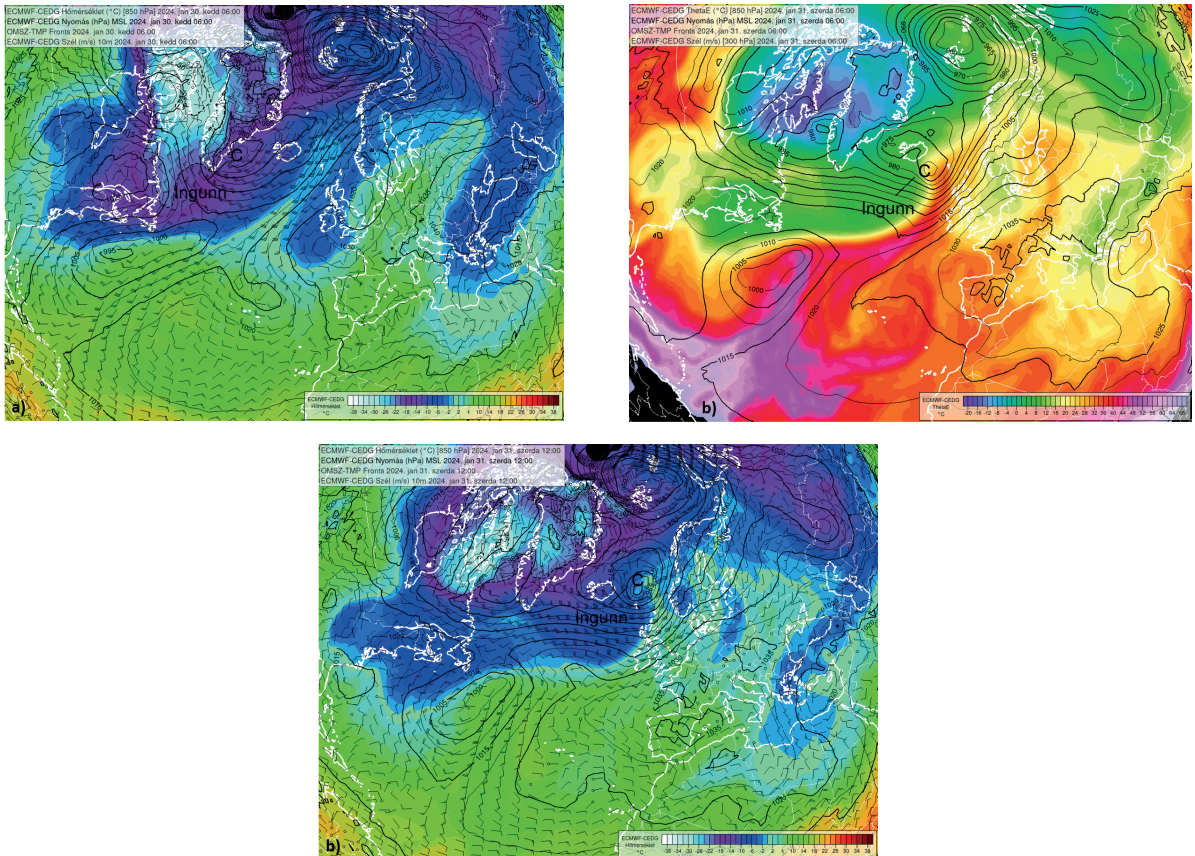


nedvességi viszonyokat egyaránt tükröző ekvivalens potenciális hőmérsékleti mező a 3. videón (QR3) látható.



Szélsőséges időjárás Észak-Amerikában

A fentebb említett sarki hideg levegő kitorések közül az első Kanadában és az Egyesült Államokban okozott szélsőséges téli időjárást. A decemberi, szokásosnál jóval enyhébb időt követően januárban igazi téli idő köszöntött be Észak-Amerikában [2]. Az Északi-sarkon átkelő szibériai hideg észak felől három hullámban érkezett. Az **első hullám** január 8-tól 10-ig tartott és a középnyugati, keleti, délke-



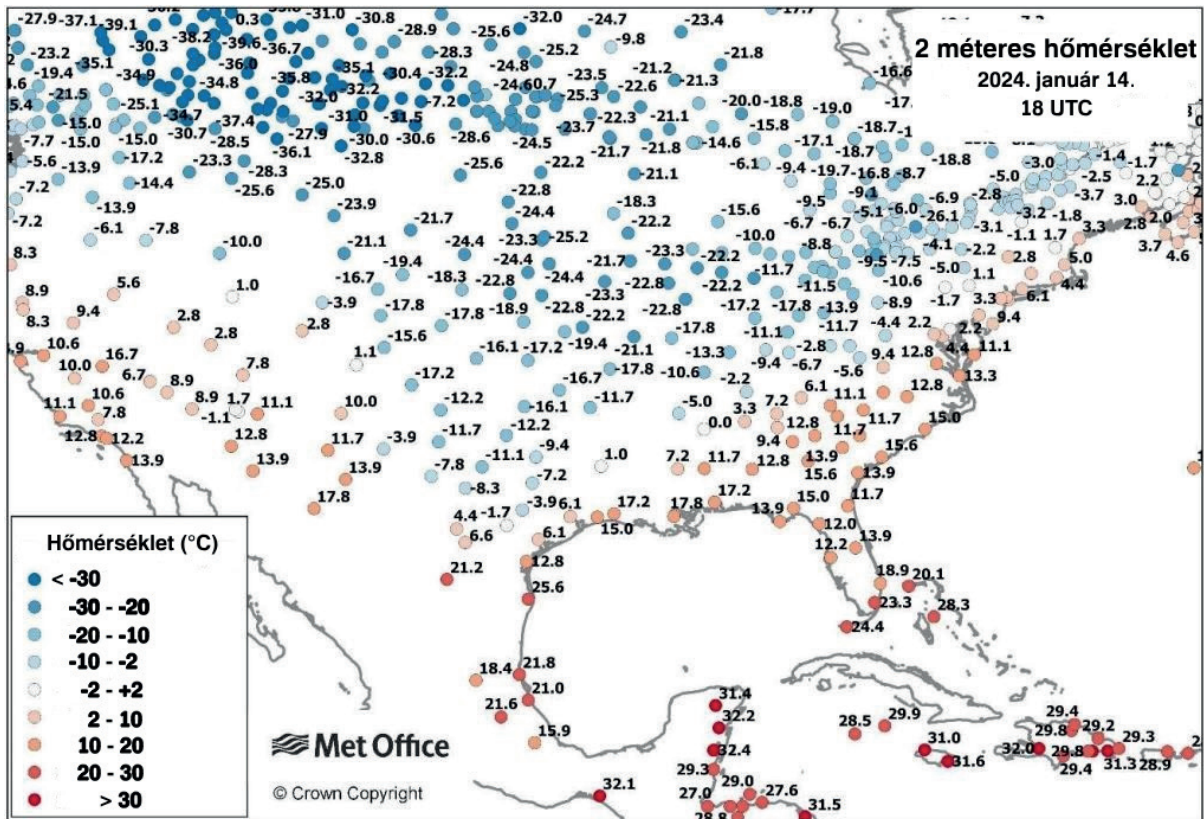
5. abra. a) Az atlanti térség tengerszinti légnyomása (folytonos vonalak), 850 hPa hőmérséklete (színezett területek) és a 10 méteres szél az ECMWF analízise alapján 2024.01.30. 06 UTC-kor. Az ábrán látható a fejlődő Ingunn viharciklon Grönland partjainál. b) Az atlanti térség tengerszinti légnyomása (folytonos vonalak) és az ekvivalens potenciális hőmérséklet eloszlása (színezett területek) az ECMWF analízise alapján 2024.01.31. 06 UTC-kor. Az ábrán látható, ahogy Ingunn ciklon előoldalán az alacsony földrajzi szélességű területekről áramlik a meleg, nedves levegő. c) Az atlanti térség tengerszinti légnyomása (folytonos vonalak), 850 hPa hőmérséklete (színezett területek) és a 10 méteres szél az ECMWF analízise alapján 2024.01.31. 12 UTC-kor. Az ábrán látható amint Ingunn viharciklon Európa partjaihoz ér.

leti államokat érintette [3]. A sarki hideg erős széllel havazás kíséretében egészen délre eljutott. Oklahomában és Texasban utakat kellett lezárni, mivel hóban rekedtek az autósok [4]. Az intenzív havazás mellett a viharos szél 1–1,5 méteres hótorlaszokat emelt. A Nagy-tavak környékén is rendkívüli mennyiségű hó hullott. Iowa és Wisconsin államokban új hóvastagság rekord született, néhol több, mint 100 éve volt utoljára ekkora hó [5]. Az erős szél és az intenzív havazás nem csak a közlekedésben, hanem az áramszolgáltatásban is gondokat okozott. Az extrém időjárási helyzet miatt szüneteltetni kellett az oktatást is. A hóviharban legalább 6 ember vesztette életét [6].

A **második hideghullám** január 11-re virradó éjszaka erős havazással érkezett [4]. Az intenzív havazás másfél napig tartott. A legnagyobb mennyiségű hó Iowa állam déli részén halmozódott fel, itt átlagosan 25-35 cm

hullott. Bár 12-én a déli óráktól csökkent a havazás intenzitása, a viharossá fokozódó, 60-70 km/h-s szél elkezdte hordani a havat. A hóvihar következtében sokfelé járhatatlanná váltak az utak, két napig szinte lehetlenné vált a közlekedés. Rendkívüli állapotot és utazási tilalmat rendeltek el, több ezer járatot kellett törölni [6].

A fagyos levegőnek további utánpótlása akadt. A sarkvidéki hideg **harmadik hulláma** január 13-16. között viharos széllel árasztotta el az országot. Előbb az északnyugati, majd a középső államokat borította be vastag hótakaró, végül a keleti partszakasz mentén is kiféheredett a táj [6]. A havazás harmadik hulláma egészen délre húzódtott. Bár Texasban és Louisianában nem túl gyakoriak a nagy havas helyzetek, az államok északi részén tovább gyarapodott a hótakaró, míg a Mexikói-öbölhöz közelebb fekvő részeken már az ónos eső változtatta jégpáncéllá az utakat [7]. Ezekben a napokban a legvastagabb hóréteg



6. ábra. A 2 méteres hőmérséklet alakulása 2024. január 14-én este az USA-ban.

Az északi államok és a Mexikói-öböl partján elhelyezkedő meteorológia állomások mérései között közel 60 fokal hőmérséklet-különbség alakult ki.

(126 cm) Coloradoban alakult ki (Green Mountain Reservoir) [7]. Az erős szél és az intenzív havazás együttese számos lavinát indított el a Sziklás-hegységben [8].

A hónap közepére nagy területen extrém hideg alakult ki [9], többfelé megdőlt a legalacsonyabb minimum hőmérséklet rekordja. A kanadai határ közelében -30 °C alatti értékek is előfordultak, ami a viharos szélben -50 °C alatti hőérzetnek is megfeleltethető. A hidegbetörés következtében drámai – közel 60 fokal – hőmérséklet-különbség éleződött ki az Egyesült Államokon belül (6. ábra). Addig, amíg az ország területének 3/4-én kemény mínuszok voltak, a Karib-térség egyes részein, illetve Florida déli részén továbbra is 25 fok közelében mozgott a hőmérséklet.

Szélsőséges időjárás Európában

Az Isha viharciklon

Az amerikai hidegbetörés következtében kialakult viharciklonok Skóciától Lengyelországig okoztak viharárokot. Elsőnek közülük **Isha** – a 2023/2024-

es Észak-atlanti viharszezon kilencedik vihara [9] – Nyugat-, Északnyugat-Európa partjainál csapott le január 21–22-én. A legnagyobb pusztítást az Egyesült Királyságban és Írországban okozta, de Hollandia, Dánia, Norvégia és Svédország is érintett volt. A közelgő vihar nem érte felkészületlenül az országokat, a veszély már napokkal előre látható volt, ahogy az is, hogy a Brit-szigeteken lesz a legerősebb. A Met Office (az Egyesült Királyság meteorológiai szolgálata) elsőként adott nevet a viharciklonnak, Isha névre keresztelte [10]. Bár néhány éve már az EUMETNET (Európában működő nemzeti meteorológiai szolgálatok hálózata, amely segíti a tagok közötti együttműködést) koordinálja (az ún. Storm Naming Group-on keresztül) az Európában nagy térséget érintő veszélyes időjárási jelenségek elnevezését, ennek ellenére előfordul, hogy az elnevezésekben nem mindig van egyetértés az egyes meteorológiai szolgálatok között. Ugyanezt az örvényt másnap a Berlieni Szabadegyetem már Iris néven emlegette. Az egész országot érintő szélvihar miatt az Egyesült Királyság területének több, mint a felén sárga riasztás lépett érvénybe, Skócia északkeleti részére pedig

kiadták a legmagasabb fokozatot, a vörös riasztást. Az Eunice viharciklon óta – ami 2022 februárjában sújtotta a szigeteket – nem volt ekkora vihar az említett térségben. Az Egyesült Királyság északi felében tartósan 110–130 km/h közötti szél fújt. Sikvidéken 159 km/h volt a legerősebb szél (Northumberland), míg a hegyi állomások közül Cairnwellnél mérték a legkiugróbb értéket (200 km/h) [9]. Egyes híradásokban lehetett hallani, hogy a skót Glencoe síkőzpont közelében elhelyezett meteorológiai állomáson előfordult 270 km/h-s szellőkés is, de végül ezt az ottani meteorológiai szolgálat nem erősítette meg [10]. A szélvihar következtében számos bejelentés érkezett kidőlt fákról. A fakidölések miatt halálos kimenetelű közlekedési baleset is előfordult. A vihar károkat okozott az épületekben, több százezer ingatlanban szünetelt az áramszolgáltatás. Fennakadások voltak a közúti és a vasúti közlekedésben is. Szélnek kitétt útszakaszokat, hidakat kellett lezárni az autóforgalom elől, mivel a magasabb teherautókat, kamionokat könnyedén felborította a szél. A vízi közlekedésben több tucat kompjáratot törölni kellett a méteres hullámok miatt. A légi közlekedést is megbénította a vihar, járatokat töröltek, vagy átirányítottak Franciaországba, Hollandiába, illetve Németországba. A sellaföldi atomerőművet ideiglenesen le kellett állítani.

A Jocelyn viharciklon

Az Isha okozta viharok teljes felszámolása még be sem fejeződött, máris egy újabb viharciklon célpontjává vált az Egyesült Királyság [11]. Január 23-án heves esőzések kíséretében érkezett meg **Jocelyn**, aki elnevezését Met Éireanntól, az Ír Nemzeti Meteorológiai Szolgálattól kapta. A viharciklon összességében kevésbé volt heves, mint elődje. Ha a légnyomási viszonyokat tekintjük, Isha centrumában 947 hPa volt a legalacsonyabb érték. Jocelyn kevésbé mélyült ki, 961 hPa-ig süllyedt benne a légnyomás [12]. Mindkét vihar kiadós csapadékot okozott az Egyesült Királyságban. A legnagyobb mennyiség a nyugati partszakasz mentén húzódó hegyekben hullott. Itt a csapadékösszeg nagy területen meghaladta az 50 mm-t, de kisebb körzetben 100 mm feletti értéket is mértek [9]. Jocelyn orkán erejű szelet csak az ország északi felében, főként a hegyvidékeken okozott. A legnagyobb szellőkést a skóciai Cairn Gorm hegységben regisztrálták (225 km/h). A hegység Skócia legszelesebb vidéke, az 1986-os országos abszolút szélrekord szintén a Cairn Gormi csúcshoz kapcsolódik. Ekkor 150,3 csomót rögzített a szélmű-

szer [13], ami 278 km/h-nak felel meg, így a Jocelyn által okozott napi országos szélmaximum egyáltalán nem számít rendkívülinek.

