

LÉGKÖR

67. ÉVFOLYAM 4. SZÁM

**HŐSÉGPERIÓDUSOK BUDAPESTEN
AZ AUGUSZTUS 20-I IDŐJÁRÁSRÓL
A 2022-ES VIHARJELZÉSI SZEZON
ÖSSZEFOGLALÓJA**

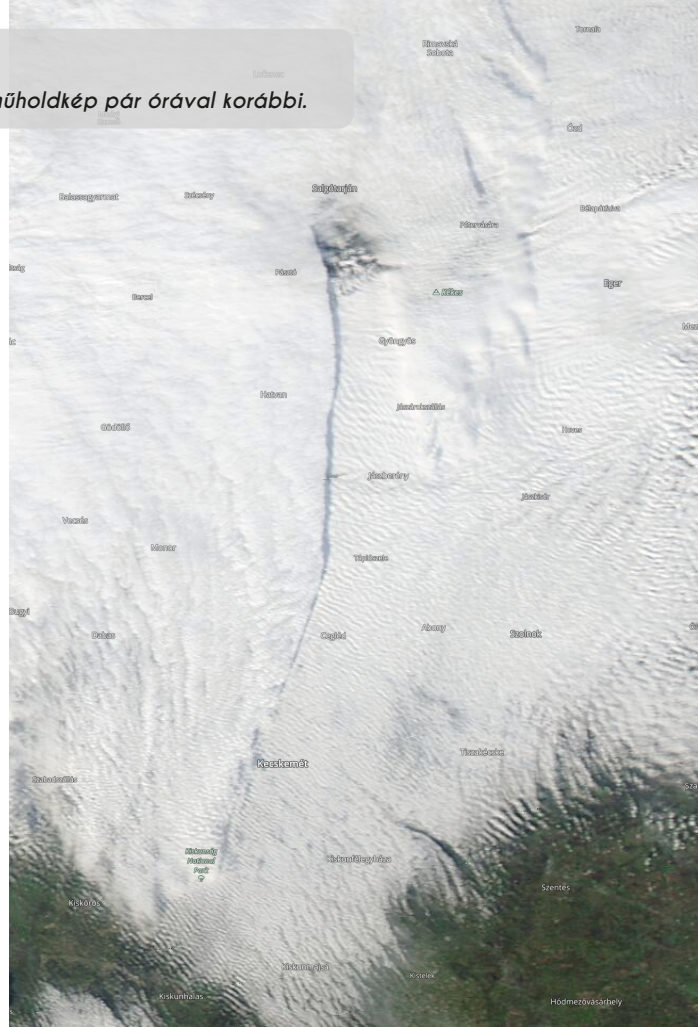
**CHIMERE KÉMIAI
TRANSPORTMODELL**

INTERJÚ DR. BONTA IMRÉVEL

2022. DECEMBER

Dupla inverzió, avagy Stratus felett felvonuló Stratocumulus.
Tóth Renáta Kitti, 2022. november 9.

A fotó készítésekor a repülőgép kb. Szolnok felett járt, míg a MODIS műholdkép pár órával korábbi.



Melléknep-körív (parhélikus kör) a Zselic felett.
Schmall Rafael, Zselici Csillagpark, 2022. szeptember 23.
A fotón az igen ritkán megpillantható Wegener-ív is sejthető.



LÉGKÖR

67. évfolyam 4. szám
2022. december

AZ
ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT
ÉS A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG
SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

Kiadja az
ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT
1024 Budapest, Kitaibel Pál u. 1.

A kiadásért felel:
az OMSZ elnöke

Készült:
PREMIER Nyomda

Felelős vezető:
Király Attila

ISSN 0133-3666

Készült 600 példányban

Éves előfizetési díja:
3000 Ft
Megrendelhető a legkor@met.hu címen.



ORSZÁGOS
METEOROLÓGIAI
SZOLGÁLAT



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

Olvasószerkesztő: Szabó Bernadett

Tervezőszerkesztő, grafikus: Szabó Dorottya

TARTALOM

SZÉPSZÓ GABRIELLA, CSIRMAZ KÁLMÁN, KARDOS-VÁRKONYI ANIKÓ, LANCZ DÁVID, SIMON ANDRÉ, FERNANDO PRATES, MARTIN BELLUŠ, MICHAL NEŠTIK: A 2022. augusztus 20-ai előrejelzések meteorológiai háttere
Meteorological background of the forecasts on 20 August 2022 182

ZSIKLA ÁGOTA, SZILÁGYI ESZTER: A 2022. évi tavi viharjelzési szezon
About the storm warning season at lakes in 2022 189

TÓTH ANITA: A CHIMERE kémiai transzport modell kiértékelése a DELTA tool szoftver segítségével
Evaluation of CHIMERE chemical transport model performance with the DELTA tool 196

BOKROS KINGA, LAKATOS MÓNKA: Hőségperiódusok vizsgálata Budapesten a XX. század elejétől napjainkig
Analysis of hot spells in Budapest from the early 20th century to the present 208

NÉMETH ÁKOS: Interjú dr. Bonta Imrével nyugdíjba vonulása alkalmából 219

DOBI ILDIKÓ: James Lavelock emlékére 226

HÍREK 228

KISLEXIKON 232

CÍMLAPON: Gruber Márk István: A rév (2019. 01.10., Tihany)

SZERZŐKNEK SZÁNT ÚTMUTATÓ

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



A 2022. augusztus 20-ai előrejelzések meteorológiai háttere

Szépszó Gabriella¹, Csirmaz Kálmán¹, Kardos-Várkonyi Anikó¹, Lancz Dávid¹, Simon André^{1,2}, Fernando Prates³, Martin Belluš², Michal Neštiak²

¹Országos Meteorológiai Szolgálat, szépszo.g@met.hu

²Slovenský hydrometeorologický ústav (Szlovák Hidrometeorológiai Intézet)

³European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (Európai Középtávú Előrejelző Központ)

DOI: 10.56474/legkor.2022.4.1

2022. augusztus 20-án olyan összetett folyamatok irányították térségünk időjárását, aminek köszönhetően még a 6–18 órás időtávra szóló előrejelzést is nagy bizonytalanság jellemezte, s az aznap estére szóló előrejelzések csak az időpont közeledtével lettek pontosabbak. Az egyes időjárási események és az arra vonatkozó előrejelzések értékelése nagyon fontos az adott prognózis háttérének megértéséhez, valamint a modellek fejlesztéséhez. Erre került sor 2022. november 24-én a Magyar Meteorológiai Társaság Légkördinamikai Szakosztályának előadó ülésén.

Meteorological background of the forecasts on 20 August 2022

Weather situation on 20 August 2022 was governed by such complex processes, due to which the 6–18 hour range forecasts were characterized by large uncertainty and the numerical predictions for the evening became accurate only approaching the event. Evaluation of the individual weather situations and the corresponding forecasts are essential to understand the background of a given prognosis and to the model developments. The mini-symposium organized by the Atmospheric Dynamics Section of the Hungarian Meteorological Society on 24 November was dedicated to this detailed analysis.

Bevezetés

Az időjárási helyzet nagyban meghatározza, milyen hosszú időtávra lehet megbízható előrejelzést készíteni. Számos időjárási esemény van, aminek a pontos bekövetkezési helyét és idejét még a legfejlettebb előrejelzési modellekkel sem

lehet mindig sikeresen előrejelezni. Ezekben az esetekben valószínűségi prognózisok kiadása szükséges, azaz a meteorológus szakember több modellkísérlet eredményét együttesen tekintve valószínűségek megadásával számszerűsíti az előrejelzés bizonytalanságát. A valószínűségek értelmezése igényli, hogy az információ

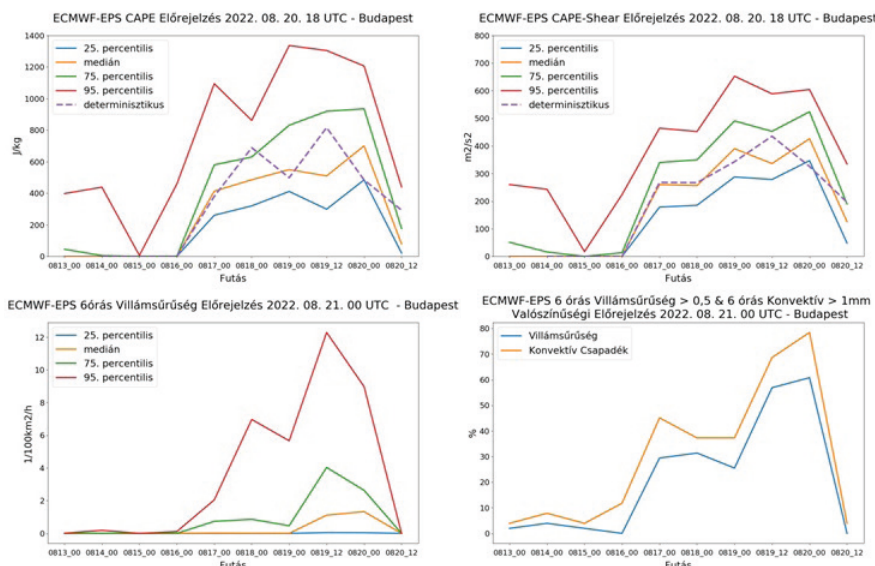
felhasználója aktívan részt vegyen a saját döntése meghozatalában, és átgondolja, számára milyen valószínűség esetén milyen döntési forgatókönyvek mellett „éri meg” letennie a voksát. A döntés esetenként eltérő, hiszen különböző helyzetekben más szempontok értékelődnek fel, és gyakran már alacsony valószínűség mellett is érdemes az esemény bekövetkezésére felkészülni.

Augusztus második felének időjárás-előrejelzéseit hazánkban minden évben kiemelt figyelem kíséri. Ennek oka, hogy az augusztus 20-ai nemzeti ünnepen országszerte számos szabadtéri rendezvényt tartanak. Ezek „megkoronázása” a Budapesten 21 órakor kezdődő nagyszabású tűzijáték, ami számos látogatót vonz a fővárosból és vidékről egyaránt. Az ünnep biztonságos lebonyolításáért 2007 óta egy operatív törzs felel, melynek feladata, hogy az időjárási, a szervezési és egyéb körülményeket mérlegelve akár az utolsó pillanatban is döntsön egy-egy rendezvény megtartásáról. 2022-ben az operatív törzs aznap, helyi időben 12 órakor kezdődő ülésén az akkor rendelkezésre álló információk birtokában hozta meg döntését a budapesti tűzijáték elhalasztásáról.

Cikkünkben áttekintjük a 2022. augusztus 20-án és a megelőző napokon az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) által kiadott meteorológiai prognózis hátterét; megvizsgáljuk az előrejelzések bizonytalanságának forrásait az adott időjárási helyzetben; bemutatjuk a felbocsátott extra rádiószondáknak az előrejelzés bevalására gyakorolt hatását; valamint arra is kitérünk, hogy az operatív törzs döntése után készülő modell-előrejelzések mennyiben módosították volna a délelőtti prognózist.

A kiadott prognózisok előrejelzői háttere

A 2022. augusztus 20-ai időjárási helyzetet egy markánsabb lefűződő magassági örvény határozta meg, amely centrumával tőlünk délnyugatra (Horvátország, Szlovénia, Ausztria térségében)



1. ábra. Az ECMWF nagyfelbontású, valamint 50+1 tagú ensemble előrejelzéseiből előállított konvektív paraméterek (CAPE: Konvektív Hozzáférhető Potenciális Energia, CAPE-Shear: a CAPE valamint a 925 és 500 mb-os szintek közötti szélsősebesség-különbség szorzata, 6-órás villámsűrűség és konvektív csapadék, illetve ezek valószínűsége) alakulása a budapesti rácspontra 2022. augusztus 20-án 18 UTC-re illetve a villámsűrűség és a csapadék esetében 21-én 00 UTC-re vonatkozóan az augusztus 13-i 00 UTC-s futástól az augusztus 20-i 12 UTC-s futásig.

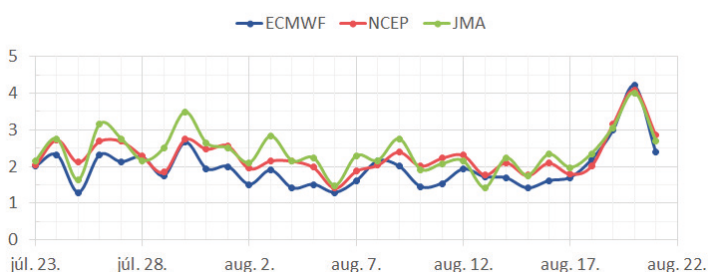
helyezkedett el. Az örvény előoldalán alacsonyabb szinteken délkeleties, keleties áramlással meleg, nedves levegő áramlását vártuk az ország fölé, miközben középszinteken markáns kvázi-geosztrófikus kényszert valószínűsített az Európai Középtávú Előrejelző Központ (ECMWF) aznap 00 UTC-kor indított nagyfelbontású előrejelzése.

A makroskálájú környezet tehát támogatta a konvekciót, emellett a zivatarhoz szükséges légköri hozzávalók is rendelkezésre álltak (többek között Budapest térségére is; 1. ábra): légköri instabilitás (számottevő hozzáférhető konvektív potenciális energia formájában), elegendő nedvesség (átmedvesedett légoszlop) és kellően erős emelés (több szintű, mély rétegekre kiterjedő összeáramlás, ami meghaladhatja a konvektív tiltást). A fő veszélyforrást a magas nedvességtartalom, és a nem túl nagy áthelyeződési sebesség miatt a felhőszakadás jelentette (nagyobb szemű jég és erős szélvihar kialakulását kevésbé támogatták a várt körülmények).

A várakozásoknak megágyaztak a korábbi modellfutások is. Először 17-én mutatkozott az ECMWF 50+1 tagú sokasági (ensemble) és

nagyfelbontású előrejelzéseiben szignifikáns jele annak, hogy a kérdéses napon érdemi konvekció várható. Eleinte csak néhány ensemble tag mutatott 20-án 12 UTC és 21-én 12 UTC között Budapestre számottevő csapadékot, majd az idő előrehaladtával egyre nagyobb lett ennek a szcenárióknak a valószínűsége. Az utólagos elemzések megmutatták, hogy a magassági örvény eltérő leírásának nagy szerepe volt az előrejelzés kimene telében. 17-étől egymáshoz nagyon hasonló előre jelzést mutattak más központok globális modelljei is, pl. a japán GSM vagy az angol UKMO és az amerikai GFS OMSZ által is használt futtatásai. Az utóbbi kettő és az ECMWF 6-órás előre jelzéseinek troposzféra átlagolt hibája látható a 2. ábrán a meridionális szélkomponensre, melynek augusztus 20-ai értéke kiugróan magas volt mindegyik előrejelzés esetében.

Meridionális szél négyzetes hiba [m/s], Budapest (12843)



2. ábra. A mérések és a kezdeti feltétel előállításához használt háttér-előrejelzés eltéréséből számított napi átlagos négyzetes hiba a troposzféra meridionális szélre Pestszentlőrincen 2022. július 23. és augusztus 21. között az európai ECMWF, az amerikai NCEP (National Centers for Environmental Prediction) és a japán JMA (Japan Meteorological Agency) globális modellfuttatásaiban.

Forrás: <https://wdqms.wmo.int>.

A középtávú előrejelzéseket adó globális modellfuttatásokon kívül az OMSZ előrejelzői többféle korlátos tartományú rövidtávú modellfuttatást is használnak a munkájuk során. Az AROME modellel 2,5 km-es felbontáson készülnek 2-napos előrejelzések, melyek számára a tartományon kívül zajló folyamatok leírását az ECMWF 6 órával korábbi előrejelzései biztosítják (oldalsó határfeltételek formájában). A modellel 3-óránként futtatunk friss előrejelzéseket a lehető legtöbb lokális mérés felhasználásával. 20-án délelőtt 12 óráig a regionális modellfuttatások

közül a 0, a 3 és a 6 UTC-kor induló előrejelzések álltak az előrejelzők rendelkezésére. Ezek eredményei összhangban voltak a globális modellek eredményeivel. Így ehhez igazodtak az OMSZ által kiadott közép- és rövidtávú előrejelzési, majd a veszélyjelzési produktumok is: 17-e előtt még csak néhol, ezt követően viszont már többfelé komoly zivatarokat prognosztizáltunk 20-ra, Budapestre pedig a tűzijáték tervezett időpontjában 80–90% eséllyel csapadékot és zivatart.

Egy konvektív jellegű időjárási esemény bekövetkezése előtt 1–3 órával már inkább a nowcasting eszközök lesznek a meghatározóak az előrejelzésben. Ez egyaránt jelenti az ultrarövidtávú előrejelzést a legelső zivatar-cella kipattanásra vonatkozóan, valamint a már kialakult képződmények követését. A konvektív folyamatok követése a műhold-, radar- és villámadatok együttes kiértékelésével történik, ehhez viszont már szükség van a cellák megjelenésére. Azt viszont, hogy a konvektív események hol és mikor jelennek meg először, a bekövetkezés előtt 1–3 órával csak a már említett légköri hozzávalók alapos felmérésével lehet megválaszolni. Ezt a döntést támogatják az ECMWF előrejelzési mezők, valamint a 10-perces felszíni mérések összefésülését követően újraszámolt konvektív paraméterek ún. konvektív analízisek formájában. A kérdéses napon ezen analízisek ultrarövidtávon azt a forgatókönyvet támogatták, hogy érdemi konvekció Budapest térségében nem fog kialakulni (divergens szélmező, szerény labilitás, számottevő konvektív tiltás mellett), a veszélyjelző szolgálat által kiadott riasztások pedig ennek megfelelően alakultak (már délután a citrom helyett zöld fokozat lépett érvénybe a térségben).

A rendkívüli rádiószondás mérések előrejelzésre gyakorolt hatása

A légkör magasabb rétegeinek feltérképezésére az OMSZ minden nap 00 és 12 UTC-kor ballonos szondát enged fel Budapestről és Szegedről. A rádiószondás mérések egyrészt információt adnak a légkör aktuális állapotáról egy adott térség felett, másrészt az előrejelzések kezdeti feltételébe való asszimilációjukkal a többi

meteorológiai méréssel együtt hozzájárulnak a pontosabb légköri analízis és ezáltal megbízhatóbb előrejelzések készítéséhez. Az előrejelzők munkáját segítő mindkét helyszínen további rádiószondás mérések készültek augusztus 19-én 06 és 18 UTC-kor, illetve 20-án 06 és 14 UTC-kor. A rendkívüli szondák adatai mind az ECMWF, mind az AROME asszimilációs rendszerébe bekeverültek. Az előrejelzésekre gyakorolt hatásukat az operatív törzs döntése előtt elkészült legfrissebb modellfuttatáson, az AROME augusztus 20-i 06 UTC-s előrejelzésén keresztül mutatjuk be.

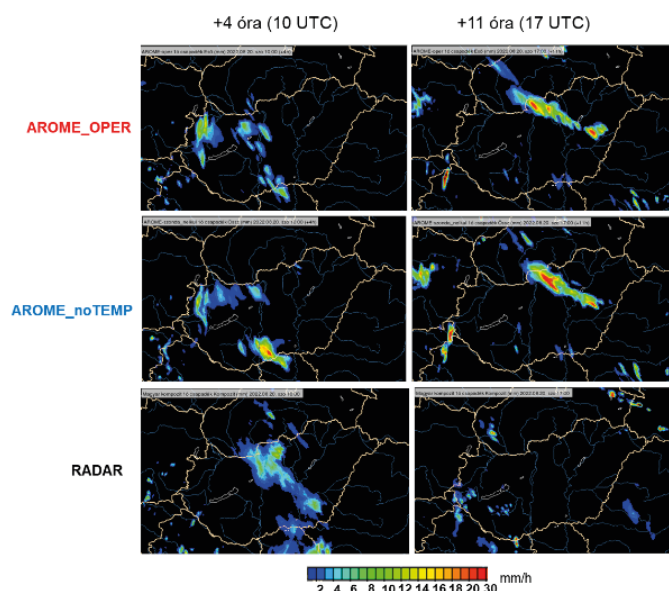
A vizsgálat során két kísérletet futtattunk, melyek a rádiószondás adatok adatasszimiláció során való felhasználásában tértek el:

1. Az AROME_noTEMP csak a reguláris rádiószondák adatait tartalmazta;
2. Az AROME_OPER az összes fent felsorolt rádiószondás adatot tartalmazta.

A kezdeti feltétel kiértékelése során annak a (korábbi előrejelzésből származó) háttérmezőtől vett eltéréseit, azaz az analízis-incrementumokat vizsgáltuk. Az AROME_OPER kezdeti időpontjában (20-án 06 UTC-kor) sokkal nagyobb pozitív inkrementumok jelentek meg a specifikus nedvességben Budapest felett, mint az AROME_noTEMP esetében (3. ábra). Tehát az új méréseknek köszönhetően több nedvesség került az analízisbe, különösen a felszín közelében, valamint a 700 és 500 hPa-hoz közeli modellszinteken.

A többlet nedvességnak pozitív hatása volt az előrejelzési időtáv elején: például a 4-órás előrejelzésnél a déli határ menti csapadékgóc gyengébb

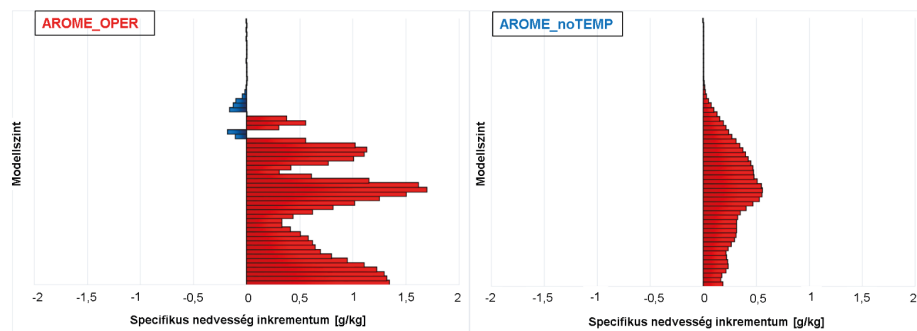
az AROME_OPER-ben, és ezáltal közelebb áll a valósághoz, mint az AROME_noTEMP. Ugyanakkor az ezt követő órákban már nem látható érdemi javulás, csupán a csapadékgáz struktúrájában illetve elhelyezésében volt kisebb eltérés (4. ábra).



4. ábra. Az AROME_OPER és az AROME_noTEMP 1-órás csapadékösszeg előrejelzései, és az 1-órás csapadékösszeget megjelenítő korrigált radar mezők 2022. augusztus 20-án 10 és 17 UTC-re.

Összességében elmondható, hogy egy-egy extra mérés a kezdeti feltételekben elsősorban az előrejelzési időtáv elején javítja az előrejelzéseket. A későbbi időtávokon együttesen érvényesül a kezdeti feltétel és az oldalsó határ-

feltételek hatása. A határfeltételeket a 06 UTC-kor induló operatív AROME előrejelzések számára a 00 UTC-s nagyfelbontású ECMWF előrejelzések szolgáltatták, s ugyanezt használjuk az előrejelzés kiindulási állapotának meghatározásakor. Modellkísérletek segítségével megvizsgáltuk, hogyha a határfeltételeket az elméletileg



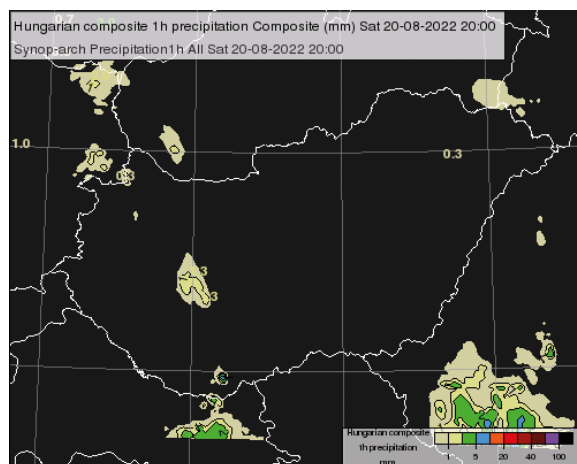
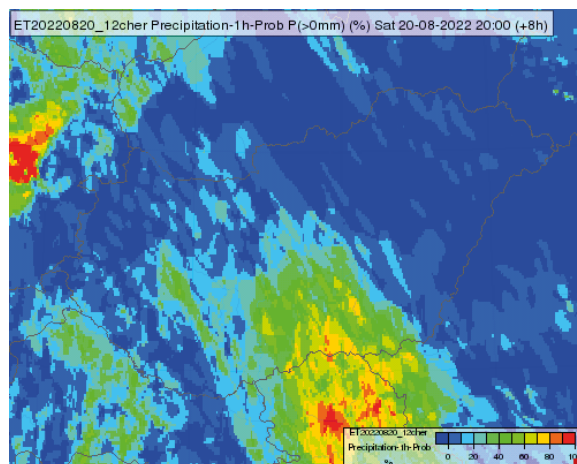
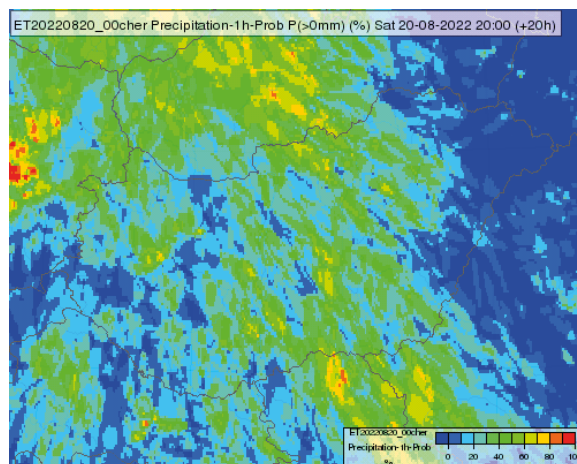
3. ábra. A kezdeti feltétel és a háttérmező eltérése a specifikus nedvességre Budapest felett az egyes modellszinteken 2022. augusztus 20-án 06 UTC-kor, balra illetve jobbra: az extra rádiószondás adatokat tartalmazó AROME_OPER illetve ezeket nem tartalmazó AROME_noTEMP.

lehetséges legpontosabb módon adjuk meg (azaz modell-analíziseket használunk, ami az operatív gyakorlatban nem lehetséges), a kezdeti feltétel pontatlansága még ekkor is 12–15 órán keresztül hatással lett volna az előrejelzésre az augusztus 20-ai időjárási helyzetben.

A rövidtávú ensemble előrejelzések hozzáadott értéke

Az ECMWF középtávú valószínűségi előrejelzései mellett az AROME modellen alapuló korlátozott tartományú ensemble rendszer (AROME-EPS – Ensemble Prediction System; *Jávorné Radnóczy et al.*, 2020) is támogatja az OMSZ-ban folyó előrejelző munkát. Az AROME-EPS az ECMWF ensemble előrejelzések perturbálatlan (kontroll) tagjának és első 10 perturbált tagjának dinamikai leskálázásával áll elő kétnapos időtávra, naponta kétszer frissítve. Ez az előrejelzés-együttes elsősorban a nagyskálájú kezdeti és határfeltételekből származó bizonytalanságot reprezentálja. A bizonytalanság lokális jellemzőinek figyelembevételére többféle technika lehetséges, melyek közül az ensemble adatsziszimulációs módszer a kezdeti állapot leírásánál használt mérési hibák reprezentációjára alkalmas. Az OMSZ-nál 2022 novemberében tesztelés alatt álló AROME-EDA (EDA – Ensemble Data Assimilation) rendszerben a kontroll tag kezdeti feltételét lokális adatasszimulációval állítjuk elő, s a mérések hibahatáron belüli perturbációjával 10 további analízist készítünk. Az előrejelzés során az oldalsó határfeltételeket változatlanul az ECMWF ensemble előrejelzések kontroll tagja és első 10 perturbált tagja biztosítja. Bár augusztus 20-án az AROME-EDA még nem volt elérhető az előrejelzők számára, érdemes megvizsgálni, hogy az általa nyújtott előrejelzés hasznos lett volna-e a prognózis kiadásánál.

A 00 UTC-kor indított AROME-EDA az előrejelzés kezdeti óráiban az operatív AROME-EPS-nél jobb előrejelzéseket adott (pl. csapadéokra), az időtáv későbbi részén ugyanakkor nem tudta ezt az előnyt megtartani: jelentős valószínűséggel jelzett előre csapadékok és nagy szellőkést az esti órákra (5. ábra). Így ennek



5. ábra. 2022. augusztus 20-án helyi időben 21 és 22 óra közötti csapadékhullás valószínűsége (%) az AROME-EDA 00 (fenn) és 12 UTC-kor (középső) induló előrejelzésének eredményei alapján, és 21 és 22 óra között hullott csapadékmennyiséget (mm) megjelenítő radar mező (lenn).

alapján a 00 UTC-kor indított AROME-EDA eredményei nem módosították volna az eredeti prognózist. Más a helyzet viszont a 12 UTC-kor induló AROME ensemble előrejelzésekkel: a frissebb előrejelzés ugyanis már nem jelzett jelentős szellőkést és csapadékot este a főváros környezetében. Ez részben annak is köszönhető, hogy a 12 UTC-kor induló regionális előrejelzések számára a határfeltételeket már a 06 UTC-kor készülő, frissebb globális előrejelzések biztosítják. A 12 UTC-kor induló regionális előrejelzések futása 15:30 UTC-kor fejeződik be, így helyi időben 17:30-kor ezek rendelkezésre álltak.