A légörvény Skandinávia irányába folytatta útját. Vonulása során nemcsak a skandináv és balti országokban, hanem Német-, és Lengyelországban, valamint a Benelux államokban is komoly viharokat okozott. Hazánkba már valamelyest legyengült formában érkezett, de a Dunántúlon és a középső országrészben így is sokfelé viharos szél fújt. A budapesti János-hegyen mért 110,5 km/h-s szellőkéssel új országos napi szélrekord született [14].

A viharciklon előoldalán a megszokottnál jóval enyhébb léghullámokat szállított Európa nyugati partjaihoz. Az előoldali szél hatására január 23-án Hollandiában 13,4 fokig emelkedett a hőmérséklet, ezzel pedig új holland napi maximum-hőmérsékleti rekord született [15].

Jocelyn átvonulását követően is nagyon aktív maradt az atlanti ciklontevékenység. Két nappal később az óceán felől egy újabb, hosszasan elnyúló frontálzóna közeledett, amelynek előterében Nyugat-Európát szubtrópusi meleg levegő árasztotta el. Az Ibériai-félszigeten ez nyáriás hőfokokat eredményezett, január 25-én Spanyolország déli, délkeleti területein a 25 fokot is meghaladta a hőmérséklet. Gavardában (Valencia tartomány) a melegperiódus 30,7 fokkal érte el maximumát, ez pedig új januári spanyol rekordot hozott. Egyúttal új európai havi maximum-hőmérsékleti rekord is született [16], hiszen a mérések kezdete óta a kontinensen még sosem mértek ilyen magas hőmérsékletet januárban.

Ingunn viharciklon

A viharciklonok sorozata ezzel még nem ért véget. Isha és Jocelyn pusztításait követően január utolsó napjaiban Európa újabb viharciklon érkezésére készült. A harmadik és egyúttal legerősebb viharciklon január 29-én kezdte meg útját. A gyorsan mélyülő ciklont a norvég meteorológiai szolgálat **Ingunnak** nevezte el. Az előrejelzések azt mutatták, hogy Ingunn a két korábbi viharciklon pályájához képest északabbra halad el, és a szélvihar súlypontja most nem a Brit-szigeteken, hanem Skandináviában lesz. Norvégia nyugati partszakasza mentén Ingunn áthaladása során 130–180 km/h-s szelet vártak, így a lehetséges hurrikán erejű szélre nagy területen piros figyelmeztetés, majd riasztás lépett érvénybe. Felkészültek egy esetleges vihardagály kialakulására, ahogy arra is, hogy az extrém szélvihar a hegyekben lavínakat indíthat el. A veszélyhelyzetre való tekintettel számos járatot töröltek, leállították a kompközlekedést és

bezárták az iskolákat. A norvég meteorológiai szolgálat a közösségi oldalán arra kérte a lakosságot, hogy maradjon otthon, amíg elvonul a vihar.

A Norvég-tenger fölött megerősödő Ingunn február 1-jére virradóan csapott le Norvégiára és az elmúlt 30 év legerősebb viharát okozta. A ciklon centrumában 941 hPa volt a legalacsonyabb légnyomás [10], ami megközelítette az 1907-ben felállított norvég legalacsonyabb légnyomási rekordot (938,5 hPa) [9]. A Kvaløyfjellet Sømna meteorológiai állomáson mért 196 km/h-s átlagos szélességgel új norvég átlagszélrekord született [17]. Az orkán erejű szél miatt országszerte áradásokról számoltak be a híradások, fennakadások voltak a közlekedésben, továbbá ezek maradtak áram nélkül [18].

Ingunn Svédország északi részén is rekord erejű szelet okozott. Az 1036 méteren fekvő Stekenjokknál az átlagszél sebessége elérte a 186,4 km/h-t, ez pedig Svédországnak új abszolút szélrekordot jelentett [18].

Az Egyesült Királyságban és Észak-Írországban is orkán erejű szél fúj, a szélre érzékenyebb helyeken 140 km/h-t közelítették a legerősebb szélleköcsök. Ingunn a legerősebb szelet végül a Norvégia és Izland között fél úton elhelyezkedő Feröer-szigeteken okozta (249 km/h) [19].

Összefoglalás

A nagy skálájú légköri folyamatok szempontjából az arktikus hideg magok mozgása jelentős szerepet játszott a vizsgált szélsőséges időjárási folyamatok létrejöttében. A szokatlanul magas földrajzi szélességeken, az Északi-sark felett örvénylő ciklon áramlási rendszere lehetővé tette, hogy a Szibéria felett kialakult hideg mag Kanada, majd onnan az Egyesült Államok fölé mozduljon. Észak-Amerikába több hullámban tört be a szibériai hideg, erős hóviharakat okozva. Az alacsonyabb földrajzi szélességekre sodródott jet stream, kedvezett a hideg mag peremén létrejövő ciklonok kialakulásának, amelyek jelentős nedvességet összegyűjtve viharciklonokká fejlődtek. Ezek a légörvények – Isha, Jocelyn és Ingunn – az Atlanti-óceán felett átbogva Északnyugat-Európában rekordokat döntőgető szél kíséretében értek partot.

Internetes hivatkozások

- [1] <https://www.facebook.com/HungaroMet/posts/pfbid0BzEAsVtkD6FAyBb91LQ4WxnjRGLhMSW2RfkG9RMAAQ8FjnTuEjN2vvq6D1HVhP7I>
- [2] <https://www.weather.gov/dmx/2024-01-11-Iowa-Blizzard-And-Cold>
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/January_8%E2%80%932024_North_American_storm_complex
- [4] https://www.weather.gov/ama/January_8_2024_Blizzard
- [5] <https://www.weather.gov/arx/jan0924>
- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/2023%E2%80%932024_North_American_winter#Second_storm_\(January_10%E2%80%932024\)](https://en.wikipedia.org/wiki/2023%E2%80%932024_North_American_winter#Second_storm_(January_10%E2%80%932024))
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/January_13%E2%80%932024_North_American_winter_storm
- [8] <https://weather.com/storms/winter/news/2024-01-12-winter-storm-weather-forecast-northwest-south-east>
- [9] https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/weather/learn-about/uk-past-events/interesting/2024/2024_02_storms_isha_jocelyn.pdf
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/2023%E2%80%932024_European_windstorm_season
- [11] <https://www.metoffice.gov.uk/about-us/press-office/news/weather-and-climate/2024/storm-jocelyn-named>
- [12] <https://www.theguardian.com/environment/2024/feb/02/weather-tracker-storm-ingunn-hits-norway-with-hurricane-force-winds>
- [13] <https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/types-of-weather/wind/windiest-place-in-uk>
- [14] [https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5599&m=2&hir=Uj_rekordok_szulettek_\(2024.01.25.\)](https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5599&m=2&hir=Uj_rekordok_szulettek_(2024.01.25.))
- [15] <https://nltimes.nl/2024/01/24/jocelyn-officially-third-storm-year-warmest-january-23-ever-measured>
- [16] <https://www.copernicus.eu/hu/node/44432>
- [17] <https://www.meteoiq.com/de/2024/02/02/neuer-windrekord-in-norwegen-mit-sturm-ingunn/>
- [18] <https://www.thelocal.se/index.php/20240201/hurricane-warning-as-storm-ingunn-breaks-swedens-wind-speed-record>
- [19] <https://www.gbnews.com/weather/storm-ingunn-faroe-islands-155mph-winds>

Youtube videók

- QR1:** <https://www.youtube.com/watch?v=pC2zbEuStMI&t=9s>
QR2: <https://www.youtube.com/watch?v=R-3FORx29YE&t=8s>
QR3: <https://www.youtube.com/watch?v=6HbxDVWn7jw&t=8s>



Lóczy Lajos és a légköri kihullás mérése

Dr. Várkonyi Tibor

Országos Közegészségügyi Intézet, tiborvarkonyi@t-online.hu

DOI: 10.56474/legkor.2024.4.6

Lóczy Lajos neves geológus, Belső-Kína és a Balatonvidék kutatója. Az 1897-98 évek nyarán a tó vízének párolgását vizsgálta a Kereked-öbölben. Azt tapasztalta, hogy a mérőedény aljára üledék rakódik. Az üledéket lemérve $55,27 \text{ g/m}^2/\text{hó}$ adódott. *„... abban szeretném ezirányba ni vizsgálataimnak értékét látni, hogy a szubaeikus porhullás mérésének lehetőségét kimutattam velük.”* Ismereteink szerint is első volt. Ülepedőpor-mérések folytak 1962-64-ben és 1976-ban, hasonló parti helyszíneken. Az átlagos ülepedés $5,6 - 6,4 \text{ g/m}^2/\text{hó}$ volt. A nagyságrendi különbséget mintavételi és környezeti tényezők magyarázhatják. Lóczy javasolta a légköri ülepedés országos mérését. Kívánsága 1976-ben teljesült.

Lajos Lóczy and the atmospheric fallout

Lajos Lóczy was a renowned geologist and an expert of the regions of China Proper and the Balaton highlands (Balatonfelvidék). He studied the evaporation of water in the Kereked Bay of Balaton in the summers of 1897 and 98. He observed a sediment on the bottom of the bailer. When measured, it amounted to $55.27 \text{ g/m}^2/\text{month}$. *“... I imagine the importance of these examinations is becoming aware to the possibility of measuring the subaeric fallout.”* He was the first to do so according to our current knowledge. Sediment from fallout was being measured from 1962-64 and in 1976 at similar coastal locations. Average sedimentation was $5.6-6.4 \text{ g/m}^2/\text{month}$. The difference by order of magnitude is most likely due to environmental factors and sampling differences. Lajos Lóczy recommended the monitoring of atmospheric fallout nationwide. His idea was realized in 1976.

Lóczy Lajosról, a világhírű magyar geológusról előadások, szimpóziumok sora emlékezett meg, és emlékezik meg napjainkban is. Életművét neves szerzők számos írása teszi közzismertté. A figyelmet azonban – érthető módon – elkerülte Lóczynak egy rövid, nehezen fellelhető közleménye, mely tudománytörténeti jelentőségű.

Lóczy Lajos (Pozsony-Balatonfüred, 1849-1920) geológus, geográfus. Hírnevét gróf Széchenyi Béla

Ázsia-expedíciójának tagjaként, Belső-Ázsia geomorfológiájának kutatásával alapozta meg. Mondandójának szempontjából azonban lényeges, hogy Lóczy 43 éves korában Balatonarácsra költözött, házat vett, fő tevékenysége a Balatonvidék tanulmányozása lett. Neki és neves tudóstársainak köszönhető, hogy a térség mindmáig a világ egyik földrajzilag és geológiailag legrészletesebben megkutatott, kisebb tájegysége.



1. ábra. Kereked-öböl.

Lóczy az arácsi temetőben nyugszik, síremlékén barátja, Sven Hedin svéd kutató által a Himalájáról küldött havasi gyopár látható. Sírhelyétől szép kilátás nyílik szóban forgó vizsgálatának színhelyére, a Kereked-öbölre. Az 1. ábra az öbölről készült légi felvétel.

A *Balaton tudományos tanulmányozása* (Lóczy, 1913a) című 32 kötetes monográfia-sorozatát Lóczy Lajos szerkesztette. Az első kötetet a Magyar Földrajzi Társaság adta ki 1913-ban. A kötet, mely apai hagyatékából a Szerző birtokában van, csaknem ezer oldal (2,9 kg). Több, neves szerzője van, többek között Eötvös Loránd. Lóczy munkája *A Balatonnak és környékének geológiája és morfológiája* fejezet, 617 oldal terjedelemben (Lóczy, 1913b). Lóczy a kötet 529–533. oldalain közli egy vizsgálatát, melynek címe: *A Balatonba hulló por és a balatonfenéki lerakódások* (sic!).

A hitelesség okából a vonatkozó részeket az eredeti szövegből idézzük.

Idézetek Lóczy: Balaton-monográfia I. kötet, 529–533 old.-ról

(Kiemelések a Szerzőtől)

A Balatonba hulló finom por mennyiségét két éven keresztül pontosan mérhettem. Erre a mérésre egészen más feladatnak nyomozása vezetett reá. Hogy

a Balaton felszínén elpárolgó víz mennyiségét megbízhatóbban állapítsuk meg, (...) egy párolgásmérőt helyeztem el magam a Balaton vizén, Csopak és Balatonkövesd alatt, a Kereked-öbölben. (...) Egy 10 m. hosszú és 5 m. széles fenyőszálakból összetákolt tutajt macskáztunk le. (...) Cardan-féle felfüggesztéssel egy 0,80 m belső átmérőjű, horganybádoggal bélelt 0,70 m magas fakádat alkalmaztunk. (...) A kádat leszűrt Balaton-vízzel töltöttem meg. (...) 1897-ban április hó 28-tól november hó 21-ig, 1898-ban április hó 7-től november 10-ig volt a párolgásmérő a vízen.

○○○

Alig volt a párolgásmérő néhány hétig megfigyelés alatt, nagy meglepetésemre azt tapasztalám, hogy a tiszta vízben a kád fenekét és a fenéken lévő sárgaréz szereit finom iszap lepi el, ez minden nap jobban és jobban szaporodott, utóbb egészen elfedte a sima horganybádogot. Ősszel a partra vontatott tutajról leemeltetem a kádat, és a benne lévő vizet felkavarva, azzal mindent gondosan leöblögetve, megsűrtem a vizet.

○○○

Az első nyárszakán, 1897-ben a 209 nap alatt hullott és megszáritott por súlya *191.68 gr-nyi* volt, a második, 1898 évi nyárszaki 217 napján viszonylagosan valamivel kevesebb *197.18 gr* volt a kádba hullott por. (Összesen 388,86 gr.)

○○○

Az utóbbi évben hullott por térfogati súlyát EMSZT KÁLMÁN m. kir osztály-geológus és vegyész 1000 cm²-re 960 gr-nak határozta meg. Ezzel az értékkel számolva 1897-ben 209 nap alatt 199.67 cm³ pormennyiség hullott a kádba, egyenletesen elosztva ezt a 80 cm átmérőjű kerek kád fenekén 0.3981, lekerekítve 0.4 mm magas réteget ad. Az 1898-ban hullott 217 napi pormennyiség 205.4 cm³ volt és 0.40854, lekerekítve 0.41 mm vastagságban lepte el a kád fenekét.

○○○

Távol legyen tőlem, hogy fentebbi számításaim eredményeinek túlságos jelentőséget és abszolút bizonyítóerőt tulajdonítsak. **Inkább csak abban szeretném eziránybani vizsgálataimnak értékét látni, hogy a szubaerikus porhullás mérésének lehetőségét kimutattam velük.**

Különben is a porhullás megfigyelését nem csupán egy helyen kellene rendszeresíteni, hanem a Balaton több pontján és közepén is hasonló mérőkésztségeket felállítani, amilyen a Kereked-öbölben két évig fennállott. ***A meteorológiai megfigyelésébe kellene bevonni és az egész országra kiterjeszteni a porhullás mérését.*** (Idézetek vége)

Lóczy szerint, valamint mai ismereteink szerint, ***Ő ezzel elsőként végezte tudományos pontossággal az ülepedő por (subaerikus porhullás, légköri kihullás, szedimentum, porlerakódás, fall out) mérését.*** Bár ezt nem a levegő minőségének vizsgálatára, hanem a mindmáig napirenden lévő feliszapolódás meghatározására használta, másirányú jelentőségét ő maga is felismerte, hangsúlyozta. Ülepedő pornak nevezzük a 10 mikrométernél nagyobb átmérőjű szemcséket.

Tekintettel a monográfia műfajára és terjedelmére, nyilván senki nem olvassa el annak teljes szövegét. Saját könyvről lévén szó, a Szerző esélye nagyobb volt, hogy véletlenül ráakadjon a számára érdekes részre.

Az 1962–64-ben végzett vizsgálatok

1962–64 időszakban az Országos Közegészségügyi Intézet Levegőegészségügyi Osztálya végzett folyamatos ülepedőpor-méréseket a Balaton szűkebb



2. ábra. Szabványos ülepedő por mérőeszköz.

környezetében (Mórik és Záborszky, 1966). Lóczy egykori kívánságának megfelelően, a tó közepén, Balatonszemes – Akali közt, erre a célra cölöpökre épített „szigeten” is működött mérőállomás. A vizsgálatokban Szerző asszisztensként vett részt.

Lóczy vizsgálataihoz közeli mérőhely sajnos nem volt. Az összehasonlítás céljára leginkább alkalmasak az északi parton, részben vízfelületen létesített mérőhelyek, valamint a tóközepi mérőállomás lehet. Nyári hónapok adatait vettük figyelembe, Lóczy vizsgálatának megfelelően. Az ülepedő por vizsgálata a 21454/1-73 sz. Magyar Szabvány szerint történt. A 2. ábrán a porgyűjtő eszköz látható a Limnológiai Kutatóintézet kertjében. Az összehasonlítás szempontjából döntő a porgyűjtő felület mérete, a mintavétel időtartama és felszín feletti magassága. A kiválasztott mérőpontok természeti környezetben, szennyező forrásoktól közvetlenül nem érintett helyen voltak telepítve. Az ülepedő por mennyiségére vonatkozó adatok g/m²/hónapban vannak megadva. A leginkább jellemzőnek ítélt helyszínek átlagértékei az alábbiak:

| | | | |
|--------------|----------------------------------|-----------|--------------------------|
| 1962 | Tihany Limnológiai Kutatóintézet | júl.-nov. | 8,6 g/m ² /hó |
| 1963 | Balatonszemes-Akali közt tóközép | júl.-okt. | 6,8 |
| | Tihany rév, vízi | júl.-okt. | 3,2 |
| 1964 | Tihany Limnológiai Kutatóintézet | ápr.-jún. | 3,9 |
| Átlag | | | 5,6 |

Az Országos Immisszió-mérő Hálózat mérései, 1976.

Lóczy kívánsága, a rendszeres monitorozás, több mint 60 év után 1976-ban valósult meg. Az Országos Közegészségügyi Intézet (OKI) Levegőegészségügyi Osztálya által 1974-ben megszervezett Országos Immisszió-mérő Hálózat, más szennyező anyagok mellett 260, majd 340 helyen végzett folyamatos ülepedőpor-méréseket az ország településein. Ez a tevékenység 2002-ig tartott, amikor a mérőhálózat más tárcához került, leépült.

Egy célzott mérési program keretében az Osztály 1976-ban, a tágabban vett Balatonvidék 25 helyszínén telepített mérőállomásokat. Ezekre a légszennyező gázok mellett az ülepedő por mérése is folyt. Az eredményekről 1978-ban tanulmány készült a *Balatonvidék Levegőminősége* címmel (Várkonyi et al., 1976). A 78 oldalas tanulmány a térség levegőminőségének

adatait, légszennyezettségét befolyásoló tényezőit mutatja be, és azok elemzését tartalmazza. A levegőminőség megóvására vonatkozó, megvalósult javaslatok közül leglátványosabb az a nagy kiterjedésű erősáv, melyet a balatonfüzfői vegyiművek légszennyező hatásának csökkentésére, a Litérre vezető út mentén telepítettek. A tanulmányt a MTA Limnológiai Kutatóintézete a feliszapolódás vizsgálatokhoz felhasználta.

Az 1976. évi mérőhelyek, melyek Lóczy mérési helyszínével közelítőleg összevethetők, az 1962–64 évekkel részben azonosak. Vízfelszínen vagy partközvetben vannak elhelyezve, szennyező forrásoktól közvetlenül nem érintett helyen. A vizsgálatok Magyar Szabvány szerintiék. A mért porterhelés egyébként csekély. A mintavételi helyeket a 3. ábra vázolata mutatja.

| | | |
|-----------------------------------|-------------|--------------------------|
| Almádi | ápr.-szept. | 5,8 g/m ² /hó |
| Tihany, Limnológiai Kutatóintézet | ápr.-szept. | 4,9 |
| Tihanyi rév, vízi | ápr.-szept. | 7,7 |
| Parti háttér-szennyezettség | ápr.-szept. | 4,9 |
| Nyáron terhelt helyszínek | ápr.-szept. | 8,5 |
| Átlag | | 6,4 |



3. ábra. Mintavételi helyek: 1. Almádi; 2. Kereked-öböl; 3. Tihany, Limnológiai Kutatóintézet; 4. Tihanyi rév; 5. Balatonszemes-Akali, tóközép.

Mintavételi különbségek

A legjelentősebb paraméterek: a mintavétel időtartama, a gyűjtési felület mérete, valamint a mintavétel felszín feletti magassága. Figyelembe véve a kétszer

7 havi (426 napi) expozíciót, valamint a 80 cm átmérőjű edény felületének (5024 cm²) arányát 1 m²-hez, megkapjuk a g/m²/hó értéket. (Lóczy adatai osztva 14-gyel, szorozva 1,99-el.)

A mintavételi magasság Lóczy esetében talaj- (víz-) felszín felett 70 cm. Az újabb mérések esetében ez 130–150 cm, az ún. „légzési zóna”. A durva (nehéz) por alacsonyabb szinten ülepedik ki. Ennek a hatásnak a korrigálására a Stokes-formula (Mészáros, 2008) adna lehetőséget. Alkalmazásához azonban nem állnak rendelkezésre a szükséges adatok. Lóczy vizsgálata nem terjedt ki a vízben oldódó frakcióra.

Eredmény

Lóczy mérései szerint a Kereked-öbölben, 1897 és 1898 nyári félévében, 70 cm felszín feletti magasságban **a kihulló por tömege: 55,27 g/m²/hó.**

Látható, hogy ez az érték egy nagygrenddel nagyobb az 1962–64 és 1976. évi mérésekhez viszonyítva. A különbséget egyrészt a mintavétel felszín feletti magassága okozhatja, másrészt a környezeti változások is jelentősek.

Környezeti változások

A 4. és 5. ábrák a korabeli jellemző környezetet mutatják be.



4. ábra. Kopár hegyoldalak Tihany (Balaton monográfia, 1913).

Az idézett Lóczy-féle monográfia első oldalán egy kép látható, mely a tó felől mutatja Tihanyt. *A part és a hegyoldal kopár!* A könyvben található fotók is azt mutatják, hogy az észak-nyugati part erdőszültsege, növényzettel való borítottsága a mainál sokkal



5. ábra. Balatonfüred-nyugat (Balaton monográfia, 1913).

gyéresebb volt. A terület döntő részét lakatlan: a beépítettség a talaj-eredetű porképződést csökkenti. Ezek miatt a szélnek kitett porzó felületek nagyobbak voltak. Az uralkodó szélirány nyugati. Lóczy is említi: „A Balaton-felvidéki viharok állandóan a Balaton víz-szélére seprik a port.” A porlerakódás mértékét ezek a környezeti tényezők is befolyásolhatták.

A légköri kihullás mérését jelenleg a HungaroMet háttérállomásain végzik. Aktualitást ad az ülepedő porterhelés vizsgálatának a fotovoltaiikus eszközök, elsősorban a nagy felületen telepített napelem-parkok esetében, a felületükre hulló por, mely a teljesítmény romlását okozza. A klímaváltozás hatásai (szárazság, szaharai por) a porterhelést növelik, amit a mindennapi gyakorlatban is tapasztalunk.

Megjegyzés

Aligha fog teljesülni Szerző több évtizedes elképzelése, miszerint megismételhetnék Lóczy vizsgálatát. Szabványos mérésekkel egyidejűleg, ellenőrizhető lenne a jelentős különbség is. A mérési gyakorlat tökéletesítése, a tó feliszapolódásának verifikálása és a tudománytörténeti jelentőség mellett szépnek tűnik az a gondolat, hogy Lóczynak is kedvére lenne, ha az arácsi temetőből „lepillantana”... Az Ő mintavételi eszközének pontos leírása rendelkezésünkre áll. A Kereked-öböl is rendelkezésünkre áll. Ma még. Terv készült a beépítésére...

Irodalom

- Lóczy L., 1913a: A Balaton tudományos tanulmányozása. Monográfia I. kötet. Magyar Földrajzi Társaság.
- Lóczy L., 1913b: A Balaton környékének geológiai képződményei. (In: Lóczy, 1913a) https://library.hungaricana.hu/hu/view/SZAK_BAKO_BalatonTudTanEredm_01/?pg=0&layout=s
- Mészáros E., 2008: A levegő megismerésének története. MTA Tudománytörténeti Intézete.
- Mórik J. és Záborszky K., 1966: Az ülepedő por mennyiségének vizsgálata a Balaton térségében. *Egészségtudomány* 10, 275–281.
- Várkonyi T. et al., 1976: A Balatonvidék levegőminősége. Egészségügyi Minisztérium, téma számjele:60-10-0401-04-O/T.



Meteorológiai szakkifejezések helyesírása

Leelőssy Ádám

ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, adam.leelossy@ttk.elte.hu

Tudományos folyóiratoktól a blogbejegyzésekig számos felületen jelennek meg meteorológiai szaknyelvi szövegek. A szakkifejezések helyesírása azonban sokszor nem következetes; egy-egy tudományos fogalomnak számos nyelvi változatával találkozhatunk. A nyelvhasználat egységessége nemcsak esztétikai kérdés, hanem a fogalmak pontos megértését is segíti. A szaknyelvi helyesírást matematikai és fizikai helyesírási szótár segíti; ezek segítségével a sajátos meteorológiai szakkifejezéseket felölelő meteorológiai helyesírási gyűjtemény készítésébe kezdtem. A tanulmányban néhány gyakran használt, többféle nyelvi változatban előforduló meteorológiai szakkifejezés helyesírását mutatom be a Magyar Helyesírás Szabályainak 12. kiadása, valamint a matematikai és fizikai szaknyelvi szótár alapján.

Egyetemi munkám során rendszeresen találkozom nagy terjedelmű, magyar nyelvű szakmai szövegekkel, jegyzetekkel, dolgozatokkal, tankönyvekkel. Az ezekben tapasztalt bizonytalan helyesírási fogalmak nyelvi ellenőrzéséhez nagy segítségemre van a matematikai (*Falussyné*, 1995) és fizikai [1] helyesírási szótár. Meteorológiai helyesírási gyűjtemény azonban tudomásom szerint még nem áll rendelkezésre. A meteorológiai szakkifejezések írásmódjának egységesítése céljából szaknyelvi szógyűjtemény készítésébe kezdtem (*Leelőssy*, 2024). A következőkben néhány meteorológiai szakkifejezés helyesírását mutatom be a Magyar Helyesírás Szabályainak 12. kiadása [2], illetve az ezt támogató szótár [3] és internetes szolgáltatás [4], valamint a matematikai (*Falussyné*, 1995) és fizikai [1] szaknyelvi szótár alapján. A szövegben a helyesen írt példákat **félkövérrel**, a szándékosan helytelenül írt példákat *dőlt betűvel* jelzem. A Magyar Helyesírás Szabályainak szabálypontjaira AkH. rövidítéssel hivatkozom.

Jövevényszavak

A domináns angol szaknyelv jelentős befolyással bír a magyar tudományos szövegekre. Az idegen szakkifejezések magyarítása a pusztán helyesíráson túlmutató probléma. Ha az idegen szavak használata elkerülhetetlen, azokhoz a toldalékokat a magyar szabályok szerint, közvetlenül kapcsoljuk. Ha azonban az idegen kifejezés néma magánhangzóra végződik, vagy több szóból áll, akkor kötőjellel járul hozzá a toldalék. Például: **euleri**, **lagrange-i**; **ensemble-t**; **boxploton**, **violin plot-on** (de inkább **dobozdiagramon** és **hegedűdiagramon**), **jetet**, **jet stream-et** (de inkább **futóáramlást**), **home office-ban** (de inkább **távmunkában**), **e-mail-címet** (vagy **ímélcímet**) (AkH. 211., 217.). A modern angol kifejezések mellett a tudományban hagyományosan sok görög és latin jövevényszót is használunk, amelyekre a magyar helyesírás általános szabályai érvényesek, például a magánhangzók rövidülése és nyúlása: **geosztrófia**, **geosztrófiát**,

geosztrofikus szél (AkH. 206., 216.). Kerülendő a latin és magyar dupla tagadás: *nemadiabatikus* helyett helyesebb és egyszerűbb is a **diabatikus** kifejezés.

Egybeírás és különírás

Az angol nyelv hatása nemcsak jövevényszavak használatában jelenik meg, hanem magyartalan tükörfordításokban és a magyar helyesírás torzulásaiban is [5]. Ez különösen az egybeírás és különírás eltéréseiben látványos. Az angol szövegekhez szokott szemünk hajlik az angol nyelv különíró szabályait átvenni, míg a magyar helyesírás inkább a németes egybeírást követi. A jelöletlen kettős szóösszetételknél általában a gyakorlat is tükrözi az egybeírást (pl. *pressure change* – *Druckänderung* – **nyomás-változás**, *model run* – *Modellläuf* – **modellfuttatás**). Néhány esetben a szaknyelvi gyakorlat -i képzőkkel korrigálta az angoltól átvett különírást, ami nyelvtanilag helyes ugyan, de feleslegesen bonyolítja a kifejezést. Például az „éghajlati modell” helyett elegendő lenne **éghajlatmodell** (*climate modell* – *Klimamodell*), „nyomási gradiens” helyett **nyomásgradiens** (*pressure gradient* – *Druckgradient*). A hármas szóösszetételknél pedig már gyakran megjelennek az angol eredetiből tükörfordítással átvett, helytelenül különírt kifejezések: *nyomási gradiens erő*, *városi hősziget intenzitás*, *planetáris határreteg magasság*, *abszolút topográfia térkép*. (Helyesen: **nyomásgradiens-erő**, **városihősziget-intenzitás**, **planetáris határreteg-magasság**, **abszolúttopográfia-térkép**.)

Az olvashatóság és a nyelvi egyszerűség érdekében a hármas szóösszetétel egyik tagja sok esetben jelentésvesztés nélkül el is hagyható: városihősziget-intenzitás helyett elegendő lehet a **hősziget-intenzitás**, planetáris határreteg-magasság helyett **határreteg-magasság**, klímamodel-szimuláció helyett **klímamodel-szimuláció**, Descartes-koordináta-rendszer helyett **Descartes-rendszer**.