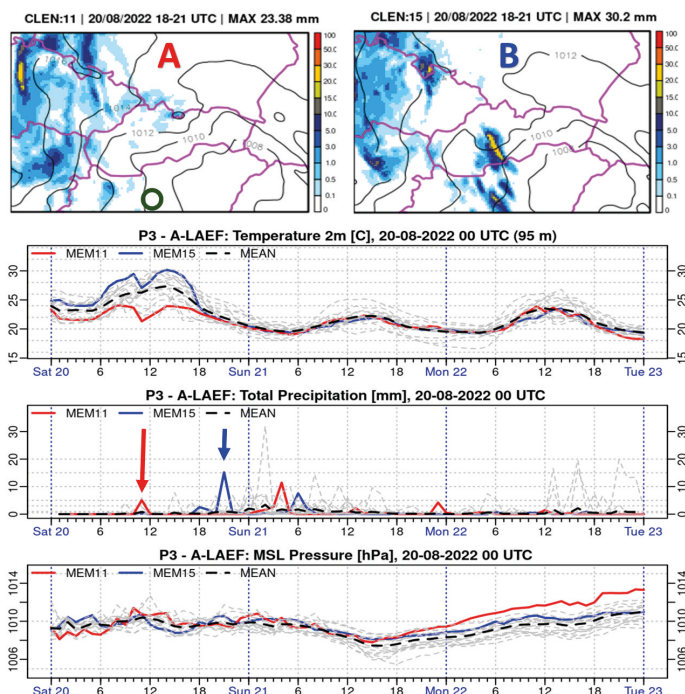
Az előrejelzést meghatározó folyamatok

Az ensemble előrejelzések arra is lehetőséget adnak, hogy segítségükkel azonosítsuk azokat a folyamatokat, amelyek az adott időjárási helyzetet meghatározták. A Szlovák Hidrometeorológiai Intézetnél 2020 óta használják a 16+1 tagú A-LAEF (Belluš et al., 2022) rendszer valószínűségi előrejelzéseit. A rendszer a korlátos tartományú ALADIN modell ALARO-1vB konfigurációján (Termonia et al., 2018) alapszik, dinamikája hidrosztatikus, horizontális felbontása 4,8 km. A határfeltételeket az ECMWF ensemble előrejelzéseinek kontroll és első 16 perturbált tagja szolgáltatja számára, míg az előrejelzési bizonytalanság jellemzőit többek között a kezdeti feltételekben használt mérések és a fizikai parametrizációs tendenciák perturbálásával veszik figyelembe. Ezenkívül az SHMÚ operatív hidrosztatikus ALADIN/SHMU (Derková et al., 2017), valamint a tesztjellegű nem-hidrosztatikus (Simon et al., 2021) előrejelzései lettek felhasználva az esetek tanulmányozása során.

Az A-LAEF 2022. augusztus 20-ra vonatkozó ensemble előrejelzéseit (6. ábra) négy kategóriába lehetett sorolni:

A. A modell előrejelezte az augusztus 20-i délelőtti mezoskálájú konvektív rendszert és az ezt követő lehülést Magyarországon közép- és keleti részében, az esti órákban már nem jelent meg heves csapadék ezen a területen.

- B. Hiányzott a délelőtti csapadék és a lehülés, viszont néhol jelentős csapadék lett előrejelezve az esti órákra, ami végül nem következett be.
- C. Egész napon át nem volt a térségben számottevő (5 mm feletti) csapadék.
- D. Délelőtt és este is heves esőre lehetett számítani.



6. ábra. Az A-LAEF EPS rendszer augusztus 20-án 00 UTC-kor indított előrejelzései. Balra fent: az A-kategóriába tartozó 11. ensemble tag 3-órás csapadék előrejelzése (mm) 20-án 18 és 21 UTC között. A kör mutatja a lenti fáklyadiagramokhoz kiválasztott pont helyét. Jobbra fent: a B-kategóriába eső 15. ensemble tag előrejelzése azonos időszakra. Lent: az ensemble előrejelzésekből készített fáklyadiagram 2-méteres hőmérsékletre, csapadékra és átlagos tengerszinti nyomásra. A 11. tag, a 15. tag és az ensemble átlag rendre piros, kék és fekete színnel lettek kiemelve. A 11. tagban a 20-ai délelőtti és a 15. tagban az esti csapadékot nyílak jelölik.

Az augusztus 19-én és 20-án 00 UTC-kor induló futásokban az A-kategória előfordulása 31,3% volt, a B-kategóriánál 43,8%, a C-kategóriánál 21,9% és a D-kategóriánál 3,1% volt a gyakoriság. Hasonló arányokat lehetett tapasztalni más korlátos tartományú vagy globális modellek előrejelzéseiben is, határozottan nem lehetett

kimutatni bizonyos konfiguráció (pl. egy konkrét fizikai parametrizációs beállítás) szisztematikus előnyeit vagy hátrányait.

Az A- és B-típusú előrejelzések között elsősorban a vertikális hőmérsékleti gradiensben találhatók számottevő különbségek. Az A-forogatókönyvben és a 2022.08.20. 00 UTC-s futások analíziseiben feltételelesen labilis rétegződés volt kimutatható: 8 K/km gradiensekkel a 925 és 600 hPa közötti rétegben Szerbia és Dél-Magyarország felett, ami kedvező lehetett a délelőtti konvektív rendszer kialakulása során. A B-kategória előrejelzéseiben az éjszakai labilitás gyengébb volt és a konvekció fejlődése a balkáni térségben (Horvátország, Bosznia-Hercegovina, Szerbia felett) eltért a megfigyelésektől. Ezek a változások kihatással voltak a későbbi, huszadikai délutáni és esti hőmérsékleti és instabilitási viszonyokra a modell előrejelzésekben.

Emiatt valószínű, hogy az augusztus 20-ra vonatkozó numerikus modell előrejelzések bizonytalansága nem csupán lokális körülményekre (rétegződés labilitására, emelésre) vezethető vissza. A csapadék kialakulása számos korábbi és néha hosszú (több száz kilométer) útvonal mentén zajló eseményektől (zivatarcellák fejlődése, kifutószelek) függött, ami nagyon érzékenyvé tette az előrejelzés kimenetelét a legkisebb eltérésekre is a modellanalízisben, a peremfeltételekben vagy a fizikai parametrizációk beállításában.

Összefoglalás

2022 augusztusának második felében egy hosszan tartó száraz időszak ért véget, amikor egy csapadékot hozó frontrendszer haladt át a kontinens középső részén. A különböző globális modellek közép-távú előrejelzései augusztus 17-étől egyöntetűen nagymennyiségű csapadékkal járó intenzív konvektív események bekövetkezését valószínűsítették hazánkban 20-ára, és még az aznap reggeli globális és regionális modell-előrejelzések is egyértelműen ezt a forgatókönyvet támogatták. A 20-án délelőtt felbocsátott rendkívüli rádiószonda, illetve a környező felszállások adatai ugyan már a korábbi előrejelzésektől eltérő képet mutattak, ez a hatás viszont csak később

futott át a teljes előrejelzési láncon: a globális modellek 6 UTC-kor készülő előrejelzései, illetve az ezeken alapuló 12 UTC-kor induló regionális előrejelzések lényegesen kevesebb csapadékot jeleztek előre, mint korábbi társaik. (Ezek az előrejelzési információk kora délután állnak az előrejelző szakemberek rendelkezésére.) Az operatív törzs 12 órás üléséig elkészült rövidtávú prognózis már nem tudott igazodni ehhez a drasztikus változáshoz, az ultrarövidtávú előrejelzések – melyek főként a folyamatosan beérkező friss mérésekre támaszkodnak – viszont a nap folyamán végig megfelelően kezelték a helyzet alakulását. Az eset elemzése arra is rámutatott, hogy a meteorológus szakembereknek még sok tennivalója van azzal kapcsolatban, hogy a felhasználók tisztában legyenek az előrejelzési információk szükségsszerűen valószínűségi jellegével, és nagyobb tudatossággal értelmezzék azokat.

Irodalom

- Belluš, M., Tudor, M., Abellan, X., 2022: The mesoscale ensemble prediction system A-LAEF. *ECMWF Newsletter* 172. <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/172/earth-system-science/mesoscale-ensemble-prediction-system-laef>
- Derková, M., Vivoda, J., Belluš, M., Španiel, O., Dian, M., Neštiak, M., Zehnal, R., 2017: Recent improvements in the ALADIN/SHMU operational system. *Meteorologický časopis* 20, 2, 45–52. http://www.shmu.sk/File/ExtraFiles/MET_CASOPIS/2017-2_MC.pdf
- Jávorné Radnóczy, K., Várkonyi, A., Szépszó, G., 2020: On the way towards the AROME nowcasting system in Hungary. *ALADIN/HIRLAM Newsletter* 14, 65–69.
- Simon, A., Belluš, M., Čatlošová, K., Derková, M., Dian, M., Imrišek, M., Kaňák, J., Méri, L., Neštiak, M., Vivoda, J., 2021: Numerical simulations of June 7, 2020 convective precipitation over Slovakia using deterministic, probabilistic, and convection-permitting approaches. *Időjárás* 125, 4, 571–607. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.4.3>
- Termonia, P., Fischer, C., Bazile, E., Bouyssel, F., Brožková, R., Bénard, P., Bochenek, B., Degrauwe, D., Derková, M., El Khatib, R., Hamdi, R., Mašek, J., Pottier, P., Pristov, N., Seity, Y., Smolíkova, P., Španiel, O., Tudor, M., Wang, Y., Wittmann, C., Joly, A., 2018: The ALADIN System and its Canonical Model Configurations AROME CY41T1 and ALARO CY40T1. *Geosci. Model Dev.* 11, 257–281. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-257-2018>



A 2022. évi tavi viharjelzési szezon

Zsikla Ágota, Szilágy Eszter

Országos Meteorológiai Szolgálat, zsikla.a@met.hu

DOI:10.56474/legkor.2022.4.2

Az Országos Meteorológiai Szolgálat a vízen tartózkodók biztonsága érdekében minden évben viharjelző szolgálatot lát el a Balatonon és a Velencei-tavon, valamint 2012 óta teljes időszakban a Tisza-tónál is. A viharjelzési szezon április 1-je és október 31-e között tart. Ez az írás a 88. balatoni viharjelzési szezonról számol be, és áttekinti annak jellemző időjárási eseményeit, valamint ismerteti az első és másodfokú viharjelzések statisztikáját.

About the storm warning season at lakes in 2022

At Lake Balaton, Velencei and Tisza there is a storm warning service operated by Hungarian Meteorological Service. This was the 88th storm warning season. The storm warning service is responsible for the safety of people at lakes. If strong or stormy wind expected, storm warnings are issued on first or second level. The duration of the storm warning season is seven months: from 1st April until 31st October. This paper is about the eventful weather cases of the season in 2022, and contains the summary of the storm warnings.

Bevezetés

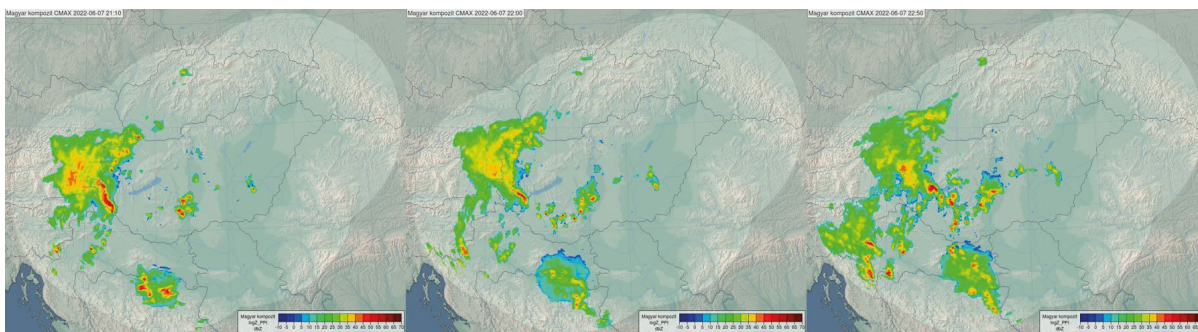
Október végén lezárult a 88. viharjelzési szezon a Balatonnál és a Velencei-tónál, valamint a 11. teljes viharjelzési szezon a Tisza-tónál.

A koronavírus járvány lecsengésével a vendéglátóhelyek, rendezvények, így a Balaton körüli sport és kulturális rendezvények is ebben az évben már korlátozás nélkül látogathatók voltak. A Balaton térségének látogatottságára jellemző adat lehet a Balatoni Hajózási Zrt. tájékoztatása, mely szerint kiemelkedő nyári forgalmat bonyolítottak le, és október 9-re elérték a 2 millió szállított utast

(másfél héttel hamarabb, mint 2021-ben). A javuló eredményekhez a rendkívüli meleg időjárás is közrejátszott, hiszen Siófoknál 1901 óta a második legmelegebb, Keszthelyen pedig a negyedik legmelegebb nyarat élhették át. Az erős viharok száma ugyanakkor alacsony volt.

I. A viharjelzési szezon időjárásáról

A szélviszonyokról. A viharjelzési szezon a Balatonnál az átlagosnál gyengébben szeles lett: a keleti medencében 5%-kal, míg a középső és a nyugati medencében együttesen 9%-kal.



1. ábra. A nyugati országrészbe belépő zivatárlánc útja az OMSZ radarképei alapján, 2022.06.07-én 21:10, 22:00 és 22:50 UTC pillanatokban.

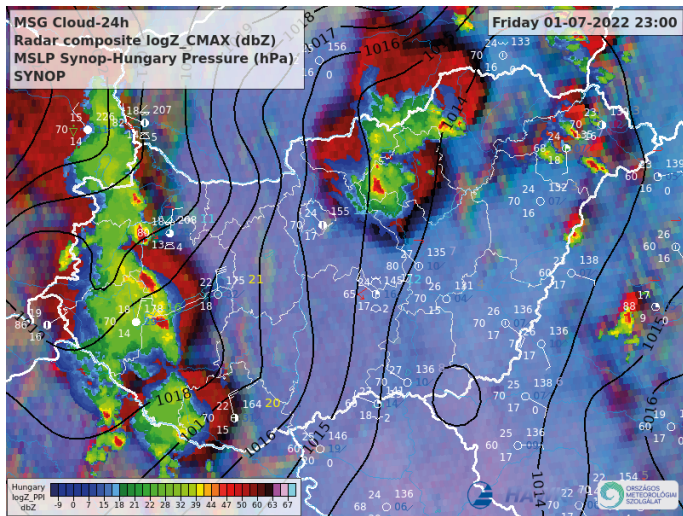
Öt erős vihar (90 km/h-t elérő vagy meghaladó szélsébség) érte el a Balatont és térségét: júniusban kettő, júliusban három alkalommal. Az erős viharok a parti állomásokot négyszer érintették, míg egy alkalommal csak a tóban elhelyezett platform mért 90 km/h fölötti szélsébséget. Ez utóbbi esetben a Keszthelyi-medencében elhelyezett műszer a szezon legerősebb viharát regisztrálta 107 km/h-val, mely június nyolcadikán érte el a Balatont egy szupercellás zivatar formájában. A parti állomások közül a balatonörszödi mérte a legerősebb szelet 104 km/h-t, mely július elsején egy hidegfront átvonulása nyomán jött létre. Az átlagos szélsébségeket tekintve tavainknál a július és az április volt a két legszelesebb hónap, míg a május, majd az október a sokéves átlagnál jóval kevésbé lett szeles.

Az erősen viharos napok jellemzése. A 2022. évi viharjelzési szezonban, ahogy említettük, öt erős vihar érte el a Balatont és térségét. Idén egytől egyig a nyári hónapokban fordult elő ilyen erejű szél.

A szezon első erősen viharosnak tekinthető napja **június 8-ra** esett. Június 7-én a késő esti órákban egy skandináv ciklon legyengült hidegfrontja közelítette meg a Balatont. A lassan mozgó frontvonal mentén már az országhatáron kívül is intenzív zivatarcellák fejlődtek, melyek aztán belépve a nyugati megyékbe rendszerbe szerveződtek (1. ábra). A zivatárlánc nem mutatkozott hosszú életűnek, a Balatonhoz közeledve gyengülni látszott. Ám idővel egy szupercella vált le az instabilitási vonalról, amely nem sokkal éjfél után követően intenzív villámtevékenység és viharos széllel kíséretében csapott le a nyugati medencére. Keszthely platformon okozta

a legerősebb szelet (107 km/h), de a parti állomásokon is többfelé 70–80 km/h-t elérő vagy kissé meghaladó szél kerekedett. Bár a viharjelzési szezon során még a későbbiekben is előfordult 100 km/h-t kissé meghaladó széllel kíséret, a Keszthely platformon Medárd napján regisztrált érték volt a legkiemelkedőbb, így június 8. lett a 2022-es év legerősebb balatoni viharja. Egyúttal megdőlt a korábbi 102 km/h-s napi szélrekord is (Kékes-tető, 1969). A környéken lévő csapadékmérő állomások mérései megerősítették, hogy a forgó zivatar főként a nyugati medencében – de tovább folytatva útját kelet felé – néhol a középső medencében is lokálisan jelentős mennyiségű csapadékot okozott. Keszthely Tanyakereszten 43,8 mm zúdult le, míg a balatonakali műszer 30 mm-t megközelítő csapadékot regisztrált.

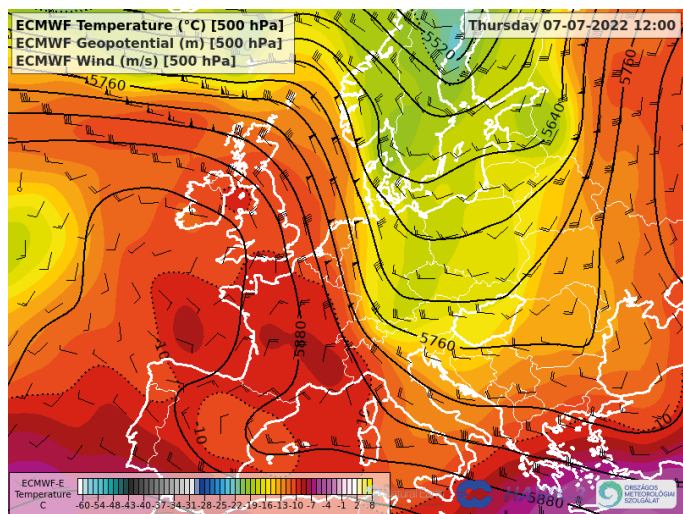
Hat nappal később **június 13-án**, egy újabb hullámzó frontrendszer érkezett a Kárpát-medencébe (2. ábra). A Kelet-európai síkagon át egészen Franciaországig hosszan elnyúló hullámzó frontrendszer jelentős hőmérsékleti kontrasztot alakított ki a kontinensen belül. A front késő délután érkezett a Balatonhoz erős, helyenként viharos északnyugati szél és zivatarok kíséretében. A front előterében már a meleg, labilis rétegződésű légkör is kedvezett az intenzív gomolyfelhő-képződésnek, de hevesebb zivatarok ezen a napon csupán a frontvonal mentén szerveződtek. Kiemelten a nyugati medence környékén tűntek fel nagyobb számban, itt számos cellához a viharos erejű szél mellett kísérőjelenségként felhőszakadás és jég is kapcsolódott. A nap legerősebb széllel kíséret Balatonmárfiafürdőn mértük (90 km/h). A hónapban adódtak még további viharos napok, de 90 km/h-t meghaladó széllel kíséret már nem fordult elő.



4. ábra. 2022.07.02-án villámfényes volt az éjszaka a Balatonnál. Az ábrán a nyomási mező és a radarkép együttese látható. Az átvonuló hidegfront mögött emelt konvekció alakult ki a tó nyugati felében.

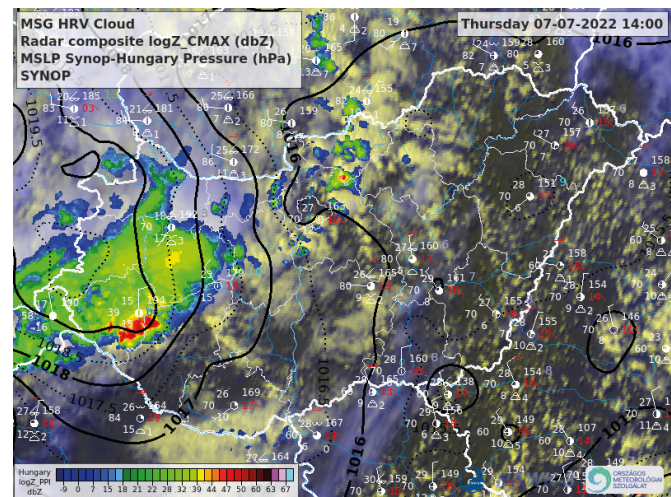
90 km/h-t meghaladó széllökés, így **július 2-a** is csatlakozott az erősen viharos napok közé. A front mögött beáramló hideg levegő, továbbá a tartósan fennálló nagy nyomási gradiens egész nap szeles időt okozott. A hidegfront jelentősen mérsékelte a kánikulát, a megelőző napokhoz képest 6–7 fokkal visszaesett a hőmérséklet.

Az idei szezon utolsó erősen viharos napja **július 7-re** esett. A felszínközeli kezdetben anticiklonális hatások érvényesültek, így



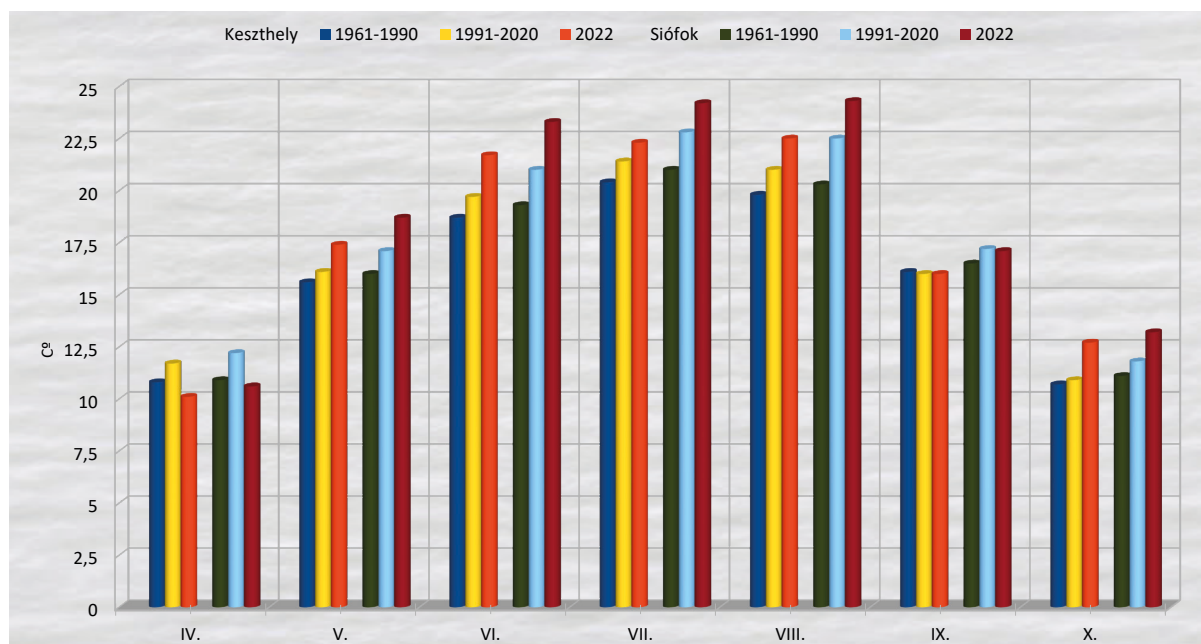
5. ábra. 2022.07.07-én egy magassági teknő (500 hPa) labilizálta hazánk légkörét, így már a talajfront érkezését megelőzően elősegítette a konvektív folyamatok (záporok) kialakulását.

alapáramlás tekintetében a Balatonnál a parti cirkuláció volt a meghatározó. Egyáltalán nem volt az a klasszikus strandidő, az ország felett húzódó magassági teknő miatt (5. ábra) erősen megnövekedett a felhőzet, mely jelentősen visszafogta a besugárzást, így mindössze 24–25 fokig emelkedett a hőmérséklet. A magassági teknőhöz már a délelőtt folyamán többfelé záporos csapadék kapcsolódott. Intenzívebb záporok környezetében a középtroposzférából többször lekeveredett a magassági szél, így konvektív csapadék idején helyenként előfordult átmeneti szélerősödés (40–50 km/h). Délután az egyre többfelé megerősödő északnyugati szél jelezte egy hidegfront érkezését. A front a radarképen is jól követhető volt, az intenzívebb konvektív gócok szépen kirajzolták a frontvonalat (6. ábra). A gradiens szélre ráakadó zivataros kifutószél többfelé viharos széllökéseket eredményezett. A nap legnagyobb széllökését a keszthelyi műszer rögzítette, itt zivatarfelhő környezetében 95 km/h-t elérő szélrohamok is előfordultak.



6. ábra. Az OMSZ radarképen látható, hogy 2022.07.07-én késő délután a frontvonal mentén intenzív zivatarok alakultak ki a Balaton nyugati medencéjében.

Bár a szezon további része erősen viharos napoktól mentes volt, időjárási izgalmak a folytatásban is szép számmal adódtak. A július 14-én megrendezésre kerülő Kékszalag vitorlásverseny sem volt időjárási fordulatoktól mentes. A verseny kezdőnapján – egy front előoldalán – határozott



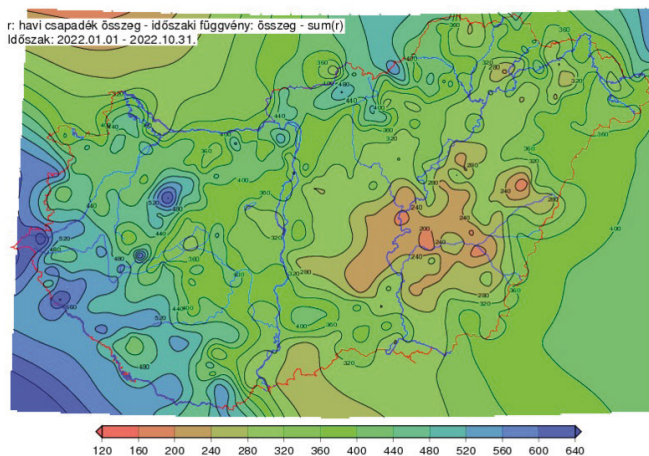
7. ábra. A havi átlaghőmérsékletek (napi 8 mérésből) alakulása a Balatonnál 2022-ben, összehasonlítva a különböző klímanormákkal Keszthely és Siófok állomásokon.

délnyugati áramlás volt a jellemző, mely elnyomta a helyi hatásokat. A kifújó, turbulens áramlásoktól mentes tengelyirányú szél kedvező volt a katamaránoknak, az ideális szélviszonyoknak köszönhetően pedig pályarekord is született. A kezdetben előoldali szelet az éjszaka folyamán érkező hidegfront északnyugatra fordította és a megerősödő szél (45–65 km/h) a versenyzők többségét a verseny másnapján besegítette a balatonfüredi célba. A Balaton másik legnépszerűbb sporteseménye, a Balaton-átúszás július 23-án ideális időjárási körülmények között zajlott. Egy hidegfront közelítette meg a Balatont, azonban az úszás ideje alatt végig a helyi hatások domináltak, az előoldali (délnyugati) szél nem juthatott érvényre, így alapvetően szél- és hullámentes időben úszhattak a versenyzők. A front pár órával a verseny befejezését követően, késő délután, 70 km/h-s széllel söpört végig a Balatonon.

A hőmérsékleti viszonyokról: A szél mellett a hőmérséklet sem csekély hatással van a tavak látogatottságára. 2022-ben az átlagosnál melegebb szezontunk volt. A hét hónap középhőmérséklete összességében Siófokon 1,0, Keszthelyen 0,8 fokkal lett magasabb a klímanormálhoz képest.

Az április még az elvártnál 1,6 fokkal hűvösebben alakult (1991–2020-hoz képest), majd májustól augusztusig az átlagosnál melegebb időszak következett. A megszokottól kevésbé szeles májusban már 1,3–1,6 fokkal melegebb volt az idő, mint az ilyenkor szokásos. A nyári hónapok középhőmérséklete Siófokon 23,9, Keszthelyen 22,1 fok lett, amely már 1,8, illetve 1,5 fokkal haladta meg a sokéves átlagot. Ezzel 2022 a térségben – ahogy utaltunk rá – bekerült az 5 legmelegebb nyár közé (ugyanakkor mint ismert, az országos átlaghőmérséklet 2022-ben harmadik lett). A 7. ábrán áttekinthetjük a szezont jellemző átlagos hőmérsékleti viszonyok alakulását korábbi két harmincéves periódussal összehasonlításban, amelyen szintén szembetűnő ez az emelkedés. A nyári meleghez képest szeptember második felét már különösen hűvösnek érezhettük. Ekkor legfeljebb egy napon érte el a hőmérséklet a 20 °C-t, és a korábbiaknál csapadékosabb időszak köszöntött be. Ezzel együtt a Balatonnál a szeptemberi havi átlaghőmérséklet megfelelt az 1991–2020-as évek átlagának.

A hőségnapok ($T_{\max} \geq 30\text{ °C}$) száma a Balatonnál átlagosan 37 lett, a kisebb vízfelületű Velencei-tó térségében 41 nap. Még a 35 °C feletti

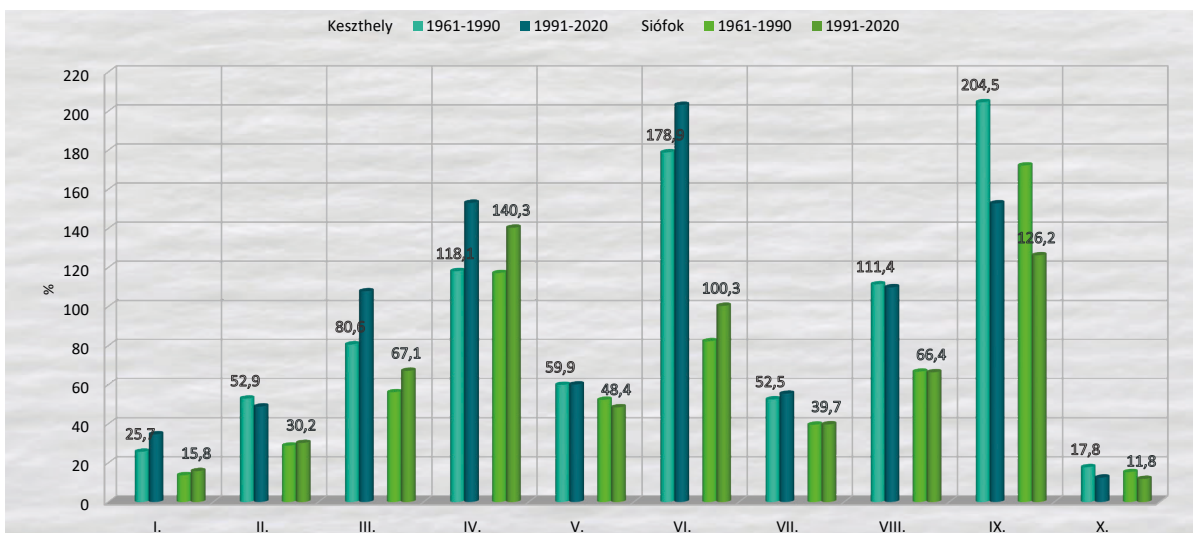


8. ábra. A száraz 2022-es év első 10 hónapjának összegzett csapadék térképe. A nyugati, délnyugati területeken nem volt akkor a csapadékhány.