A szótagszámlálási szabály

A hármas szóösszetételek helyesírását két szabály határozza meg: a szótagszámlálási szabály és a mozgósabály. A szótagszámlálási szabály azt mondja ki, hogy az egyébként egybeírandó szóösszetételeket a jobb olvashatóság érdekében kötőjellel tagolhatjuk, ha azok legalább három összetételi tagból állnak, és legalább hét szótag hosszúak: **határreteg-magasság**, **koordináta-rendszer**, **maximum-hőmérséklet**, **referencia-időszak** (AkH. 139.). A kötőjeles tagolás nem

kötelező, a kifejezések egybeírt formája is elfogadott. Jelöletlen kéttagú összetételnél, vagy hat szótagig kötelező az egybeírás: **légnyomás-változás**, **referencianyomás**, **polárfrontelmélet**, **üvegházhatás**.

A mozgósabály

Mozgósabálynak azt nevezzük, ha egy különírt szóösszetételhez egy harmadik szó kapcsolódik. Ilyenkor a szóösszetételt egybeírjuk, és kötőjellel kapcsoljuk hozzá a harmadik tagot: **sekély víz és sekélyvíz-egyenlet**, **szennyező anyag és szennyezőanyag-terjedés** (AkH. 141.). A mozgósabállyal nyelvtanilag helyes, de olvashatatlanul hosszú szóösszetételek gyárthatók: **városi hősziget**, **városihősziget-intenzitás**, **városihőszigetintenzitás-mérés** stb. Ezeket érdemes inkább mondatban feloldani: **a városi hősziget intenzitásának mérése**. A mozgósabály alkalmazásában komoly nehézséget okoz, hogy a szövegszerkesztők helyesírási ellenőrzője a (helytelenül) különírt formát általában elfogadja, mivel a szavak külön-külön értelmesek; míg a mozgósabállyal (helyesen) előállított összetett formát aláhúzza, ha az nem szerepel a szótárában.

A mozgósabály nem alkalmazható kémiai nevekre (**szén-dioxid-kibocsátás**), idegen szóösszetételekre (**random forest-módszer**), és betűszóval vagy jelöléssel kapcsolt szóösszetételre sem (**UV-sugárzás-mérés**; **f-sík-közelítés**). Az így kapott összetételhez további tagokat ismét kötőjellel kapcsolhatunk (AkH. 140.). Ezeket a bonyolult láncolatokat is ajánlott inkább mondatban kifejteni. Például a nyelvtanilag helyes **szén-dioxid-koncentráció-mérés** helyett jobb **a szén-dioxid koncentrációjának mérése**.

Előfordul, hogy a mozgósabály mellőzése szakmai jelentést hordoz. A **termikus szél** nem *termikus-szél-egyensúlyt*, hanem **termikus szélegyensúlyt** tart, mert a hőmérsékleti mező magával az egyensúllyal van összefüggésben, nem pusztán a széllal.

A jelentéstömörítő egybeírás

A jelzős szerkezeteket külön írjuk, ha a jelző eseti kapcsolatban áll a jelzett főnévvel. Szakszövegekben az egybeírt forma jelzi, ha a kifejezés mélyebb szakmai jelentéstartalmat tömörít (AkH. 95.). Például **hosszú távú előrejelzés**, ha a „hosszú” jelző általános értelemben, az időtáv érzékeltetésére van jelen; de **hosszútávú előrejelzés**, ha ezzel a sajátosan erre a célra kifejlesztett modellegyüttesek alkalmazására utalunk. A levegőbe **szennyező anyagok** kibocsátása történik, ha az anyagok károsító mivoltát akarjuk kifejezni;

míg a **szennyezőanyagok** kifejezéssel kémiai vegyületek egy speciális csoportját azonosítjuk. A **nagy skála** pusztán a méretet érzékelteti; de **nagyskálán** az ott érvényes fizikai közelítéseket rögzítjük. Mivel ez a szaknyelvi jelentéstöbblet csak szakemberek számára érthető, a nagyközönségnek szóló szövegekben általában a különírt forma helyes. Vannak azonban olyan jelentéstömörítő jelzős szakkifejezések, amelyek csak egybeírt formában értelmesek: **hideglégpárna** (amely alatt nyilvánvalóan nem egy *hideg légpárnát* értünk), **magasléggör** (mert nincs alacsony és *magas léggör*).

Az igekötők

Érthető módon a meteorológiai szövegek egyik leggyakoribb szava az **előrejelzés**, amelyből az „előre” igekötő elválhat. Tehát **jól jelezhető előre** (nem *jól előrejelezhető*), illetve **helyesen előre volt jelezve** (nem *helyesen volt előrejelezve*). Az „előrejelzés” összetett szónak számít, ezért, ha újabb összeteteli tag társul hozzá, akkor hat szótag felett kötőjellel tagolhatjuk: **szélelőrejelzés, hőmérséklet-előrejelzés, csapadék-előrejelzés, modell-előrejelzés**.

Betűszavak és jelölések

A betűszavakat kötőjellel csatoljuk a hozzájuk kapcsolódó kifejezéshez: **UV-sugárzás, MSc-hallgató, PhD-képzés, TDK-dolgozat** (AkH. 289.). Érdekes, hogy míg az UV-sugárzás esetében a kötőjeles írásmód használata a gyakorlatban is egyértelmű, az oktatással kapcsolatos kifejezésekben – helytelenül – a különírt forma terjedt el.

A fizikai és matematikai jelölésekhez kapcsolódó kifejezéseket külön írjuk akkor, ha a jelölés eseti kapcsolatban van a mögötte álló szóval, például annak irányát vagy jelentését mutatja: **x tengely, y változó, z koordináta, p - V diagram, v vektor**. Kötőjelet akkor használunk, ha a jelölés főnévi értelemben azonosít egy speciális fogalmat: **p -rendszer, f -sík, ω -egyenlet, Q -vektor, θ -rendszer**. Jelölésnek számítanak a görög betűk kiírt nevei is: **alfa szög, epsilon távolság; de ómega-egyenlet, gamma-sugárzás**.

A számok és mértékegységek között szóköz áll, ami érvényes a hőmérséklet $^{\circ}\text{C}$ mértékegységére is. Gyakori félreértés, hogy a $^{\circ}$ jel elé nem kell szóköz – ez azonban csak akkor igaz, ha a $^{\circ}$ geometriai szögjel. Tehát helyesen: -5°C (AkH. 279.).

Az egyszerű arányt, gyakoriságot vagy változást kifejező $\%$ jel nem mértékegység, hanem írásjel, ezért a többi írásjelhez hasonlóan szóköz nélkül

írandó: **az esetek 15%-ában fordult elő, 30%-kal nőtt** (AkH 275.). Bonyolítja a szabályt, hogy ha a $\%$ jel valamilyen sajátos fizikai mennyiség mértékegységként szerepel, akkor – a mértékegységek jeléhez hasonlóan – szóközt írhatunk elé: a relatív nedvesség 50 %, az albedó 40 % (AkH 279.). Ennek eldöntése nem minden esetben egyértelmű: például a levegő oxigéntartalma értelmezhető egyszerű arányként (21%), vagy kémiai térfogatszázalékként (21 %) is. Általában a $\%$ jel esetében az egybeírás a követendő gyakorlat, és a szóközzel való elválasztást annak kifejezésére használhatjuk, hogy a $\%$ mértékegység mélyebb tudományos tartalmat hordoz (tehát pusztán a szövegből nem egyértelmű, hogy mit minek az arányában fejezünk ki).

Helyesírás-ellenőrök

Napjainkban a tudományos szövegek írása során egyre kevésbé vagyunk saját nyelvérzékünkre utalva. A szövegszerkesztők automatikus helyesírás-ellenőrzője mellett nagy nyelvi modellek is segítenek pontosabbá, gördülékenyebbé tenni a szöveget. Kérdéses azonban, hogy az összetett szakkifejezések, bonyolult nyelvi szabályok esetén mennyire megbízható a működésük. Ennek vizsgálatára az előzőekben közölt példák közül néhányat kiválasztottam, és a megfelelő angol szakkifejezésből különböző nyelvi modellekkel lefordítottam. A kiválasztott szavakat az *1. táblázat* mutatja.

Az *1. táblázatban* aláhúzással jelöltem azokat a szavakat, amelyeket a Microsoft Word (Office 365) szövegszerkesztő hibásnak jelölt. Látható, hogy a tulajdonnévből képzett melléknevek (pl. euleri), a jövevényszavak (pl. geosztrófia) és a többes szóösszetételek (pl. polárfrontelmélet) gondot okoznak a helyesírás-ellenőrző számára, ugyanakkor a helytelenül különírt kifejezéseket általában elfogadja a szövegszerkesztő.

A nagy nyelvi modellek nyelvi korrektúrára történő alkalmazása bonyolultabb, mivel a modellek összetettségéből adódóan a helyesírásuk nem következetes. Magyar szöveg javítása vagy generálása során többféle nyelvi változat is előkerül. Ezért az angol eredetiből történő fordítás eredményét tüntettem fel a táblázatban. A GPT-4o (ChatGPT) különböző próbaszövegekben következetesen kijavította a „jól jelezhető előre” és a „szén-dioxid-kibocsátás” kifejezéseket, következésképpen rosszul (nagybetűvel) írta az euleri és lagrange-i szavakat, míg a többi esetben a helyes és a helytelen írásmódot is elfogadta. Az angol eredetiből történő fordításnál a táblázatban szereplő 12 példából a ChatGPT mindössze két esetben használt helyes írásmódot, míg a Google Translate négy, a DeepL fordítója hat

| Helyes írásmód | Google Translate | OpenAI GPT-4o | DeepL |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| euleri | <i>Euleri</i> | <i>Euler-i</i> | <i>Euleri</i> |
| lagrange-i | <i>Lagrange-i</i> | <i>Lagrange-i</i> | <i>Lagrange-i</i> |
| f-sík-közéltés | <i>f-sík közéletés</i> | <i>f-sík közéletés</i> | <i>f-sík közéletés</i> |
| gamma-sugárzás | gamma-sugárzás | gamma sugárzás | gamma-sugárzás |
| geoztrófia | geoztrófia | geoztrófia | geoztrófia |
| geoztrófikus szél | geoztrófikus szél | geoztrófikus szél | geoztrófikus szél |
| nyomásgradiens-erő | nyomásgradiens erő | nyomási gradiens erő | nyomásgradiens erő |
| ómega-egyenlet | <i>omega</i> egyenlet | <i>omega</i> egyenlet | ómega-egyenlet |
| p-koordináta-rendszer | p koordinátarendszer | p-koordináta rendszer | p koordinátarendszer |
| polárfrontelmélet | poláris front elmélet | polárfront elmélet | polárfront elmélet |
| szén-dioxid-kibocsátás | szén-dioxid kibocsátás | szén-dioxid kibocsátás | szén-dioxid-kibocsátás |
| x tengely | x tengely | x tengely | x tengely |

1. táblázat: Néhány kiválasztott szakkifejezés helyes magyar írásmódja, valamint a megfelelő angol kifejezésből kapott fordításai különböző gépi fordítók használatával. Dólt betűvel a helytelenül írt szavakat, aláhúzással a Microsoft Office 365 automatikus helyesírás-ellenőrzője által hibásnak jelölt kifejezéseket jelöltem.

kifejezést írt helyesen. Megjegyzendő azonban, hogy az automatikus nyelvi modellek is a felhasználóval együttműködve képesek helyes szöveget létrehozni. A DeepL több (helyesen és helytelenül írt) alternatívát is felkínál a fordításhoz, amelyek közül a felhasználó választhat. A ChatGPT számára megadható egy-egy kifejezés helyes írásmódja, amelyet az adott munkamenetben már következetesen használ. A Microsoft Word szótárába pedig a folyamatban lévő helyesírás-ellenőrzés közben is felvehetők egyéni szakkifejezések.

Összefoglalás

Önmagában sem az automatikus helyesírás-ellenőrző, sem a nagy nyelvi modellek használata nem képes a szakkifejezések helyes írásmódját biztosítani. Különösen, mert mint láttuk, a helyes írásmód sokszor a fogalom szaknyelvi jelentésétől is függ. Ez egyben azt is jelenti, hogy a szakkifejezések helyesírása a nyelvhelyesség mellett szakmai tartalmat is közvetít, a fogalmak pontos megértését is segíti. A tudományos szövegekben, különösen pedig az oktatásban nagy jelentősége van tehát annak, hogy a szakkifejezéseket pontos magyar helyesírással alkalmazzuk. Ebben próbált segítséget nyújtani ez a tanulmány, illetve a jövőben folyamatosan bővülő meteorológiai helyesírás gyűjtemény [6].

Irodalomjegyzék

Falusyné, 1995: Matematikai helyesírás szógyűjtemény, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
http://matlap.org/s/wp-content/uploads/2016/09/Matematikai_helyesi%CC%81ra%CC%81si_szo%CC%81gyu%CC%8Bjteme%CC%81ny.pdf

Internetes hivatkozás

[1] Magyar fizikai helyesírás szótár. MTA XI. Fizikai Tudományok Osztálya. https://mta.hu/data/11_Osztaly/Info/Fizikai%20helyesirasi%20szotar%202018.pdf

[2] MTA, 2015: A magyar helyesírás szabályai – 12. kiadás, Akadémiai Kiadó, Budapest. Interneten elérhető változat: <https://helyesiras.mta.hu/helyesiras/default/akh12>

[3] MTA Magyar Nyelvi Bizottsága tagjai, 2024: Akadémiai helyesírás szótár: <https://helyesiras.szotar.org/>

[4] <https://helyesiras.mta.hu/>

[5] <https://www.nyest.hu/hirek/hogyan-hat-az-angol-helyesiras-a-magyarra>

[6] Leelőssy, Á., 2024: Meteorológiai helyesírás gyűjtemény, http://leeladam.web.elte.hu/Meteorologiai_helyesirasi_gyujtemeny.pdf

Az internetes hivatkozások elérésének dátuma: 2024.07.08.



Élménybeszámoló a Magyar Meteorológiai Társaság XXXIX. Vándorgyűléséről

Simon Csilla

HungaroMet Nonprofit Zrt, simon.cs@met.hu

A közhasznú tudományos egyesületeként működő Magyar Meteorológiai Társaság immár 99 éve tölt be kulcsfontosságú szerepet az időjárással, éghajlattal kapcsolatos ismeretek és az aktuális kutatási eredmények népszerűsítésében a hazai és a határon túli meteorológus, valamint meteorológia iránt érdeklődő közösség életében. A Társaság hagyományos rendezvényei közé tartozik a kétévente megrendezésre kerülő Vándorgyűlés, amelynek többnyire egy-egy vidéki egyetem, területi csoport ad otthont. Az idei, XXXIX. Vándorgyűlés házigazdája a Debreceni területi csoport, pontosabban a Debreceni Egyetem volt, ahol legutóbb 12 éve került megrendezésre az esemény. Idén az aktuális kihívások közül a megújulóenergia-szektor meteorológiai támogatása került a fókuszba.

A rendezvény augusztus 29-én, csütörtök délután vette kezdetét a Debreceni Egyetem főépületének impozáns aulájában, ahol dr. Lakatos Mónika, a Magyar Meteorológiai Társaság elnökének megnyitó beszéde után a plenáris szekció elején dr. Kéki Sándor, a Debreceni Egyetem tudományos dékánhelyettese, valamint Szanka Gábor Gyula, a HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. vezérigazgatója tartotta meg köszöntő beszédét. Őket követte dr. Lázár István, a Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszékének adjunktusa, aki a debreceni meteorológia oktatás múltjáról, jelenéről és jövőjéről adott áttekintést a hallgatóságnak. Az Energiaügyi Minisztériumtól Horváth Viktor ismertette a Nemzeti Energia- és Klímatervet, majd Almási László, az ALTEO Energiaszolgáltató Nyrt. munkatársa arról tartott előadást, hogy a meteorológiai előrejelzéseknek milyen hatásuk van a magyar villamosenergia-rendszerre.

Az ezt követő szekciók a megújuló energia témaköréhez kapcsolódtak a csütörtöki napon. Nagyon érdekes előadásokat hallhattunk a napsugárzás

mérésekről, a nagyfelbontású ensemble előrejelzések felhasználhatóságáról, égboltkamerás rendszer segítségével történő ultrarövid-távú napsugárzás-előrejelzésről, reprezentatív szél- és globálsugárzás adatok előállításának módjáról, valamint műholdas adatokon alapuló, hozzáférhető szél és sugárzás információkról. Ezek a fejlesztések, adatbázisok mind fontosak az energia szektor számára. Emellett betekintést nyerhettünk a mesterséges intelligencia felhasználási lehetőségeibe a meteorológiában, és szakirodalmi feldolgozás keretében áttekintést kaphattunk a napenergia-potenciál várható változásairól a 21. században globális éghajlati modellek szimulációs eredményei alapján. Az előadás-blokkok között kávészünetek biztosították a felfrissülést, amelyek kitűnő alkalmat nyújtottak a szakmai társalgásokra, felmerült kérdések megvitatására is. A poszterek bemutatására szintén az egyik kávészünetben volt lehetőségük a szerzőknek.



Csoportkép a Vándorgyűlés résztvevőiről a Debreceni Egyetem főépületének aulájában.

Az előadásokat követően rövid városnéző túrán vehettek részt az érdeklődők, ami a Debrecen hangulatos sétálóutcájában található Melange étteremnél ért véget, ahol közös vacsorával zártuk az első napot.

A rendezvény második napján meteorológiai tárgyi kutatási eredményeiket mutathatták be az előadók a modern, többfunkciós Learning Centerben. Nagyon változatos és érdekes témákban hallhattunk előadásokat: Aszódi Attila, a BME Nukleáris Technikai Intézetének egyetemi tanára az atomenergia és a megújuló alapú villamosenergia-termelés meteorológiai aspektusait és kihívásait mutatta be, és megismerkedhettünk a COST FAIRNESS, mikrometeorológiai mérések feltáráására irányuló programmal is. Az extrémumok témakörében szó esett a nyári hőhullámok karakterisztikáinak várható változásairól, a hőmérsékleti szélsőségek alakulásáról különböző földrajzi szélességeken, extrém hőstresszről és a futó ember hőegyensúlyáról nyári időjárási helyzetekben. Betekintést nyerhettünk a medikánok témakörébe, a drónok meteorológiai támogatásába a Magyar Honvédségnél, és olyan kutatásba is, amelyben Magyarország csapadék idősorának statisztikai jellemzői kerültek ismertetésre, vagy amelyben izotópos vizsgálatok alapján mutatták ki a naptevékenység mintázatát különböző borkészletekben. A tartalmas előadások végén Lakatos Mónika „A Magyar Meteorológiai Társaság a tudomány szolgálatában: múlt, jelen, jövő” címmel vázolta fel az eddigi tevékenységeket, és ismertette a jövőbeli terveket is: többek között a 2025-ben a Társaság fennállásának 100. évfordulója alkalmából szervezés alatt álló, 100 km-es ünnepi emléktúrát

a HungaroMet székházától az Ógyallai Obszervatóriumig. A Társaság alapító főttkára, Réthly Antal két évet töltött el ott, az Ő nyomait kutatjuk, s a tervek szerint 4 napi gyaloglás után a Szlovák Meteorológiai Társasággal közös ülést tartunk 2025. május 5-én. A túra szakaszonként is teljesíthető lesz.

A szendvicsebéd elfogyasztása után a program folytatásaként a HUN-REN Atommagkutató Intézet épületében tett látogatás következett. Az intézmény munkatársai nagy lelkesedéssel vezették körbe az érdeklődőket a laborokban, és meséltek a folyamatban lévő kutatásokról.

A Vándorgyűlések hagyományos részét képezi a szombati napra tervezett buszos kirándulás, aminek idén az első megállója a kismacsi agrometeorológiai állomás megtekintése volt. Megtudhattuk, hogy az alapmérőhelyet 1960-ban alapították, és az obszervatórium tevékenységében a talaj és a növényállomány energia- és vízforgalmával összefüggő folyamatok és a sugárzási egyenleg komponenseinek mérése játssza a központi szerepet. Megtekintettük a számos meteorológiai mérőműszerrel felszerelt műszerkeretet, és az épp szolgálatot teljesítő Lukács Dániel aktuális meteorológiai észlelésének dokumentálását is nyomon követhettük.

A kirándulás következő állomása a hortobágyi Madárkórházban tett látogatás volt, ahol idegenvezetőnk összefoglalta a madarakra leselkedő legjelentősebb veszélyforrásokat és a leggyakoribb sérüléseket. Megnézhettük, hol kerül sor a kis betegek kezelésére, gyógyítására, valamint hogyan zajlik a visszazoktatási folyamat a természetbe. A csoport legnagyobb kedvence Negró volt, a holló, aki egy kis, lábára spriccelt



Életképek a Vándorgyűlés szakmai kirándulásáról: résztvevők körbevezetése az Atommagkutató Intézet egyik laboratóriumában (fent), valamint a talajhőmérséklet ellenőrzése a kismacsi agrometeorológiai állomás műszerkertjében (lent).

víz hatására habozás nélkül ismételte el az elhangzó „Szevasz, Negró!” köszöntést. A Madárkórház után még egy rövid sétát tettünk a híres hortobágyi Kilenclyukú hídhoz, amely a Hortobágy folyó felett ível át kilenc pillérré támaszkodva, ezzel Magyarország leghosszabb közúti kőhídja. A kirándulás végeztével a Vándorgyűlés zárásaként a résztvevők a Derecske határában fekvő, hangulatos Almavirág étteremben költöttek el az ebédet.

A rendezvényre ebben az évben 65 fő regisztrált, köztük a HungaroMet és magáncégek munkatársai, az egyetemek kutatói, katona meteorológusok, és az ELTE Meteorológiai Tanszék egyik földtudomá-

nyi alapszakos hallgatója is, aki előadóként volt jelen. A szakmai program összesen 23 előadásból és 4 poszterbemutatóból állt; a végleges program, az előadások anyagai és az absztraktok elérhetők az MMT honlapján (<http://www.mettars.hu/vandorgyulesek/2024-debrecen/>). Ez alkalommal is egy nagyon tartalmas rendezvényt tudhatunk magunk mögött, amiért külön köszönet illeti az előadókat, a szervezőket és az esemény támogatóit is, a Debreceni Egyetemet és a HungaroMet-et.



Látogatás a hortobágyi Madárkórházban (fent) és a szombati kirándulás résztvevőinek egy csoportja Hortobágyon a Vízholdok szobránál (lent).



2024 nyarának időjárása

Marton Annamária, Szolnoki-Tótviván Bernadett

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

2024 nyara még 2022 nyaránál is melegebb volt, így az első helyre került az 1901 óta íródó éghajlati adatsorban. Ezzel a 2023/2024-es tél és 2024 tavasza után a nyár is rekordot döntött. Az évszak középhőmérséklete országos átlagban több, mint két és fél fokkal meghaladta az 1991–2020-as éghajlati normált, s ezúttal is mindhárom hónap melegebb volt a megszokottnál. A csapadék tekintetében június túltett az átlagon, majd ezt két rendkívül száraz hónap követte.

A hőmérséklet és csapadék időbeli alakulása

2024 nyara még 2022 nyaránál is melegebb volt, így az első helyre került az 1901 óta íródó éghajlati adatsorban. Országos átlagban 23,5 °C-nak adódott az évszakos középhőmérséklet, mely így 2,7 °C-kal haladta meg az éghajlati normált (1. ábra). Az évszak mellett mindhárom hónap jóval melegebb volt a megszokottnál. Legnagyobb mértékben az augusztus tért el (+3,4 °C), ezt követte a július (+3,0 °C), majd a június (+1,8 °C). Az egyes hónapok rangsoraiban is előkelő helyezések születtek: a június az 5., az augusztus a 2., a július pedig a legmelegebb lett a XX. század kez-



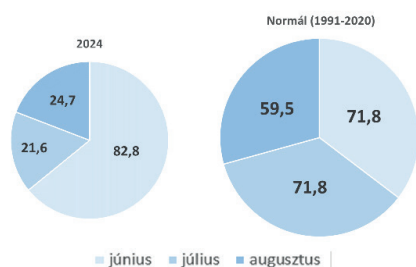
1. ábra. Az országos havi és az évszakos középhőmérséklet eltérése a sokévi (1991–2020-as) átlagtól 2024 nyarán (interpolált adatok alapján).

deté óta. A legmagasabb mért hőmérséklet júliusban és augusztusban is meghaladta a 40 fokot, több tartós hóhullám is kialakult a nyáron. A megszokottnál csapadékosabban indult a nyár, júniusban az országos összeg meghaladta a sokéves átlagot, majd két rendkívül száraz hónap következett, a 7. legszárazabb július és a 9. legszárazabb augusztus, így nem meglepő, hogy a nyár a 11. legszárazabb lett 1901 óta.

A küszöbnapok is azt mutatják, hogy egy rendkívül meleg nyarat hagyunk a hátunk mögött (1. táblázat). A hőmérsékleti indexek esetén a nyarat jellemzők

| Éghajlati indexek értékei 2024 nyarán és ezek sokévi átlagai | | |
|--|------|-----------|
| | 2024 | 1991–2020 |
| Nyári nap ($T_{max} \geq 25 \text{ °C}$) | 82 | 66 |
| Hőség nap ($T_{max} \geq 30 \text{ °C}$) | 53 | 27 |
| Forró nap ($T_{max} \geq 35 \text{ °C}$) | 14 | 3 |
| Meleg éjszaka ($T_{min} \geq 20 \text{ °C}$) | 18 | 4 |
| Csapadékos nap ($r \geq 0,1 \text{ mm}$) | 22 | 28 |
| Zivataros nap | 14 | 12 |

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

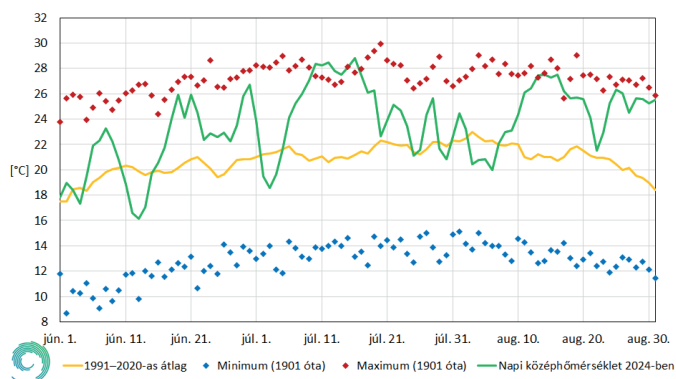


2. ábra. A 2024-es nyár havi csapadékösszegei és a normál területarányos kördiagramon (mértékegység: mm).

(forró, hőség, nyári nap) mind meghaladták a megszokott értéket. Nyári napból az 1991–2020-as átlagnál közel harmadával volt több. Hőség napból 2-szer, forró napból és meleg éjszakából pedig mintegy 4,5-szer több jelentkezett, mint az évszakos normál. Országos átlagban 21%-kal kevesebb csapadékos nap fordult elő, mint a sokéves átlag, zivataros napból viszont több volt, mint a megszokott.

A csapadék időben egyenlőtlenül oszlott el: júniusban még csapadéktöbbletet, majd a következő két hónapban csapadékhiányt figyelhettünk meg. Alapvetően az augusztus szokott a legszárazabb hónap lenni a nyár folyamán, míg a június és július nagyjából egyenlő arányban osztozik. 2024 nyarán a három hónap közül a július volt a legszárazabb, a megszokott mennyiségnek kevesebb, mint a harmada hullott (30%), országos átlagban 21,6 mm. Ennél kevesebb volt a hiány augusztusban, amikor a sokéves érték 41%-a érkezett (24,7 mm). Júniusban pedig 15%-kal meghaladta a normált a havi összeg (82,8 mm). A kördiagramot vizsgálva láthatjuk, hogy 2024-ben az évszakos csapadékösszeg kétharmada júniusban hullott (2. ábra). Az elmúlt 124 év idősorát tekintve a júniust a hátsó harmadban találjuk, a 79. helyen, míg a július a 7., az augusztus a 9. legszárazabb lett a XX. század kezdete óta. A 2. ábrán, ahol a kördiagramok területei arányosak a havi és évszakos csapadékösszegekkel jól látható, hogy az évszak csapadékösszege jelentősen elmaradt a sokéves átlagtól, 2024 nyarán a sokéves átlagnál 37%-kal kevesebb csapadékot regisztráltunk. Az elmúlt 124 év éghajlati adatsorában 2024 nyara a 11. helyre került a legszárazabb nyarak sorában.

A 3. ábra a 2024-es nyár napi középhőmérsékleteit, sokéves átlagait, valamint az 1901 óta tapasztalt szélsőértékeit mutatja be. Megfigyelhető, hogy az évszak 92 napjából 75 napon a normálnál magasabbak voltak a napi átlaghőmérsékletek. Ez legtöbbször egybefüggő meleg napokat jelentett, amiket csak

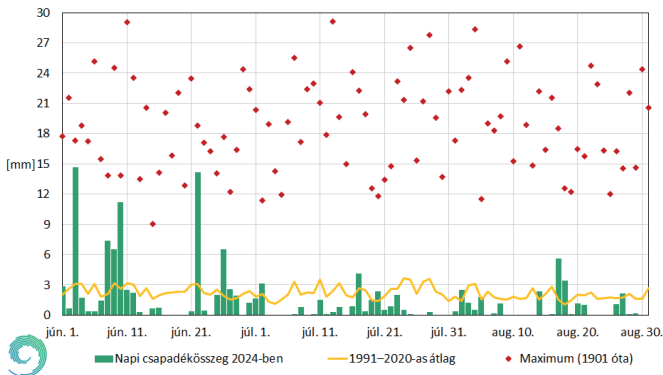


3. ábra. Országos napi középhőmérsékletek, a sokéves átlag (1991–2020), illetve a szélsőértékek 1901 óta 2024 nyarán homogenizált, ellenőrzött, interpolált adatsorok alapján.

1-2 hűvösebb nap szakított meg. Csak kettő hosszabb – 5 napos – hűvös időszak volt az évszakban: június 11–15. és augusztus 3–7. között.