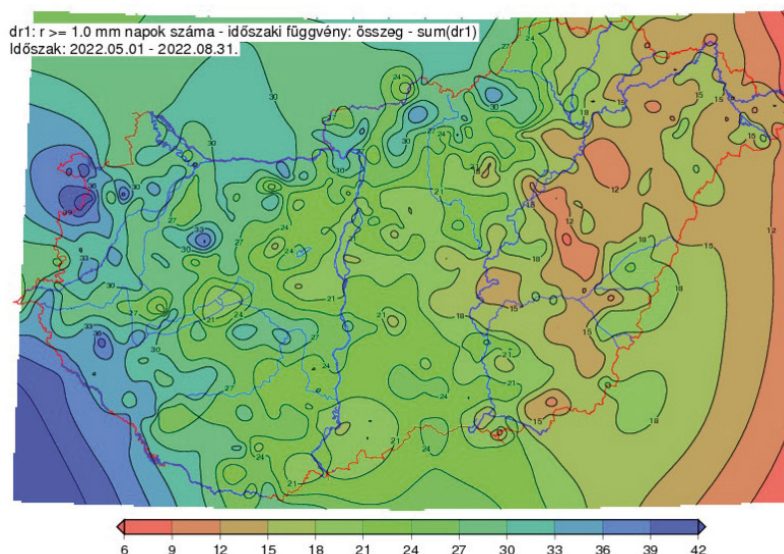
maximumhőmérséklet is 2–10 napon következett be a tavaknál. A nyár legmelegebb hónapja az augusztus volt. A szezon legmelegebb napjain 36–37 fok körül alakult a csúcshőmérséklet, mely Siófokon és a Velencei-tónál már június végén is megvalósult, míg másutt "csak" júliusban és augusztusban. Ezen hőhullámok még fokozták a csapadékhányból eredő szárazságot.

A csapadékviszonyokról: A száraz 2021-es év után országos szinten, 2022-ben is folytatódott a jellemzően csapadékhányos időjárás, különböző hosszúságú aszályos időszakokkal. A Balaton vízszintje az extrém meleg nyár és a hosszabb

száraz periódusok hatására az áprilisi 105 cm-ről szeptember második felére 67 cm-ig csökkent, majd a hónap végére kissé emelkedésnek indult. A legnagyobb aszály az Alföld területén alakult ki (8. ábra), de a Balaton keleti medencéje és a Velencei-tó térségében is az év első tíz hónapjára vonatkozóan 350 mm vagy az alatti csapadékösszegek voltak mérhetők. Ugyanakkor a csapadékosabb nyugati medence térségében – pl. Keszthelyen – 500 mm feletti csapadékösszegek is előfordultak. A Balatonnál ezen időszakot összevetve a 2021-es év hasonló időszakával, 2022-ben több csapadékot tapasztalhattunk, mely a nyugati területeket érintette jobban. Itt a 10 hónap alatt átlagosan 65 mm-rel, a keleti medencében 40 mm-rel több csapadék hullott. Ugyanakkor a Velencei-tónál 2022 volt a szárazabb év: október végéig összességében mintegy 35 mm-rel kevesebb csapadék esett, mint 2021-ben. A viharjelzési szezon hét hónapja alatt szintén az előző évihez képest több csapadék hullott. A Balaton nyugati részén átlagosan a sokéves átlagnak megfelelő mennyiség (~370 mm), míg a keleti medence térségében (~320 mm) és a Velencei-tónál (300 mm) mintegy 15%-kal kevesebb csapadék érkezett. A csapadék eloszlása az év folyamán meglehetősen egyenetlenül alakult. A 9. ábrán a Keszthely és Siófok Observatórium állomásokon október végéig lehullott csapadékmennyiségek láthatók a sokéves átlag százalékában, melyek most



9. ábra. A 2022-es év októberig lehullott havi csapadékösszegei a sokéves átlagok százalékában Keszthelyen és Siófokon.



10. ábra. Az 1 mm-t elérő csapadéku napok száma 2022-ben a májustól augusztusig terjedő időszakban.

együttal az egyik legcsapadékosabb és legszárazabb területeket is jelzik. A kiemelkedően száraz tél és október után július és május volt még nagyon száraz (9. ábra). Ekkor a Balaton térségében a csapadék-összeg keleten nem, nyugaton többnyire éppen elérte, vagy meghaladta a szokásos mennyiség 50%-át. A két legcsapadékosabb hónapban ugyanakkor a nyugati medencében több helyen a másfél, Keszthelyen például a sokévi átlag kétszerese is előfordult. A legcsapadékosabb napok is az állomásokon kevés kivétellel mind júniusra estek. 22-én a nyugati medencében jellemzően 30–40 mm-t meghaladó mennyiségekkel. Aznap egy lassan áthelyeződő melegfront hatására volt csapadékos az időjárás. A nyári hónapok további részében a szárazság dominált. A szárazság területi eltéréseinek jellemzésére szolgálhat még a májustól augusztusig terjedő, máskor az év legcsapadékosabb hónapjaira vonatkozó, az 1 mm-t elérő csapadéku napokat bemutató ábra (10. ábra). A 2022-es év kapcsán mélyreható elemzés készült a tartósan fennálló, nemcsak hazánk időjárására hatással lévő légköri folyamatokról Horváth Ákos és Breuer Hajnalka tanulmányában a 2022. évi rendkívüli szárazságról (https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/index.php?id=3200&hir=A_2022-es_rendkivuli_

szarazsag_fizikai-meteorologiai_hattere), melyben kitérnek a La Niña jelenség által okozott lehetséges hatásokra.

II. A viharjelzések és a vízbiztonság

Az időjárás hatásai megmutatkoznak a viharjelzések alakulásában is. 2022-ben az első és másodfokú viharjelzések összesített fenntartási ideje a Balatonnál nem érte el a szezon teljes hosszának 35%-át. A Velencei-tónál ez az érték 20,5% lett (~1052 óra). A fenti értékek alapján a hét hónapos viharjelzési szezon kezdete óta (2005) a középső és keleti medencé-

ben, valamint a Velencei-tónál ez volt a második legrövidebb fenntartású szezon, míg a nyugati medencében a legrövidebb lett. A másodfokú viharjelzésekben fenntartott órák a Balatonnál a teljes időszak kevesebb mint 10, a Velencei-tónál 4%-át (203,5 óra) tették ki. Másodfokú viharjelzésekre a nyugati medence kivételével 2005 óta az eddigi legrövidebb ideig volt szükség, mely köszönhető többek között a szél, illetve a viharok szempontjából különösen eseménytelen októberi és májusi időjárásnak. Az első- és másodfokú viharjelzések fenntartására legrövidebb ideig a Tisza-tónál volt szükség. Az elsőfokú viharjelzés 749,5 órát, a másodfokú viharjelzés mindösszesen 172,5 órát volt érvényben, amely értékeket összesítve a teljes fenntartási idő nem érte el az 1000 órát. Ezekkel az értékekkel az eddigi szezonok sorában a második legalacsonyabb fenntartású szezon lett a 2022-es év.

A Balatoni Vízürendészeti Rendőrkapitányság munkatársai a viharjelzési szezonban 190 esetben összesen 349 fő fürdőzőt vagy vízi közlekedő személyt mentettek ki a vízből, ami az elmúlt 10 év átlaga alapján egy középértéket mutat. 2022. április 1. és október 31. között 11 ember fulladt a Balatonba. Halálos kimenetelű vízi közlekedési baleset nem történt.



A CHIMERE kémiai transzport modell kiértékelése a DELTA Tool szoftver segítségével

Tóth Anita

Országos Meteorológiai Szolgálat, toth.a@met.hu

DOI: 10.56474/legkor.2022.4.3

A FAIRMODE közösség fejlesztése alatt álló DELTA Tool szoftver segítségével végeztük el az Országos Meteorológiai Szolgálatnál készülő szennyező anyag koncentráció előrejelzések kiértékelését. A vizsgált szennyezők a NO_2 , O_3 és PM_{10} . A CHIMERE modellel számolt koncentrációkat az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat által szolgáltatott mérésekkel vetettük össze. A kiértékelésben 5 budapesti mérőállomás adatait használtuk fel, a vizsgálataink a 2021-es évre vonatkoznak. A cikkben kitérünk a DELTA Tool háttérét képező matematikai összefüggések magyarázatára. Mindhárom szennyező anyag esetében bemutatjuk a szoftver egyedi, modellteljesítményt értékelő diagramjait és összefoglaló táblázatait és a legfontosabb statisztikai mérőszámokat is elemezzük a cikkben.

Evaluation of CHIMERE chemical transport model performance with DELTA Tool

The air pollutant concentration forecasts made at the Hungarian Meteorological Service had been evaluated with the Delta Tool software developed within the FAIRMODE community. The examined pollutants are NO_2 , O_3 and PM_{10} . The concentrations calculated with the CHIMERE model were compared to the measurements provided by the National Air Pollution Measuring Network. In the evaluation we used the data of 5 monitoring sites in Budapest, our research refers to the year 2021. In the article we discuss the mathematical relationships that form the background of the DELTA Tool. In case of the three pollutants we present the unique, model performance assessment diagrams and summary tables of the software and we analyze the key statistical metrics in the article.

Bevezetés

A légszennyezés számos emberi tevékenység velejárója már évszázadok óta. Európában számos légszennyező anyag kibocsátása mérséklődött az elmúlt évtizedekben (*Annesi-Maesano*, 2017). Ennek ellenére azonban még

számos területen kerül sor az EU-s és a WHO által definiált levegőminőségi határértékek túllépésére. Szigorú szabályozásokra van szükség ahhoz, hogy a levegőminőség javításának területén már elért eredményeket fenn-tartsuk, valamint további pozitív irányú változást segítsünk elő.

A légszennyezés területén hozott EU-s szabályozások közül különösen fontos a 2008 májusában elfogadott, a környezeti levegő minőségéről és a Tisztább levegőt Európának elnevezésű programról szóló 2008/50/EK Irányelv (továbbiakban: Irányelv) (European Union, 2008). Az Irányelvben definiálják az egyes szennyező anyagok koncentrációinak meghatározására vonatkozó vizsgálati módszereket, annak érdekében, hogy összehangolt módon kövessék nyomon a szennyezők légköri mennyiségének alakulását, valamint a levegő minőségének ellenőrzése is egységes legyen. Az emberi egészség, vegetáció és ökoszisztémák védelme érdekében különböző határértékeket határoznak meg a szabályozásban szereplő szennyező anyagok koncentrációira (különböző órás, napi, éves átlagokra) vonatkozóan. Az Irányelv megengedi, hogy a mérési adatok mellett modellek segítségével előállított koncentráció értékekkel is készülhessenek értékelések, melyek egy adott térség légszennyezettségi viszonyait írják le (European Environment Agency, 2011). Fontos, hogy hiteles és megbízható adatokból készüljenek el ezek az értékelések, tehát biztosítani kell a mérési és a modellezési adatok minőségét egyaránt.

A FAIRMODE (Forum for Air Quality Modelling in Europe, <https://fairmode.jrc.ec.europa.eu/>) közösség azért jött létre 2007-ben, hogy segítse a levegőminőségi modellezéssel foglalkozó szakemberek együttműködését, tapasztalataik cseréjét. A FAIRMODE célja támogatni az összehangolt levegőminőségi modellezést Európán belül. Évente szerveznek plenáris ülést és kisebb technikai megbeszéléseket, találkozókat. A FAIRMODE munkacsoportokra osztva működik, amelyek a modellezés különböző területeivel foglalkoznak, mint például: értékelés, forrásazonosítás, tervezés, emisszió (Monteiro et al., 2018). Mivel az Irányelv előírja, hogy megfelelő minőséggel rendelkező modellezési technikákat kell alkalmazni a koncentráció értékek előállításához, a FAIRMODE egyik fő feladatának tekinti olyan modellminőség indikátorok és kritériumok bevezetését, amelyek teljesítésével biztosítható, hogy megfelelő minőségben állnak rendelkezésre a modell eredmények a további felhasználásra. Ehhez kapcsolódóan

olyan eljárások kifejlesztésén dolgoznak, amelyek alkalmasak a különböző modellek egységes mintán alapuló kiértékelésére. Definiálták a modellezési minőség-célkitűzés (MQO – Model Quality Objective) módszertanát, amely a mérési bizonytalanságon alapul. Az e köré épült modellértékelési rendszert a DELTA Tool szoftverben építették fel (Janssen and Thunis, 2020).

A FAIRMODE által kidolgozott módszertant már többen is alkalmazták kémiai transzport modellek kiértékelésére Európában. A Kelet-Mediterrán térségben Kushta és munkatársai (2019) a DELTA Tool segítségével vizsgálták a WRF-Chem modell teljesítményét. Gradišar és munkatársai (2018) szlovéniai városokra vonatkozó ózon előrejelzések pontosságát vizsgálták a DELTA Tool szoftverrel. Carnevale és munkatársai (2014) a Pó-völgy térségében végeztek PM_{10} -re vonatkozó vizsgálatokat a szoftverrel.

Ebben a cikkben az Országos Meteorológiai Szolgálatnál futtatott CHIMERE kémiai transzport modell teljesítményét vizsgáljuk. Öt budapesti mérőállomásra vonatkozó PM_{10} , NO_2 és O_3 előrejelzések kiértékelését végeztük el a DELTA Tool szoftverrel a 2021-es évre vonatkozóan.

A DELTA Tool szoftver ismertetése

A DELTA Tool egy IDL alapú, modelledmények kiértékelését segítő szoftver. Könnyen és gyorsan tudunk különböző grafikonokat, ábrákat létrehozni a segítségével. Főként légszennyező anyagokra koncentrálni, de egyéb meteorológiai változók kiértékelésére is alkalmas. A DELTA Tool adott földrajzi pontokban hasonlítja össze a mért és a modellezett idősorokat (Georgieva et al., 2015). A különböző statisztikai mérőszámok számításához a DELTA Toolnak egy egész naptári év mért és modellezett koncentrációira van szüksége órás felbontásban az adott állomáson. Egyes indikátorok származtatása során az időbeli átlagolás változhat a vizsgált szennyezőtől függően az aktuális szabályozás miatt: PM_{10} esetében napi átlagokkal, O_3 esetében 8 órás átlagok napi maximumával dolgozik általában a szoftver. Alapvető tulajdonsága a szoftvernek, hogy nem csak egy, hanem több modell eredményeit is értékelhetjük,

ekkor a mérés-modell összehasonlítás mellett a modellek egymás közötti teljesítményét is ellenőrizhetjük. Továbbá ahhoz, hogy az adott állomásra vonatkozó statisztikai vizsgálatokat elvégezzük, bizonyos mennyiségű adatnak, egészen pontosan legalább 75%-nak rendelkezésre kell állnia az adott állomásról (Gradišar et al., 2018). Ez a kritérium érvényes az órás és napi átlagokra, valamint a 8 órás maximumokra is. (Utóbbi esetben tehát a 8 órás ablakokban legalább 6 óra adataira szükség van.)

Egy levegőtisztasági modell teljesítményének értékelése során fontos kiemelni a modell erősségeit és gyengeségeit, hiszen ezen információk alapján tudjuk eldönteni, hogy a modell megfelelő minőségű adatokat állít-e elő ahhoz, hogy egy adott feladatra (pl. döntéshozók segítésére) alkalmazni lehessen. A korábban már említett modellezési minőség-célkitűzés (Modelling Quality Objective – *MQO*) módszertan képezi a DELTA Tool alapját. A mért és modellezett értékek közti különbség jellemzésére a DELTA Tool modellezési minőség-indikátort (Modelling Quality Indicator – *MQI*) számítja a rendelkezésre álló adatok alapján (Monteiro, 2018). A modellezési minőség-célkitűzés valójában egy kritérium, amit az *MQI*-nek teljesítenie kell: a modellezési minőség-célkitűzés akkor teljesül, ha $MQI \leq 1$. Az *MQI* számítása mellett a rendelkezésre álló mért-modellezett értékpárok alapján a DELTA Tool további modellezési teljesítményindikátorokat (Modelling Performance Indicators – *MPI*) is számítja, amelyek abban segítenek, hogy a fennálló eltéréseket különböző szempontok (pl. korreláció, szórás, térbeli változékonyság) szerint vizsgáljuk. Ezekre az indikátorokra vonatkozóan is vannak definiálva kritériumok, amelyeket a modelledményeknek teljesítenie kell: modellezési teljesítménykritériumoknak hívjuk ezeket (Modelling Performance Criteria – *MPC*) (Janssen and Thunis, 2020). Láthatjuk tehát, hogy a DELTA Toolban több indikátort is definiáltak, amelyekkel eldönthető, hogy a modell adott célra használható-e. Ezeket az alap statisztikai mérőszámokból származtatja a szoftver, s a következő (1) – (10) egyenletek definiálják:

Mérések átlaga ($\bar{O}$)

$$\bar{O} = \frac{(\sum_{i=1}^N O_i)}{N} \quad (1)$$

Modellezett értékek átlaga ($\bar{M}$)

$$\bar{M} = \frac{(\sum_{i=1}^N M_i)}{N} \quad (2)$$

Mérések szórása (σ_o)

$$\sigma_o = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

Modellezett értékek szórása (σ_M)

$$\sigma_M = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2} \quad (4)$$

Root Mean Square Error (*RMSE*)

$$RMSE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2} \quad (5)$$

Centered Root Mean Square Error (*CRMSE*)

$$CRMSE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 (M_i - \bar{M})^2} \quad (6)$$

Korrelációs együttható (*R*)

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M}) (O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}} \quad (7)$$

BIAS

$$BIAS = \bar{M} - \bar{O} \quad (8)$$

Normalised Mean Bias (*NMB*)

$$NMB = \frac{BIAS}{\bar{O}} \quad (9)$$

Normalised Mean Standard Deviation (*NMSD*)

$$NMSD = \frac{\sigma_M - \sigma_o}{\sigma_o} \quad (10)$$

A fenti egyenletekben i jelöli az adott időpontot, N db adat van összesen. M_i a modellezett, O_i pedig a mért adatok jelölésére szolgál.

Az *MQI* az egyik legfontosabb mérőszám, amely alapján a FAIRMODE ajánlása szerint el lehet dönteni, hogy egy modell mennyire teljesít jól (Janssen and Thunis, 2020). Ez az indikátor

a modell és a mérések közti különbség, valamint egy a mérési bizonytalansággal arányos kifejezés hányadosaként áll elő. Idősorokra általánosítva az alábbi módon határozható meg az MQI :

$$MQI = \frac{RMSE}{\beta RMS_U} \quad (11)$$

A (11) egyenletben szereplő β egy olyan együttható, amely az MQO szigorúságáért felel, értéke konstans: $\beta=2$. Azzal, hogy ezen együttható értéke 2, azt biztosíthatjuk, hogy az MQO teljesülése esetén a modell eltérése a mérésektől maximum a mérési bizonytalanság kétszerese (Janssen and Thunis, 2020).

RMS_U a mérési bizonytalanságból a következőképpen áll elő:

$$RMS_U = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N U_i^2} \quad (12)$$

$$U = ku_r^{RV} \sqrt{(1-\alpha^2)(\bar{O}^2 - \sigma_o^2) + \alpha^2 x RV^2} \quad (13)$$

A (13)-as egyenletben látható, hogyan kerül számításra a mérési bizonytalanság, az U , a DELTA Toolban. Ez a mérési bizonytalanság, amely a mérőműszerek maximális bizonytalanságát számszerűsíti, korábban konstans százalék értéként jelent meg az adott szennyezőanyagra vonatkozóan, újonnan pedig a mért koncentrációk függvényében kerül kiszámításra (Carnevale et al., 2014). Az α egy együttható, értéke 0 és 1 közötti. Az RV egy referencia koncentrációt jelent, ezek minden szennyező anyag esetében az Irányelvben meghatározott határértéket jelentik. Az u_r^{RV} kifejezés az RV körüli relatív mérési bizonytalanság becslése, tehát egy százalékos érték. Az egyenlet jobb oldalán szorozóként megjelenő k egy kiterjesztési tényező, melynek értéke egy bizonyos konfidencia szinttel hozható összefüggésbe. Ezen a konfidenciaszinten biztosítható, hogy a tökéletes mérés

az $[O_i \pm U]$ intervallumon belül van. A $k=2$ érték 95%-os konfidenciaszintet jelent. Az 1. táblázat tartalmazza az MQI származtatásához szükséges szennyező specifikus paraméterek értékét.

A fentiek alapján láthatjuk tehát, hogy az MQI az $RMSE$ statisztikai mérőszámmal áll kapcsolatban. A további indikátorokat (MPI -k), amelyek az MQI -t kiegészítve szintén a modell teljesítményét jellemzik, a korreláció, a BIAS és szórás mérőszámokkal definiálták és a modell időbeli és térbeli teljesítményét is leírják. Fontos megjegyezni, hogy ezek a kiegészítő indikátorok is függenek a mérési bizonytalanságtól.

Janssen és Thunis (2020) alapján a modellértékeléshez legalább 5 állomásra vonatkozóan szükséges adatokkal rendelkezni. A FAIRMODE továbbá úgynevezett teljesülési kritériumot is előír az állomásokkal szemben, eszerint az MQO -nak teljesülnie kell az állomások legalább 90%-án. A gyakorlatban ezt úgy ellenőrzik, hogy minden állomásra vonatkozóan kiszámítják az MQI értékét, ezeket növekvő sorrendbe teszik és kiszámítják a 90. percentilis értéket a következő egyenlet alapján:

$$MQI_{90} = MQI(S_{90}) + [MQI(S_{90}+1) - MQI(S_{90})] \times dist \quad (14)$$

A (14)-es egyenletben szereplő S_{90} az $N \times 0,9$ szorzat egész része, a $dist$ kifejezés az $N \times 0,9$ szorzat és az $N \times 0,9$ szorzat egészrészének a különbsége. N az állomások számát jelöli. Az így definiált MQI_{90} érték alapján az MQO akkor teljesül, ha a fenti $MQI_{90} \leq 1$ (Monteiro et al., 2018). A DELTA Tool szoftver természetesen ezt a mérőszámot is számítja.

Van még egy említésre méltó sajátossága a DELTA Toolnak, ez pedig a modell bizonytalanságának származtatása. A modell bizonytalansága az alapján a feltételezés alapján kerül kiszámításra, hogy a modellezési és a mérési bizonytalanságok összemérhetők a mért és modellezett koncentrációk közti eltéréssel. A definíciók alapján, amennyiben az MQO teljesül, a modell bizonytalansága nem lehet több, mint a mérési bizonytalanság 1,75-szöröse (Janssen and Thunis, 2020). A DELTA Tool ezt a modellezési bizonytalanságot egy, az adott referencia koncentráció körüli relatív bizonytalanságként (százalékként) adja meg.

	β	u_r^{RV}	RV	α
NO_2	2,0	0,24	200 $\mu g/m^3$	0,2
O_3	2,0	0,18	120 $\mu g/m^3$	0,79
PM_{10}	2,0	0,28	50 $\mu g/m^3$	0,25

1. táblázat. Az MQI származtatásához szükséges paraméterek listája.

A DELTA Toolban módunkban áll kiválasztani, mely szennyezőre, mely állomásokra, és milyen időintervallumra szeretnénk elvégezni az elemzéseket. Az adatok időbeliségét illetően megadhatjuk, hogy az órás átlagokkal, vagy 8 órás mozgóátlagokkal dolgozzon a szoftver. Napi adatelemzésre vonatkozó beállítást is tehetünk bizonyos feldolgozások esetében: napi átlag, napi maximum és napi minimum állítható elő. A feldolgozások adott diagramok előállítását jelentik. Készíthetünk, az adatok időbeliségétől függően, oszlopdiagramokat, egyszerű vonaldiagramokat, szórásdiagramot, Q-Q ábrát, Taylor diagramot, valamint ezen közismert diagramtípusok mellett a DELTA Tool egyedi diagramjai is előállíthatók. Az egyedi diagramok közül a legfontosabb az ún. target diagram, amely az állomások *MQI* értékeit jeleníti meg, valamint leolvasható róla az összes állomás tekintetében a modell teljesítményét jellemző *MQI*₉₀ érték is.

A modellrendszer

A légköri szennyező anyagok tekintetében, ahogyan más meteorológiai paramétereket illetően is, a mérések biztosítják a valósághoz leginkább közel álló információkat. Mégis sok esetben meteorológiai, levegőkémiai modellek eredményeit kell használnunk a körülöttünk zajló folyamatok megértéséhez. Az állomáshálózat sűrűsége határozza meg, milyen területek levegőminőségét elemezhetjük a mérések felhasználásával. Ha azonban olyan területeket szeretnénk vizsgálni, ahol nem végeznek méréseket, a modelleket kell használnunk, hiszen modelleredmények akár tetszőleges (a számításokra vonatkozó bizonyos korlátokat figyelembe véve) sűrűségű rácshálóra előállíthatók. Akkor is a modellekre kell hagyatkoznunk, ha előrejelzéseket szeretnénk készíteni, azaz, ha arra vagyunk kíváncsiak, milyen szennyező anyag koncentrációk várhatók a jövőben. Valamint a modellezés segít megérteni azokat a folyamatokat, amelyek a szennyező anyagok légköri mennyiségét alakítják (*European Environment Agency*, 2011).

Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál a CHIMERE kémiai transzport modellel készülnek operatíván 48 órás szennyező anyag koncentráció

előrejelzések. A PM_{10} , $PM_{2,5}$, SO_2 , NO_2 és O_3 előrejelzések $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ -os (közel 10 km-es) horizontális felbontással készülnek el az ország területére, a nagyvárosok esetében (Budapest, Miskolc, Pécs) közel 2,5 km-es felbontásban ($0,02^\circ \times 0,015^\circ$ rácson) is készülnek számítások. A levegőminőségi előrejelzések elkészítéséhez a CHIMERE az AROME numerikus előrejelző modell adatait használja fel. A meteorológiai adatok a modellezési területnek megfelelően 10 km-es és 2,5 km-es térbeli, valamint 1 órás időbeli felbontásúak. A kibocsátásokra vonatkozó adatok az EMEP 2015-ös (2022 tavasza óta a 2019-es), $0,1^\circ$ -os felbontású leltárából származnak az országos előrejelzések esetében. A városi léptékű előrejelzések elkészítéséhez finomabb, $0,05^\circ \times 0,05^\circ$ -os felbontású kibocsátási adatokat használ a modell. A koncentrációk határfeltételei az LMDz-INCA globális, klimatológiai adatbázisából valók a 10 km-es felbontású futás esetében, a finomabb felbontású futtatásnál a durva felbontású modell adja a határfeltételeket. A kezdeti értékek mindkét esetben az előző futtatás megfelelő értékeiből állnak össze. A biogén emissziókat a MEGAN globális modell biztosítja közel 1 km-es felbontásban.

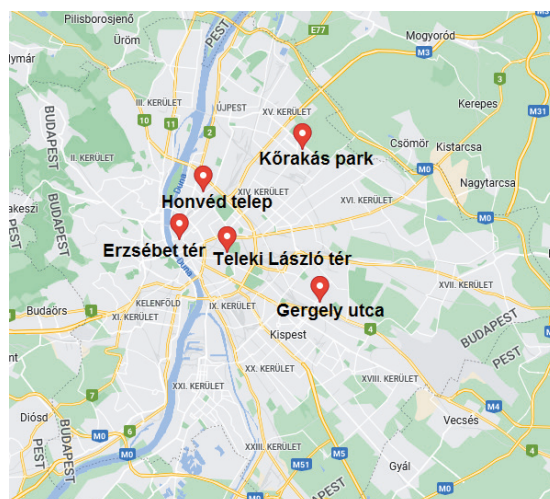
A DELTA Tool szoftverrel a 2021-es év előrejelzéseit értékeltük ki. A modell kiértékelésben a 2,5 km-es felbontású számítások eredményeit használtuk fel, minden naptári nap esetében az első 24 óra előrejelzése került be az éves adatbázisba. Öt budapesti állomás területére vonatkozó NO_2 , PM_{10} és O_3 előrejelzést értékeltünk ki. A 4. fejezetben gyűjtöttük össze ezen mérőállomásokra vonatkozó információkat.

Mérések jellemzése

Az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat (OLM) keretén belül működő mérőállomások órás felbontású adatait használtuk fel vizsgálataink során. Öt helyszínt választottunk ki Budapest területéről, ezek Kőrakás park, Honvéd telep, Erzsébet tér, Gergely utca és Teleki László tér néven szerepelnek a nyilvántartásban. Az AWAIR (<https://www.interreg-central.eu/Content.Node/AWAIR/AWAIR.html>) projekt keretében az Országos Meteorológiai Szolgálat 2020. július óta szolgáltat

ezekre az állomásokra vonatkozó előrejelzési adatokat, valamint néhány, az előrejelzést értékelő statisztikai mutatót a Zuglói Polgármesteri Hivatal részére. A DELTA Tool szoftver hazai adaptálásához így kézenfekvő volt, hogy elsőként ezeket az adatokat értékeljük ki egy teljes naptári évre vonatkozóan. Az állomásokról a 2. táblázat nyújt összefoglaló információt. Az 1. ábra az állomások földrajzi elhelyezkedését jeleníti meg. Ózonkoncentráció mérések csak három helyszínen: Kőrakás park, Gergely utca és Teleki László tér állomásokon zajlanak a választott állomások közül. NO_2 és PM_{10} mérések minden állomásról a rendelkezésünkre álltak. A 2021-es, órás felbontású koncentrációk legalább 92%-a elérhető minden mérőállomásra.

A mért adatok értelmezése, és a modell értékelése szempontjából is fontos megemlíteni néhány, a vizsgált területre jellemző tulajdonságot. A lakossági tüzelés és a közlekedés határozza meg leginkább Budapest levegőminőségét, de az ipari tevékenységekhez kötődő kibocsátások is hatással vannak a mért koncentrációkra (Ferenczi, 2013). A 2. táblázatban olvashatjuk, hogy városi típusúak az állomások, azaz folytonosan beépített területekről származnak a mérések. Az állomások típusa ezen belül elkülönül aszerint, hogy az adott mérést leginkább a közvetlen közelből származó közlekedési kibocsátások (közlekedési típus), vagy kevésbé a helyi közlekedés és jóval inkább egy nagyobb területről származó összegzett kibocsátás (háttér típus) befolyásolja. Egy-egy kedvezőtlen meteorológiai helyzet esetében (pl. hideg légpárnás helyzet) ezekről az állomásokról származó mért adatokban hangsúlyosan



1. ábra. Az állomások földrajzi elhelyezkedése.

jeljenhetnek meg a lokális hatások, mint például a helyi, szórványos kibocsátások. A nagyobb területi reprezentativitással jellemezhető állomások (pl. vidéki háttérállomások) esetén a források távolabb helyezkednek el, ezért kevesebb kiugró érték jelenik meg a mérésekben.