Az átlaghoz közeli hőmérsékletekkel indult a június, majd a gyors melegedésnek egy hullámzó frontrendszer vetett véget, ami június 10–11-én vonult át országunk felett. Erőteljes lehűlést hozott magával: 12-én és 13-án több, mint 3 °C-kal maradt el a sokéves átlagtól a napi középhőmérséklet. Június 13. lett az évszak leghűvösebb napja 16,3 °C-os napi átlaggal. Ezt követően egy 16 napos meleg periódus következett: a hőmérséklet gyors növekedésnek indult, és június második felében már az első harmadfokú hőségriadóra is sor került. Ezt a július 1-én érkező hidegfront törte meg, mely bár jelentős lehűlést eredményezett, a hűvösebb idő csak pár napig tartott. Július 5-től megkezdődött a 2024-es nyár leghosszabb és legintenzívebb hőhulláma, július 7-től ismét harmadfokú hőségriadó lépett életbe. Az évszak legmelegebb napja is ekkor volt: július 16-án 28,9 °C-os napi középhőmérsékletet rögzítettünk, mely 7,7 °C-kal haladja meg a sokéves értéket. Az augusztus is tartogatott hosszú meleg periódusokat és hőségriadókat is. Augusztus 8-tól jelentős melegedés, majd újabb tartós hőhullám vette kezdetét, 11-étől másodfokú, 14-től harmadfokú hőségriadót rendeltek el. Bár 21-én egy hidegfront némi enyhülést hozott, a napi középhőmérsékletek még mindig a sokéves átlag felett maradtak. A hónap utolsó hetére visszatért a hőség, a szokásosnál 6-7 °C-kal melegebb idővel és másodfokú hőségriadóval ért véget a nyár.

A 4. ábra a csapadék időbeli alakulását mutatja a nyár folyamán. Megvizsgálva jól látható, hogy a június volt csapadékban gazdag, míg a másik két hónap jóval elmaradt a sokéves átlagtól. Június 9-én hullámzó frontrendszer helyeződött fölének, az Alpokból érkező heves zivatarok miatt az északnyugati



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

vármegyék néhány járására másodfokú riasztást adtak ki. Az Alpoknál szupercellák is pusztítottak, és tornádó kialakulásról is érkezett hír. Másnap több hullámban vonultak északkelet felé záporok és zivatarok, melyek helyenként felhőszakadással, jégesővel, viharos széllel jártak. A legtöbb csapadék Budapeستől délre hullott egy délnyugat-északkelet irányú sávban, ami Ercsit is érintette, ahol jégesővel párosult a zivatar. Június 22-én este, délnyugat felől kiterjedt zivatarrendszer érte el az országot. Távozását követően 23-án hajnalban az Alföldön egyre több helyen pattantak ki zivatarok, melyek több helyen jártak felhőszakadással, nagy méretű jéggel és károkozó szélrohamokkal. A legtöbb csapadékot Tiszabercel állomásunkon mértük, itt 127,2 mm hullott, ami egyben az évszakban mért

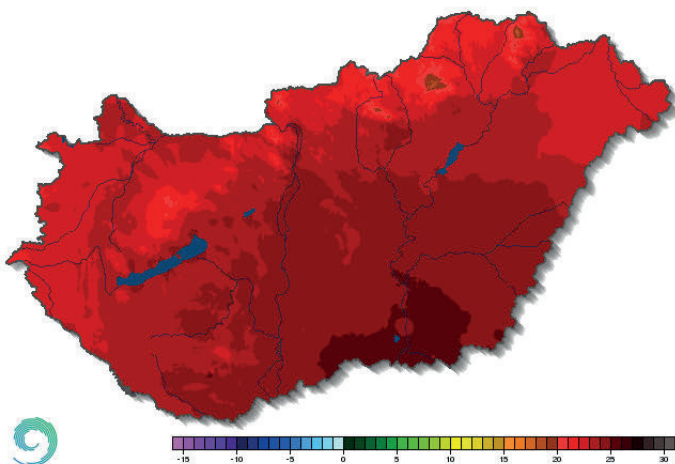
| A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet | | | |
|---|-------------|-------------|---------------|
| | Hőmérséklet | Állomás | Napja |
| június | 37,7 °C | Derekegyház | június 21. |
| július | 41,6 °C | Kelebia | július 16. |
| augusztus | 40,7 °C | Kelebia | augusztus 13. |
| A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet | | | |
| | Hőmérséklet | Állomás | Napja |
| június | 5,7 °C | Zabar | június 15. |
| július | 5,8 °C | Zabar | július 30. |
| augusztus | 6,3 °C | Nyírtass | augusztus 23. |

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

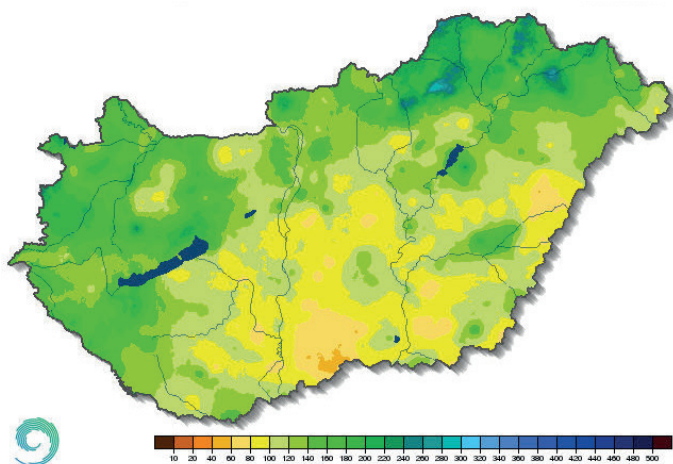
| A hónap legnagyobb csapadékösszege | | | |
|---|----------|--|---------------|
| | Csapadék | Állomás | |
| június | 215,1 mm | Tiszakarád | |
| július | 87,7 mm | Szentes Felsőrért | |
| augusztus | 100,2 mm | Becsehely | |
| A hónap legkisebb csapadékösszege | | | |
| | Csapadék | Állomás | |
| június | 28,9 mm | Dabas | |
| július | 0,0 mm | Budapest Pesthidegkút Kápolnásnyék Rád Siófok belváros Súr | |
| augusztus | 0,0 mm | Hódmezővásárhely Kübekháza Magyarcsanak - Bökény | |
| 24 óra alatt lehullott maximális csapadék | | | |
| | Csapadék | Állomás | Napja |
| június | 127,2 mm | Tiszabercel | június 22. |
| július | 80,7 mm | Szentes Felsőrért | július 23. |
| augusztus | 65,9 mm | Kakucs | augusztus 27. |

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

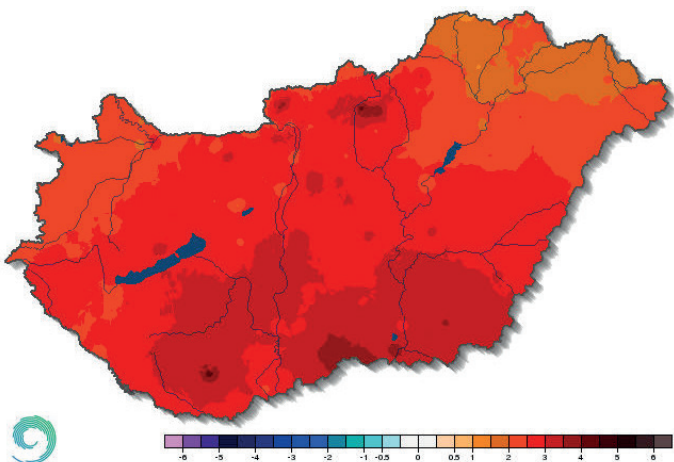
legnagyobb 24 órás csapadékösszeg. Júliusban a hóhullámok idején legfeljebb csak lokális zivatargócsok alakultak ki. 16-án viszont egy hidegfront érte el hazánkat, csapadékot északkeleten, valamint a Dunántúli-középhegység keleti felében okozott, záporok, zivatarok formájában. 17-én pedig már kiterjedtebb területen volt csapadékhullás: a Dunától keletre szinte mindenhol volt kisebb-nagyobb mennyiség. A kipattanó zivatarok környezetében felhőszakadás, viharos szél és jégeső is volt, a legintenzívebb cellából Debrecenben 69 mm-t mértünk. Augusztus elején gyakran alakultak ki többfelé záporok, zivatarok, de csak kisebb mennyiség érkezett belőlük. 17-től forró, nedves szubtrópusi eredetű légtömegek töltötték ki a Kárpát-medencét, ami a csapadékhajlam megnövekedéséhez vezetett, így augusztus harmadik hetében sokfelé adódtak záporok, zivatarok. Intenzív zivatarcellák is kialakultak,



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



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



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

felhőszakadással, jégesővel, viharos szellőkéssekkel, 30-40 mm közötti napi csapadékmaximumokkal. 27-én egy sekély ciklon hatására nedves, labilis légtömegek érkeztek térségünkbe, a Duna vonalában jelentős mennyiségű csapadék hullott. Kakucs állomásunkon 65,9 mm-t mértek.

A hőmérséklet térbeli eloszlása

A nyár átlaghőmérséklete 23,5 °C, tehát jóval magasabb lett, mint az 1991-2020-as sokéves érték (20,8 °C). Az évszakos középhőmérséklet az ország nagy részén 23 és 25 °C között mozgott. Az Alföld déli részén volt ennél melegebb, itt 25 °C-ot meg-

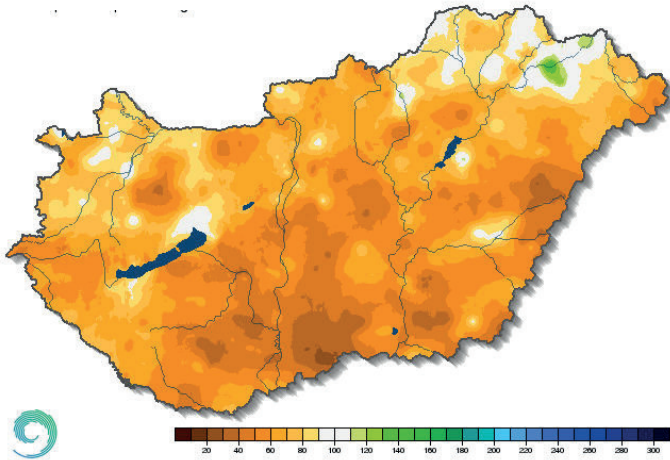
haladó háromhavi átlagok jelentkeztek. A Dunántúli- és az Északi-középhegység magasabban fekvő részein 20-22 °C volt jellemző, Kékestető állomásunkon pedig 19,9 °C-ot mértünk (5. ábra).

A 6. ábrán a hőmérsékleti anomáliát ábrázoltuk, mely országszerte pozitív volt. Az ország mintegy kétharmadán 2-3 °C-kal volt melegebb a sokévi átlagnál. Ezt meghaladó, 3-4 °C körüli értékek az ország déli területein fordultak elő, továbbá a Mátra és a Börzsöny térségében. Alacsonyabb (2 °C alatti) értékek összefüggő területen csak Északkelet-Magyarországon adódtak.

A csapadék térbeli eloszlása

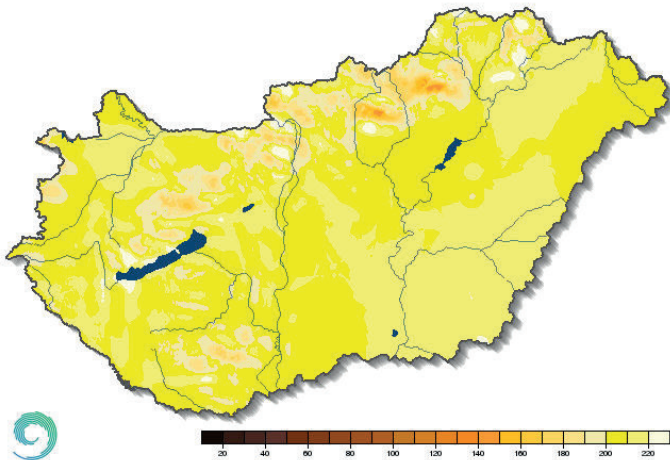
A nyár folyamán lehullott csapadékmennyiséget mutatja be a 7. ábra. Az Alföldre érkezett kevesebb csapadék, itt jellemzően 100 mm alatt maradt az évszakos összeg. Ezen belül a legszárazabb területeken (pl.: Bácskai-síkvidék) még a 60 mm-t sem érte el. Az évszak folyamán a legkevesebb csapadékot, 43,7 mm-t Derecskén mértük. A Dunántúl nyugati részén és az Északi-középhegységben 120 mm felett alakult a háromhavi csapadékösszeg. Nagyobb mennyiségek a Mátrában, a Bükkben és a Felső-Tisza-vidéken jelentkeztek: errefelé a 200 mm-t is meghaladta az összeg. A nyár legnagyobb csapadékösszegét, 293,1 mm-t Miskolc Lillafüred-Jávorkút állomáson regisztráltuk.

Országos átlagban 129 mm-nek adódott a nyári csapadékösszeg, ami megegyezik a 2024-es tavaszi összeggel, és majdnem 100 mm-rel marad el a tavaly



8. ábra. A 2024-es nyár csapadékösszege a sokévi (1991-2020-as) átlag százalékos arányában kifejezve.

nyári mennyiségtől (222 mm). Az 1991-2020-as sokéves normálnál (203 mm) is jócskán alacsonyabb az idei összeg, mindössze 63%-a. Hazánk legnagyobb részén a nyáron lehullott csapadék mennyisége kevesebb volt, mint a sokéves érték. A Dunántúl nyugati részén és az Északi-középhegységben a megszokott mennyiség 60-90%-a hullott, de az Alföldre már csak a sokéves átlag 40-60%-a érkezett. A legszárazabb tájakon pedig a normál 20-40%-át regisztráltuk. Csapadéktöbblet csak nagyon kis területen a Bodrogtöbben és a Rétközben figyelhető meg. Ebben a térségben az átlag 110-140%-át összegeztük (8. ábra).



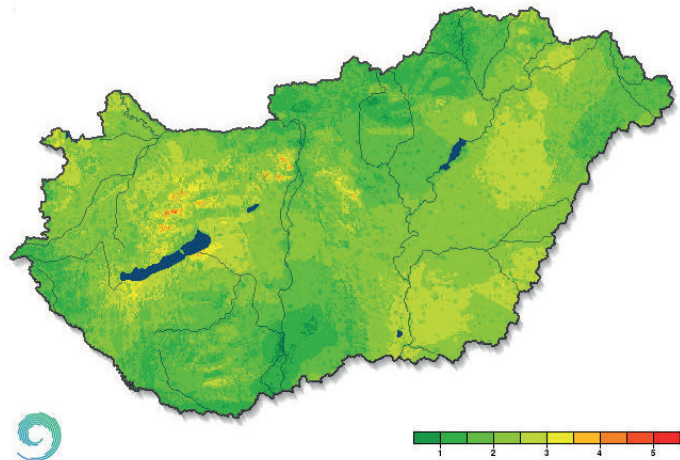
9. ábra. A 2024-es nyár globálsugárzás összege (kJ/cm²).

A globálsugárzás térbeli eloszlása

Nyáron hazánk legnagyobb részén 200-220 kJ/cm² között alakult az évszakos globálsugárzás-összeg. Ennél alacsonyabb értékeket a középhegységeinkben figyelhettük meg (9. ábra). A legmagasabb mért összeg Szegeden 219 kJ/cm², míg a legalacsonyabb Egerben 183 kJ/cm² volt.

A szélsébség térbeli eloszlása

Nyáron hazánk legnagyobb részén 1 és 3 m/s között alakult az átlagos szélsébség, ami az évszakra jellemző érték. Az alacsonyabb szélsébségeket a Duna-Tisza közének nyugati felén és az Északi-középhegységben regisztráltuk (10. ábra). Csongrád-Csanád és Hajdú-Bihar vármegyékben 2,5-3 m/s-os átlagszél volt jellemző, ennél magasabb értékek (3-5 m/s) a Dunántúli-középhegységben és a Balaton térségében fordultak elő. Bár a térképen az átlagszelet ábrázoltuk, fontos megemlítenünk a széllelkéseket is. Nyáron legtöbbször az zivatarcellához kapcsolódóan jelennek meg a viharos széllelkések, ahogy ez ebben az évszakban is történt.



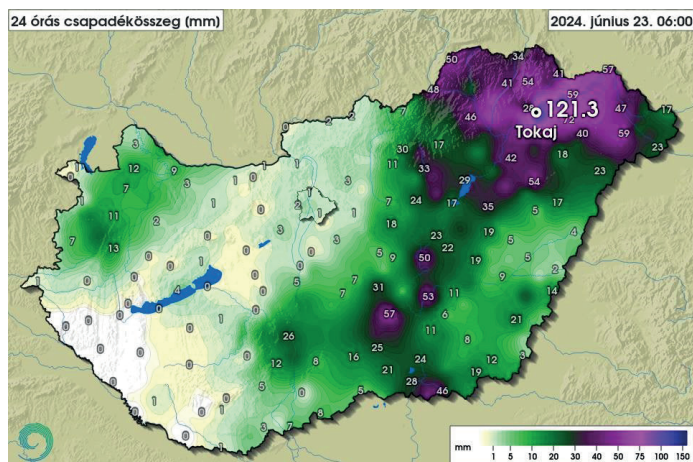
10. ábra. A 2024-es nyár átlagos szélsébsége 10 m-es magasságban (m/s).

Érdekességek 2024 nyaráról

Június 9-én hullámzó frontrendszer helyeződött fölénk, késő délutántól az Alpokból érkező heves zivatarok miatt az északnyugati megyék néhány járására másodfokú riasztást adtak ki. Az Alpokalján szupercellák is pusztítottak és tornádó kialakulásról is érkezett hír.



11. ábra. Tornádó Torony térségében. Fotó: Hérics Dávid.



12. ábra. 24 órás csapadékösszeg június 22-23.

Június 22-én este, délnyugat felől kiterjedt zivatarrendszer érte el az ország déli területeit és haladt tovább észak felé. Távozását követően hajnalban az Alföldön egyre több helyen pattantak ki zivatarok, melyek több helyen jártak felhőszakadással, nagy méretű jéggel és károkozó szélrohamokkal. A legtöbb csapadékot Tiszabercel állomásunkon mértük, itt 127,2 mm hullott. A jégről a Tiszaberceltől 10 km-re fekvő Tiszanyagfaluban készült a felvétel (13. ábra).



13. ábra. Jég Tiszanyagfalun. Fotó: Molnár János.

2024. nyár időjárási adatainak összesítője

| Állomás | Sugárzás kJ/cm ² évszakos összeg | Hőmérséklet, °C | | | | | | Csapadék, mm | | | Szél viharos nap ($f_1 \geq 15$ m/s) |
|-------------|--|-----------------|---------|------|------------|------|------------|------------------|-----------------|------------------------|---|
| | | évszak közép | eltérés | max | napja | min | napja | évszak összes | átlag %-ában | $r \geq 1$ mm napok | |
| Szombathely | 207 | 22,6 | 2,4 | 35,4 | 2024.08.16 | 7,9 | 2024.06.14 | 194 | 84 | 25 | 9 |
| Nagykanizsa | 211 | 22,5 | 2,4 | 36,2 | 2024.08.13 | 7,5 | 2024.06.14 | 139 | 59 | 15 | 5 |
| Pér | | 22,8 | | 36,7 | 2024.08.14 | 8,3 | 2024.06.14 | 154 | 82 | 17 | 6 |
| Siófok | 212 | 25,1 | 3,1 | 38,1 | 2024.07.12 | 12,7 | 2024.06.15 | 112 | 63 | 13 | 10 |
| Pécs | | 24,7 | 3,3 | 37,6 | 2024.08.13 | 9,5 | 2024.06.14 | 114 | 53 | 15 | 6 |
| Budapest | 212 | 24,7 | 2,9 | 37,6 | 2024.07.11 | 11,1 | 2024.06.15 | 125 | 63 | 15 | 0 |
| Miskolc | 195 | 23,2 | 2,5 | 36,4 | 2024.07.13 | 10,4 | 2024.06.15 | 201 | 83 | 16 | 1 |
| Kékesető | 196 | 18,4 | 2,7 | 28,6 | 2024.08.15 | 6,4 | 2024.06.14 | 199 | 74 | 17 | 6 |
| Szolnok | | 24,6 | 2,7 | 37,2 | 2024.07.11 | 11,6 | 2024.06.15 | 135 | 71 | 11 | 8 |
| Szeged | 219 | 25,4 | 3,8 | 40,0 | 2024.07.16 | 10,4 | 2024.06.14 | 93 | 52 | 16 | 4 |
| Napkor | 212 | 23,1 | 2,4 | 37,6 | 2024.07.13 | 10,9 | 2024.08.23 | 170 | 96 | 15 | 5 |
| Debrecen | 211 | 24,0 | 2,8 | 38,7 | 2024.07.16 | 11,3 | 2024.06.15 | 65 | 36 | 12 | 9 |
| Békéscsaba | 218 | 24,5 | 3,0 | 39,3 | 2024.07.16 | 11,0 | 2024.06.02 | 124 | 66 | 11 | 5 |



A 2024-es nyár időjárása agrometeorológiai szempontból

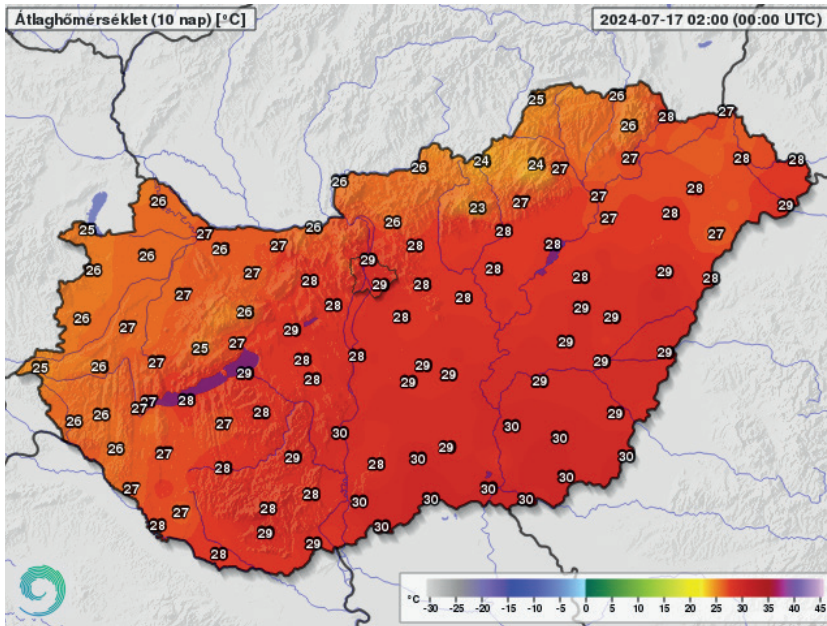
Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila Viktor

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

Hosszan elhúzódó, erős hőhullámok és egyre fokozódó aszály jellemezték az idei nyár időjárását, ami a vegetáció számára jelentős hőstresszt, nyári kapás növényeink esetén kényszerérést okozott.

A meteorológiai nyár kezdete nem hozott számottevő változást időjárásunkban. Május közepén meleg, csapadékos időszak kezdődött, ami június közepéig tartott. Gyakorlatilag az idén a Medárd-időszak is hamarabb kezdődött a hagyományosnál. Eleinte eső, majd kiterjedt záporok, zivatarok segítették a kukorica és a napraforgó növekedését, ugyanakkor a gyomok gyors fejlődését is. Az őszi kalászosoknál és a repcénél már június első hetében elkezdődött az érés, a felhőszakadások és jégesők sajnos megdőlt és vízben álló táblákat is eredményeztek. A júniusi záporok, zivatarok ezen kultúráknál már a termés minőségének romlását eredményezték. A csapadék konvektív jellege miatt elég nagy területi különbségek alakultak ki a lehullott csapadék mennyiségét illetően. Az említett egy hónap során 40 és 180 mm közötti eső esett, és az Alföld déli és keleti tájain június közepére is maradtak aszályos területek, hazánk jelentős részén azonban kellően átnedvesedett a talaj. Június közepétől csökkent a csapadékhajlam, és fokozódott a meleg, két rövidebb hőhullám is kialakult. Ezekben az időszakokban az őszi vetésű növények érése és az aratás zavartalan volt, a hőhullámokat lezáró frontokhoz kötődően kialakult záporok, felhőszakadások azonban sok kár okoztak.

A kukorica és a napraforgó már június végén virágozni kezdett, ekkor a legtöbb helyen a talaj még elegendő mennyiségű nedvességet tartalmazott az optimális fejlődésükhöz. Az ország középső részében azonban már kialakulóban volt aszály. A július nagy részét száraz, gyakran forró időjárást hozott, pedig az említett kapásnövények ekkor igényelték volna a legtöbb csapadékot. A Dunántúl északkeleti felén és a középső országrészben az ilyenkor szükséges 100 mm helyett még 10 mm sem hullott, és a csapadékosabb alföldi, északkelet- és délnyugat-magyarországi tájakon is csak 40-70 mm-t mértek. A csapadékszegény időjárás következtében a felső egy méteres talajréteg nedvességtartalma jelentősen csökkent a hónap folyamán. A virágzás és a szemképződés időszakában az aszály területi kiterjedése és mértéke egyaránt növekedett. Július közepén közel két héten át tartó hőhullám is fokozta a csapadékhíányt, az átlaghőmérséklet 25 és 30 fok között alakult (1. ábra). A hőség jelentős hőstresszt okozott minden élőlény számára, többek között a napraforgó virágzását is lerövidítette a forróság. A kukoricára április 1-től számolt hőösszeg már július utolsó dekádjában ország-szerte 1000 foknap fölött járt, nyári növényeink három héttel előrébb jártak a fejlődésben a szokásosnál.



1. ábra. 10 napos átlaghőmérséklet 2024. július 17-ig (Celsius fok).

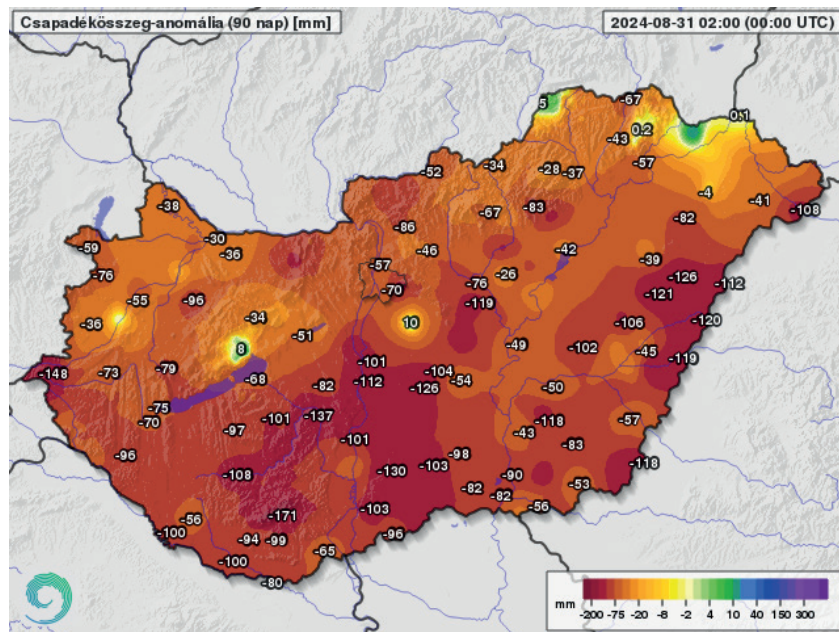
Augusztusban is folytatódott a nagyrészt száraz, nagyon meleg időjárás. A hónap közepén ugyan szórványos záporok öntözték a földeket főként az ország északi részén, de ez a csapadék kapás növényeink terméskilátásain már nem segített. A kukorica esetén már augusztus elején elkezdődött a növényzsáradás és a kényszerérés folyamata, az aszályt jobban tűrő napraforgónál ez kissé később következett be. Utolsó nyári hónapunkban a nyugati és az északi országrészben esett több, jellemzően 30-60 mm közötti mennyiség, míg az Alföld déli és középső tájain többfelé 5 mm alatt maradt a havi csapadékösszeg. A felső egy méteres talajréteg csak a nagyobb felhőszakadások által érintett foltokban nem volt kritikusan száraz, de hazánk túlnyomó részén nagyfokú vagy súlyos aszály alakult ki a hónap végére. Ennek a zöld tömeg mennyiségében megmutatkozó jelei jól látszódtak az NDVI műholdas vegetációs index sokéves átlagától vett eltérést mutató térképeken.

északon és északkeleten 22-24 fok közöttinek, míg az Alföldön és a Dunántúl keleti részén 25-27 fok közöttinek adódott.

Augusztusban nemcsak szántóföldi növényeink, hanem a természetes vegetáció is gyors ütemben kezdett száradni, és a hónap második felében ez már az erdők állapotán is meglátszott. A hónap végére a kukorica és a napraforgó teljesen beérett, megkezdődött a betakarítás. Idén nyáron a gyümölcsök érése is hamarabb bekövetkezett, így a szüret is jóval előbb kezdődött a szokásosnál.

Összességében az idei nyár szárazabb és melegebb volt a sokéves átlagnál. Északon a szokásosnál jellemzően 30-60 mm-el, míg délen és keleten 80-120 mm-el hullott kevesebb csapadék (2. ábra).

Az átlaghőmérséklet nyugaton,



2. ábra. A 90 napos csapadékösszeg eltérése a sokéves átlagától 2024. augusztus 31-ig (mm).