Eredmények

Mikor mondhatjuk el egy modelltől, hogy jól teljesít? A legegyszerűbb válasz a kérdésre: amikor a modellezett érték a legközelebb van a mért értékhez. Ez azonban nem mindig jelenti azt, hogy a felhasznált modell a legjobb az állomások levegőminőségi viszonyainak jellemzésére, hiszen több tényező miatt is adhat egy modell hibásan jó értékeket. A modellben előforduló bizonytalanságok forrásai a bemeneti adatok – például meteorológia, emisszió, kezdeti feltételek, határfeltételek – valamint a topográfia komplexitása. Fontos szem előtt tartani, hogy a modellekben felhasznált emissziós adatbázisok sohasem tökéletesek, ezért bizonyos eltérés a méréstől mindig várható kell legyen. Szintén nem várható el egy modelltől, hogy tökéletesen szimulálja olyan területeken a koncentrációkat, ahol időben nagyon gyorsan változik a szennyező anyagok légköri mennyisége pl. városi hotspotok környékén. A mért adatokban is van némi bizonytalanság, a mérések sem képesek hibátlanul reprezentálni a valódi légköri koncentrációkat, ezért

Név	Földrajzi hosszúság	Földrajzi szélesség	Állomás típus	Mért komponens		
				NO_2	PM_{10}	O_3
Kőrakás park	19,14	47,54	városi háttér	X	X	X
Honvéd telep	19,07	47,52	városi háttér	X	X	
Erzsébet tér	19,05	47,50	városi közlekedési	X	X	
Gergely utca	19,16	47,47	városi háttér	X	X	X
Teleki László tér	19,09	47,49	városi közlekedési	X	X	X

2. táblázat. A vizsgálatban résztvevő állomások alapadatai. A mért komponensek alatt X jelöli, mely állomás szolgáltat adatot adott szennyezőről.
(Forrás: legszennyezettseg.methu)

a modelltől sem várható el, hogy eleget tegyen ennek (Janssen and Thunis, 2020). Fontos, hogy a modellben felhasznált adatbázisokról, paraméter sémákról mindig kellő mennyiségű információt szolgáltatassunk a modell kiértékelése mellé, hogy megfelelő bizonyosságú következtetéseket vonjunk le a modell teljesítményéről.

Ha a teljesítményértékelés során jó eredményeket kapunk, akkor sincs garancia arra, hogy minden tökéletesen működik a modellkörnyezetben, ha viszont gyengén szerepel a modell az elemzés során, akkor az okokat gondosan kell elemezni, és utána kell járni mi okozza a rossz eredményeket.

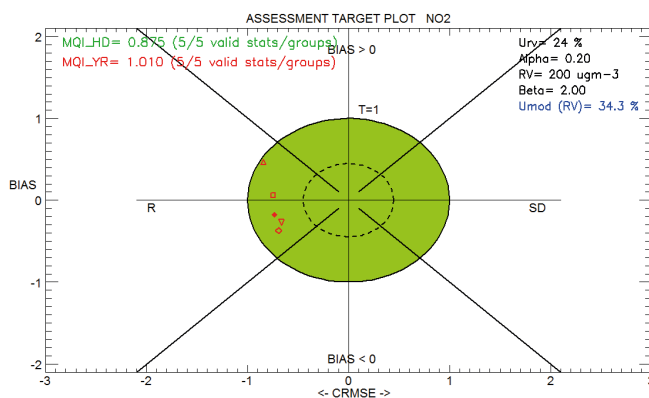
Vizsgálataink során a DELTA Tool szoftverrel végeztünk számításokat, hogy kiértékeljük a CHIMERE kémiai transzport modell teljesítményét. Öt budapesti állomásra vonatkozó előrejelzések alapján vontunk le következtetéseket a modell hatékonyságáról.

A FAIRMODE ajánlása szerint a legfontosabb mérőszám a modell teljesítményét illetően az MQI érték, hiszen ezen érték határozza meg, hogy teljesült-e a modellezés minőség-célkitűzése. Az MQI érték adott szennyezőre kerül kiszámításra, minden elérhető állomásra. A kiértékelés eredményének a megjelenítésére a DELTA Toolban a target diagram áll rendelkezésünkre. A diagram vízszintes tengelyén a $CRMSE$, a függőleges tengelyén a $BIAS$ olvasható le, mindkét érték RMS_U -val van leosztva. Minden piros szimbólum az adott állomás MQI értékét jelöli, mely megegyezik a szimbólum origótól vett távolságával (Thunis et al., 2022). A diagramon lévő zöld terület jelzi az MQO teljesülését, azaz ha ide esik egy állomás, akkor az MQI értéke kisebb, mint 1. A zöld területen lévő szaggatott vonalon belül az állomások esetén a modellezett érték a mérési bizonytalanság által definiált tartományon belül van. A diagram területe továbbá négy részre osztható, ezek a mérés-modell eltérések különböző eredetére mutatnak. A felső és alsó rész a pozitív és negatív $BIAS$ -t jelölik. A diagram bal és jobb sávja azt jelzi, hogy a korreláció gyengesége (R) vagy a szórásban (σ) fellépő eltérés felel leginkább a mért és modellezett koncentrációk közti különbségért. A következő egyenlet segít eldönteni, melyik sávba kerüljön az adott állomás:

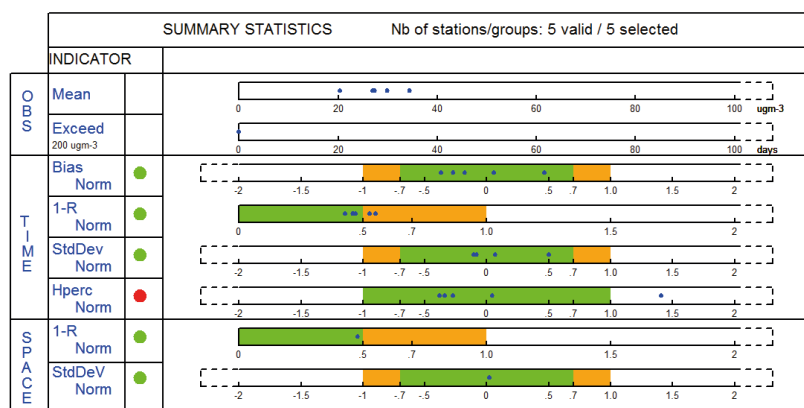
$$\frac{CRMSE(R=1)}{CRMSE(\sigma_M - \sigma_O)} = \frac{|\sigma_M - \sigma_O|}{\sigma_O \sqrt{2(1-R)}} \begin{cases} >1: \text{jobb oldal, } \sigma \text{ dominál} \\ >1: \text{bal oldal, } R \text{ dominál} \end{cases} \quad (15)$$

A (15)-ös összefüggés egy hányados, ahol a számláló tökéletes korreláció, a nevező pedig a szórások egyenlősége mellett számított $CRMSE$ érték. Ha az adott állomásra számított hányados értéke 1-nél nagyobb, akkor a diagram jobb oldalra kerül, ha 1-nél kisebb akkor a bal oldalra (Janssen and Thunis, 2020). A diagramon szerepel az óras értékekből számított MQI_{90} érték (MQI_HD -ként jelölve), amely alapján eldönthető, hogy az állomások összességének tekintetében jól teljesít-e a modell. Valamint az éves átlagkoncentrációkra vonatkozó MQI_{90} érték (MQI_YR -ként jelölve) is szerepel a bal felső sarokban. A FAIRMODE ajánlása szerint mindkét érték <1 kell legyen. A jobb felső részen a diagram elkészítéséhez szükséges paraméterek láthatók, valamint a DELTA Tool által számított modell bizonytalanság is szerepel itt kék színnel.

A 2. ábrán az óras NO_2 adatokból előállított target diagramot láthatjuk. Az ábrán látható, hogy két állomás esetén a modell felülbecsüli a nitrogén-dioxid koncentrációkat (pozitív $BIAS$), míg a többi három állomáson alulbecsülés a jellemző. Mind az öt állomás a zöld sávon belül, de a szaggatott vonalon túl helyezkedik el. Ez azt jelenti, hogy minden állomásra $0,5 < MQI < 1$. Az óras adatokból számított MQI_{90} alapján, melynek értéke 0,875, teljesül



2. ábra. NO_2 target diagram. 2021-es óras felbontású koncentrációkból. Minden piros szimbólum egy állomást jelöl:
◊-Köröskút park; ◻-Honvéd telep; △-Erzsébet tér;
▽-Csergely utca; ◆-Teleki László tér.



3. ábra. Az óras NO_2 koncentrációkra vonatkozó összefoglaló táblázat.

a modellezési minőség-célkitűzés NO_2 -ra. Azonban az éves MQI nagyobb, mint 1. Az is látható, hogy az állomások a diagram bal oldali felében vannak, ez azt jelenti, hogy a mért és modellezett értékek közti eltérések fő forrása a korreláció.

A DELTA Toolban különböző MPI-k is számíthatók a modell teljesítményének jellemzésére. Ezek mind adott szemszögből jellemzik a modellt. Elkészíthető a szoftverrel egy összefoglaló táblázat (3. ábra), amelyben a modell erősségeit és gyengeségeit ezen MPI értékek alapján jellemezhetjük. A diagram első két sorában a mért adatokból számított átlag, valamint a határérték túllépések száma szerepel. A figyelembe vett határérték adott szennyező esetén az Irányelvben meghatározott érték. A harmadiktól a hatodik sorig a modell teljesítményt leíró időbeli statisztikák találhatók. Ezek a mérőszámok a BIAS , korreláció ($1-R$) és szórás ($\sigma_M - \sigma_O$), valamint egy olyan mérőszám (Hperc), amely a magas értéktartományokba eső koncentrációk modellezésének teljesítményét írja le. A hatodik sorig minden sorban külön pötty jelöli az állomásokat. Az utolsó két sorban, amely a modell térbeli teljesítményét írja le, egy pötty jelzi az állomások adataiból számolt térbeli statisztikákat. Ezek a mérőszámok a térbeli korreláció ($1-R$) és szórás ($\sigma_M - \sigma_O$). A teljesítményt jellemző sorokban lévő zöld sáv jelzi, ha az állomás adott mérőszámra vonatkozó MPI értéke megfelel a rá vonatkozó modellezési teljesítménykritériumnak. A sárga sávban is teljesül a kritérium, azonban ha ide esik egy állomás, akkor ott az adott statisztika dominál hibaként. Ha az állomásra

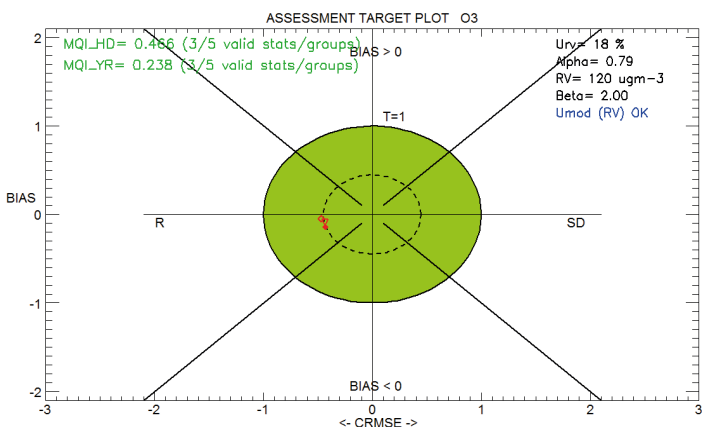
vonatkozó mérőszám túllépi a megadott értéktartományt, akkor szaggatott vonallal jelölt részekbe esik. Végül a mérőszámok melletti zöld pötty azt jelzi, hogy az állomások több, mint 90%-ánál teljesül az MPI -val szemben támasztott kritérium, piros pötty esetén pedig az állomások kevesebb, mint 90%-ára igaz ez (Thunis et al., 2022).

A 3. ábrán az óras NO_2 adatokból számított összefoglaló táblázatot láthatjuk. A túllépések

száma a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ feletti értékeket jelenti. Láthatjuk, hogy a mért, óras koncentrációk egyik állomáson sem lépték túl ezt az értéket. Az állomásokon mért óras koncentrációk átlaga 20 és $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ között változott 2021-ben. Egyedül az extrém magas koncentrációk számításában nem valósul meg a teljesítménykritérium az állomások mindegyikén.

A Hperc indikátor számításához az óras modellezett és mért NO_2 koncentrációk 99,8%-os percentilis értékeinek különbségét veszi figyelembe a DELTA Tool (Thunis et al., 2018). Láthatjuk továbbá, hogy az időbeli korreláció tekintetében két állomás a sárga sávba esik, tehát ezen állomásokra a korreláció tölt be meghatározó szerepet a mérés-modell eltérésekben.

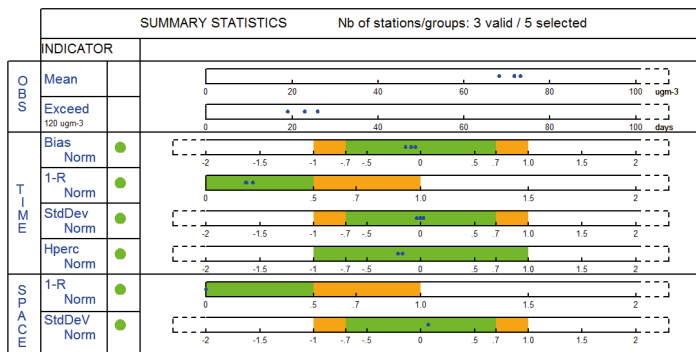
A 4. ábrán a 8 óras ózónátlagok napi maximumaiból létrejött target diagramot láthatjuk. Az 5 állomásból csak három állomáson (Körakas park, Teleki László tér, Gergely utca) végeznek ózónméréseket, így a modell teljesítményének jellemzését az ózon tekintetében ezen három állomás alapján végeztük el. Fontos megjegyezni, hogy a FAIRMODE szerint a teljesítményértékelést legalább 5 állomás adatai alapján érdemes elvégezni, így a következőkben az ózónkoncentrációkra vonatkozó eredményeket fenntartással kell kezelni. A 8 óras átlagok napi maximumaiból számított MQI_{90} érték 0,466, és az éves átlagokból számított MQI 0,238. Mind a három állomás esetén teljesül az MQI -vel szemben felállított kritérium, az állomások a zöld sávban belül, a szaggatott vonalon helyezkednek el. Az állomások mindegyike a diagram bal oldalán van, ezért a fennálló



4. ábra. O_3 target diagram. 2021-es 8 órás átlagok napi maximum koncentrációiból. Minden piros szimbólum egy állomást jelöl: $\diamond$ -Köröskút park; ∇ -Gergely utca; $\blacklozenge$ -Teleki László tér.

mérés-modell eltérések a korrelációra vezethetők vissza. Továbbá mindegyik *BIAS* negatív, tehát a modell alulbecsli a 8 órás átlagok napi maximumát.

Az 5. ábrán az összefoglaló táblázat szerepel, amelyben az értékek a modell ózonkoncentrációkra vonatkozó számításait jellemzik. A táblázat alapján röviden azt mondhatjuk, hogy a modell minden tekintetben jól teljesít, hiszen minden állomás az *MPI*-kel szemben felállított teljesítménykritériumok megvalósulását jelző zöld sávban helyezkedik el. A mért értékek alapján számított határérték túllépések (a 8 órás átlagok napi maximum értékei meghaladják a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -ot) száma 20 körüli az állomásokon. A *Hperc* érték számításához ózon esetében a 92,9%-os percentilis értéket használja a szoftver (Thunis et al., 2022).



5. ábra. A 8 órás ózónátlagok napi maximum koncentrációira vonatkozó összefoglaló táblázat.

A 2021-ben mérésekből számított 8 órás átlagok napi maximumaiból számított átlagkoncentrációk 65 és $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ között alakultak.

A magas koncentrációk modellezésének képességét a *Hperc* mérőszámmal is jellemezni tudjuk. Azonban ez a mutató csak az adott percentilisek közti eltérésről tájékoztat, nem jellemzi a modellt abból a szempontból, képes-e egy rossz levegőminőségű helyzet elejét és végét pontosan megadni. Ha egy modellel előrejelzéseket is készítünk mellett, hogy a levegőminőség kiértékelését végezzük vele, fontos elvárás a modellel szemben, hogy jól adja meg egy levegőminőségi szituáció kezdetét, súlyosságát és végét. Az *MQI* segítségével megmondhatjuk, hogy mennyire jó a modell az adott epizód kiértékelésére. A DELTA Tool szoftverben találunk egy olyan speciális diagramot, amellyel vizsgálható a határérték túllépések előrejelezhetősége a modellel. Ez a határérték előrejelzési teljesítménydiagram (Forecast Threshold Performance plot) (Thunis et al., 2022). A diagram értelmezéséhez néhány fogalmat szükséges megmagyarázni.

		A mért érték magasabb a határértéknél:	
		igen	nem
Az előrejelzett érték magasabb a határértéknél:	igen	A	B
	nem	C	D

3. táblázat. Sematikus kontingencia táblázat a határérték túllépések négy típusának meghatározásához.

A 3. táblázatban az előrejelzések jellemzésére használt, a modellezett és mért értékek alapján meghatározott négy fő esetet találjuk, amelyek közül adott időpontban csak egy fog bekövetkezni:

- A – helyes előrejelzés: a modellezett és mért érték is a határérték felett van;
- B – téves riasztás: a modellezett érték a határérték felett van, a mért a határérték alatt;
- C – hibás előrejelzés: modellezett érték a határérték alatt, mért a határérték felett;
- D – helyes elvetés: a modellezett és mért érték is a határérték alatt van.

A DELTA Tool a négy fő kategóriába tartozó esetek darabszámát számítja, ezekből további indikátorok származtathatók:

$$POD = A / (A + C) \quad (16)$$

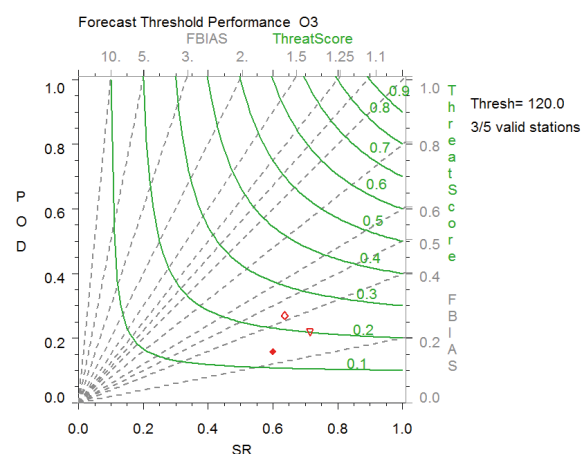
$$SR = A / (A + B) \quad (17)$$

$$FBIAS = (A + B) / (A + C) \quad (18)$$

$$ThreatScore = A / (A + B + C) \quad (19)$$

A *POD* (Probability of detection) megadja, hogy a megfigyelt határérték túllépések hány százalékát jelezték előre. Az *SR* (Success Ratio) megadja, hogy az előrejelzett határérték túllépések hány százaléka következett be. Az *FBIAS* indikátor megmutatja, hogy a megfigyelt túllépések száma hogyan viszonyul az előrejelzett túllépések számához. Végül a *ThreatScore* megadja, hogy mennyire feleltek meg az előrejelzett túllépések a ténylegesen megfigyelt vagy előrejelzett túllépéseknek. Ezen indikátorok értéke 0 és 1 között változhat, minél közelebb van az érték 1-hez, annál jobb a modell adott szempontból.

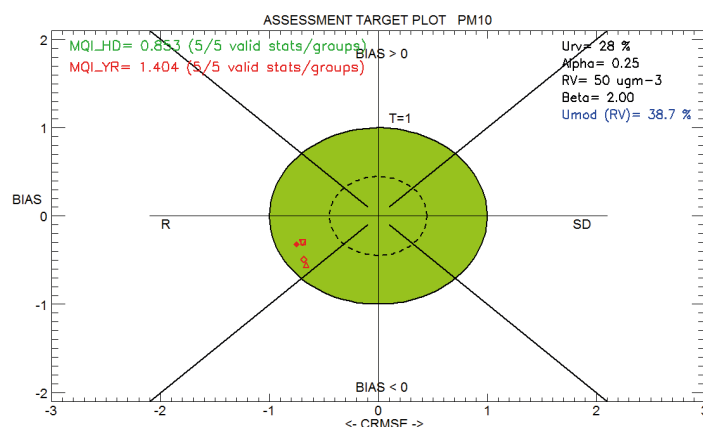
A DELTA Tool határérték előrejelzési teljesítménydiagramjának vízszintes tengelyén az *SR* indikátor, függőleges tengelyén pedig a *POD* indikátor szerepel. Szürke szaggatott izovonalak jelzik az *FBIAS*, zöld folytonos izovonalak pedig a *ThreatScore* értékeket. A szoftverrel az O_3 és a PM_{10} szennyezőkre tudtuk elkészíteni a diagramot, mert NO_2 esetében sem a modellezett, sem a mért koncentrációk nem lépték túl az Irányelvben meghatározott határértéket. Az ózonnra vonatkozó teljesítménydiagram a 6. ábrán látható.



6. ábra. Határérték előrejelzési teljesítménydiagram a 8 órás ózónátlagok napi maximum koncentrációiból. Minden piros szimbólum egy állomást jelöl: $\diamond$ -Körakas park; ∇ -Gergely utca; $\blacklozenge$ -Teleki László tér. Vizsgált határérték: $120 \mu g/m^3$

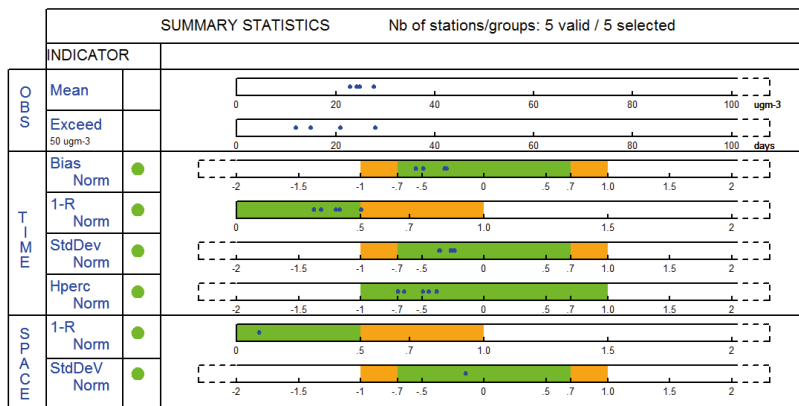
A diagramon az eddig vizsgált target diagramokhoz hasonlóan piros szimbólumok jelzik az állomásokat. Ózon esetében határérték túllépés történik az Irányelv alapján, ha a 8 órás átlagok napi maximum értéke meghaladják a $120 \mu g/m^3$ -t. Az ózónméréseket végző három állomás *POD* értéke jóval alacsonyabb az *SR* értéknél. A *POD* mérőszám a hibás előrejelzések számára, az *SR* mérőszám pedig a téves riasztások számára érzékeny. A megfigyelt határérték túllépések körülbelül 20%-át jelezte előre a *CHIMERE*, az *SR* értékek alapján előrejelzett túllépések közel 60–70%-a következett be. Az *FBIAS* értékek 1-nél alacsonyabbak, tehát a modell alulbecsli a határérték túllépések bekövetkezési előfordulását.

Az utolsó vizsgált szennyező anyag a PM_{10} . A PM_{10} napi átlagokra vonatkozó target diagram



7. ábra. PM_{10} target diagram. 2021-es napi átlagkoncentrációkból. Minden piros szimbólum egy állomást jelöl: $\diamond$ -Körakas park; $\square$ -Honvéd telep; $\triangle$ -Erzsébet tér; ∇ -Gergely utca; $\blacklozenge$ -Teleki László tér.

a 7. ábrán látható. Minden állomás a zöld területen belül helyezkedik el, tehát minden állomáson a számított *MQI* érték alapján teljesül a modellezési minőség-célkitűzés. Az MQI_{90} értéke 0,853. Az éves átlagokból származtatott *MQI* azonban nagyobb 1-nél, így a vele szemben állított kritérium nem teljesül. Mindegyik állomás a negatív *BIAS* tartományban helyezkedik el, tehát a modell átlagosan alulbecsli a mért napi PM_{10} átlagokat. Továbbá az állomások a PM_{10} esetében is a diagram bal oldalán helyezkednek el, tehát a korreláció felel leginkább a modell-mérés eltérésekért.



8. ábra. A napi átlagos PM_{10} koncentrációkra vonatkozó összefoglaló táblázat.

A 8. ábrán a PM_{10} -re vonatkozó összefoglaló táblázatot láthatjuk. A táblázatban szereplő értékek a napi átlagkoncentrációkból kerültek meghatározásra. A mért napi átlagokból a teljes időszakra számított átlagok 20 és 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ körül mozognak. Határérték túllépések is előfordultak 2021-ben, az 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -t meghaladó napi átlagos koncentrációk száma 15 és 30 nap körül változott az állomásokon. Minden statisztikai mérőszám esetén teljesül a teljesítménykritérium az állomásokon. A napi átlagos PM_{10} koncentrációk esetében a *Hperc* értéket a mért és modellezett értékek 90,1%-os percentilisének különbsége alapján számítja a DELTA Tool (Thunis et al., 2022). Egy állomás helyezkedik el az időbeli korrelációt

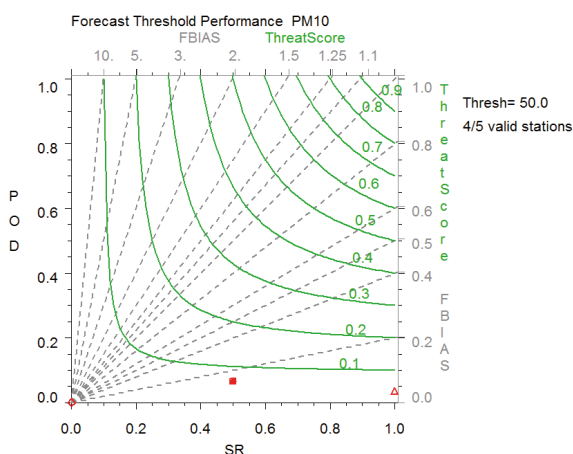
jellemző sorban a sárga sávon belül, így ezen az állomáson a korreláció mértéke felel leginkább a mért és modellezett értékek közti különbségért.

A 9. ábrán a PM_{10} napi átlagokra vonatkozó határérték túllépési teljesítménydiagram látható. Határérték túllépés az Irányelv alapján akkor következik be, ha a PM_{10} napi átlagértékek meghaladják az 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -t.

Az öt állomásból csak négy állomás szerepel a diagramon,

hiszen a Gergely utcai állomáson a CHIMERE alapján nem fordult elő határérték túllépés 2021-ben. Teleki László tér és Honvéd telep állomáson ugyanannyi mért határérték túllépés (15 db) fordult elő az év során. Emiatt a 9. ábrán a két állomást jelző szimbólum fedi egymást, nagyon hasonló értékeket számolt a DELTA Tool az adataik alapján. Körakas park állomás esetében a modell és a megfigyelés alapján is történt határérték túllépés, azonban mivel ezek nem egy időpontban következtek be, az állomásra vonatkozó *POD*, *SR* és *TS* érték is egyenlő nullával. Erzsébet tér állomás helyezkedik el a diagram jobb alsó sarkában, az *SR* érték 1. Ez azt jelenti, hogy Erzsébet tér állomáson a téves riasztások száma nulla. Az *FBIAS* alapján a modell jelentősen alulbecsli a túllépések bekövetkezésének számát mind a négy állomáson. Teleki László tér és Honvéd telep állomáson az előrejelzett határérték túllépések 50%-a következett be. A *POD* értékeik alapján azonban az esetek csupán közel 7%-át jelezte előre a modell, amikor azok bekövetkeztek.

A CHIMERE modell teljesítményének jellemzésére használt target diagramok és összefoglaló táblázatok alapján a modell jól teljesít. Egyedül az éves *MQI*-val kapcsolatban nem teljesül a kritérium NO_2 és PM_{10} szennyezőkre. Az állomások elhelyezkedése a target diagramon arra utal, hogy a mérések és a modelleredmények közti eltéréseért a korrelációban keresendő a hiba. Az összefoglaló táblázatban szereplő *Hperc* értékek alapján azt mondhatjuk, hogy a modell képes jól szimulálni a magas koncentrációkat, egyedül NO_2



9. ábra. Határérték előrejelzési teljesítménydiagram a napi átlagos PM_{10} koncentrációkból. Minden piros szimbólum egy állomást jelöl: $\circ$ -Körakas park; $\square$ -Honvéd telep; $\triangle$ -Erzsébet tér; $\diamond$ -Teleki László tér. Vizsgált határérték: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

szennyező vizsgálatokkor találtunk egy állomást, amely esetén nem teljesül a mérőszámra vonatkozó kritérium. Ugyanakkor megvizsgáltuk azt is, mennyire képes a modell visszaadni a határérték túllépések bekövetkezését. Ebből a szempontból viszont alulteljesít a modell, a bekövetkezett ózon és PM_{10} határérték túllépések igen kevés százalékát jelezte előre a modell 2021-ben.

Összefoglalás

A CHIMERE kémiai transzport modellel végzett előrejelzések kiértékelését végeztük el a DELTA Tool szoftver segítségével a 2021-es adatok alapján. A Budapest területére vonatkozó, 2,5 km-es felbontású modellfuttatásokból 5 állomásra vonatkozóan elemeztük a mért és a számított NO_2 , O_3 és PM_{10} koncentrációk közti különbséget.

A target diagramok alapján azt láttuk, hogy az óras adatok esetében számolt MQI az összes állomás esetén teljesült mindhárom szennyező anyagra. Az éves átlagokra vonatkozó MQO nem teljesült a NO_2 és PM_{10} adatok tekintetében. A diagramok alapján a PM_{10} és NO_2 szennyezők modellezett és mért koncentrációi közti különbségért főként a korreláció felel. A korrelációban fellépő hiba az éves kibocsátások időbeli lecsúszásában lévő bizonytalanságra vezethető vissza.

Az összefoglaló táblázatok alapján azt mondhatjuk, hogy a modell térben és időben is megfelelően szimulálja a koncentrációkat a vizsgált állomások tekintetében. PM_{10} és NO_2 szennyezőknél láthattuk, hogy van olyan állomás, ahol gyengébb a korreláció. A modell túlnyomórészt alulbecsli a szennyező anyagok koncentrációját.

A DELTA Tool szoftver használatának egy hátránya, hogy több év nem vizsgálható egyszerre, mindig csak egy adott évre vonatkozóan tudjuk értékelni vele a modellt teljesítményét. Viszont nagyon egyszerűen és gyorsan tudunk vele különböző diagramokat és táblázatokat előállítani, amelyek segítenek azonosítani a modell gyengeségeit és erősségeit. A szoftver használatának elterjedésével egységessé válhat az Európai Unión belül a modell kiértékelések elvégzésének módszertana.

Irodalomjegyzék

- Annesi-Maesano, I., 2017: The air of Europe: where are we going? *Eur Respirator Rev*, 26(146), 5. <https://doi.org/10.1183/16000617.0024-2017>
- Carnevale, C., Finzi, G., Pederzoli, A., Pisoni, E., Thunis, P., Turrini, E., and Volta, M., 2014: Applying the delta tool to support the air quality directive: evaluation of the TCAM chemical transport model. *Air Qual. Atmos. Health* 7, 335–346. <https://doi.org/10.1007/s11869-014-0240-4>
- European Environment Agency, 2011: The Application of Models Under the European Union's Air Quality Directive: A Technical Reference Guide. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/80600>
- European Union, 2008: Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. *Official J. Eur. Union L152*, 1–44.
- Ferenczi, Z., 2013: Predictability analysis of the $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} concentration in Budapest. *Időjárás* 117, 359–375.
- Georgieva, E., Syrakov, D., Prodanova, M., Etropolska, I., and Slavov, K., 2015: Evaluating the performance of WRF-CMAQ air quality modelling system in Bulgaria by means of the DELTA tool. *Int. J. Environ. Pollut.* 57, 272–284. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2015.074512>
- Gradišar, D., Shao, H., and Grašič, B., 2018: Evaluation of Delta Tool for comparison of different Air Quality Prediction models. *Sci. Enginer. Educat.* 3, 11–16.
- Janssen, S. and Thunis, P., 2020: FAIRMODE Guidance Document on Modelling Quality Objectives and Benchmarking. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/15956>
- Kushta, J., Georgiou, G.K., Proestos, Y., Christoudias, T., Thunis, P., Savvides, C., Papadopoulos, C., and Lelieveld, J., 2019: Evaluation of EU air quality standards through modeling and the FAIRMODE benchmarking methodology. *Air Qual. Atmos. Health* 12, 73–86. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0631-z>
- Monteiro, A., Durka, P., Flandorfer, C., Georgieva, E., Guerreiro, C., Kushta, J., Malherbe, L., Maiheu, B., Miranda, A. I., Santos, G., Stocker, J., Trimpeneers, E., Tognet, F., Stortini, M., Wesseling, J., Janssen, S., and Thunis, P., 2018: Strengths and weaknesses of the FAIRMODE benchmarking methodology for the evaluation of air quality models. *Air Qual. Atmos. Health* 11, 373–383. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0554-8>
- Thunis, P., Cuvelier, C., Pederzoli, A., Georgieva, E., Pernigotti, D., Degraeuwe, B., Marioni, M., and Vitali, L., 2022: DELTA Version 7.0. Concepts/Users Guide/Diagrams. Joint Research Centre, Ispra.



Hőségperiódusok vizsgálata Budapesten a XX. század elejétől napjainkig

Bokros Kinga, Lakatos Mónika

Országos Meteorológiai Szolgálat, bokros.k@met.hu

DOI: 10.56474/légkor.2022.4.4

Ebben a tanulmányban a budapesti magas hőmérséklettel kapcsolatos szélsőséges eseményeket elemeztük 1901. és 2022. között Budapest belterület állomás homogenizált adatsorát felhasználva. A klímaváltozás hatásainak eredményeként a fővárosban a 20. század eleje óta jelentősen megnőtt az összes hőségindex és hőhullám mutató éves előfordulása és intenzitása. Az UTCI humánkomfort index számítását 1997–2022 időszakra végeztük el a Budapest belterület és Budapest Pestszentlőrinc állomások adatait felhasználva. Ez alapján rámutattunk a sűrűn beépített belvárosi környezetben élő lakosság nagyobb kitettségére. Ez a cikk az előző számban (Légkör 2022/3) megjelent országos feldolgozás folytatásának tekinthető.

Examination of heat periods in Budapest since the beginning on the 20th century to the present day

In this paper we analysed the extreme events related to high temperatures in Budapest based on homogenized time series of Budapest belterület station between 1901 and 2022. As a result of the effects of climate change, the annual frequency of all extreme heat climate index and heatwave indicators has increased significantly in the capital since the beginning of the 20th century. We carried out calculation of UTCI human comfort index based on datasets of Budapest belterület and Budapest Pestszentlőrinc stations between 1997 and 2022. We pointed out the higher exposure of the population living in densely built-in area in Budapest. This article is the continuation of the paper covering the whole area of the country published in the previous issue (Légkör 2022/3).

Bevezetés

Térségünkben tapasztalható hőségperiódusok, hőhullámok számának, tartamának és intenzitásának növekvő trendje a klímaváltozásnak való kitettségünk egyik megnyilvánulása. A hőhullámok kialakulásának számos oka ismert. A kifejezetten

Közép-Európa térségére vonatkozó vizsgálatok szerint kialakulásuknak két cirkulációs helyzet kedvez: az azori-szigeteki nyomási maximum-hoz kapcsolódó magasnyomású képződmény, mely kiterjed a kontinensre, valamint a Skandináviából érkező, norvégiai középpontú anticiklonok (Tomczyk és Bednorz, 2019).

Európában a szélsőségesen magas hőmérsékletek komoly veszélyforrást jelentenek a többlethalalozás tekintetében. Például a 2003-as és 2010-es hőhullámok 127 946 bejelentett halálesetet okoztak [1]. A helyi hatásoknak, mint az orográfia, vagy a felhőzet visszasugárzása, jelentős befolyása van a hőhullámok okozta teherre, de kiemelkedő szerepe van a városi környezet beépítettségének is, ugyanis az ebből adódó városi hősziget hatás nagyban felerősíti ezen kiugróan meleg időszakok hatását. A városokra jellemző hőtöbblet miatt a hőség okozta egészségügyi kockázatoknak és a hőhullámoknak tulajdonítható többlethalalozásnak leginkább a városi lakosság van kitéve (Páldy et al., 2004; Bihari et al., 2015). A növekvő hőmérséklet hatására gyakoribbá válhatnak egyes mikrobiális eredetű élelmiszer fertőzések és -mérgezések. Számolni kell az allergén növények változó elterjedésével, növekvő pollenszórásával is (Páldy et al., 2018). A bolygó népességnövekedése mellett a városi lakosság aránya is nagyban nőtt, így a városokra jellemző magas hőmérséklettel kapcsolatos események vizsgálata elengedhetetlen az eredményes alkalmazkodási folyamat megvalósításához.

Előző hőhullámvizsgálataink Magyarország egészére vonatkoztak (Bokros és Lakatos, 2022), míg itt kifejezetten az éghajlatváltozás miatt fokozottan érintetté vált városi környezetet jellemeztük különböző hőséggel kapcsolatos indexek bemutatásával, melyhez Budapest belterület állomás adatait használtuk fel.

Ebben a cikkben a fővárosi hőségvizsgálatok elvégzéséhez részben olyan mutatókat használtunk, melyek megjelennek a KlímAdat projektben (<https://www.met.hu/klimadat/hu/kezd/index.php>) mint a hőségnapok, másodfokú hőhullámos napok, trópusi éjszakák és nyári napok száma. Cikkünkben ezeken kívül szerepel a forró napok számának 122 éves elemzése is. A tartós hőségre, hőhullámokra vonatkozóan négyféle definíciót alkalmazunk. Összehasonlítjuk az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) veszélyjelzésben használt, valamint a Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNK) által szakmailag támogatott hazai hőségriasztási rendszerben használt hőhullámfogalmakat. Ezek mellett elemezzük az Európai Unió Kopernikus programjának: Copernicus Climate

Change Services éghajlatváltozási szolgáltatásokat fejlesztő alprogramja (C3S) által működtetett „European Health Service” felületén (<https://climate.copernicus.eu/european-health-service>) található, Magyarországra szabott hőhullámos napok definícióját (Hooyberghs et al., 2019). Végül egy komplexebb hőhullám-detektálásra szolgáló eljárást mutatunk be, melyet Ouzeau és munkatársai (2016) dolgoztak ki, s az Országos Meteorológiai Szolgálat optimalizált Magyarország területére, az ország klimatikus viszonyait figyelembe véve (Simon, 2021; Lakatos, 2017).

Nyári időszakban a fővárosi, sűrűn beépített környezet sajátja a nagy hőstressz, s ez megannyi embernek, megközelítően 1,7 milliúnak, de ezen belül a belvárosi kerületekben élő lakosnak különösképp megnehezíti az életét, mely lakosság százezres nagyságrendű. Így a fent felsorolt mutatók mellett egy komplexebb humán komfortindexet (UTCI - *Universal Thermal Climate Index*) (Jendritzky et al., 2012.) is ismertetünk két fővárosi állomásra (Budapest belterület és Pestszentlőrinc), ezzel szemlélítve a bel- és külvárosi hőstressz mértékét, azok különbözőségeit 1997 és 2022 között.

Felhasznált adatok és módszerek

Elemzéseink során Budapest belterület állomás, valamint a pestszentlőrinci Marczell György Főobszervatórium adatait használtuk fel az Országos Meteorológiai Szolgálat MASH rendszerrel homogenizált (Szentimrey, 2008) adatbázisából 1901-től napjainkig, mely a hazai éghajlati változások nyomon követésére is szolgál (Izsák et al., 2021). Ennek előállítására és évenkénti frissítése az OMSZ Éghajlati Osztályán zajlik (Izsák et al., 2022). A teljes Magyarországot lefedő, 10 km-es rácsávolságú háló pontjaira tartalmaz adatokat a napi közép-, minimum- és maximumhőmérsékletre, valamint a napi csapadékösszegre 1901-től egészen napjainkig.

Az itt bemutatott hőségindexeket és a hőhullámokra jellemző mutatókat a napi középhőmérséklet, valamint a napi minimum- és maximumhőmérsékleti adatsorokból származtattuk. A trendelemzés során lineáris trendmodellt alkalmaztunk,

a trend szignifikanciájára vonatkozó hipotézisvizsgálatot t-próbával végeztük $\alpha=0,05$ valószínűségi szintre.

A hőhullám fogalmát területenként, országonként eltérő módon értelmezik, nincs hivatalos, egységes definíció sem a Meteorológiai Világszervezet (WMO), sem az Egészségügyi Világszervezet (WHO) részéről, de megfogalmaznak a hőségre, hőhullámokra vonatkozóan javaslatokat és küszöbértékeket. A WMO CCI/CLIVAR/JCOMM az éghajlatváltozás detektálásával és az arra szolgáló indexek meghatározásával foglalkozó szakértői munkacsoportja (ETCCDI) számos szélsőséges időjárási indexet definiált, melyek több nemzetközi kutatási projektben megjelennek (Klein Tank and Konnen, 2003; Karl et al., 1999). Ezek egy részét a hazai gyakorlatban is alkalmazzuk a megfigyelt változások nyomon követése céljából (Lakatos et al., 2021). Ilyen indexek például a fix küszöbökön alapuló, hazai gyakorlatban régóta használt *hőségnapok* és *forró napok*. Ezek mellett a *trópusi éjszakák* azonosítása is fontossá vált a hőhullámok vizsgálatának szempontjából. Az említett hőségmutatók definíciói az 1. táblázatban láthatóak.

Hőségnap	$T_{\max} \geq 30\text{ °C}$
Forró nap	$T_{\max} \geq 35\text{ °C}$
Trópusi éjszaka	$T_{\min} \geq 20\text{ °C}$

1. táblázat. Az alkalmazott hőségindexek definíciói.

Az egyedi küszöbátlépés mellett a hőhullámokat is elemezzük az OMSZ veszélyjelzésben, illetve a hazai hőségriasztás rendszerében használt kritériumok alapján. Ezek összehasonlító elemzése újszerűnek mondható. Magyarországon a hőségriasztások és figyelmeztetések gyakorlata jelenleg úgy alakul, hogy az Országos Meteorológiai Szolgálat veszélyjelzése nyomán a Nemzeti Népegészségügyi Központ (NNK) szakmai támogatásával az országos tisztifőorvos rendeli el a hőségriadót. Az OMSZ veszélyjelző rendszerében és az ezeken alapuló hőségriadók kihirdetésében a 2. táblázatban található 3–3 kategória szerint különülnek el az elsőfokú, másod- és harmadfokú veszélyjelzések, illetve hőségriasztások.

A C3S European Health Service Magyarországra elérhető szolgáltatásának alapja az NNK szakértői által javasolt hőhullám definíció (Páldy és Bobvos, 2014). Ezen meghatározáson belül nem jelennek meg különböző hőhullámfokozatok, valamint a küszöbérték sem tekinthető állandónak térben, ugyanis az 1981–1990 évtizedre vonatkozó, május 16. és szeptember 15. közötti időszakban értelmezett napi átlaghőmérsékletek 90. percentiliséét veszi alapul ($T_{90(1981-1990)}$), mely taggal egy dinamikus definíció áll elő, területenként eltérő $T_{90(1981-1990)}$ értékkel. Budapest belterület állomásra a $T_{90(1981-1990)}$ **25,34 °C**.

Kategóriák	OMSZ figyelmeztetés	NNK hőségriasztás	NNK/C3S European Health Service
Elsőfok	$T_{\text{átl}} \geq 25\text{ °C}$	$T_{\text{átl}} \geq 25\text{ °C}$	
Másodfok	$T_{\text{átl}} \geq 27\text{ °C}$	$T_{\text{átl}} \geq 25\text{ °C}$ min. 3 egymást követő napig	$T_{\text{átl}} \geq T_{90(1981-1990)}$ min. 3 egymást követő napon
Harmadfok	$T_{\text{átl}} \geq 29\text{ °C}$	$T_{\text{átl}} \geq 27\text{ °C}$ min. 3 egymást követő napig	

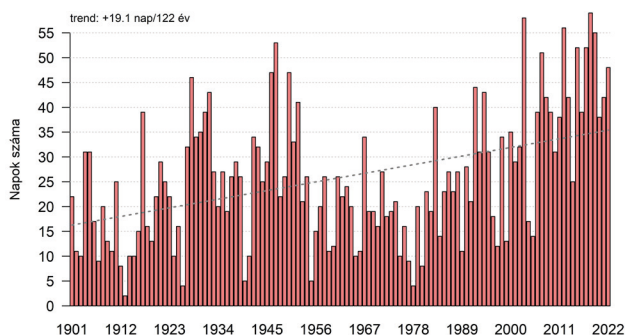
2. táblázat. Hőhullám figyelmeztetés és riasztás kritériumai.

A három fent említett meghatározáson kívül Ouzeau et al. (2016) nyomán kifejlesztett, összetettebb hőhullám-detektálási módszert hazánkra optimalizált kritériumokkal (Simon, 2021) alkalmaztunk 1901 és 2022 között. A módosított, Magyarország klimatikus viszonyaihoz igazított kritériumrendszer a következőképp épül fel: a hőhullámmeghatározás a tisztifőorvosi másodfokú hőségriasztás szerinti definíción alapul ($T_{\text{átl}} \geq 25\text{ °C}$ min. 3 egymást követő napon). Ha két, ekképp meghatározott hőségperiódus közti időszakban a napi átlaghőmérséklet 21 °C alá csökken, vagy a két hőségperiódus közti legalább 2 napon keresztül a napi középhőmérséklet 25 °C alatt maradt, a két periódust egymástól különálló hőhullámként kezeljük, ellenkező esetben egy, összefüggő hőhullámról beszélünk. A kritériumrendszer továbbá tartalmazza a hőhullám-intenzitás meghatározását, melyet a 25 fokot meghaladó napi hőmérséklet-összeggel azonosítunk (Simon, 2021).

A bel- és külvárosi hőstressz mértékének különbözőségeit a Budapest belterület és a Pest-szentlőrincen a Marczell György Főobszervatórium területén működő automata mérésekből származtatott UTCI (Univerzális Termikus Klímaindex) humán komfort index értékek összehasonlításával mutatjuk meg. Az UTCI nemcsak hőmérsékleti tényezőket vesz figyelembe, az emberi hőszabályozás modellezésén alapul, a levegő hőmérsékletének, a szélnek, a sugárzásnak és a páratartalomnak a kombinációjával áll elő. Lényegében fiziológiailag ekvivalens hőmérsékletnek tekinthető, ami annak a fiktív, bizonyos jellemzőiben standardizált beltéri környezetnek a hőmérséklete, melyben a szervezetünk ugyanolyan fiziológiai válaszreakciókat (pl. verejtékezés) ad, mint az aktuális kültéri környezetben. A számítást a Copernicus C3S_311a_Lot4 (C3Surf): Climate monitoring products for Europe based on surface in-situ observations projektben alkalmazott programcsomaggal végeztük [2]. Ebben a projektben a CarpatClim (www.carpatclim-eu.org) adatbázisra is előállítottuk a UTCI napi értékeit és emellett még számos éghajlati indexet és aszálymutatót [3].

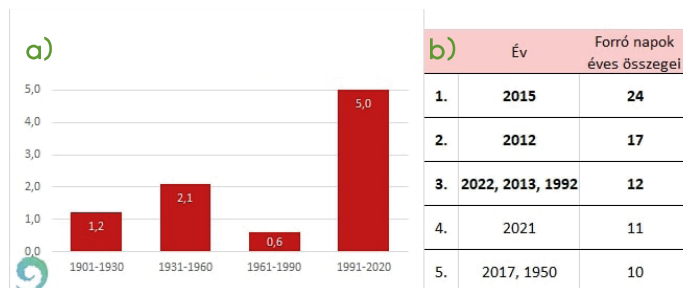
Hőségindexek vizsgálatának eredményei

Az 1. ábrán a hőségnapok éves összegei jelennek meg 1901 és 2022 között, mely időszak alatt 19,1 nappal nőtt a 30 °C feletti maximumhőmérsékletű napok éves száma. Budapesten a legtöbb hőségnapot számláló év 2018 volt, amikor 59 napon alakult 30 °C felett a napi maximumhőmérséklet.



1. ábra. Hőségnapok számának éves összegei Budapest belterület állomáson (1901–2022).

Ezt 2003 (58 nap), 2012 (56 nap), majd 2019 (55 nap) és 1947 (53 nap) követi. A 2022-es évben, amikor rekord meleg volt a nyár 1901 óta, a 8. a legtöbb hőségnapot számláló évek sorában Budapesten. Az ábráról leolvasható továbbá, hogy 1980-ban fordult elő utoljára 10 nap alatti éves összeg a hőségnapok tekintetében, ugyanakkor 2005 óta minden évben 20-nál több hőségnap fordult elő.

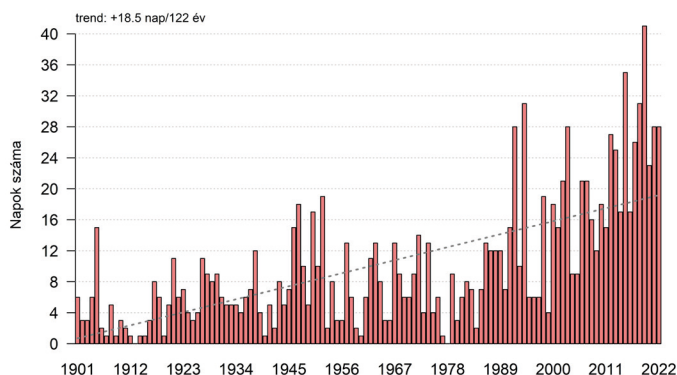


2. ábra. A forró napok számának 30 éves átlagai (a), valamint az 5 legtöbb forró napot számláló év listája (b) Budapest belterület állomáson 1901 és 2022 között.

A 30 fokos maximumok mellett a 35 °C maximumhőmérsékletet elérő (forró) napokat is elemeztük. A fővárosi forró napok 122 éves idősrátát +4,7 napos, statisztikailag szignifikáns trend jellemzi. A forró napok számának növekedése az elmúlt évtizedekben vált erőteljessé, melyet jól szemléltetnek a 30 éves normálidőszakok átlagai (2/a ábra). Az 1991–2020-ra vonatkozó átlag 5 nap, mely az előző normálidőszakok átlagai közül jelentősen kiemelkedik. Ezen 30 éven belül kifejezetten az elmúlt évtized kimagasló, 2011–2020 között átlagosan 8,4 nap volt a forró napok éves számának átlaga. Az elmúlt évek, évtizedek intenzív melegedésének tényét támasztja alá továbbá, hogy az 5 legtöbb forró napot számláló év az elmúlt évtizedből származik (2/b ábra). Az idei év a 122 év 3. legtöbb forró napját tartalmazó év volt – holtversenyben 2013-mal és 1992-vel.

A hóhullámok, hőségperiódusok velejárói a trópusi éjszakák, amikor éjszaka sem csökken a hőmérséklet 20 °C alá, mely az emberi szervezet számára igen megterhelő egy hóhullámos nap során.

Budapest esetén a trópusi éjszakák száma jelentősen nőtt 1901 óta: +18,5 napos trend jellemzi a változást 122 év alatt. Éves összegeiből kiolvasható, hogy 1978-ban volt az utolsó olyan év,



3. ábra. Trópusi éjszakák számának éves összegei Budapest belterület állomáson 1901 és 2022 között.

mikor nem volt 20 °C fölötti napi minimum egész évben, valamint szembevetendő, hogy 2005 óta nem csökkent 10 alá a trópusi éjszakák száma (3. ábra).

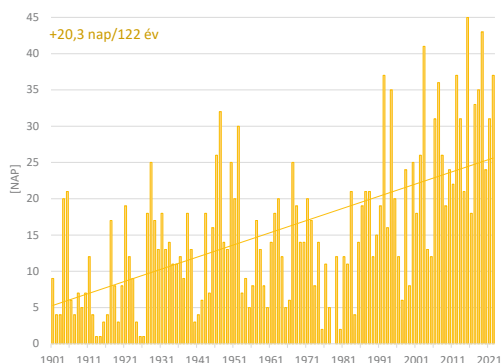
A forró napokhoz hasonlóan jelen esetben is kiemelkedik a 30 éves átlagok közül az elmúlt 30 év (1991–2020), amikor 19,0 nap volt a trópusi éjszakák átlaga, s melyhez képest jelentősen elmaradnak az előző normálidőszakok átlagai: 4,8 (1901–1930), 7,1 nap (1931–1960) és 7,6 nap (1961–1990). Az 1991–2020 normálidőszakon belül a 2011–2020-as évtized átlaga a legmagasabb (25,7 nap), mely nem csupán az elmúlt 30 éves normálidőszakból emelkedik ki, de az 1901-től számított évtizedes átlagok közt is egyedül a 2011–2020-as átlag alakul 20 nap felett. A normálidőszakok és évtizedes átlagok vizsgálata mellett a 3. táblázat alapján is kiderül, hogy az 5 legtöbb trópusi éjszakát tartalmazó év az elmúlt 30 évből származik.

	Év	Trópusi éjszakák éves összegei
1.	2019	41
2.	2015	35
3.	2019, 1994	31
4.	2022, 2021, 2003, 1992	28
5.	2012	27

3. táblázat. Az 5 legtöbb trópusi éjszakát számláló év Budapest belterület állomáson.

Hőhullámok jellemzői Budapesten

A következőkben Budapest hőhullámos napjait elemezzük a különböző hőségriasztási kategóriák szerint. A 4. ábra szemlélteti a hőhullámos



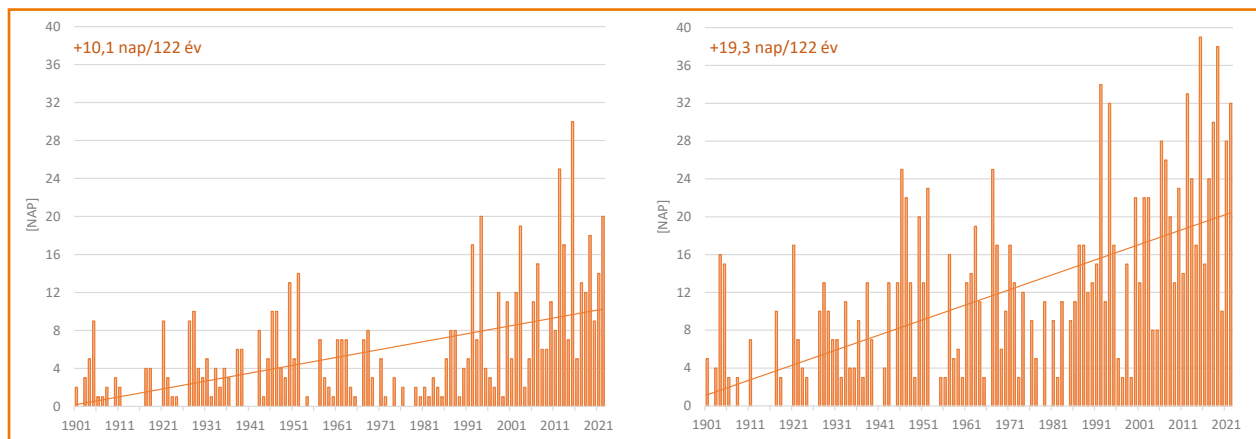
4. ábra. Elsőfokú figyelmeztetés, illetve hőségriasztás küszöbét meghaladó napok éves száma Budapest belterület állomáson (1901–2022).

napok ($T_{\text{át}} \geq 25$ °C), azaz az elsőfokú figyelmeztetés és hőségriasztás kritériumát kielégítő napok éves számát 1901 és 2022 között Budapest belterület állomáson, melynek változása igen jelentős, +20,3 nap/122 év. Míg 1901–1930 között átlagosan mindössze 8,9 nap volt Budapesten a 25 °C-ot meghaladó átlaghőmérsékletű napok száma, addig ez 1931–1960, valamint 1961–1990 között 13,5 és 12,9 napos átlagok adódtak. Az elmúlt 30 év, 1991–2020 átlaga kiemelkedik a normálidőszakok közül, a maga 25,2 napjával majdnem háromszorosan meghaladja az 1901–1930, és közel kétszeresen meghaladja a 1931–1960, 1961–1990 időszakokra vonatkozó átlagokat. A hőhullámos napok számának növekedését szemlélteti továbbá a 4. táblázat, mely megadja az 5 legtöbb ilyen napot számláló éveket. A felsorolásban 2022 is igen magas értékkel szerepel (37 nap), 2012-vel és 1992-vel együtt a 4. legtöbb hőhullámos nappal rendelkező év a sorban.

A legalább 3 napon keresztül fennálló, 25 °C átlaghőmérsékletet elérő napi középhőmérsékletek éves száma nagyobb, és a 122 éves változás

	Év	Elsőfokú hőhullámos napok évi száma
1.	2015	45
2.	2019	43
3.	2003	41
4.	2022, 2012, 1992	37
5.	2007	36

4. táblázat. Az 5 legtöbb hőhullámos napot ($T_{\text{át}} \geq 25$ °C) tartalmazó év listája.



5. ábra. Másodfokot kielégítő napok éves száma Budapest belterület állomáson az OMSZ veszélyjelzési rendszere szerint (a) és a tisztifőorvosi hőségriasztás meghatározás szerint (b) 1901 és 2022 között.

	OMSZ másodfokú	Tisztifőorvosi másodfokú	OMSZ harmadfokú	Tisztifőorvosi harmadfokú	NNK/C3S European Health Service
1901–1930	2,53	4,57	0,40	0,97	3,47
1931–1960	3,93	8,20	0,70	1,47	6,90
1961–1990	3,03	9,67	0,13	0,70	7,63
1991–2020	10,60	19,47	3,43	7,53	16,33

5. táblázat. Hőségriasztással jellemzett napok 30 éves átlagai különböző kategóriák és meghatározások szerint Budapest belterület állomásra.

is jelentősebb (+19,3 nap), mint a 27 °C átlaghőmérsékletet meghaladó napok száma, és trendje (+10,1 nap/122 év). Akár a tisztiorvosi, akár az Országos Meteorológiai Szolgálat veszélyjelzése szerinti definíciót vizsgáljuk (5. ábra), jelentős növekedést tapasztalunk: utóbbi esetén az elmúlt 30 évben tapasztalható nagymértékű növekedés, 1990-ig a három 30 éves átlag mind 4 nap alatt alakult, míg 1991–2020 időszak átlaga már 10 feletti érték (5. táblázat). Ezzel szemben a tisztifőorvosi definícióval meghatározott másodfokú hőségriasztás éves számaira egyenletesebb és nagyobb mértékű növekedés jellemző. Így a két definíció egymást kiegészítve ad információt a hőségidőszakok alakulásáról, változásáról.

A legtöbb másodfokba sorolható nap mindkét meghatározás szerint 2015-ben volt (OMSZ: 39 nap, tisztifőorvosi: 30 nap). A 27 °C átlaghőmérsékletet meghaladó napok száma 2012-ben is nagyon magas volt (25 nap), melyet 2022 és 1994 követett 20–20 nappal. A tisztifőorvosi definíció

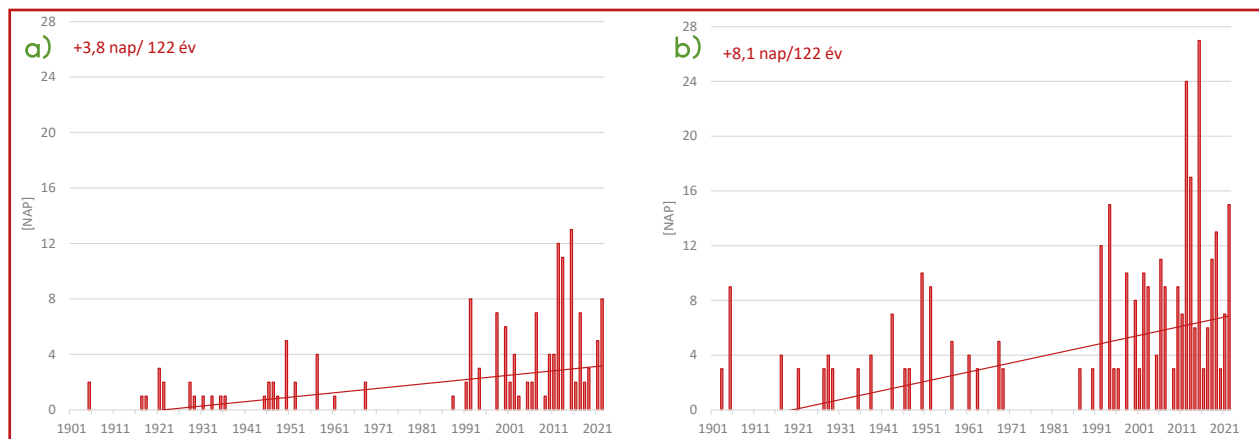
szerint 2015-öt 2019 és 1992 követte 38 és 34 nappal, de 2022 sem maradt le a legtöbb másodfokú riasztást tartalmazó évek listájában, a maga 32 napjával 5. a sorban.

A harmadfokú figyelmeztetéssel, illetve riadóval jellemezhető napok éves száma 1901–2022 között a 6. ábrán jelenik meg. Akár a 29 fokos átlaghőmérsékletet elérő, illetve meghaladó napok éves számát,

akár a legalább 3 napig fennálló és legalább 27 °C középhőmérsékletet meghaladó napokat vizsgáljuk, egyértelműen látszik a növekedés, mely kifejezetten az 1980-as évek végétől jelentős. A 30 éves átlagokat tekintve is jól látszik a tendencia, ugyanis az 1991–2020 időszakban tapasztalunk csupán magasabb átlagértékeket mindkét harmadfokot leíró meghatározás esetén (5. táblázat).