KÖNYVAJÁNLÓ

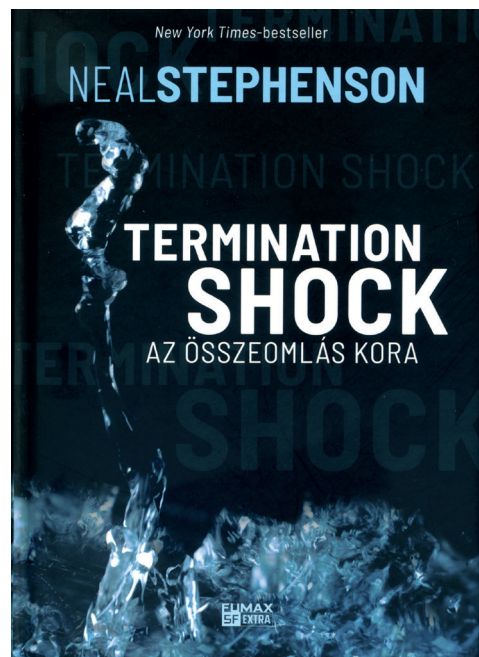
Érdekes könyvek, időjárás vonatkozással

Neal Stephenson: Termination shock – Az összeomlás kora

A mindennapi életben is egyre jobban érzékelhető éghajlatváltozás és a meggyőző eredményeket nemigen hozó éghajlatpolitikai erőfeszítések egyre inkább előtérbe tolják a geomérnöki beavatkozások (geoengineering) potenciális szükségességét. Ahogy a légkör összetételének – szándékolatlan – módosításával a bolygót felmelegítettük, úgy megfelelő – szándékos – módosítással ezt a melegedést elvileg le is tudjuk állítani, vissza is tudjuk fordítani. A geomérnöki beavatkozásoknak azonban súlyos kockázatai vannak. Laboratóriumi vagy regionális léptékben nem tesztelhetők, hiszen az éghajlati rendszer globálisan összefüggő. A matematikai modellek pontosságát szükségszerűen behatárolják a meglévő tudásunk korlátozottsága és a rendelkezésre álló számítástechnikai lehetőségek. Ha valami nem úgy működik, ahogyan a modellek alapján várnánk, annak globális kihatásai vannak. A geomérnöki beavatkozások egy része viszonylag olcsó. Egy kisebb ország, de akár egy tőkeerősebb magánvállalkozás is elindíthatja másokkal való egyeztetés nélkül. A globálisan összefüggő éghajlati rendszer miatt a beavatkozások nem egyformán érintik az egyes régiókat, az egyes területeket érintő kedvezőtlen hatások súlyos politikai, esetleg katonai konfliktusokat generálhatnak. Ami talán még a fentieknél is kritikussabb: a megkezdett beavatkozást mindaddig, azaz vélhetően századokig fenn kell tartani, amíg a légkör üvegházhatása a fokozatos leépítést lehetővé nem teszi. Ha ez alatt a beláthatatlanul hosszú idő alatt a folyamatos geomérnöki beavatkozás politikai vagy gazdasági okokból megszakadna, akkor az addig felhalmozódott, de a beavatkozással folyamatosan ellensúlyozott éghajlati hatás egyszerre zúdulna a bolygóra, jó eséllyel katasztrofális hatást okozva. A szaknyelv ezt hívja termination shocknak, azaz megszüntetési sokknak.

Neal Stephenson közeljövőben játszódó tudományos-fantasztikus kalandregényében egy texasi olajmilliárdos szulfátrészecskéket juttat a sztratoszférába, hogy a nap rövidhullámú sugárzásának részleges leárnyékolásával mérsékelje a felszíni melegedést. Az 1970-es években felvetett módszer

pozitív hatása és negatív mellékhatásai mindmáig tudományos kutatások tárgyát képezi. A beavatkozás nyomán az Indiai-óceán monszun-övezetében bekövetkező időjárási változások hamar felhívják a figyelmet arra, hogy valaki valahol manipulálja a bolygó éghajlatát. Előnyöket remélő európai politikusokkal, indiai titkosszolgálatokkal, kínai katonai készülődéssel találkozhatunk a több szalon futó, a világ különböző régióiban játszódó történetben. Ahogy az sajnos a valóságban sem kizárt, az egyoldalú éghajlatmódosítási kísérlet titkosszolgálati szabotázsakciókat és katonai beavatkozásokat generál. A laikus olvasó talán nem gondolja tovább a regény figyelemfelkeltő címét, és izgatottan lapozva elégedetten jut el a regényt lezáró végkifejletig. A közel 700 oldalas, némileg túlírtnak tűnő regény végén azonban a szakmai olvasóban hiányérzet marad: a címben jelzett „termination shock” ugyanis a regényt lezáró akció után következne be, amiről már nem esik szó. A számos sikeres science-fiction művet jegyző Neal Stephenson technothrillere magyarul a Fumax kiadó gondozásában jelent meg.



Hírek

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

XXXIX. Vándorgyűlés Debrecen

2024.08.29-31. ■ A közhasznú tudományos egyesületként működő Magyar Meteorológiai Társaság immár 99 éve tölt be kulcsfontosságú szerepet az időjárásról, éghajlathoz kapcsolatos ismeretek és az aktuális kutatási eredmények népszerűsítésében a hazai és a határon túli meteorológusok, valamint meteorológia iránt érdeklődő közönség életében. A Társaság hagyományos rendezvényei közé tartozik a két évente megrendezésre kerülő Ván-

dorgyűlés, amelynek többnyire egy-egy vidéki egyetem, területi csoport ad otthont. Az idei, XXXIX. Vándorgyűlés házigazdája a Debreceni területi csoport, pontosabban a Debreceni Egyetem volt, ahol legutóbb 12 éve került megrendezésre az esemény. Idén az aktuális kihívások közül a megújuló energia szektor meteorológiai támogatása került a fókuszba. (<http://www.mettars.hu/vandorgyulesek/2024-debrecen/>)

Immár VII. alkalommal találkoznak a MET-ÉSZ-esek

2024.10.26. ■ Néhány év kényszerű szünet után idén ismét meghirdették önkéntes észlelőink hagyományos őszi MET-ÉSZ találkozóját, ahol lehetőség nyílik a közös eszmecsere, ismerkedésre és a szakmai ismeretek kölcsönös elmélyítésére. A sorrendben VII. MET-ÉSZ találkozóra 2024. október 26-án, szombaton kerül sor a HungaroMet Zrt. Marczell György Főobszervatóriumában, Budapesten.

A regisztrációt és a köszöntőt követően szakmai előadásokat hallgathatnak meg a jelenlévő érdeklődők, majd az automata rádiószonda felszállás megtekintését követően közös ebédre invitálnak mindenkit. Délután a kötetlen beszélgetés lesz a főszerep, ahol az ország különböző részeiből érkező észlelőink egymással, illetve a HungaroMet Zrt. szakembereivel is megvitathatják gondolataikat, javaslatukat.

Október 31-én véget ér a vihar-előrejelző és viharjelző szolgáltatás tavainkon

2024.10.31. ■ A HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. (HungaroMet) április 1-től október 31-ig a balatoni, a Velencei-tavi és a Tisza-tavi viharjelzések meteorológiai kiszolgálására vihar-előrejelző szolgálatot működtet, a viharjelzést szolgáló fényjelző rendszer működését a Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság fényjelző rendszere biztosítja. Előzetes adatok alapján a 2024. évi szezonban a viharjelzéssel lefedett idő az előző évinél kevesebb lesz. Az első és másodfokú viharjelzések összesített fenntartási ideje a Balatonnál

a szezon teljes időtartamának 33,7–36,6%-át teszi ki (a három medencében összesen 5405 óra). A Velencei-tónál ez az érték 20,5% (1055 óra). A másodfokú viharjelzésben fenntartott órák száma a Balatonnál a teljes időszak mintegy 12%-át, a Velencei-tónál 3,5%-át teszi ki. Az első- és másodfokú viharjelzések fenntartására legrövidebb ideig a Tisza-tónál volt ezidáig szükség, mindösszesen 732 órára, ami az eddigi legalacsonyabb érték a Tisza-tavi viharjelzés indulása óta. A viharjelzési szezon végéig várhatóan ezek az értékek jelentősen nem változnak.

TANULMÁNY

Ács Ferenc, Kristóf Erzsébet, Zsákai Annamária: Esszé az emberi hőterhelésről és hőérzékelésről, 69/2, 111-120.

Ács Ferenc, Kristóf Erzsébet, Zsákai Annamária: A pulzus és a bőrfelszíni párolgás időjárástól való függése: elemzés kiválasztott nyári időjárási helyzetekre, 69/4, 231-241.

Baár Péter, Csirmaz Kálmán, Kelemen Tibor: A jégeső előrejelzés verifikációja, 69/1, 41-47.

Bihari Zita, Szentes Olivér: Megfigyelt éghajlatváltozás 30 éves klímanormálok és egy készülő éghajlati atlasz tükrében, 69 (különszám), 12-17.

Bordi Sára, Szabó Péter, Pongrácz Rita: Összetett extrém események vizsgálata – szeles és csapadékos időjárás Magyarországon, 69 (különszám), 18-22.

Bordi Sára, Szépszó Gabriella: Az Atlanti-óceán áramlási rendszerében történő változások hatása az éghajlatra, 69 (különszám), 37-43.

Divinszki Ferenc, Kis Anna, Pongrácz Rita: Hőmérsékleti extrémumok Európában várható alakulásának elemzése az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület Interaktív Atlasza alapján, 69/1, 25-32.

Dobos András, Kerékgyártó Róbert, Dobos Endre: A 2022–2023-as téli szezon összefoglaló elemzése a Bükk-fennsík Mohos-töbör és Vörösmeteor-töbör mérései alapján, 69/1, 33-40.

Haszpra László: Metán: az ózonképződéstől az éghajlatváltozásig, 69/1, 18-24.

Haszpra László: Magyarország részvétele a pán-európai üvegházgáz mérőhálózatban, 69/3, 180-185.

Haszpra Tímea, Drótos Gábor, Herein Mátyás, Topál Dániel: A pillanatkép-megközelítés az éghajlatváltozás vizsgálatának szolgálatában – Légköri távkapcsolatok nyomában sokasági éghajlati szimulációkkal, 69/3, 150-160.

Hérincs Dávid, Dezső Zsuzsanna: Mikrohullámú tartományú műholdas mérések használata medikánok esetén, 69/3, 161-171.

Horváth Ákos, Kurcsics Máté: A 2024. szeptemberi rendkívüli dunai árvíz meteorológiai háttere, 69/4, 214-218.

Horváth Ákos, Szilágyi Eszter: 2023 a nagy viharok éve, 69/3, 172-179.

Horváth Ákos, Szilágyi Eszter: Hogyan okozhatott a szibériai hideg hóvihart Amerikában, majd viharciklonokat Európában? 69/4, 242-249.

Ihász István: 75 éve született Dévényi Dezső, 69/1, 12-14.

Ince Dóra, Barcza Zoltán, Pintér Krisztina, Nagy Zoltán, Fodor Nándor, Haszpra László: Az eddy-kovariancia mérések alapján származtatható evapotranspiráció bizonytalanságának vizsgálata, 69/2, 86-92.

Izsák Beatrix, Szentes Olivér, Bihari Zita, Bokros Kinga, Lakatos Mónika: Reprezentatív meteorológiai adatok biztosítása a múlt és a jelen éghajlatának megismerésére, 69 (különszám), 4-11.

Kurcsics Máté, Geresdi István, Horváth Ákos: Szinoptikus folyamatok által vezérelt lejtőszél a Bakony-Balaton térségben, 69/2, 93-103.

Lakatos Mónika, Bordi Sára, Schuchné Bán Beatrix, Simon Csilla: A 2024-es rekordmeleg július átlagosnak ígérkezik a 21. század végére, 69/4, 225-230.

Leelössy Ádám: Meteorológiai szakkifejezések helyesírása, 69/4, 255-258.

Liptay Zoltán, Engloner Attila: A klímaváltozás lehetséges hatásai a nagy folyóink vízminőségére – a vízminőségi modellezés peremfeltételeinek klímamodellezése, 69 (különszám), 30-36.

Marton Annamária, Izsák Beatrix, Szentes Olivér, Szolnoki-Tótván Bernadett: A 2023. év éghajlati elemzése, 69/2, 136-141.

Pásztor Marcell, Czanik Csenge, Bondár István: Regionális viharok azonosítása és követése infrahanghullámok segítségével, 69/2, 74-85.

Pátkai Zolt: A HungaroMet Nonprofit Zrt. szerepe a katasztrófa elleni védekezésben, 69/2, 121-124.

Simon Csilla, Torma Csaba Zolt, Kis Anna, Lakatos Mónika: Hőhullámok detektálása és a hőhullám-karakteristikák jövőben várható változásai hibakorrigált regionális klímamodel-szimulációk felhasználásával, Magyarországon, 69/4, 219-224.

Szóos Virág, Breuer Hajnalka: A felhőborítottág változásának vizsgálata az ERA5 reanalízis adatbázis alapján, 69/3, 186-191.

Szépszó Gabriella: Utánpótlás-nevelés a numerikus modellezés szakterületen, 69/1, 15-17.

Szépszó Gabriella, Allaga-Zsebeházi Gabriella, Bordi Sára, Megyeri-Korotaj Otilia, Schuchné Bán Beatrix, Zemléni Zsuzsanna: Az éghajlatváltozás hatásainak komplex vizsgálatát támogató információs rendszer fejlesztése, 69(különszám), 23-29.

Szépszó Gabriella, Haszpra Tímea, Horányi András, Kalmár Tímea, Kristóf Erzsébet, Szintai Balázs, Tóth Helga: Emlékkülés Götz Gusztáv születésének 90. évfordulójára, 69/1, 2-11.

Dr. Várkonyi Tibor: Lóczy Lajos és a légköri kihullás mérése, 69/4, 250-254.

Zsikla Ágota, Szilágyi Eszter: A 2023. évi tavi viharjelzési szezonról, 69/2, 104-110.

KRÓNIKA

Dobi Ildikó: A Meteorológiai Világszervezet 19-ik Kongresszusának 2024-2027-es időszakra vonatkozó döntései, 69/2, 125-129.

Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila Viktor: 2023 őszeének időjárása agrometeorológiai szempontból, 69/1, 60-61.

Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila Viktor: A 2023/24-es tél időjárása agrometeorológiai szempontból, 69/2, 142-143.

Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila Viktor: A 2024-es tavasz időjárása agrometeorológiai szempontból, 69/3, 205-206.

Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila Viktor: A 2024-es nyár időjárása agrometeorológiai szempontból, 69/4, 268-269.

Marton Annamária, Szolnoki-Tótván Bernadett: 2024 nyarának időjárása, 69/4, 262-266.

Paszternákné Marton Annamária, Szentes Olivér: 2023 őszeének időjárása, 69/1, 54-59.

Simon Csilla: Élmenybeszámoló a Magyar Meteorológiai Társaság XXXIX. Vándorgyűléséről, 69/4, 259-261.

Szépszó Gabriella: Interjú Radnóti Gáborral (nyugdíjba vonulása alkalmából), 69/1, 48-53.

Szolnoki-Tótván Bernadett: 2023/2024 telének időjárása, 69/2, 130-135.

Szolnoki-Tótván Bernadett: 2024 tavaszának időjárása, 69/3, 200-204.

Tóth Róbert: Kiváló társadalmi észlelők világnapi kitüntetése, 69/3, 192-195.

Tóth Róbert: Beszélgetés Somogyvári István pécsi észlelőnkkel, 69/3, 196-199.

*Sarki fény Gyergyó felett
Munzlinger Attila, Szent Anna kápolna, Gyergyószentmiklós, 2024. október 11.*



*Mammatus felhőzet
Hérincs Dávid, MET-ÉSZ, Egyházasköd, 2024. július 28.*



ÉGHAJLATVÁLTOZÁS
Nemzeti Laboratórium

klimavaltozas.org



Magyar Meteorológiai Társaság

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

www.mettars.hu

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



www.met.hu

Minden információ egy helyen az időjárásról és a meteorológiáról

HUNGAROMET NONPROFIT ZRT.