A legtöbb harmadfokú figyelmeztetést, illetve riasztást tartalmazó év mindkét definíció szerint 2015 volt (OMSZ veszélyjelzés: 13 nap, tisztifőorvosi riasztás: 27 nap). Hasonlóan megegyezik a 2., 3. és 4. hely is a sorban, ezt szemlélteti a 6. táblázat.

A C3S European Health Service által Magyarországra alkalmazott definíció (NNK/C3S European Health Service) szerinti hóhulámos napok évi számának meghatározásához az 1981–1990 május 16. és szeptember 15. közti időszakra eredményül kapott napi átlaghőmérsékletek 90. percentilis értéke **25,34 °C**, melyet legalább 3 egymást követő napon kell meghaladni a napi



6. ábra. Harmadfokot kielégítő napok éves száma Budapest belterület állomáson az OMSZ veszélyjelzési rendszere szerint (a) és a tisztifőorvosi hőségriasztás meghatározás szerint (b) 1901 és 2022 között.

	OMSZ harmadfok	Tisztifőorvosi harmadfok
1.	2015 (13 nap)	2015 (27 nap)
2.	2012 (12 nap)	2012 (24 nap)
3.	2013 (11 nap)	2013 (17 nap)
4.	2022, 1992 (8 nap)	2022, 1994 (15 nap)
5.	1998 (7 nap)	2019 (13 nap)

6. táblázat. Harmadfokú figyelmeztetések, illetve hőségriasztások átlagos éves száma és a legmagasabb értékek 1901-2022 időszakból.

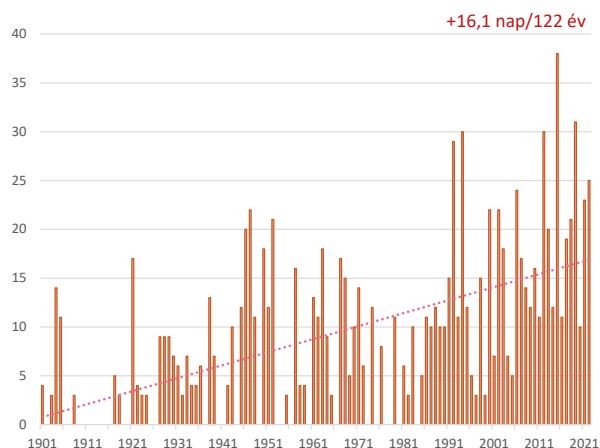
középhőmérsékletnek Budapesten, hogy hőhullám kialakulásáról beszéljünk. Az ekképp számított hőhullámos napok évi számát 1901 és 2022 között a 7. ábra szemlélteti. Mivel a fővárosra számítva a $T_{90(1981-1990)}$ érték közel esik a 25 fokok kritériumhoz, az NNK/C3S European Health Service hőhullám-definíció alkalmazásával számított hőhullámos napok évi száma nagyban megegyezik a tisztifőorvosi másodfokú hőségriasztások éves számával. 122 éves változásuk is hasonló mértékű, a trendje +16,1 nap/122 év.

Budapesten a legtöbb ekképp számított hőhullámos nap 2015-ben fordult elő (38 nap), melyet 2019 (31) és 2012, valamint 1994 követett 30–30 nappal. 2022 sem marad el sokkal a rekord évektől, a maga 25 hőhullámos napjával az 5. a 122 év közül.

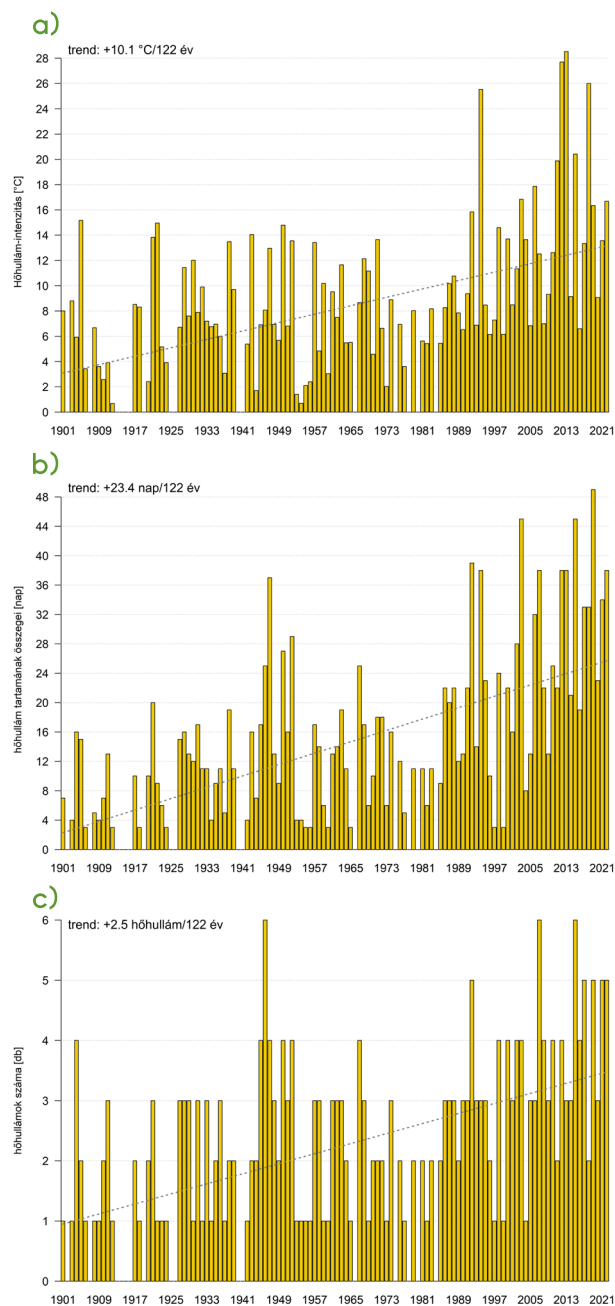
A hőhullám vizsgálatainkat az *Ouzeau et al.* (2016) nyomán kifejlesztett, összetettebb hőhullám-detektálási módszer hazánkra optimalizált változatával (*Simon*, 2021) zárjuk. Ezen hőhullám

detektálási módszer az adott hőhullám tartamát, intenzitását és tetőzését is jellemzi. Ezek mellett vizsgálja, mikor tekinthető egy hőhullámnak két egymást követő hőségperiódus. Azon időszakokat, amikor az átlaghőmérséklet legfeljebb 2 nap erejéig csökken 25°C alá és nem süllyed 21°C -ig azonos hőségperiódusnak tekinti.

A hőhullámok intenzitása megegyezik a 25°C -ot meghaladó hőösszeggel. Az adott évben bekövetkezett hőhullámok intenzitásának átlagát szemlélteti a 8/a ábra 1901 és 2022 között, melyet jelentős növekedés jellemez: $10,1^{\circ}\text{C}$ fokkal nőtt átlagosan a hőhullámok intenzitása a fővárosban a XX. század eleje óta, s mely a 1980-as évektől nagyobb ütemben növekszik. A legintenzívebb hőhullámos évek közé tartozik 2013, 2012, 2018, 1994 és 2015.



7. ábra. Az NNK/C3S European Health Service definícióval meghatározott hőhullámos napok éves száma Budapest belterületen 1901 és 2022 között.

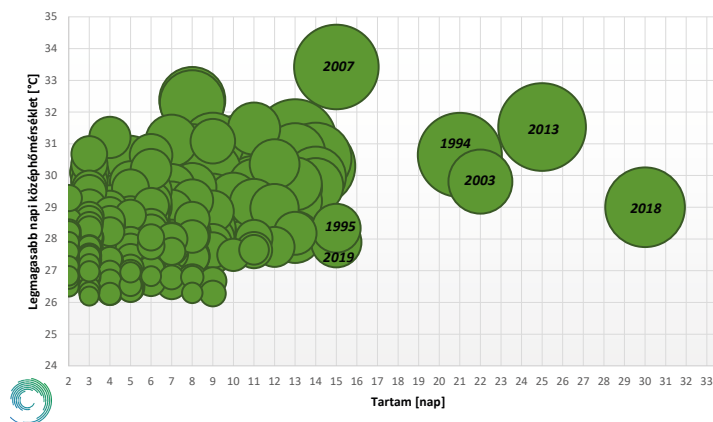


8. ábra. Átlagos hőhullám-intenzitás (a), hőhullámok tartamának éves összegei (b) és a hőhullámok éves gyakorisága (c) 1901-2022 között Budapest belterületén.

Az adott évben bekövetkezett összes hőhullámos nap (8/b ábra) is rendkívül nagymértékű, +23,4 napos növekedést mutat 1901 óta. Emellett szemléletes a különálló hőhullámok éves számának, azaz a hőhullámok gyakoriságának vizsgálata, melyet a 8/c ábra tartalmaz. Ebből leolvasható, hogy 1984 óta nem volt hőhullám-mentes

év, valamint 2004 után minden évben minimum 2 hőhullám fordult elő a fővárosban, s azóta gyakoriává vált az évi 5–6 különálló hőhullám is. A legtöbb különálló hőhullámot számláló év 2015, 2007 és 1946 volt 6–6 hőhullámmal, melyet évi 5 hőhullámmal követett 2022, 2021, 2019, 2017 és 1992. Jól látható a hőhullámok gyakoriságának növekedése, 122 éves trend statisztikailag szignifikáns, +2,5 hőhullámmal nőtt éves számuk 1901 óta.

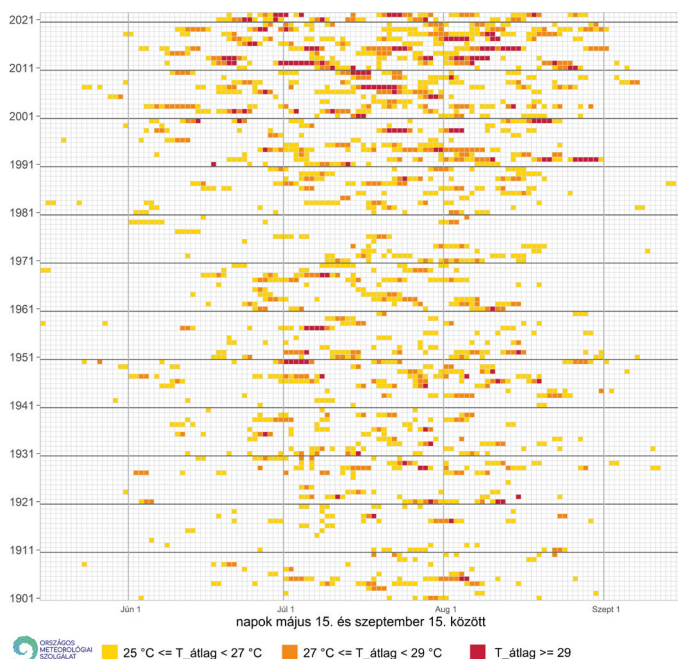
A hőhullámok egyes karakterisztikáinak elemzése mellett fontos látni a karakterisztikák egymással való kapcsolatát, viszonyát. Ennek szemléltetésére hivatott a 9. ábra, mely a hőhullámok tartama és a hőhullám során fennállt legmagasabb napi középhőmérséklet mellett a hőségperiódusok intenzitását is mutatja, ahol az intenzitás mértékét a körök mérete fejezi ki. A diagramon külön fel vannak tüntetve a 15 napnál hosszabb tartamú hőhullámot tartalmazó évek. Eszerint a leghosszabb hőhullám 2018-ban fordult elő 30 nappal, melynek intenzitása sokkal kisebb, mint a rövidebb tartamú, de intenzívebb 2013-as, vagy a 2007-es hőhullámok esetén.



9. ábra. Hőhullámok jellemzői Budapest belterület állomáson 1901 és 2022 között. A hőhullám intenzitást a körök mérete fejezi ki.

Klímaszöttek

Új produktumunkon, a klímaszötteken keresztül nem csupán az egyes évekre jellemző fővárosi hőség- és hőhullámtrendeket tekinthetjük át, de napi szinten is nyomon követhetjük az egyes évek hőségperiódusait, gyakoriságuk és tartamuk alakulását. A 10. ábra szemlélteti a május 15. és



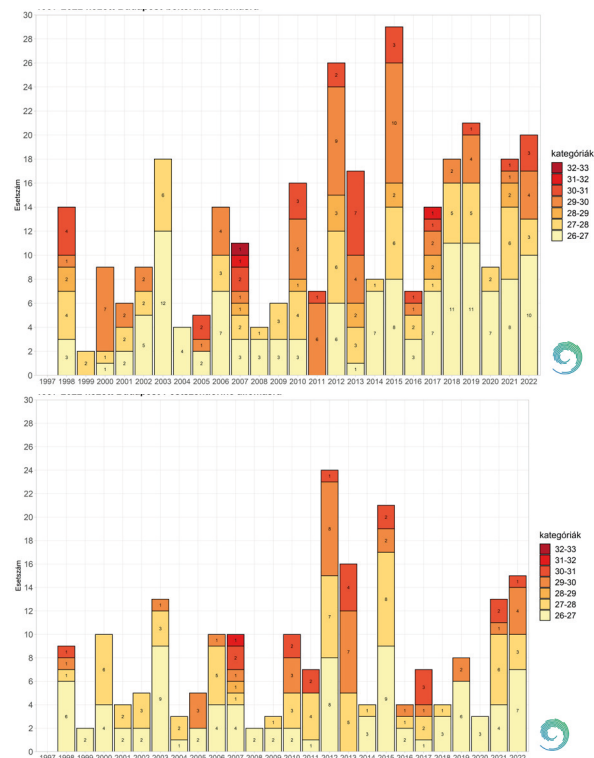
10. ábra. A hőségperiódusok Budapest belterület állomáson 1901 és 2022 között, a klímászottes.

szeptember 16. közötti napokat 1901-től 2022-ig. A napokat jelölő négyzeteket citromsárga szín tölti ki, ha a napi átlaghőmérséklet 25–27 fok közti, narancssárgával vannak jelölve azon napok, amikor a középhőmérséklet 27 °C és 29 °C között alakul, s piros színt kaptak a 29 fokot elérő, illetve meghaladó átlaghőmérsékletű napok. Egy sor egy évet jelenít meg. Ha az egyes hónapokat tekintjük, melyeket vastagabb, függőleges vonal választ el egymástól – jól kivehető, hogy míg az 1980-as évekig bezárulva júniusban alig jelentek meg 27 fokot meghaladó napi átlagértékek, addig az 1990-évektől egyre több piros négyzet tartkítja a júniusi napokat.

Jól kivehető a gyakoriság növekedése mind a narancssárgával jelölt, mind az erősebb hőstresszt szemléltető piros négyzetek tekintetében, mely növekedés jellemzően a 90-es évektől felerősödik.

UTCI humán komfortindex alakulása Budapesten

A humán komfortindex kategóriák szerinti éves összegeit szemlélteti a 11. ábra Budapest belterület (11/a ábra) és a pestszentlőrinci Observatórium területén (11/b ábra) található állomás adatai



11. ábra. Közepes és erős hőstresszes napok évi összegei az UTCI humán komfort index hőstressz-kategóriák szerint 1997-2022 között Budapest belterület (a) és Budapest Pestszentlőrinc (b) állomásokon.

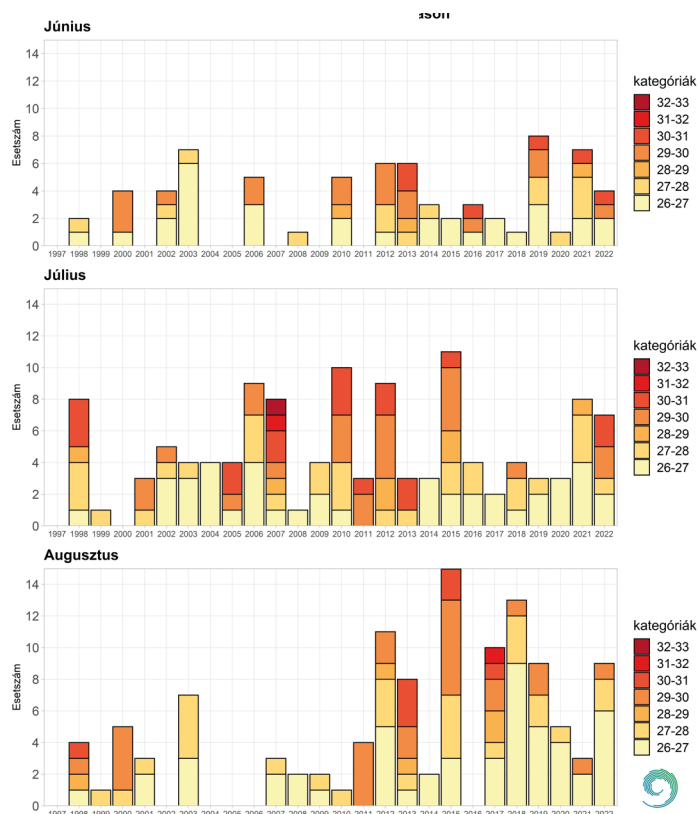
alapján. Az UTCI kategóriák az alábbiak: 46 °C fölött: extrém hőstressz; +38 °C és +46 °C között: nagyon erős hőstressz; +32 °C és +38 °C között: erős hőstressz; +26 °C és +32 °C között: közepes hőstressz; +9 °C és +26 °C között: nincs hőstressz. Ezen kategóriák szemléltetése az eddigiek során bemutatott hőség- és hőhullámmutatókat kiegészíti. Jól látható, hogy az utolsó komfortos, hőstressztől mentes év 1997 volt, azt követően minden évben legalább közepesen erős hőstressz állt fenn a nyári időszakokban (+26–32 °C UTCI). Erős hőstressz csupán a 2007 nyarán bekövetkező hőhullám során fordult elő belterületen. A főváros belterületén, illetve Pestszentlőrincen is kiemelkedő számban fordultak elő közepesen erős hőstresszes napok 2015-ben és 2013-ban, míg 2007-ben kevesebb, mint fele annyi hőstresszes nap volt tapasztalható, de a hőstressz tekintetében megjelennek magasabb kategóriák. Ugyanezt láthatjuk a 9. ábrán is, ahol a 2007-ben bekövetkezett, 15 nap tartamú hőhullám esetén nagyobb intenzitás (54,1 °C) és magasabb

csúcshőmérséklet (33,4 °C) jelenik meg, mint 2013, vagy 2018 esetén, amikor – bár a hőhullám tartama hosszabbnak bizonyult, – az intenzitása, valamint a tetőzése is alacsonyabb volt.

A bel- és külterületet közt eltéréseket tapasztalunk mind a hőstresszes napok évi összegei, mind az előforduló UTCI kategóriák között. Belterületen több hőstresszes nap jellemző, s több nap tartozik magasabb hőstressz-kategóriába, mint a pestszentlőrinci állomás adataival számolt humán komfortindex tekintetében. A hőstresszes napok számában a legnagyobb eltérés 2018-ban és 2019-ben fordult elő, amikor a belterületen 14, illetve 13 nappal több esetben fordult elő közepesen erős hőstresszes nap.

Az elmúlt 26 évben jelentősen, 13 nappal nőtt belterületen a hőstresszes napok száma, míg a főváros külterületén 1997 óta nem volt statisztikailag szignifikáns növekedés.

A humán komfortindex kategóriáinak éves áttekintése mellett a hőstresszes napok havi eloszlását is vizsgáltuk a nyári hónapokra, a főváros belterületére (12. ábra). Az egyes hónapok esetén más-más esetszámok és változás figyelhető meg. A júniusi idősor esetén mind a hőstresszes napok számában, mind a hőstressz mértékében kismértékű növekedést tapasztalunk. 2011 óta nem volt hőstressz-mentes június a fővárosban, valamint 2013 előtt nem fordult elő 5. kategóriájú hőstressz (30–31 °C UTCI), 2013-tól kezdve több évben előfordult ezen hőstressz-kategória (2016-ban, 2019-ben, 2021 és 2022 években egyaránt). A nyár eleji hőstresszes időszakok növekedésének komoly egészségügyi hatásai ismertek: a kora nyári extrém hőségek, és nagy hőstressz sokkal nagyobb mértékben járul hozzá a hőhullámoknak tulajdonítható többlethalálozáshoz, mint a késő nyári hőhullámos periódusok, ugyanis a nyár előrehaladtával az adaptációs készség megnő (Páldy, et al., 2004). A legtöbb hőstresszes nappal terhelt hónap a július, 2000 óta minden évben előfordult közepes-, vagy erős hőstresszes július. A 26 éves júliusi idősorban statisztikailag szignifikáns változás nem következett be, nem úgy, mint augusztusban: a nyár utolsó hónapjában 26 év alatt 7,5 nappal nőtt a hőstresszes napok száma.



12. ábra. Közepes és erős hőstresszes napok évi összegei az UTCI humán komfort index hőstressz-kategóriák szerint június, július és augusztus hónapokban 1997-2022 között Budapest belterületén.

Ugyanerre következtethetünk a klímaszöttes példájából: augusztusban nőtt a leginkább a küszöb-átlépések gyakorisága (10. ábra).

Összefoglalás

A fővárosi nyarak nagymértékben melegek a XX. század eleje óta. A nyári átlag- és minimumhőmérséklet 1,9 °C-kal, míg a maximum 2 fokkal nőtt 122 év alatt, melyek hőmérsékleti extrémításokhoz vezetnek. Elemzésünk során Budapest magas hőmérséklettel kapcsolatos szélsőséges eseményeit vizsgáltuk. A klímaváltozás hatásainak eredményeképp a XX. század eleje óta minden hőségmutató éves gyakorisága jelentősen növekedett mind országosan (Bokros és Lakatos, 2022), mind pedig a fővárosban.

Az itt bemutatott, napi maximum-, illetve minimumhőmérséklethez köthető hőség indikátorok szerint a legnagyobb hőteher az alábbi években jelentkezett:

2015, 2012, 2010, 2007, 2003, de országos szinten 2021-re is magas értékek születtek. A fővárosi vizsgálatok szerint 2021-ben és 2022-ben is igen nagy számban fordultak elő forró napok, hőségnapok, trópusi éjszakák és hőhullámos napok is.

Egy összetettebb hőhullámdetektálási módszer segítségével bemutattuk a budapesti hőhullámok átlagos intenzitásának változását, mely több, mint 10 °C-kal nőtt a XX. század eleje óta, de a fővárosi hőhullámos napok éves száma is igen nagymértékben, több mint 23 nappal növekedett. A nyári időszak egyre emelkedő hőmérsékleti értékei, és hőségmutatóinak növekedése tehát vitathatatlan. A városi lakosságot kifejezetten érintő, több meteorológiai paraméteren alapuló hőstresszes (UTCI) napok összehasonlító elemzését az 1997 és 2022 közötti időszakra végeztük el a Belterületen és Pestszentlőrincen működő automata mérések felhasználásával. Ennek eredményei összhangban állnak a hőhullámos napok, hőség-, illetve forró napok éves összegeivel, s egyértelműen rámutatnak a belterületen élő lakosság nagyobb kitettségére.

Irodalom

- Bihari Z., Hoffmann L., Lakatos M., Marton A., Németh Á., Sábitz J., Szépszó G., Zsebeházi G., Vincze E., Wachtel Dobi I., Páldy A., Bobvos J., Málnási T., Rudnai T., Bódi-Koós N., Czikoráné Balázs E., Bognár B., Sági G., Horváth A., Kovács A., Unger J., 2015: A klímaváltozás okozta sérülékenység vizsgálata, különös tekintettel a turizmusra és a kritikus infrastruktúrákra (KRITÉR). <https://www.met.hu/KRITeR/hu/publikacio/#cikk>
- Bokros K., Lakatos M., 2022: Hőségperiódusok vizsgálata Magyarországon a XX. század elejétől napjainkig *Légekör* 67(3). 130–140.
- Hooyberghs, H., Berckmans, J., Lefebvre, F., and De Ridder, K., 2019: C3S_422_Lot2 SIS European Health. Spells extra documentation. (letöltés: 2022. szeptember 30.) http://urban-climate.copernicus-climate.eu/documents/Spells_extra_documentation.pdf
- Izsák B., Bihari Z., és Szentes O., 2021: Éghajlatváltozás: homogenizált vagy nyers adatsorokat vizsgáljak? *Légekör* 66(3), 12–15.
- Izsák B., Szentimrey T., Lakatos M., Pongracz R., and 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>
- Karl, T.R., Nicholls, N., and Ghazi, A., 1999: CLIVAR/GCOS/ WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climat. Change* 42, 3–7. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9265-9_2
- Klein Tank, A.M.G. and Konnen, G.P., 2003. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99. *J. Climate*. 16, 3665–3680. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<3665:THIOD-T>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<3665:THIOD-T>2.0.CO;2)
- Lakatos M., 2017: Hőhullám leltár. https://www.met.hu/ismetret-tar/meteorologiai_hirek/index.php?id=1951
- Lakatos M., Bihari Z., Izsák B., Marton A., és Szentes O., 2021: Megfigyelt éghajlati változások Magyarországon. *Légekör* 66(3), 5–11.
- Ouzeau, G., Soubeyroux, J-M., Schneider, M., Vautard, R., Plan-ton, 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.
- Páldy, A., Erdei, E., Bobvos, J., Ferenczi, E., Nádor, G., és Szabó, J., 2004: A klímaváltozás egészségi hatásai. *Egészségtudomány* 48, 220–236.
- Páldy A. and Bobvos J. 2014: Health impacts of climate change in Hungary - a review of results and possibilities to help adaptation. *Centr. Eur. J. Occup. Environ. Medc.* 20, 51–67.
- Páldy A., Bobvos J. és Málnási T., 2018: A klímaváltozás hatása egészségünkre és az egészségügyre Magyarországon. *Magyar Tudomány* 179, 1336–1348. <https://doi.org/10.1556/2065.179.2018.9.7>
- Simon Cs., 2021: Hőhullám kategóriák és trendek Magyarországon. Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Budapest (témavezető: Lakatos Mónika, Kis Anna)
- 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.
- Tomczyk, A. M., Bednorz, E., 2019: Heat waves in Central Europe and tropospheric anomalies of temperature and geopotential heights. *International Journal of Climatology*, 39, 4189–4205. <https://doi.org/10.1002/joc.6067>

Hivatkozások

- [1] <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate/Europe> letöltés ideje: 2022. november 8.
- [2] https://surfobs.climate.copernicus.eu/documents/C3S_D311a_Lot4.3.1.10_script_and_manual_UTCI_v1.pdf letöltés ideje: 2022. november 8.
- [3] https://surfobs.climate.copernicus.eu/dataaccess/access_carpacim_indices.php letöltés ideje: 2022. november 8.



Interjú dr. Bonta Imrével, nyugdíjba vonulása alkalmából

Németh Ákos

Országos Meteorológiai Szolgálat, nemeth.a@met.hu

Dr. Bonta Imrével, az Országos Meteorológiai Szolgálat volt főosztályvezetőjével, nemzetközi kapcsolatokért felelős nyugalmazott főmunkatársával beszélgettünk.

NÁ: Örülök, hogy elfogadtad a felkérést egy beszélgetésre az „OMSZ-os” életutadról.

Ha jól tudom, közel 40 éve dolgozol az Országos Meteorológiai Szolgálatnál, igaz ez? És ebből mennyi volt a vezető beosztásban eltöltött idő?

BI: Igen, pontosabban 40 és fél éve dolgozom itt, ebből összesen 15 évig voltam vezető beosztásban.

NÁ: Ez a több, mint 40 év manapság sok egy helyen, hiszen ma már nem divatos ennyi időt egy munkahelyen eltölteni. Hogyan telt mégis ez az idő?

BI: A szakterületet illetően – leszámítva az utolsó három évet – végig az előrejelzéshez kapcsolódott a munkám. Azért lettem meteorológus, hogy előrejelző lehessenek. Gyerekkoromban ez volt a hobbim, így klassz dolog, hogy részben a hobbimat csinálhattam tovább. Lehet, hogy egy külső szemlélő számára egyhangúnak tűnik, hogy ilyen sokáig ugyanazon a szakterületen dolgoztam, de egyrészt ez volt a kedvenc szakterületem, másrészt a változatos beosztásaim miatt egyáltalán nem volt egyhangú ez az időszak.

Az első 10 évben előrejelző és fejlesztő is voltam, viszonylag sokat publikáltam, és ekkor írtam meg

a doktori értekezésemet is „Nagy csapadékot adó mezoleptékkü rendszerek vizsgálata a Duna és a Tisza vízgyűjtő területén” címmel. Ezt követően először 1991 és 1998 között, majd 2003 és 2008 között operatív előrejelzőként dolgoztam. A két operatív időszak között 1998 és 2003 között voltam már az Időjárás-előrejelző Osztály vezetője, majd 2009-től újra osztályvezető lettem. 2011-től 2019-ig pedig az Előrejelzési Főosztály vezetője voltam. Az utolsó három évben elsősorban nemzetközi tevékenységgel foglalkoztam. A nemzetközi tevékenységbe egyébként már az 1980-as években bekapcsolódtam, emiatt elég gyakran voltam külföldön. Toulouse-ban kétszer másfél hónapot töltöttem tanulmányúton, Németországban először ösztöndíjasként 1989-ben, majd munkavállalóként 1998-ban dolgoztam egy-egy hónapot. A meteorológiai tanszéken 6 évig tartottam az ELTE-n szinoptika gyakorlatot, a kolozsvári Babes-Bolyai Egyetemen pedig 10 évig tanítottam. Összesen 14 alkalommal voltam témavezető. Így döntően egy szakterülethez kötődtem, de összességében elég változatos volt ez a 40 és fél év.



Németországi továbbképzésen (Langen, 1992).

NÁ: Soha nem merült fel benned, hogy váltsál, és más területen helyezkedj el?

BI: Nem.

NÁ: Említetted, hogy gyerekként is előrejelző szeretnél volna lenni. Végül is valóra vált az álmod. Azt kaptad, amit elképzeltél gyerekkorodban?

BI: Az elején nem kifejezetten előrejelző akartam lenni, hanem elkezdett érdekelni az időjárás: még 10 éves sem voltam, amikor naplózni kezdtem, hogy milyen idő van. Nem véletlen, hogy télen vágtam bele a jegyzetelésbe, mert alapvetően a téli időjárás érdekelt. Gyerekkoromban már felfigyeltem arra, hogy vannak olyan telek, amikor több hó van, és van olyan, amikor kevesebb. Elkezdtem összehasonlítani az egyes éveket. Ez számomra hobbi volt, és csupán közvetlenül az egyetemi felvételi előtt fogalmazódott meg, hogy akár előrejelző is lehetnék. A gimnáziumban sokáig nem is akartam meteorológus lenni. Volt olyan időszak, amikor a közgazdász pálya vonzott, mert a földrajz mindig a kedvenc tárgyam volt. De szerettem a történelmet is, viszont a matematika nem állt kifejezetten közel hozzám. Emlékszem, hogy második gimnazista koromban a közgazdász pálya után építész akartam lenni, mert egyébként mindig jól rajzoltam, és az építészet mellett a képzőművészet is érdekelt. Amikor a továbbtanulásra vonatkozó kérdésekre azt válaszoltam, hogy építész szeretnék lenni, a tanárain csodálkoztak, hiszen ehhez jó sok matematika kellett. A Trefort Gimnáziumba jártam, ami akkor is egy erős iskolának számított. A gimnázium harmadik évében matematikából még hármás, fizikából pedig csak négyes voltam, miközben töriből az egyik legjobb tanuló.

Negyedikes gimnazistaként az utolsó pillanatban aztán eldöntöttem, hogy az akkor induló földtudomány szakra jelentkezem, ahonnan esély nyílt, hogy meteorológiára szakosodjak. Egyébként a matek felvételem négyesre, a fizika pedig ötösre sikerült.

NÁ: Most ilyen tapasztalt fejjel, el tudod magad képzelni építészként?

BI: Ma már nem. Édesapám építészként dolgozott, így volt egy családi vonulata is ennek a dolognak. Szerettem térképeket, épületeket rajzolni. Édesapám számára kicsit csalódás volt, hogy nem léptem a nyomdokaiba. Nem bántam meg, hogy nem építész lettem. Amikor a meteorológiára váltottam az volt bennem, hogy a meteorológiai nagyon érdekel, de tudtam, hogy nem minden területe vonz. A meteorológiai műszerek például soha nem érdekelték. De minden, ami előrejelzéssel kapcsolatos az megfogott.

NÁ: Kikkel végeztél együtt?

BI: Az évfolyamon heten végeztünk, közülük rajtam kívül még ketten lettek tartósan OMSZ-osok: Dobosi Erzsi és Tóth Zoli.

NÁ: Lehet, hogy manapság túlképzés van. Amikor ide kerültél az OMSZ-hoz, rögtön előrejelző lettél?

BI: Csak részben, mert igazából annak idején több osztály fedte le az előrejelzést. Volt Rövidtávú Előrejelző Osztály, Középtávú Előrejelző Osztály és egy Csapadék-szinoptikai Osztály, ahova legelőször kerültem.

Itt 50-50%-ban operatív munka és fejlesztés is volt. Nem kifejezetten ez az osztály volt az álmod, de nagyon megszerettem. Bodolainé Jakus Emma volt a vezetőnk, aki nagyon jó hangulatú osztályt alakított ki.

NÁ: A csapadékhöz való kötődés megmaradt? Én úgy ismertelek meg, hogy Homoki Katalinnal ketten a hidrometeorológiai előrejelzésekben ti vagytok a „nagy öregek”, számtalan szakmai írás kötődik a nevetekhez.

BI: A doktori értekezésem is ehhez a témához kapcsolódott. A Magyar-Román Hidrológiai Bizottságban is benne voltam, valamint jelenleg is tagja vagyok a Vízügyi Tudományos Tanácsnak. A publikációim nagy része is a csapadék-szinoptikához kötődött.

NÁ: Most már van összehasonlítási alapod. Az előrejelző munkája nehezebb volt akkoriban, mint most?

BI: Sokkal nehezebb volt, mert összehasonlíthatatlanul kevesebb információ állt rendelkezésünkre, mint ma. A 80-as években gyakorlatilag számítógépes modell előrejelzés nem létezett. Volt egy négyrészes faximile térkép, melyen nehézkesen olvasható térképek voltak, az 500 és 850 hPa-os nyomási mezők hőmérsékleti és nyomási viszonyait jelezte előre 3 napra. Ez volt az összes információ. A 80-as évek közepétől már óránként rendelkezésre álltak radar adatok, de a mainál sokkal gyengébb minőségben. A műholdkép naponta egyszer jött, amit az előrejelző rövidtávon nyilván nem tudott használni.

A 90-es évektől kezdődően óriásit fejlődött ez a szakterület. Ma már van egy nagyon jó megjelenítő rendszerünk a HAWK, ami a maga nemében egyedülálló. A 2000-es évek elejéig volt 6-7 év, mely technikai forradalomnak tekinthető az előrejelzés területén, ekkor kezdtük el széleskörűen használni a modell előrejelzéseket. A mai előrejelző több száz meteorológiai mezőt tekint át, míg végül megalkotja a prognózist. Összemérhetetlenül több megfigyelési adat áll rendelkezésre. A mai technikát



Operatív szolgálatban (2003).

nem lehet összehasonlítani a 80-as évekével. Akkoriban sok volt a kézzel végzett munka: a térképek rajzolását több technikus végezte, az előrejelzési osztályokon összesen 30 technikus dolgozott segítve a szinoptikusok munkáját.

NÁ: **Mi a véleményed arról, hogy sokan még ma is azt mondják, hogy a meteorológusok csak jósólnak, és azt sem tudják másnap milyen idő lesz?**

BI: A meteorológia elfogadottsága sokat javult az elmúlt évtizedekben. Bár a médiában vannak, akik úgy gondolják, hogy értenek a meteorológiához, mégis sokszor értelmetlen kérdéseket tesznek fel. Mivel javul a prognózisok beválása, az emberek hozzáállása is érezhetően pozitív irányba változik.

NÁ: **Említetted, hogy 1991-ben védted meg a doktori értekezésed, akár a kutatás felé is mehetnél volna?**

BI: Az operatív tevékenység mellett, amíg nem lettem vezető, fejlesztési, kutatási feladatokat is végeztem. Az operatív munkát azonban mindig nagyon izgalmasnak gondoltam, nincs két egyforma időjárási helyzet, és mindig egy kicsit játék volt számomra az előrejelzés. Az ember igyekszik minél pontosabban eltalálni a másnapra szóló időjárást, tudva azt, hogy 100%-os sosem lesz a prognózis. Változatos, érdekes az előrejelző munkája, persze minden munkafolyamatban van olyan is, ami nem volt a kedvencem. Olyan előrejelzővel még nem találkoztam, aki kifejezetten szerette volna a mezőszerkesztést, a kódolást, vagy a Napijelentés elkészítését. Valószínűleg ezerszer leírtam, hogy „Izland felett ciklon örvénylik...”. Úgy gondolom összességében változatos, izgalmas területen dolgoztam. Nem véletlen, hogy amikor 2003-ban egy átszervezés következtében megszűnt a vezetői pozícióm, inkább az operatív szolgálatba mentem vissza. Nem akartam fejlesztő lenni, vagy épp előrejelzések verifikálásával foglalkozni.

NÁ: **Az operatív szolgálatban dolgozók között viszonylag kevesen rendelkeznek doktori fokozattal.**

BI: Ennek oka, hogy elég nehéz összeegyeztetni az operatív feladatokat egy doktori készíttéssel együtt járó sziszifuszi kutatással.

NÁ: **Csak ez az oka?**

BI: Igen alapvetően ez. Persze ok az is, hogy jelenleg az OMSZ-ban nem igazán érdekeltek

a kollégák, hogy doktori fokozatot szerezzenek. Mindezek ellenére most is több fiatal előreljövő tudok, aki belevágott ennek megszerzésébe, valójában ezt szabadidejükben tudják megvalósítani. Én abban a szerencsés helyzetben voltam, hogy 1981–1991 között fejlesztőként is dolgoztam, emiatt több időm volt a doktorival foglalkozni.

NÁ: Miután oktattál egyetemeken és témavezető is voltál, ez nem vonzott annyira, hogy elmenjél egyetemi oktatónak?

BI: 2000 körül konkrétan megkeresett a tanszék, hogy menjek át egyetemi oktatónak. Akkor felmerült bennem a félállás lehetősége. Az akkori elnök, Mersich Iván nem támogatta, hogy vezetőként félállásban oktató legyek. Teljes állásba meg nem akartam elmenni az ELTE-re.

NÁ: A kezded alól kikerült diákok közül többen vannak (voltak) az OMSZ-nál?

BI: Igen, sokan: Zsótér Ervin, Hirsch Tamás, Gaál Áron, Reisz András, Fehér Balázs, Mesterházy András, Darányi Mariann, Szabó László, Polgár Attila, Fodor Zoltán, Babolcsai György.

NÁ: Biztos jó érzéssel tölt el, hogy egykori diákjaid sikeres szakemberek lettek.

BI: Örülök neki, de nem értékelném túl a témavezetést. A legtöbbjük nagyon elhivatott volt, és én csak az i-re tettem fel a pontot a témavezetéssel. Többségében olyan diákjaim voltak, akiket csak hellyel-közzel kellett vezetni, mert eléggé kialakult elképzelésük volt a témájukról.

NÁ: Áttérve a vezetésre. Mindig izgalommal járhat, amikor az embert először kéri fel erre. Te hogy érezted magad?

BI: 1998-ban pályáztam meg az Időjárás-előreljövő Osztály vezetői tisztségét. Három jelentkező közül engem neveztek ki. Érdekes, hogy amikor másodszor merült fel 2008-ban, hogy osztályvezető legyek, és Buránszkiné Sallai Márta főosztályvezető behívott, hogy szeretne megbízni az Időjárás-előreljövő Osztály vezetésével, akkor ezt csak két nap gondolkodási idő után vállaltam el.

NÁ: Mi szükséges ahhoz, hogy egy szakmai osztály vezetésében jó, sikeres legyél?

BI: Hogy én sikeres voltam-e, azt nem én vagyok hivatott eldönteni. Nem könnyű vezetőnek lenni. Talán a legnehezebb feladat, hogy egyidejűleg kell megfelelni a beosztott kollégáknak és a fölöttem



Ember Zsuzsi nyugdíjas búcsúztatóján Ember Zsuzsa, Turányi Márta és Németh Lajos társaságában (OMSZ, 2004).

lévő vezetőknek. Egy operatív szolgálatban lévő szakembernek ilyen szempontból nagyon jó dolga van, mert szinte nincs főnöke. Gyakorlatilag ő a főnök az adott napon, mert ő felel a prognózis készítéséért. A főnökei közvetlenül nem szólnak bele a munkájába. Szóval ezt adtam fel, amikor elvállaltam egy osztály vezetését. Beosztott előreljövőként a kollégáimmal általában jól kijöttem, főnökeim pedig többnyire dicsérték. Amikor vezető lesz az ember, teljesen megváltozik a szerepe. Folyamatosan jönnek a problémák, és azokat meg kell oldani. Az sem kellemes érzés, bár ezt inkább csak a vége fele éreztem, hogy ha a felsőbb vezetés részéről nincs meg a kellő bizalom. A vezetői munka mindenképp egy nehezebb műfaj. Mindamelletts elsősorban azért vállaltam a vezetői beosztást, mert egy kihívásnak tekintettem. Miközben operatív előreljövőként nagyon élveztem a prognózis készítés folyamatát, egy idő után úgy éreztem, hogy több mindent szeretnék csinálni. Érdekeltek az OMSZ gazdasági ügyei, és más területek is. Vezető beosztásban több dologgal volt lehetőségem foglalkozni.

NÁ: A mai fiatalokban nem feltétlenül van meg ez a szervezethez való hűség, hogy a nehézségeket is átvészelve maradjanak. Problémák esetén gyorsan váltanak.

BI: Fontos, hogy mennyire szereti az ember a szakmáját. És az is, hogy mire kényszeríti rá az élet. A 1990-es évek elején sokan elmentek az OMSZ-tól, volt aki általános iskolába ment matematikát tanítani, mert még ott is jobban kerestek, mint az OMSZ-nál. Akkor még nem voltam családos, tehát ezeket az időszakokat át tudtam vészelni. Mindig vannak olyanok, akik annyira szeretik ezt a szakmát, hogy lenyelik a rosszabb anyagi feltételeket és maradnak. Mindenesetre a mi generációnkra inkább jellemző volt, hogy kitartott az OMSZ mellett.

NÁ: Az OMSZ a te nézőpontod szerint sokat változott? Hogyan látod az OMSZ ívét ez alatt a 40 év alatt?

BI: Voltak nagy hullámvölgyek. Például a rendszerváltás környékén volt egy nagy leépítési hullám. 1991-ig a Csapadék-szinoptikai Osztályon dolgoztam, ahol a karcsúsítás után a 7–8 kolléga helyett ketten láttuk el a feladatokat. A legutolsó nagy leépítési hullám 2006-ban volt, akkor az egyik hétfőn bejöttem és a kollégák azzal fogadtak, hogy nem vagyok rajta a listán. Kérdeztem milyen listán? Kiderült, hogy előző hét pénteken készítette el a vezetőség az elküldendő névsorát.

Gazdasági tekintetben is voltak nagy változások. Az úgynevezett „aranykor” a 90-es évek közepétől kezdődött. Az akkori elnök, Mersich Iván javaslatára köztisztviselők lettünk, amivel olyan státuszt kaptunk, ami akkor kiemelt fizetést jelentett. Jelentős fizetésemelést kaptunk éveken keresztül. Az OMSZ – elsősorban a piaci bevételeiből – több havi jutalmat, 13. havi fizetést adott. 2008 után, összefüggésben a világgazdasági válsággal, megvonták a 13. havi fizetést, és a jutalom is jóval kevesebb lett. Az én szemszögemből a hangulat nem sokat változott. Az OMSZ-ban összehasonlítva más munkahelyekkel mindig családias volt a légkör.

NÁ: Vezetőként mennyire fontos, hogy ki az elnök? Visszatekintve, hosszú idő távlatában mindig szakmabeli volt az elnök, de kimondottan előrejelző nem volt közöttük az elmúlt 40 év alatt.

BI: Elnökhelyettes viszont volt, Vissy Károly személyében. Az elnök személye természetesen meghatározó. Mersich Iván például olyan típusú elnök volt, aki minden területen képből akart lenni (és képből is volt), sokszor olyan dolgokban is, ami

részletkérdésnek tűnt. Voltak aztán olyan elnökök, akik abszolút ránk bízta a szakmai dolgokat. Olyan esetre nem nagyon emlékszem, mikor az elnök felülbírált volna szakmai kérdésekben.

NÁ: Egy évszám előkerült: 2006. Az ominózus augusztus 20-a, amikor osztályvezető voltál.

BI: Akkor épp operatív előrejelzőként dolgoztam, és szolgálatban is voltam este hétig. Az köztudott, hogy aznap szakmailag teljesen korrekt előrejelzés született az esti viharra vonatkozóan. A fő problémát az okozta, hogy nem volt még Operatív Törzs, ami koordinálta volna az egész rendezvényt és a kapcsolattartást a szervezőkkel.



Vezetői irodában (2013).

NÁ: Szakmai életedben volt még ilyen izgalmas időszak?

BI: Kifejezetten izgalmas munka a balatoni viharjelzés is, ott egy nagyságrenddel nagyobb a stressz, mint az általános előrejelzés területén. Amikor az ember egyedül van a toronyban és több százezer ember fürdik a Balatonban, és tudod, hogy rajtad múlik az emberek élete, az nagyon megterhelő. Ennek ellenére nagyon szerettem ezt a munkát és a környezetet is, bár valószínűleg a stresszes munka miatt gyakran az álmaimban is megjelenik. A 2000-es évek végéig 15 évig jártam le a Balatonra a nyári időszakban. Vezetőként már nem végeztem ezt a munkát.

NÁ: És mi a médiával a helyzet?

BI: A média igazából nem vonzott, de a rádiózást szívesen csináltam. A 80-as évek közepén a Danubius rádió egyik műsorában német nyelvű



Előrejelző osztályok vezetőinek találkozója (Varsó, 2014).

prognózist kellett bemondani. Olyan előrejelzőt kerestek, aki németül meg tudja oldani a feladatot, és a műsorvezető kérdéseire németül is tud válaszolni. Bekerültem a csapatba, és kb. 3–4 évig foglalkoztam ezzel, majd a Rövidtávú Előrejelző osztályra kerültem, ahol rendszeresen megszólaltam más rádiókban is. A legtöbbit az INFO rádióban szerepeltem. A televíziózás nem igazán vonzott, de nem is lettem volna alkalmas erre.

NÁ: Vezetőként vagy előrejelzőként hogyan viszonyultál a piacon lévő konkurenciához? Kellett ezzel foglalkoznod?

BI: A privát cégek az OMSZ mellett mindig léteztek, ezek igyekeztek megtalálni a saját profiljukat, de az OMSZ monopóliumát sohasem veszélyeztették. Nagyon ritkán fordult elő, hogy az OMSZ-tól elhalásztak volna cégeket. Ez inkább a médiánál volt jellemző.

NÁ: Egy kicsit visszaugrok az időben. Említetted a külföldi útjaidat melyek a rendszerváltás előtt voltak. Beszelnél még erről?

BI: Van olyan út, ami előtte volt, van amelyik később. 1989-ben a németországi ösztöndíjam alatt a rendszerváltás idején a német TV híradójában néztem, hogyan engedi át Magyarország a menekülteket.

NÁ: Nem merült fel benned, hogy külföldön maradj? Nem feltétlenül, hogy karriert csinálj, hanem a még több tudásért? Vagy így pont elégséges volt, amennyi időt külföldön töltöttél?

BI: Ez utóbbi inkább. Tóth Zoli évfolyamtársam kiment Amerikába a 80-as évek közepén, és tudományos karriert csinált. Én nem voltam az a típus, aki Magyarországtól távol tudna élni, ennek családi okai is voltak. A két hónapos toulouse-i út után például már nagyon szívesen jöttem haza.

NÁ: Amit külföldön láttál és tapasztaltál, tudtad itthon hasznosítani?

BI: Mindenképpen. Toulouse-ban mindkét alkalommal modell fejlesztőként dolgoztam. A feladatom volt az Aladin modell kiértékelése, illetve a modellt úgy kellett parametrizálni, hogy jobb legyen a beválása. A németországi munkám inkább kötődött az előrejelzéshez. Voltam rengeteget users-meeting-en az ECMWF-ben. Ezek mind nagyon hasznosak voltak. Főosztályvezetőként az előrejelzők vezetői találkozásán vettem részt. Ezeken az üléseken mindig hasonló beosztású előrejelző kollégákkal találkoztam, és mindig bemutatták az ottani előrejelző központot. 2013-tól kezdve jártam az EUMETNET üléseire. A mostani kollégáknak is javasolnám, hogy minél többet nézzenek külföldön körül, ez ma már alap dolog.

NÁ: Összehasonlíthatók az egyes országok előrejelző osztályai? Teljesítményben vagy valami másban?

BI: Hazánkat a hozzánk hasonló közép-európai országokkal érdemes összehasonlítani, mert Franciaországnak, Németországnak mások a lehetőségei. Nem állunk rosszul. Már említettem a HAWK-megjelenítő rendszert, ami világszínvonalú, mert felhasználóbarát, rengeteg meteorológia mező megjeleníthető. Előrejelzőink tudása szerintem abszolút európai színvonalon van.

NÁ: Vannak olyan dolgaink, melyet tőlünk vettek át más országok?

BI: A HAWK rendszert a belga szolgálat átvette. Ezen kívül, inkább azt mondanám, hogy vannak közös kutatások, fejlesztések, mint például a repülésmeteorológiában az eGAFOR. Európában ma már hasonló technikai viszonyok kezdenek kialakulni a különböző országok szolgálatainál. Ugyanazokat a numerikus modelleket használjuk, mindenütt az ECMWF modell az alap. Nyilván vannak olyan területek, pl. a modell output statisztika esetén, ahol mi tanulhatunk a környező országoktól. A színvonal majdnem mindenütt ugyanaz, de a kisebb országok,

például Horvátország és Szlovénia emberi erőforrás tekintetében rosszabbul áll. Németországban, Franciaországban vagy az Egyesült Királyságban természetesen sokkal többet tudnak fejleszteni, kutatni, és ez az előrejelzésre is vonatkozik. A német és a francia szolgálatnál régi hagyomány, hogy az előrejelzők egy ideig operatív szolgálatban vannak, majd egy időre kiemelik őket, és fejlesztéssel foglalkoznak. Ez mindenképp nagyon hasznos lenne számunkra is, erre egyébként történtek kísérletek. Például a balatoni viharjelzésnél vagy a jégeső előrejelzőknél ez megvalósult, mert akik nyáron operatív munkát végeznek, azok télen kutatnak, feldolgozzák, elemzik a felgyülemlett adatokat.

NÁ: Az előrejelzések minőségét a verifikációval lehet mérni. Ebben látsz lényeges változást, javulást az elmúlt 40 év viszonylatában?

BI: A 40 évvel ezelőtt a prognózisokat csak korlátozottan verifikálták, de a bevételek is sokkal rosszabbak voltak. Például 1978 decemberében a két ünnep között a közelünkben húzódott egy hidegfront. Minden napra az OMSZ beadta a lehülést és a havazást, de ez csak 3 nap múlva következett be. Ilyen bakik manapság már nem fordulhatnak elő, köszönhetően a modelleknek. Az első átfogó verifikációs rendszer 1999-ben jött létre, aminek a létrehozásában én is közreműködtem. Mai napig követhető a prognózisok bevétele, és egy folyamatos javulás mindenképp tetten érhető. Nagyon hasznos dolog, ha az előrejelző hozzá tud tenni a modell eredményéhez. Ez inkább rövidtávig érvényesül. Sokat nyom a latba, ha ismerik egy adott térségnek a természeti adottságait: pl. Sopron környéke érzékeny a déli szélre, vagy a Dél-Alföldön a minimumhőmérséklet sokszor alacsonyabb, mint, amit a modellek adnak. De egyre kevesebb ez a faktor, és egyre inkább a modellek javulása tükröződik vissza az általános prognózisok javulásán.

NÁ: A 100%-os bevételezésű prognózis nem fog megvalósulni. De a társadalmi igény megvan rá?

BI: A kérdés, mit értünk 100%-on? Az egyetemi éveim alatt egy évfolyammal lejjebb járt egy arab fiú, és viccelődött velünk. Mondtuk neki, hogy nálatok elég könnyű prognózist készíteni, mert 365 napból, 360 napon nem esik. Erre mondta, hogy igen, viszont ezt az öt napot nagyon nehéz

eltalálni, és ha nem találsz el, akkor utána hiába készítesz 360 napon keresztül jó prognózist, az már senkit nem érdekel.

NÁ: Az utóbbi pár évről még hadd kérdezzek. Váltottál, és átnyargaltál a nemzetközi kapcsolatok ápolására, miközben korábban is végeztél ilyen munkákat. Ez egy foci hasonlattal élve, amolyan levezetés volt?

BI: Olyan szempontból valóban levezetés volt, hogy lényegesen kevesebb dologra kellett odafigyelnem. Főosztályvezetőként is megkaptam ezt a munkát, de nyilván nem tudtam vele olyan mélységben foglalkozni, mint ahogy most. Egy ülés előtt átküldenek kb. 80–100 oldalnyi angol nyelvű dokumentumot, ezt a vezetői munka mellett képtelenség volt precízen kiértékelni.

NÁ: Azt gondold összességében, hogy a pályafutásod így teljes? Hiányérzet nincs benned vagy éppen valami túske? Ha újra kezdenéd, másképp csinálnál valamit?

BI: Kisebb túskek mindenki benn vannak, és nem mondom, hogy előrejelzőként, vezetőként nem voltak olyan feladataim, amiket nem szerettem. Például vezetőként senki nem szereti a millió adminisztrációt. Imádtam utazni, de amikor megérkeztem Athénba hajnali háromkor, mert két órát késett a repülő, és a megrendelt taxi meg sehol nem volt, miközben tudtam, hogy reggel kezdődik az ülés, hát ez nem volt álmaim utazása. Mindig voltak olyan szituációk, ami nem volt kellemes, de úgy összességében nincs hiányérzetem. Azt tudom pozitívumként kiemelni, hogy változatos volt az elmúlt 40 év, és általában jól kijöttem a kollégákkal, sőt baráti viszonyok is kialakultak.

NÁ: Pihend ki ezt a 40 évet! Még egy utolsó kérdés: ha üzenned kéne a fiataloknak, mi lenne az?

BI: Jó dolog, ha valaki az OMSZ-on belül tud váltani. Ez nem nagyon megszokott az OMSZ-nál. Jó lenne, ha a fejlesztők időnként végezhetnének operatív munkát, és ez fordítva is igaz lenne. Az előrejelzők saját tapasztalatukat felhasználva jobban részt tudnának venni a fejlesztésekben. Szerintem általánosságban véve 10-15 év után mindenképp érdemes váltani, legyen az beosztás, kutatás kontra operatív munka vagy akár szakterület. Ezt persze inkább a vezetőknek üzenem, mert sokszor rajtuk múlik a munkaszervezés.

NÁ: Köszönöm a beszélgetést.



James Lovelock emlékére (1919. július 26. - 2022. július 26.)

Dobi Ildikó

Országos Meteorológiai Szolgálat, dobi.i@met.hu

James Ephraim Lovelock a Gaia elmélet megalkotója 103 évet élt. Az angol tudós kémiai, orvosi és biofizikusi diplomával rendelkezett, elismert környezettudós, futrológus volt. Sok helyen dolgozott, köztük a Harvardon, a Yale-en és a NASA-nál is, élete nagy részében azonban független kutatóként délnyugat-angliai falusi birtokán lévő laboratóriumában alkotott. Egy időben a brit titkosszolgálat, az MI5 tanácsadója lett. Kétszer nősült, négy gyermeket nevelt fel. Önmagát leginkább feltalálónak tekintette. Rendkívüli kreativitását 40 találmánya bizonyítja, melyek közül a NASA is felhasználta néhányat.

Legjelentősebb találmánya az ultraérzékeny elektronbefogási detektor. 1957-ben a londoni Nemzeti Orvostudományi Kutatóintézetben fejlesztette ki ezt a forradalmi eszközt, amely egyebek közt a halogénezett szénhidrogének légköri mennyiségét is hajszálpontosan detektálta. Méréseivel elsőként igazolta, hogy az antropogén eredetű mérgező vegyi anyagok elszennyezik a környezetet. Műszerével végzett anyaggyűjtést Rachel Carson a rovarirtó szerek környezeti kockázatairól szóló 1962-ben megjelent „Néma tavasz” című könyvéhez. A CFC-k légköri felhalmozódását igazoló méréseit felhasználták a sztartoszférikus ózon védelmében. Elsők közt figyelmeztetett arra, hogy a kőolajtermékek destabilizálják az éghajlatot.

Méréseivel kapcsolatos szakértelme miatt hívták a NASA-hoz. A Holdon és a Marson lehetséges élet nyomait kutató amerikai űrprogramban vett részt a 60-as években. Kollégáival a leszálló egység fejlesztésén dolgoztak, Lovelock azonban a többiektől

eltérően közelítette meg a feladatot. A Föld és a Mars légkörének összehasonlításával felismerte, hogy a Mars légköre passzív egyensúlyi állapotban van, ezzel szemben bolygónk légköre oxigén és reaktív gázok kémiai dinamikusan kombinációja. Arra a következtetésre jutott, hogy a földi légkör összetételének stabilitásához kell valami önszabályozó mechanizmus. Mivel elsősorban az élőlények felelősek a gázok kibocsátásáért, ebből úgy gondolta, hogy maga az élet – a Föld összes szféráját érintő – komplex visszacsatolási rendszereken keresztül kell, hogy szabályozza a légkör összetételét. Elmélete feltételezi, hogy az emberi szervezethez hasonló önszabályozó mechanizmus működik a bolygón. Lovelock megfogalmazása szerint „az élet szabályozza a Föld légkörét és klímáját, hogy lakható legyen”. William Golding Nobel díjas író javaslatára a Föld ősi görög istennőjéről Gaia-nak nevezze el az elméletét. A hipotézis részeit Lynn Marguis Nobel-díjas fizikussal közösen

dolgozták ki. Lovelock pályafutása során a Gaia elmélet megalkotójaként vált világszerte ismerté, teóriája megalapozta a modern ökológiát.

Felvetése azonban sok szempontból szembe ment a kor uralkodó tudományos irányzataival, ezért heves érzelmekeket váltott ki, pártolói és ellenzői lettek. Egyfelől a tudomány hagyományos tanítása szerint a környezeti változások irányítás nélkül zajlanak, egymástól független részek halmaiként működnek. Ezzel szemben Lovelock teóriája összefüggő, önellenőrző rendszerként tekint a bolygóra, ezáltal a szétaprózott tudományos ismeretek szintézisére, a különféle diszciplínáinak együttműködésére szólít fel. Sokan Darwin ellenesnek tartják, mert úgy vélik, hipotézise ellenkezik a természetes kiválasztódás törvényével. A Gaia elmélet továbbfejlesztésével Lynn Margulis jutott arra az álláspontra, hogy az evolúció nemcsak a „versenyen”, hanem az „együttműködésen” is alapszik. Évtizedekbe telt, míg sikerült tisztázni a darwinistákkal a vitatott kérdéseket. Ezt követően Lovelock-ot számtalan díjjal jutalmazták, egyebek közt a Brit Földrajzi Társaság kitüntetésével, mellyel korábban Charles Darwin munkásságát is elismerték. Mindezek mellett az elmélet hidat képez a tudomány és a spiritualizmus között. Gaia nevével tudományos alapon nyugvó holisztikus és vallási körök jöttek létre és azóta is működnek.

Lovelock négy népszerűsítő, olvasmányos könyvet írt Gaia-ról. Az első 1969-ben jelent meg, de csak az egy évtized múlva, a második „Gaia: a földi élet új szemlélete” című könyve vált ismerté. Műveiben tiltakozik a fosszilis tüzelőanyagok felhasználása ellen. Ellenzi a szél és naperőműveket, mert szerinte a berendezések drágák, kicsi az energiasűrűségük, nagy költséggel kevés energiát termelnek ráadásul egyenetlenül. Szerinte a társadalmi igények kielégítésére nem alkalmasak. Ezzel szemben meggyőződéssel támogatta az atomenergiát, megnyilvánulásaiban „tisztá energiának” nevezi, amely biztonságosan képes nagy mennyiségű energiát termelni, miközben a bioszférát alig érinti. Megjegyzi, hogy egy gramm urán annyi energiát termel, mint egy tonna olaj. „Az eltérés milliós nagyságrendű”- írja. Sürgette az atomenergiára való mielőbbi teljes átállást.

Véleménye szerint az emberiség felelőtlen életmódjával véglegesen elszegényedett ökológiájú, alig élhető körülményeket teremt a bolygón. „A Gaia bosszúja” című művében az egyensúly visszaállítására törekvő Föld védekező mechanizmusáról apokaliptikus képet fest a jövőben. Szerinte az átállás az új, forró, száraz klíma állapotra tömeges kihalással, civilizációk pusztulásával, átalakulással jár, amit tengerszint emelkedés, árvizek, aszály, viharok és migráció kísér. „A globális felmelegedés által fenyegető katasztrófa sokkal rosszabb, mint bármelyik háború, éhínség vagy pestis az élő emlékezetben, még rosszabb is mint a globális atomháború” – állítja Lovelock. A kihalás vagy túlélés szerinte a hozzáálláson múlik. Megfogalmazása szerint „a jelen krízis annak az eredménye, hogy az ember jogai prioritást kaptak a Föld iránti kötelezettségével, és az élet többi formájával szemben”. Ezt a szemléletet kell megfordítani. Úgy gondolja, lesznek klíma oázisok, ahol jól szervezett, együttműködő, az „intelligens bolygó” igényeire tekintettel lévő „Gaia alattvalóké” a túlélés esélye.

Jellemét tekintve Lovelock-ot éles eszű, szellemes, szerény embernek írták le pályatársai, aki a bolygónk iránt szenvedélyesen elkötelezett. Lynn Margulis szerint a legeredetibb gondolkodó, aki alapvetően megváltoztatta a szemléletet, ahogy a Földet nézzük. Szellemi öröksége kézzel fogható részét a londoni Science Museum kapta meg néhány éve, az a hely, ahol ő is inspirációt merített a tudomány felé vezető úton. Több mint 200 cikket publikált az orvostudomány, biológia, légkörtudomány és geofizikai témakörökben. Legutolsó könyve 2019-ben, 100 éves korában jelent meg, ebben a mesterseges intelligencia szerepén elmélkedett.

Hosszú élete során mindvégig kitartóan figyelemztetett az antropogén felmelegedés és a biodiverzitás eltűnésének a veszélyeire. Sokat tett azért, hogy ezek a kérdések a nemzetközi érdeklődés középpontjába kerüljenek és a megoldásra inspiráló közös gondolkodásra ösztönözzenek. A 2000-es években még klimatechnikai módszert is javasolt a szén-dioxidot fogyasztó algák felszaporítására. Két évvel ezelőtt azt mondta, hogy a bioszféra az életének utolsó 1 százalékában jár, ezzel együtt bizakodóan azt állította, hogy az emberiség, bár lassan, de tanul a hibáiból.

Hírek

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

Németh István – Emlékek az elmúlt 36 évről

2022. 10.30. ■ 1986-ban kutyasétáltatás közben – egy félresikerült munkahelyváltást követően – lettem rá a KEI-re (OMSZ Központi Előrejelző Intézet). Pár nap múltán (október elsejétől) már ott dolgoztam. A különböző osztályok elnevezésére már nem annyira emlékszem, de a munkaköröm lényege végig az üzemfenntartás volt. 1986-ban az OMSZ-nak nem volt PC-je, viszont volt egy iroda méretű diszkrét áramkörökből álló számítógépe (SYSTEM 7). Teljesítményéről csak annyit, hogy manapság egy átlagos okos telefon nagyságrendekkel gyorsabb és nagyságrendekkel nagyobb tárolókapacitással rendelkezik. A belföldi és nemzetközi adatátvitel analóg vonalakon történt, amik folyamatos törődést, karbantartást, javítást, javíttatást igényeltek. Ritka volt az olyan nap, amikor minden megfelelően működött. Reggel a „füles” folyamatosan valamelyikünk fején volt vonal ellenőrzés céljából. A másik kőkorszaki csoda a Ladoga térképrajzoló volt, ami szintén folyamatos gondoskodást igényelt. Az OMSZ folyosóján valamelyik vitrinben ma is meg lehet csodálni. Akkoriban 5-7 fős szolgálat látta el az operátori teendőket. A „szuperszámítógép” leállása esetén manuál üzemmódra váltott a szolgálat, ami óriási hangzavarral járt, mivel egyszerre akár fél tucat telex is működésbe lépett. A KEI megszűnése után, némi leépítést követően az előrejelzés, illetve az informatika beköltözött az OMSZ központjába. (A leépítés előtt 700 fő körül volt az OMSZ létszáma.) Az évek során a költözés az egyik legnagyobb kihívást jelentette, mert a gépezetnek folyamatosan működni kellett. A másik nagy kihívást az OMSZ jelenleg is működő hálózatának, ill. a telefonközpontjának a korszerűsítése jelentette. Emlékeim szerint heten pályáztak: sok száz oldalnyi dokumentumot kellett átolvasni, értelmezni ill. értékelni.

Mire emlékszem vissza szívesen? Szépek voltak azok az idők, amikor közszolgálat katonái voltunk.

Mivel töltöm majd a szabadidőmet? A téli hónapokban, különösen fagy vagy hó estén (ami ma már ritka-ritka természeti jelenség) valóban több időm lesz. Unatkozni nem fogok: erről a kertünk gondoskodik majd. 4400 m², aminek a nagy része parkosított, közel 200 m sövény, valamint egy tó folyamatosan adnak munkát. Még arra is gondoltam, hogy esetleg rendet csinálók a garázsban ill. a padláson. Bár ez utóbbi inkább az utópia kategóriájába tartozik.

Kedves István! Köszönjük az OMSZ-nál töltött közel negyven évedet és a munkádat! Legyen sok örömed az előtted álló szép feladatokban! Jó egészséget kívánunk hozzá!



A díjazottak és családtagjaik.

Tisztelet az elődöknek: díszdiploma átadás az ELTE-n

2022. 10.26. ■ A nemzeti felsőoktatásról szóló 2011. évi CCIV. tv. alapján az Eötvös Loránd Tudományegyetem Szervezeti és Működési Szabályzata 86. §-a rendelkezik a dísz- (jubileumi) oklevelek adományozásáról. Ez alapján "Egy alkalommal arany, gyémánt, vas, rubin, illetve platina dísz- (jubileumi) oklevél adományozható életpályája alapján annak, aki az Egyetemen vagy jogelőd intézményei

valamelyikében legalább ötven, hatvan, hatvanöt, hetven vagy hetvenöt éve szerezte meg oklevelét, és életpályája alapján közmegebecsülésre méltó." Az oklevélhez rövid szakmai életutató és bemutató kérelmet is be kell nyújtani az illetékes karon, illetve csatolni kell az oklevél másolatát. Átadására egyetemi ünnepség keretében kerül sor. Idén az ELTE Természettudományi Kar Tanácsa Vasoklevelet adományozott a 65 éve meteorológus szakon végzetteknek: Ambrózy Pálné Mohácsi

Máriának, dr. Antal Emánuelnek, Fejcs Istvánnak, dr. Rákóczi Ferencné dr. Wagner Magdolnának, Szalma Jánosnának, Szalma Jánosnak és dr. Tanczer Tibornak (posztumusz).

Jó egészséget kívánunk a díjazottaknak! Hálásak vagyunk, hogy az elődök tudományosan kiemelkedő és szorgalmas munkája megteremtette a mai tevékenységeink alapjait. Megtisztelő számunkra az ő nyomdokaikban járni.

Földtudományos Forratag

2022.11.12-13. ■ A Földtudományos Forratagon a Magyar Természettudományi Múzeum kiállítótereiben mutatkozott be a Magyar Meteorológiai Társaság 2022. november 12-13. között több egyetem, kutatóintézet, társadalmi szervezet és cég társaságában. A 12. Földtudományos Forratag – interaktív geokiallítás és vásár fő szervezője a Magyarhoni Földtani Társulat volt.

A fiatal felnőttek körében népszerű volt a „szeles fejtörőnk”, amiben nevezetes szelek földrajzi elhelyezkedését kellett beazonosítani. A történeti korok klímáját szemléltető interaktív idővonal szülőket és kisgyermeket is vonzott, és a klímások üzenete is sokakhoz eljutott. A kiskolások érdeklődtek leginkább a befőttesüvegben keltett tornádó iránt,

a legkisebbek papírbékát gyártottak, a kanalas szélmérővel minden korosztály kitaróan tesztelte tudókapacitását.

Az ELTE Meteorológia Tanszékéről Dolgos Emilia, Simon Csilla, Vincze Csilla, Varga Ákos és Berényi Alexandra, OMSZ részről pedig Szabó Dorottya, Izsák Beatrix, Marton Annamária és Lakatos Mónika népszerűsítette a meteorológia tudományát. Mindkét napon tartottunk előadást is. Az OMSZ-ból Tóth Anita „A légköri nyomanyagok nyomában: amit az aeroszol részecskékről tudni érdemes” címmel, Horváth Krisztina pedig a „Meteorológia más szemmel – kapcsolat a tudomány és a szakpolitika között” címmel beszélt népszerűsítő stílusban az érdeklődőknek.



Hegyfokyt Kabos vetélkedő eredményhirdetés Túrkevéen

2022. 11. 29. ■ A Magyar Meteorológiai Társaság és a Túrkevei Városi Önkormányzat közös szervezésében Hegyfokyt Kabos születésének 175. évfordulója alkalmából általános iskolás gyerekeknek versenyt hirdettünk 2022 novemberében. A szombathelyi területi csoportból Kúti Zsuzsanna összeállított egy feladatlapot, ami kérdéseket tartalmazott Hegyfokyt Kabosról, az időjárásról és az éghajlathoz. Időjárási jelenségekről kértünk fotókat, amik a verseny időszakában készültek. Ezek mellett a régmúlt idők időjárásáról szóló riportot kellett készíteni az iskolásoknak a nagyszülők, idősek tapasztalatainak bemutatásával. Kilenc csapat, összesen 27 gyermek versengett a Kaszap Nagy István Református Általános Iskola és Óvoda, valamint a Petőfi Sándor Általános Iskola képviseletében. A pályázatok a Magyar Meteorológiai Társasághoz érkeztek be, megtörtént azok bírálata, s pályaművek értékelése, az eredmény kihirdetésére november 29-én Túrkevéen került sor.

I. helyezést ért el a "Kis meteorológusok" csapata: Vida Virág Lidia, Szentmihályi Sára, Kereszti Bulcsú Lél. Nyereményük: Látogatás a Bükki Csillagdába

II. helyezést ért el a "Barométer" csapat: Bodó Berta, Debreczeni Kira Emma, Papp Rebeka
Nyereményük: Látogatás a Tiszazugi Földrajzi Múzeumba

III. helyezést ért el a "Kevi tornádók" csapat : Lisznyai Mariann, Csatári Dávid, Rima Sándor
Nyereményük: Látogatás a Természettudományi Múzeumba

A verseny további résztvevői:

- Alföldi csillagok: Kiss Erik, Okos Péter Simon, Finta Noél
- Anonymous: Horváth Lia, Kontos Kata, Szendi Vivien
- Artemisz vadászai: Rafael Tifani, Tóth Liza, Barna Rebeka
- Kevi időjósok: Rózsás Lili, Szabó Tímea, Papp Zsombor
- Villámvadászok: Fehér Zsolt, Baán Zsolt, Csécszei Attila
- Zúzmarák: Vasa Gitta, Tóth Gréta, Nagy Vivien

A nyereményeket a Túrkevei Önkormányzat ajánlotta fel. A Magyar Meteorológiai Társaság a versenyben részt vevő minden diákot és felkészítő tanárait meghívta az Országos Meteorológiai Szolgálat székházába egy látogatásra. Gratulálunk a verseny összes résztvevőjének és a felkészítő tanároknak, Szabóné Debreczeni Ildikónak és Vad Lajosnak.

A Magyar Meteorológiai Társaság november 29-én Hegyfokyt Kabos sírján koszorút helyezett el, megemlékezve híres elődünkről.



Balra fenn: a bizottság. Balra lenn: Hegyfokyt Kabos sírjánál. Jobbra: a nyertes csapat.

Magyar Tudomány Ünnepe – Meteorológiai Tudományos Napok



2022.11.17-18. ■ A 19. alkalommal megrendezésre kerülő Magyar Tudomány Ünnepe rendezvényt sorozat keretében a Magyar Tudományos Akadémia Földtudományok Osztálya Meteorológiai Tudományos Bizottsága 2022. november 17-én és 18-án rendezte meg a 48. Meteorológiai Tudományos Napokat. Az ülésszak témája: Életterünk a légkör – megfigyelés, modellezés, előrejelzés volt.

A légköri folyamatok megfigyelése és előrejelzése az utóbbi évtizedekben kulcsfontosságúvá vált az emberiség számára. Az időjárás tudományos igényű előrejelzése ma már csak numerikus modellekkel képzelhető el. A programban a megfigyelés, modellezés, előrejelzés területén elért legfontosabb hazai kutatások és fejlesztések eredményei kerültek bemutatásra.

Tölgyesi László: Dr. Popovics Ivánné Gubola Máriára emlékezünk



Ez év őszén jutott tudomásunkra, hogy elhunyt régi munkatársunk, dr. Popovics Istvánné.

1931. július 14-én Budapesten született, életének 91-ik évében, 2021. november 15-én Budapesten hunyt el. Mária néni hamvait a Budapest-Gazdagrét Szent Angyalok Plébánia urnatemetőjében helyezték el.

Több mint 40 éves gazdag szakmai életútja végig a magyar meteorológiai szolgálathoz kötődött.

Budapestem a Baár-Madas Leánygimnáziumban érettségizett. Eredetileg vegyész szeretett volna lenni – később a meteorológia ezen határterületén dolgozott – a felvételi bizottság javaslatára választotta a meteorológiát. Érettségi után munkába állt a Ganz Villamossági Gyárban, később, az egyetemi évek alatt is itt dolgozott nyaranta, majd 1955-ös meteorológus diplomaszerezését követően az Országos Meteorológiai Intézetnél helyezkedett el.

Szakmai munkássága során foglalkozott zoometeorológiával, klimatológiával, légszennyeződéssel, környezetvédelemmel. Vizsgálta a Linke-féle érzethőmérséklet és az effektív hőmérséklet alakulásával kapcsolatban a fülledtség bioklimatológiáját, egyetemi doktori disszertációjának címe: Fülledtségi viszonyok Budapesten 1931–1960.

Számos cikket publikált önállóan, illetve társszerzőként, szakmai érdeklődése középpontjában a diffúzióklimatológia és a levegőminőségi adatok értelmezése állt. Részt vett a levegőtisztaság-védelmi szabványok kidolgozásában. 1986-ban Nárainé Fekete Katalinnal és Szepesi Dezsővel készített mintegy 170 oldal terjedelmű „Légszennyező anyagok transzmissziójának meghatározása” című munkáért a Magyar Meteorológiai Társaság Szakirodalmi Nívódíja kitüntetésben részesült. Kiemelkedő szakmai elhivatottság és együttműködés jellemezte egészen 1986-os nyugdíjba vonulásáig.

Nagy István agrárminiszter az 1848/1849-es Forradalom és Szabadságharc Évfordulója, március 15-e alkalmából az Életfa Emlékplakett Arany fokozata kitüntetést adományozott dr. Popovics Ivánné részére 90. születésnapja alkalmából, amit Mária néni az otthonában vett át 2021. május 14-én.

Emlékét tisztelettel megőrizzük.

Tölgyesi László: Elhunyt dr. Szakács Györgyné



Dr. Szakács Györgyné, Steiner Lajos emlékéremmel kitüntetett egykori kollégánk, a Magyar Meteorológiai Társaság tagja, az Országos Meteorológiai Szolgálat korábbi igazgató-helyettese, életének 98. évében, 2022. október 2-án elhunyt. Szakács Györgyné, Farkas Amália 1925. augusztus 5-én született Budapesten. Érettségi után a Pázmány Péter Tudományegyetem Bölcsészkarának matematika-fizika szakára vették fel. Végbizonyítványát 1949-ben kapta meg, mennyiségtan-termesztan szakos szakvizsgázott tanárjelöltként. Egyetemi évei alatt a matematika és a fizika mellett meteorológiát is tanult. Még tanulmányai közben, 1945. szeptember 10-én kezdte meg – ahogy ő fogalmazott „szolgálatát” – az akkori Országos Meteorológiai és Földmágnességi Intézetnél, az Országos Meteorológiai Szolgálat elődjénél. Kisegítő laborasszisztens, később tudományos segédmunkatárs, majd tudományos munkatárs volt a Tájékoztató és Adatfeldolgozó Osztályon, melynek később helyettes vezetője lett. Éveken át vezette a „Meteorológiai mezők statisztikai szerkezetének vizsgálata a hálózat állomásainak racionális elhelyezése céljából” című KMI kutatási témacsoportot. E témakörrel kapcsolatban számos tudományos dolgozata jelent meg, és előadásokat tartott nemzetközi szimpóziumokon. Munkájának, valamint emberi hozzáállásának elismeréseképpen 1970-ben elnyerte a Munka Érdemrend Ezüst Fokozatát. Operatív beosztásával járó teendői mellett rendszeresen tartott referátumokat különféle klimatológiai

kutatásairól, melyek az időjárási események, éghajlati hatások széles skáláját ölelték fel. Évtizedeken át tagja volt a Légkör folyóirat Szerkesztő Bizottságának.

Vezetői mindvégig a lehető legnagyobb elismeréssel szóltak róla: „Lelkiismeretes, alapos, jó vezető; az Intézet vezetésében ideális munkatárs. ... A csapadékhálózatnak és a csapadék adatok feldolgozásának egyik legjobb ismerője. ... Munkaköre ellátásában a precizitás a legjellemzőbb tulajdonsága, ezen kívül a gondosság és előrelátás jellemzi. Munkatársaival való viszonya közvetlensége, élénksége miatt igen jó, az osztály valamennyi tagjával jó, szinte baráti viszonyban van, közöttük nincs soha semmi ellentét. Munkatársait szívesen támogatja tanácsaival, a fiatalokat szívesen tanítja a feladatok elvégzésére. Fejlett szociális érzéssel rendelkezik.”

1971. január 1-én Czelnai Rudolf igazgató kinevezte főosztályvezetővé: megbízta az Adatközpont vezetésével. 1973. május 1-től a Központi Meteorológiai Intézet (KMI) igazgatóhelyettese lett 1980. szeptember 30-i nyugdíjba vonulásáig.

A Magyar Meteorológiai Társaság aktív tagja volt, még 90 évesen is részt vett a rendezvényeken, tagtársaival is tartotta a kapcsolatot. 1979-ben az MMT Steiner Lajos Emlékérem kitüntetésben részesült. 2014-ben az MMT választmánya tiszteleti taggá választotta.

2015-ben dr. Fazekas Sándor miniszter Életfa Emlékplakett Arany fokozata kitüntetés adományozott Amália néninek, az Országos Meteorológiai Szolgálat éghajlati kutatásaiban, valamint az adatfeldolgozás és tájékoztatás területén 35 éven keresztül végzett szorgalmas, magas színvonalú munkájáért, és eredményes vezetői tevékenységéért.

Tisztelettel emlékezünk rá.

Kislexikon

Adatasszimiláció: a modell-előrejelzések kezdeti állapotának megadása mérési és 1-6 órára szóló előrejelzési információk (más szóval háttér-előrejelzés) optimális kombinációjával.

ECMWF nagyfelbontású előrejelzések: az Európai Középtávú Előrejelző Központ (2022-ben) 9 km-es horizontális rácsfelbontással készülő globális modellfuttatása.

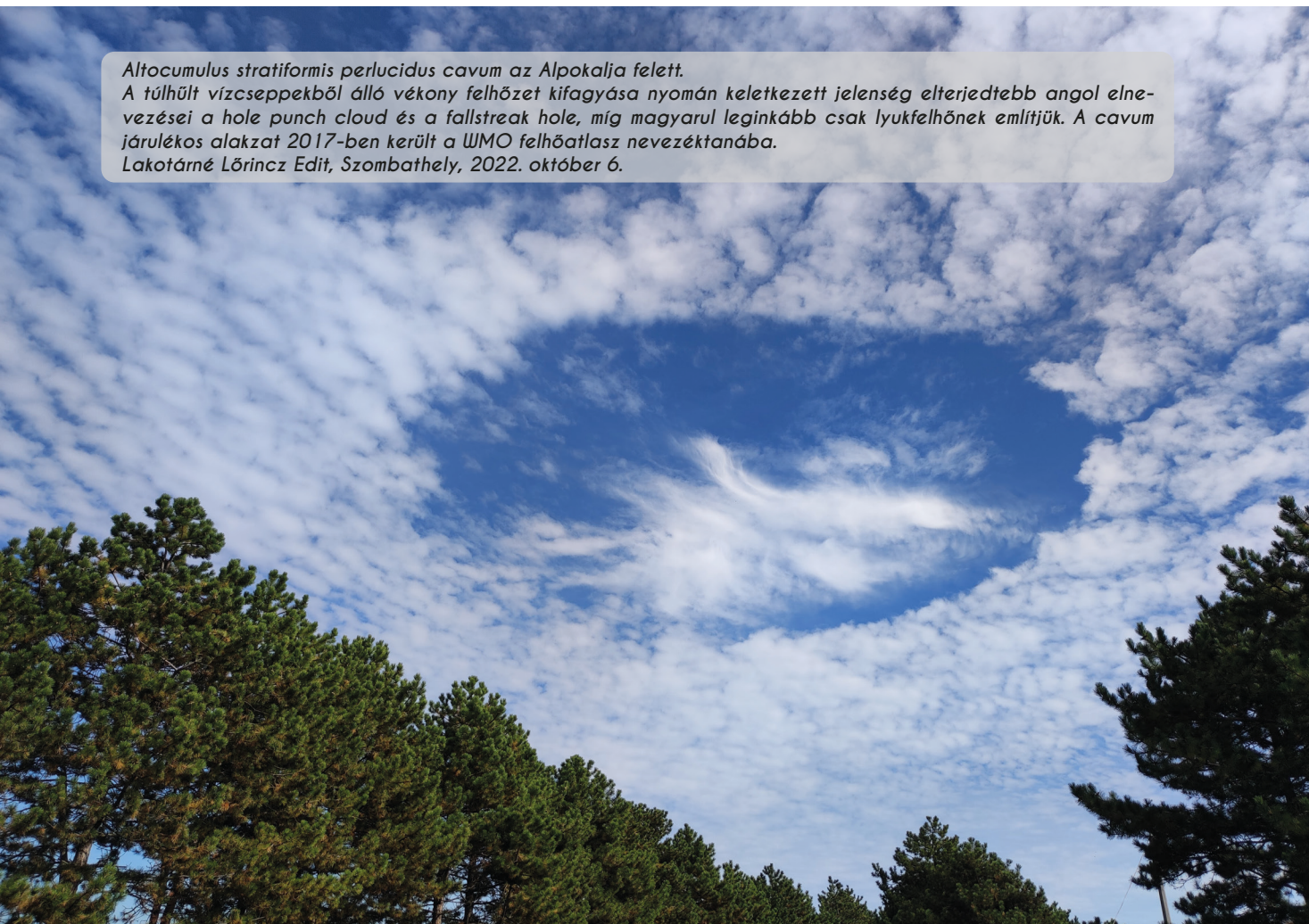
Fizikai parametrizációs tendenciák: a modellben a rácsávolságnál kisebb skálájú fizikai folyamatokat az állapothatározók rácsponthelyi értékeit és empirikus-statisztikai összefüggéseket felhasználó parametrizációk segítségével írják le. Ezek hatása az állapothatározók időbeli megváltozásához (a tendenciához) adódik hozzá. Az ensemble előrejelzések készítésénél elterjedt módszer a különböző parametrizációkból származó tendenciák perturbációja.

*Szupercella Orosháza felett, látványos falfelhővel.
Pécsi Tímea, 2022. szeptember 29.*



Alto cumulus stratiformis perlucidus cavum az Alpokalja felett.

A túlhűlt vízcseppekből álló vékony felhőzet kifagyása nyomán keletkezett jelenség elterjedtebb angol elnevezései a hole punch cloud és a fallstreak hole, míg magyarul leginkább csak lyukfelhőnek említjük. A cavum járulékos alakzat 2017-ben került a WMO felhőatlasz nevezékébe. Lakotárné Lőrincz Edit, Szombathely, 2022. október 6.



Szerkesztőbizottság: Beköszöntő 2/2022/1

Tóth Róbert: Gondolatok... 3/2022/1

TANULMÁNY

Barna Zsófia: Trendvizsgálat: óraértékek hazai hőmérsékleti trendje 2022 (3) 122-129

Bokros Kinga, Lakatos Mónika: Hőségperiódusok vizsgálata Budapesten a XX. század elejétől napjainkig 2022 (4) 208-217

Bokros Kinga, Lakatos Mónika: Hőségperiódusok vizsgálata Magyarországon a XX. század elejétől napjainkig 2022 (3) 130-140

Haszpra László: Metán a légkörben: kockázatok és lehetőségek 2022 (2) 70-76

Horváth Ákos, Simon André: Az áramszolgáltatást veszélyeztető szélsőséges időjárási helyzetek. III. rész. A légköri konvekció: zivatarok 2022 (1) 42-52

Huszár András: Az európai klímarendelet hatása a magyar klímakormányzásra 2022 (1) 14-19

Kovács Attila Viktor: Agrometeorológiai szolgáltatások az OMSZ honlapján 2022 (2) 90-98

Kovács Gergely: A villamosenergia-rendszer irányítása 2022 (3) 157-162

Kövesi-Lázár Krisztina: Vulkánkitörés – levegőminőség – éghajlat 2022 (3) 141-150

Kurcsics Máté, Horváth Ákos: Az adriai bórától a bakonyi lejtőviharig 2022 (2) 77-89

Mátyás Csaba, Bidló András, Czímber Kornél, Gálos Borbála, Gribovszki Zoltán, Führer Ernő, Illés Gábor, Borovics Attila: A klímaváltozáshoz alkalmazkodás támogatása az erdészetben: Az Agrárklíma döntéstámogató rendszer 2022 (1) 4-11

Mészáros Péter: Az éghajlatváltozás hatása az energiaellátás-biztonságra 2022 (1) 12-13

Ötvös Tamás: Társadalmi csapadékmérő állomás Mernyén 2022 (3) 151-156

Szépszó Gabriella, Csirmaz Kálmán, Kardos-Várkonyi Anikó, Lancz Dávid, Simon André, Fernando Prates, Martin Belluš, Michal Neštiak: A 2022. augusztus 20-ai előrejelzések meteorológiai háttere 2022 (4) 182-188

Tóth Anita: A CHIMERE kémiai transzport modell kiértékelése a DELTA tool szoftver segítségével 2022 (4) 196-207

Tóth Róbert: 70 éves a Marczell György Főobszervatórium 2022 (2) 99-106

Trájer Attila János: A sárgaláz szúnyog populációk múltbeli, közelmúltbeli és jövőbeli éghajlati stabilitásának vizsgálata Európában 2022 (1) 34-41

Ujj Apolka, Jancsovszka Paulina, María Fernanda Ramos Díaz: A klímaváltozás hatásának enyhítése a magyar gazdálkodók agroökológiát támogató gyakorlatában 2022 (1) 20-27

Visiné Rajczy Eszter, Hofmann Tamás, Albert Levente, Mátyás Csaba: Az előrejelzett klímaváltozás hatásának növénykémiái vizsgálata bükk (*Fagus sylvatica* L.) fajfajon 2022 (1) 28-33

Zsikla Ágota, Szilágyi Eszter: A 2022. évi tavi viharjelzési szezon 2022 (4) 189-195

KRÓNIKA

Bozó László: Könyvajánló: Ginger Strand: A Vonnegut testvérek – Tudomány és fantasztikum a Varázsházban 2022 (1) 111

Dobi Ildikó: Látogatás a MAVIR Országos Diszpécser Szolgálat központjában 2022 (3) 162

Dobi Ildikó: Élménybeszámoló a Magyar Meteorológiai Társaság XXXVIII. Vándorgyűléséről 2022 (3) 163-165

Dobi Ildikó: James Lovelock emlékére 2022 (4) 226-227

Fejes Edina: Meteorológiai Világnap - 2022. március 23. 2022 (2) 107-110

Marton Annamária: A 2021. év időjárása 2022 (1) 58-65

Marton Annamária: 2022 nyarának időjárása 2022 (2) 113-117

Németh Ákos: Interjú dr. Bonta Imrével nyugdíjba vonulása alkalmából 2022 (4) 219-225

Tóth Róbert, Kiss Márton: Kiváló társadalmi észlelők világnapi kitüntetése 2022 (3) 166-168

Szolnoki-Tótván Bernadett: 2021/2022 telének időjárása 2022 (1) 53-57

Szolnoki-Tótván Bernadett: 2022 nyarának időjárása 2022/3 169-175

FOTÓ

Bödö Roland (címlapkép): Őszi fények (Kálmáncsa) 2022 (1)

Göncz Bertalan (címlapkép): Csend (Balatonakarattyá) 2022 (2)

Gruber Márk István (címlapkép): A rév (2019. 01.10., Tihany) 2022 (4)

Kolláth Kornél, Lakatos Mónika: Évszakos fotógaléria 2022 (1)

Csergő Nándor, Madarasi-Hargita, 2022. február 18. Éjszakai havas táj a Hargitán holdkoszorúval.

Hérincs Dávid, Szatymaz, 2021. december 27. Jéggömbök az ónos eső után.

Landy-Gyebnár Mónika, Veszprém, 2022. február, Pollenkoszorú.

Pintér András, Mihályi, 2022. február 25. Hidegfront mögötti rendkívüli átlátszóság.

Kolláth Kornél, Lakatos Mónika: Évszakos fotógaléria 2022 (2)

Géczi Roland, MET-ÉSZ, Szigetszentmárton, 2022. április 9., Peremfelhővel érkező hidegfront.

Lucza Zsolt, MET-ÉSZ, Palotás, 2022. április 24., Küllős szivárvány, háttérben a Mátra vonulataival.

Nanovich Nándor, Viharvadászok Egyesülete, Vát, 2022. május 24., Impozáns szupercellás zivatar Szombathely mellett.

Őri Ágnes, Jobbágyi, 2022. április 26., Irizáló felhők.

Kolláth Kornél, Lakatos Mónika: Évszakos fotógaléria 2022 (3)

Czimbuli Zsolt, Papp Péter, Viharvadászok Egyesülete, Szombathely, 2022. június 4., Szupercella.

Teszler Miklósné, ViharVonal facebook csoport, Csikóstóttós, 2022. július 26., Altocumulus stratiformis asperitas.

Tölgyesi László, MET-ÉSZ, 2022. június 4., Az Alpoknálán korábban még erejük teljében lévő távoli szupercellák üllői vetnek árnyékot a Balatonra.

Vincze János, Berekfürdő (Hortobágy), 2022. július 19., Vegetációtűz füstfáklya és a fölötté kialakult pyrocumulus.

Kolláth Kornél, Lakatos Mónika: Évszakos fotógaléria 2022 (4)

Lakotárné Lőrincz Edit, Szombathely, 2022. október 6., Altocumulus stratiformis perlucidus cavum az Alpoknálja felett

Pécsi Tímea, 2022. szeptember 29., Szupercella Orosháza felett, látványos falfelhővel

Schmall Rafael, Zselici Csillagpark, 2022. szeptember 23., Melléknep-körív (parhélikus kör) a Zselic felett

Tóth Renáta Kitti, 2022. november 9., Dupla inverzió, avagy Stratus felett felvonuló Stratocumulus

Szilvási Tibor János (címlapkép): Téli ébredés 2022 (1)